

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ЕКОЛОГІЯ З ОСНОВАМИ ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА

Рекомендовано вченою радою
Київського національного університету будівництва і архітектури
як навчальний посібник для здобувачів першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальностями E2 «Екологія» та G2 «Технології захисту
навколишнього середовища»
освітньо-професійної програми
«Екологія та охорона навколишнього середовища»



Київ – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ЕКОЛОГІЯ З ОСНОВАМИ ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА

*Рекомендовано вченою радою Київського національного
університету будівництва і архітектури як навчальний посібник
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальностями E2 «Екологія» та G2 «Технології захисту
навколишнього середовища»
освітньо-професійної програми «Екологія та охорона навколишнього
середовища»*

Київ - 2026

УДК 504:(69+711.4)
Е45

Автори: Т.М. Ткаченко, д-р техн. наук, професорка;
В.О. Мілейковський, д-р техн. наук, професор;
М.В. Кравченко, д-р техн. наук, професорка;
Ю.В. Цюрюпа, д-р філос.

Рецензенти: О.С. Волошкіна, д-р техн. наук, професорка, КНУБА;
Л.О. Левченко, д-р техн. наук, професорка, НТУУ КПІ;
В.О. Хрутьба, д-р техн. наук, професорка, НТУ

Затверджено на засіданні вченої ради Київського національного університету будівництва і архітектури, протокол № 01 від 30 січня 2026 року.

Екологія з основами зеленого будівництва: навчальний посібник
Е45 / Т.М. Ткаченко та ін. – Київ: КНУБА, 2026. – 216 с.

ISBN 978-617-8830-69-4

Розглянуто основні принципи концепції зеленого будівництва, історію його розвитку в контексті історії урбанізації, основні засоби реалізації цієї концепції, зокрема зелені конструкції як біотехнологічний засіб, що поєднує живі рослини з будівельними конструкціями.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальностями Е2 «Екологія» та G2 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-професійної програми «Екологія та охорона навколишнього середовища»

УДК 504:(69+711.4)

© Т. М. Ткаченко, В. О. Мілейковський,
М. В. Кравченко, Ю. В. Цюрюпа, 2026

ISBN 978-617-8830-69-4

© КНУБА, 2026

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Вступ..... | 6 |
| 1. Зелене будівництво як перспективна стратегія будівництва, дружнього до довкілля. Стандарти зеленого будівництва..... | 8 |
| 1.1. Поняття «енергоефективність» і «енергозбереження»..... | 8 |
| 1.2. Концепція та стандарти зеленого будівництва..... | 11 |
| 1.3. Зелені конструкції як важливий елемент зеленого будівництва..... | 18 |
| Висновки..... | 25 |
| Контрольні запитання..... | 26 |
| Рекомендована література..... | 27 |
| 2. Урбанізація та її негативні впливи на кліматичні зміни..... | 29 |
| 2.1. Історія урбанізації..... | 29 |
| 2.2. Сучасний стан урбанізації..... | 32 |
| 2.3. Наслідки урбанізації..... | 37 |
| Висновки..... | 38 |
| Контрольні запитання..... | 39 |
| Рекомендована література..... | 39 |
| 3. Концепції сталого міста та екоміста для досягнення сталої урбанізації..... | 41 |
| 3.1. Проблематика питання..... | 41 |
| 3.2. Принципи формування сталого міста..... | 41 |
| 3.3. Основні аспекти екоміста..... | 45 |
| 3.4. Принципи управління відходами..... | 50 |
| 3.5. Практичні кейси..... | 52 |
| 3.6. Екопоселення..... | 56 |
| Висновки..... | 57 |
| Контрольні запитання..... | 57 |
| 4. Відеоекологія. Створення візуального середовища і його роль у сталому розвитку суспільства..... | 62 |
| 4.1. Відеоекологія - визначення, походження терміну..... | 62 |

| | |
|--|-----|
| 4.2. Теорія сакад..... | 63 |
| 4.3. Будова ока..... | 63 |
| 4.4. Візуальне середовище. Гомогенні візуальні поля..... | 65 |
| 4.5. Малі архітектурні форми як елементи візуального середовища..... | 69 |
| 4.6. Механізми зорового сприйняття, які не можуть повноцінно працювати у гомогенному середовищі..... | 71 |
| 4.7. Агресивні візуальні поля..... | 72 |
| 4.8. Гомогенні та агресивні візуальні поля як можлива причина агресії..... | 75 |
| 4.9. Можливості створення комфортного візуального середовища з використанням горизонтальних і вертикальних зелених конструкцій та внутрішнього озеленення..... | 76 |
| Контрольні запитання..... | 82 |
| 5. Становлення поняття «синдрому хворої будівлі» та шляхи його подолання..... | 86 |
| 5.1. Історія питання..... | 86 |
| 5.2. Забруднювачі повітря приміщень..... | 88 |
| 5.3. Хвороби, спричинені забрудненням внутрішнього повітря..... | 92 |
| 5.4. Забруднення повітря леткими органічними сполуками та хімічними речовинами..... | 93 |
| 5.5. Забруднення повітря пиловими частинками..... | 95 |
| Контрольні запитання..... | 96 |
| Рекомендована література..... | 98 |
| 6. Розроблення класифікації факторів, що визначають появу та перебіг «синдрому хворої будівлі»..... | 103 |
| 6.1. Основні проблеми класифікування небезпечних факторів, пов'язаних із синдромом хворого будинку..... | 103 |
| 6.2. Створення класифікації шкідливих факторів, що призводять до синдрому хворого будинку..... | 109 |
| Висновки..... | 120 |
| Контрольні запитання..... | 121 |
| Рекомендована література..... | 123 |

| | |
|---|-----|
| 7. Внутрішнє озеленення як засіб оздоровлення внутрішнього середовища..... | 127 |
| 7.1. Поняття та термінологія..... | 127 |
| 7.2. Фіторемедіація..... | 130 |
| 7.3. Історія застосування фітонцидів і фітонцидних рослин..... | 133 |
| 7.4. Властивості фітонцидів..... | 137 |
| 7.5. Методи експериментальних досліджень фітонцидної активності рослин..... | 138 |
| 7.6. Фітодизайн..... | 139 |
| 7.7. Дослідження фітонцидного ефекту рослин в зимовому саду Київського національного університету будівництва і архітектури..... | 165 |
| Висновки..... | 172 |
| Контрольні запитання..... | 172 |
| Рекомендована література..... | 174 |
| 8. Зелені конструкції як комплексне рішення для розв'язання економічних, екологічних і соціальних задач. Приклади впровадження у сучасному будівництві, успішні проекти та їхня ефективність..... | 187 |
| 8.1. Питання термінології та класифікації..... | 187 |
| 8.2. Історія покрівельного озеленення..... | 199 |
| 8.3. Позитивні ефекти зелених конструкцій..... | 202 |
| 8.4. Приклади впровадження зелених конструкцій у сучасному будівництві..... | 204 |
| Висновки..... | 211 |
| Контрольні запитання..... | 211 |
| Рекомендована література..... | 213 |

ВСТУП

Освітня компонента «Екологія з основами зеленого будівництва» присвячена сталому розвитку урбоценозів, ключовим елементом якого є концепція зеленого будівництва як будівництва, дружнього до людини та довкілля. Зелене будівництво є мультидисциплінарною концепцією, що поєднує зусилля фахівців усіх архітектурно-будівельних галузей, містобудування, ландшафтного дизайну, будівельного виробництва, озеленення, управління відходами, екології та технологій захисту навколишнього середовища, економіки тощо.

Знання та практичне застосування концепції зеленого будівництва є ключовим аспектом підготовки фахівця з екології або технологій захисту навколишнього середовища в галузі будівництва. Зазвичай, вимоги екологічності, енергоефективності та комфорту людей є суперечливими. Але в межах концепції зеленого будівництва ці вимоги поєднуються в єдину систему, покликану з використанням сучасних технологій забезпечити не лише виживання людства, але й умови для ефективної праці та розбудови з турботою про майбутні покоління. У практичній роботі фахівець повинен аналізувати будівельні проекти з огляду на їхній комплексний вплив на довкілля та людину, зокрема тілесне та ментальне здоров'я.

Основні завдання освітньої компоненти – ознайомити студентів з концепцією зеленого будівництва, передумовами її розроблення, основними її компонентами та роллю їх у досягненні сталого розвитку.

Під час вивчення освітньої компоненти студенти набувають знань щодо основних положень концепції зеленого будівництва, відповідних стандартів, урбанізації як напрямку розвитку суспільства, історії урбанізації, позитивних і негативних впливів її на довкілля та людей, концепції сталого міста та екоміста, основних положень відеоекології, синдрому хворої будівлі та методів боротьби з ним, зокрема внутрішнього озеленення, а також щодо важливого біотехнічного засобу – зелених конструкцій, зокрема їхньої класифікації та позитивних впливів на людей, будівлі та довкілля.

Студенти набувають умінь визначати перспективні напрямки та технології зеленого будівництва, а також розробляти й обґрунтовувати рекомендації щодо їхнього впровадження.

У книзі наголошується на важливості забезпечення дружнього до людини візуального середовища, що вивчає відеоєкологія. Людина пристосована до природного середовища, а сучасне урбанізоване оточення порушує нормальну роботу зорового апарата. Особливу страждає автоматія сакад, тобто мимовільні швидкі рухи очей для сканування оточення. Наприклад, відсутність адекватного відгуку на сакаду в гомогенному візуальному полі спричиняє збільшення інтенсивності сакад і стресового стану. Це призводить до серйозних наслідків, зокрема проявів агресії, підвищення рівня злочинності тощо.

Окремо розглядаються зелені конструкції як біотехнологічний засіб, що поєднує живі рослини з будівельними конструкціями. При правильному виконанні та дотримання технології цей засіб має комплексний позитивний вплив на саму будівлю, на людину та на довкілля. Серед іншого, зелені конструкції знижують енергоспоживання будівлі на опалення та кондиціювання повітря, зменшують навантагу на системи управління міськими стічними водами, пом'якшують ефект міського теплового острова, позитивно впливають на здоров'я людей, як тілесне, так і ментальне, створюють додаткові площі для відпочинку, ведення бізнесу та соціальних контактів тощо.

У навчальному посібнику наведено унікальні авторські результати та напрацювання. Зокрема, результати лабораторних досліджень теплотехнічних і газообмінних характеристик рослинних шарів зелених конструкцій, наведених у книзі, було отримано вперше. Також у книзі зазначено фітонцидні властивості окремих рослин, які були виявлені вперше. Також наведено загальновизнані методики непрямого визначення фітонцидного ефекту різних рослин.

У створенні даного посібника брали участь Тетяна Ткаченко (загальне керівництво, концептуалізація, розділи 1-8 крім зазначеного далі), Віктор Мілейковський (вступ, розділи 1.1, 1.3: від С. 18 останній абзац до С. 21 перший абзац, рис. 1.3 та 1.5, формули (2) і (3), С. 89 два останні абзаци, рис. 5.1, С. 90 останній абзац), Марина Кравченко (розділ 8.1). Юрій Цюрюпа (розділ 6.2)

1. ЗЕЛЕНЕ БУДІВНИЦТВО ЯК ПЕРСПЕКТИВНА СТРАТЕГІЯ БУДІВНИЦТВА, ДРУЖНЬОГО ДО ДОВКІЛЛЯ. СТАНДАРТИ ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА

1.1. Поняття «енергоефективність» і «енергозбереження»

Енергоефективність — ефективне (раціональне) використання енергетичних ресурсів. Використання меншої кількості енергії для забезпечення того ж рівня надання послуг (зокрема, підтримання комфортного мікроклімату) або технологічних процесів на виробництві. Ця галузь знань перебуває на стику інженерії, економіки, юриспруденції і соціології.

Енергозбереження стосується зменшення споживання енергії за рахунок зниження рівня надання послуг або обсягу виробництва. Енергозбереження відрізняється від енергоефективності, яке стосується використання меншої кількості енергії за ту саму послугу або обсяг виробництва.^[1] Наприклад, менше користуватись авто – енергозбереження, а пересісти на авто з меншою витратою палива, або на електромобіль — енергоефективність. Але і енергозбереження, і енергоефективність є техніками зменшення використання енергії.

Стосовно формування мікроклімату та гігієни, енергозбереження в більшості випадків є ілюзорним. Наприклад, перехід з оптимальних на допустимі умови мікроклімату знижує продуктивність праці орієнтовно на 40 % на початку зміни та на 60 % наприкінці. Це означає, що на ту ж саму роботу з урахуванням більш повільного прийняття рішень, виправлення більшої кількості помилок тощо прийдеться витратити вдвічі більше часу. Якщо при цьому системи формування мікроклімату матимуть навіть на 30 % менше потужності, то на виконання тієї ж роботи буде витрачено в $(1 - 0,3) \cdot 2 = 1,4$ рази більше енергії лише на підтримання параметрів повітря. А якщо врахувати приблизно постійні в часі витрати енергії на освітлення, водопостачання, приготування кави/чаю тощо, то витрати енергії на ту ж роботу можуть подвоїтися.

Особливо небезпечним енергозбереження на формуванні мікроклімату стає в холодний період року. Це призводить до підвищення захворюваності. З одного боку, зростає споживання одного з найбільш енергомістких продуктів – ліків, – що повністю нівелює ефект

енергозбереження. З іншого боку, лікарняні листки означають перерозподіл навантаги хворих працівників на здорових. Спочатку це призводить до ще більшого уповільнення виконання робіт і зростання перевитрати енергії. У подальшому спрацьовує ефект доміно. Перевантажені працівники в невідповідних мікрокліматичних умовах все частіше хворіють, що породжує ще більшу навантагу на тих, хто лишився здоровим – і так до критичного кадрового голоду.

Приклад з практики. Замовник звернувся зі скаргами на дуже високу оплату за електроенергію в будинку. Огляд виявив наявність великої кількості (в кожному приміщенні) плазмових панелей розмірами 120 дюймів і більше, які працюють практично постійно. Споживання кожної панелі в режимі максимальної насиченості кольорів перевищує 1,7 кВт. Було запропоновано перейти на світлодіодні або рідкокристалічні зі світлодіодним освітленням панелі, які споживають менше 170 Вт. Проте замовник відмовився, через значно тьмяніші кольори (тоді технологій OLED або QLED/QNED ще не існувало). Якщо замінити екрани, то можна було отримати подвійний ефект – зменшення енергоспоживання понад 10 разів і зменшення виснаження зору та нервової системи від перегляду фільмів у занадто яскравих кольорах. Зазначений приклад відповідає визначенню енергозбереження, адже знижується якість кольорів зображення. Проте він показує доцільність енергозбереження в разі надмірних запитів, якими є занадто яскраві кольори зображення.

Тут ми підходимо до важливої умови, за якої розвиток енергоефективності та енергозбереження стає можливим. Ще з часів давнього світу відомі приклади надмірного споживацтва серед можновладців, зокрема бенкети, на яких їжа споживалася нескінченно, а проблему надлишків спожитої їжі вирішували за допомогою полін. До початку ХХ століття остаточно сформувалася «концепція» споживацького суспільства, де людина варта стільки, скільки може спожити. Такий підхід був вигідний промисловцям, які змогли отримувати надприбутки від гіперспоживання. Проте у такому суспільстві промисловці самі вимушені витратити надмірні кошти, щоб відповідати «високим» стандартам споживацтва. В Україну цей підхід прийшов у 90-х роках ХХ століття під час розвалу планової радянської економіки та переходу до ринкових відносин.

Споживацтво є вкрай небезпечним явищем. Надмірне споживання призводить до збільшення обсягів виробництва з відповідним виснаженням природних ресурсів і використання значно більшого обсягу енергії, ніж це потрібно, з відповідними викидами забрудників до довкілля. З іншого боку, таке суспільство продукує збільшені обсяги відходів, що призводить до забруднення довкілля. І третім боком споживацтва є зниження культури виробництва, мінімізація умов праці та порушення правил безпеки через лавинне збільшення його обсягів. Яскравим прикладом є індустрія швидкої моди, на яку працюють люди в небезпечних умовах через зношені цехи та обладнання. Також яскравим прикладом є будівництво багатоповерхових великих індивідуальних житлових будинків, характерних для 90-х років ХХ століття, що призводить до невиправданих витрат енергії на опалення та охолодження.

На противагу цього виснажливого для людей і довкілля підходу створено концепцію суспільства сталого розвитку, що передбачає турботу про майбутні покоління як основну цінність. Скорочення споживання до розумних меж, енергоефективність і дружність до довкілля стають основними вимогами до всіх галузей та побуту, зокрема і до будівництва на всіх етапах життєвого циклу. Для населення це значне скорочення комунальних витрат, для країни – економія ресурсів, підвищення продуктивності промисловості і конкурентоздатності, для довкілля – обмеження викиду забрудників (зокрема парникових газів) до довкілля, для енергетичних компаній – зниження витрат на паливо й необґрунтованих витрат на будівництво.

Про енергоефективність будівництва людство дбало ще з давніх-давен на тому рівні, який дозволяли тогочасні технології. Поштовхом до цього ставала нестача дров або достатньо важкий спосіб їхнього одержання вручну. Так ще до появи писемності з'явилися деренові покриття, які взимку додатково утеплювалися сухим дереном, а влітку додатково охолоджувалися завдяки випаровуванню рослинами. Також слід звернути увагу на достатньо прості геометричні форми будівель у холодних широтах, що зменшувало тепловтрати, на противагу колоніальному архітектурному стилеві, який сформувався в широтах, у яких опалення непотрібне.

Остаточно перехід на енергоефективні будинки розпочався в 1970-х роках, після того, як різко почали зростати ціни на нафту. У відповідь, дослідники почали шукати енергоефективніші процеси. В 1990-х роках утворилося багато різних організацій, з метою підтримання зелених будівель, а деякі були призначені для інформування споживачів, для того, щоб вони ще більше могли володіти інформацією та переходити на зелені будинки. Міжнародна рада з питань класифікації енергоефективних будівель та Національна асоціація житлово-будівельних фірм розпочали збір та обробку документів для того, щоб створити «стандарт будівництва зеленого дому».

Закон про енергетичну політику в США був прийнятий у 2005 році. Він надав можливість отримати податкові пільги для домовласників, які зможуть показати їхнє використання енергоефективних змін, таких як сонячні батареї та інші побутові прилади, які працюють за допомогою сонячної енергії, в їхніх будинках.

У березні 2007 року, банк Нової Зеландії «Вестпек» став «першим банком Нової Зеландії, який пропонує кредит на зелений будинок». І такі приклади стимулювання заощадження енергії стають масовими практично в усіх країнах світу.

1.2. Концепція та стандарти зеленого будівництва

Проблему створення екологічно безпечних будівель вирішує «зелене будівництво», яке може розглядатися сьогодні як один з механізмів підтримання техногенної безпеки держави. Це – більш широке поняття, ніж енергоефективність. «Зелене будівництво» – це комплексні знання, які структуровані стандартами проектування та будівництва і спрямовані на дружність будівництва до людини та довкілля на всіх етапах життєвого циклу. Рівень його розвитку безпосередньо залежить від досягнень науки та технології, від активності інженерів і від усвідомлення суспільством екологічних принципів. Зелені будівлі забезпечують високу якість будівництва при мінімізації витрат і максимізації комфорту. Реалізація зелених проєктів сприяє сталому розвитку, що обумовлює їхню актуальність. І хоча зелені технології є новим і непростим напрямком прогресу, вони демонструють високу результативність.

Зелені стандарти покликані прискорити перехід від традиційного проектування та будівництва до сталого, яке відповідає принципам:

- безпека та сприятливі здорові умови життєдіяльності людини;
- обмеження негативного впливу на навколишнє середовище;
- урахування інтересів майбутніх поколінь.

Роль «зеленого будівництва» у концепції сталого розвитку сучасних міст і територій показана на рис. 1.1. «Зелене будівництво» передбачає різні напрямки діяльності: розроблення зелених стандартів, використання нових технологій, архітектурно-будівельні рішення тощо.

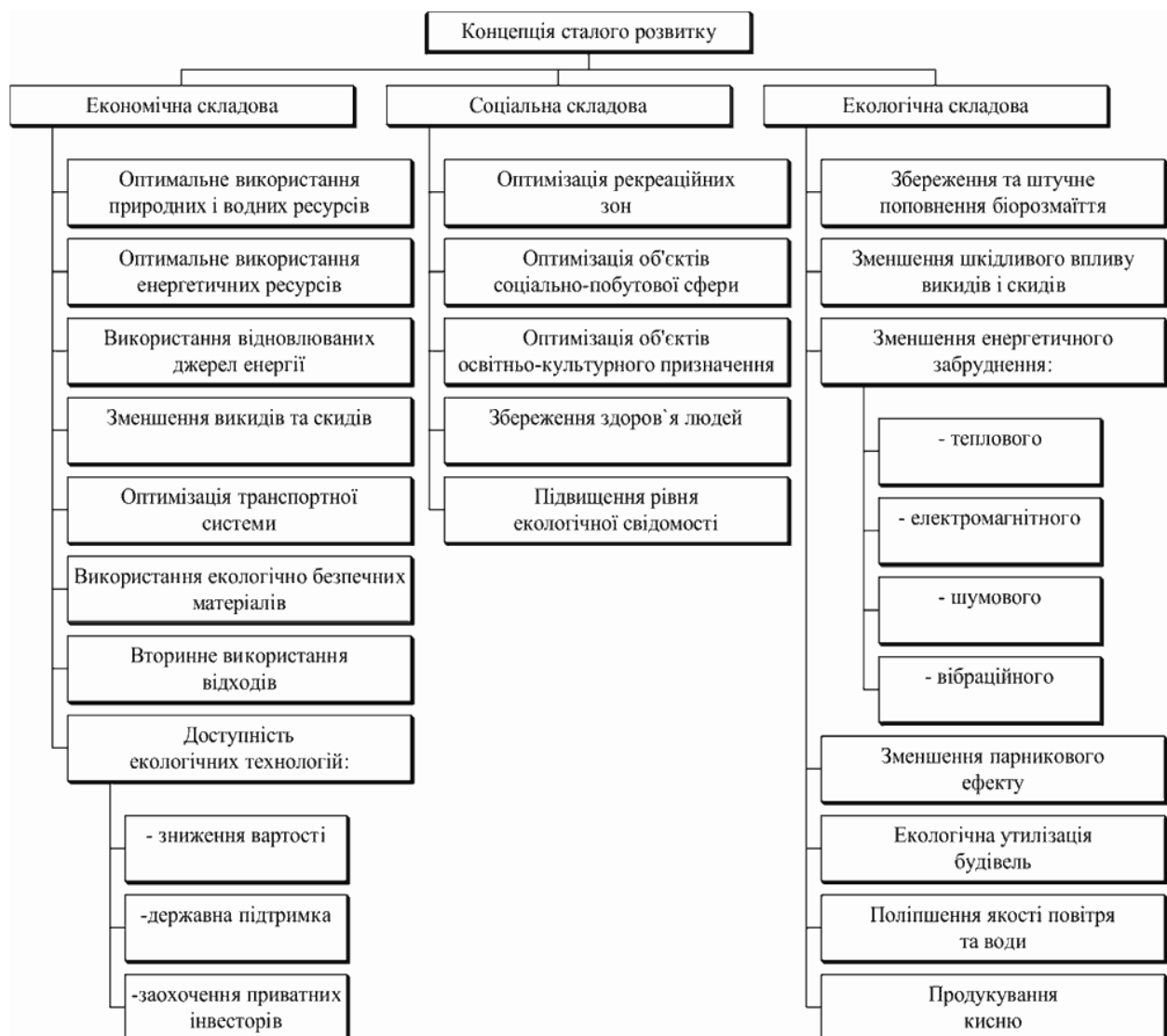


Рис. 1.1. Схема ролі зеленого будівництва у концепції сталого розвитку

Концепція зеленого будівництва охоплює всі етапи життєвого циклу об'єкта (рис. 1.2) від видобутку сировини до управління відходами після демонтування.

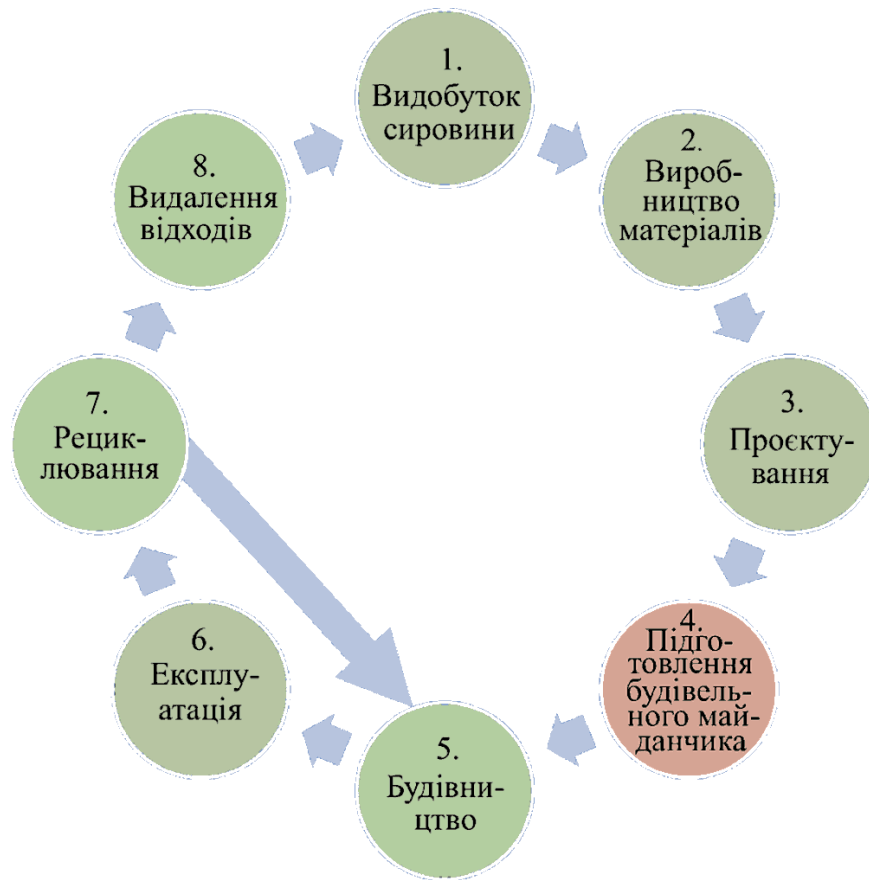


Рис. 1.2. Схема життєвого циклу будівлі

Усі стандарти зеленого будівництва є добровільними. Замовник або забудовник вирішує рівень відповідності будівлі концепції зеленого будівництва. Найбільш відомими стандартами є BREEAM (Сполучене Королівство) [2], LEED (США) [3] та DGNB (Німеччина). В Україні у 2025 р. прийнятого стандарт, роботу над яким розпочато ще у 2017 році. На стадії проекту він маркувався як СОУ OEM 08.002.41.032:20XX [4]. У 2025 році задля спрощення розуміння прийнято рішення щодо перемаркування всіх стандартів екологічної сертифікації на СЕМ UA (Стандарт Екологічного Маркування України). Тому остаточна редакція має шифр і назву СЕМ UA.1O156.41.032-2025. «Система екологічної сертифікації та маркування згідно з ДСТУ ISO 14024:2018 (ISO 14024:2018, IDT). Громадські будівлі. Екологічні критерії та метод оцінювання життєвого

циклу.» Це лише початок, найближчим часом розроблятимуться стандарти для інших видів будівель.

Стандарт BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) розроблено у Сполученому Королівстві Building Research Establishment. Він знаходиться у відкритому доступі [1], але потрібна реєстрація. Він має окремі томи, що нормують:

- нове будівництво;
- реконструкцію;
- експлуатацію
- співтовариства

При новому будівництві за цим стандартом оцінюють:

- управління будівництвом;
- здоров'я і комфорт;
- енергоефективність;
- транспорт;
- водоспоживання;
- матеріали;
- управління відходами;
- використання земель і екологічність;
- забруднення;
- інновації.

Зелене будівництво починається з управління (розділ Man01), а саме нормуються:

- взаємодія з зацікавленими особами:
 - доведення до відома чіткого опису сталого розвитку;
 - розподіл між зацікавленими особами ролей, обов'язків та внесків зацікавлених осіб;
 - вимоги кінцевого споживача, цілі і стратегії, вимоги та обмеження ризику, законодавче підґрунтя, фінансування тощо;
 - вплив процесу взаємодії на проєкт;
- призначення Лідера (Champion) зі сталого розвитку:
 - відповідатиме за реалізацію сталого проєкту

Далі йде оцінювання життєвого циклу (розділ Man02). Визначаються цінності об'єкта від будівництва до утилізації на рівні об'єкта та всіх його компонентів.

Одна з найбільших проблем України при сертифікації – це культура будівництва (Man03). При цьому комплексно обмежують усі фактори, що негативно впливають як на життя людей довкола будівництва, так і на довкілля. Зокрема, нормують:

- виділення диму та пилу;
- продукування шуму й вібрацій;
- маршрути руху важкого транспорту;
- використання ресурсів (електроенергія, вода тощо).

Головна умова – сприяння комфорту людей довкола будівельного майданчика.

У будівлі, як пріоритетна вимога, нормується рівень комфорту, а саме:

- зоровий комфорт;
- якість внутрішнього повітря;
- тепловий комфорт;
- акустичний комфорт;
- доступність (інклюзивність);
- вплив природних небезпек;
- утворення зовнішнього приватного простору для забезпечення спілкування людей;
- якість води та доступ до питної води.

Далі під час експлуатації нормується споживання енергії та інших ресурсів, а також викиди вуглекислого газу. Передбачено енергомоніторинг. Стандарт охоплює не лише будівельні конструкції, але й обладнання.

Серед інших показників:

- доступність транспорту;
- доступність інфраструктури;
- доступність водних об'єктів;
- хімічне, світлова та шумове забруднення довкілля.

Також заохочується впровадження інновацій, що не лише дозволяє підвищити рівень комфорту та екологічності, але й стимулює науково-технічну діяльність

В Україні є сертифіковані за BREEAM об'єкти, зокрема ЖК Діаданс у Києві (<https://diadans.ua/>)

Стандарт LEED (на момент написання версія 5) – Leadership in Energy and Environmental Design розроблений громадською організацією «Рада зеленого будівництва Сполучених Штатів Америки» [3] і стосується:

- нового будівництва;
- реконструкції;
- комерційних інтер'єрів;
- співтовариства.

При новому будівництві за цим стандартом оцінюють:

- інтеграційний процес;
- розміщення та транспорт;
- сталість будівельного майданчика;
- ефективність водоспоживання;
- енергія та захист атмосфери;
- матеріали та ресурси;
- якість внутрішнього середовища;
- інновації;
- регіональний пріоритет.

Оцінюються:

- захист ландшафтів;
- захист сільськогосподарських земель;
- захист дикої природи;
- підтримання локальної економіки;
- пішохідна доступність, фізична активність;
- умови для низьковуглецевого транспорту.

Захист та відновлення середовища проживання:

- захист наявних ландшафтів;
- відновлення порушених територій;
- надання середовища проживання;
- підтримання біорізноманіття.

Відкриті простори повинні бути призначені для забезпечення:

- взаємодії людини з довкіллям;
- соціальної взаємодії;
- пасивного відпочинку;
- занять фізкультурою.

Правило: Лишити й захистити 40 % майданчика, відновити 20...40 % (проти 15...25 у версії 4) порушеної території, відновити порушений при попередніх (за наявності) та даному будівництві ґрунт і посадити мінімум 10 (проти шести в попередній версії) видів, які є характерні або адаптовані до місцевості, мінімум двох типів (дерева, кущі та ґрунтопокривний). Відвести частину території під сад для запилювачів – мінімум 10 м² (проти трьох у минулій версії) характерних для даної території квітів.

Формула боротьби з ефектом теплового острова:

$$\frac{\text{Площа заходів поза дахами}}{0,5} + \frac{\text{Площа світловідбивних дахів}}{0,75} + \frac{\text{Площа зелених покрівель}}{0,75} \geq \frac{\text{загальна площа}}{\text{дорожного покриття}} + \frac{\text{загальна площа}}{\text{покрівель}} \quad (1)$$

СЕМ UA.10156.41.032-2025 «Система екологічної сертифікації та маркування згідно з ДСТУ ISO 14024:2018 (ISO 14024:2018, IDT). Громадські будівлі. Екологічні критерії та метод оцінювання життєвого циклу на етапах проектування та будівництва» є унікальним вітчизняним стандартом, що відкриває епоху власної української зеленої стандартизації будівництва і випереджує світові аналоги завдяки таким перевагам:

- інтегрування внутрішнього і зовнішнього озеленення будівлі та прилеглої території в проєкт задля вирішення технічних, екологічних і соціальних задач;
- елементи забезпечення доступності об'єкта можна швидко деактивувати на випадок бойових дій;
- резервування систем життєзабезпечення на випадок надзвичайних ситуацій;
- оцінювання за функцією бажаності Харрінгтона передбачає не додавання, а множення балів для кожного розділу в межах від нуля до одиниці, що внеможливорює компенсування суттєвого недовиконання рекомендацій одного розділу сумлінним виконанням інших, а загальна оцінка не може бути вищою, ніж оцінка за кожним розділом окремо.

1.3. Зелені конструкції як важливий елемент зеленого будівництва

Зелені конструкції – це біотехнологічні засоби, що поєднують будівельні конструкції та живі рослини. На сьогодні розроблено різноманітні варіанти зелених конструкцій, які умовно можна поділити на три класи:

- горизонтальні системи озеленення;
- вертикальні системи озеленення;
- кінетичне (мобільне) озеленення.

Зелені конструкції дозволяють вирішувати різноманітні задачі з різноманітних галузей архітектури/дизайну техніки, реабілітології, психології тощо, які умовно можна поділити на три групи:

- поліпшення стану навколишнього середовища;
- енергоефективність;
- турбота про майбутні покоління.

Вони відіграють важливу роль [1] у зеленому будівництві. Зелені конструкції створюють умови для екорегуляції – психологічної техніки долання стресу взаємодією з живою природою.

Комплексні дослідження технічних ефектів від рослинних шарів, проведені у КНУБА, дозволяють вийти на новий рівень проєктування таких конструкцій.

Додаткове утеплення будівель рослинними шарами функціонує за тим же принципом, що й одяг або будівельна теплоізоляція – знерухомлює в шарі повітря, що є найкращим з доступних у природному середовищі теплоізоляторів (рис. 1.3).

Наприклад [1], у теплий період року трава *Lolium perenne* створює додатковий теплоізоляційний бар'єр (рис. 1.4). Попри скинуте листя, рослинний шар *Parthenocissus quinquefolia* має суттєвий вплив на опір теплопередачі стін [5], що підтверджено математичним моделюванням та експериментом (рис. 1.5).

Для рослинного шару завтовшки δ , мм, отримано [5] опір теплопередачі R_q , $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{Вт}$, при швидкості вітру v , м/с:

- для атаки вітру нормально до стіни

$$R_q = (\delta/260) \cdot (420 \cdot v + 2,97)^{-0,3147}; \quad (2)$$

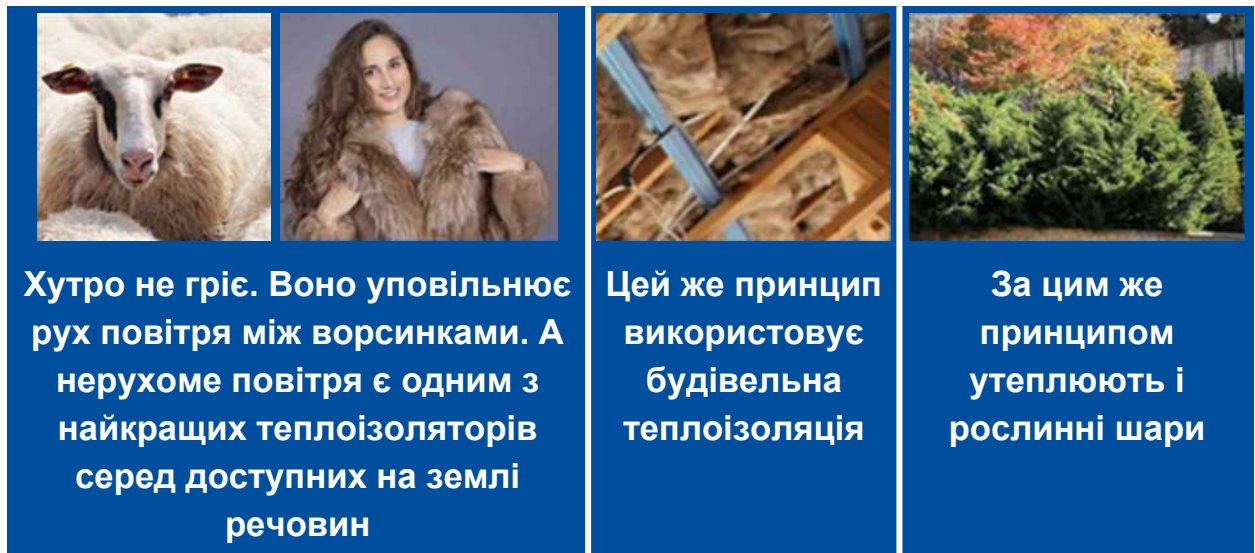
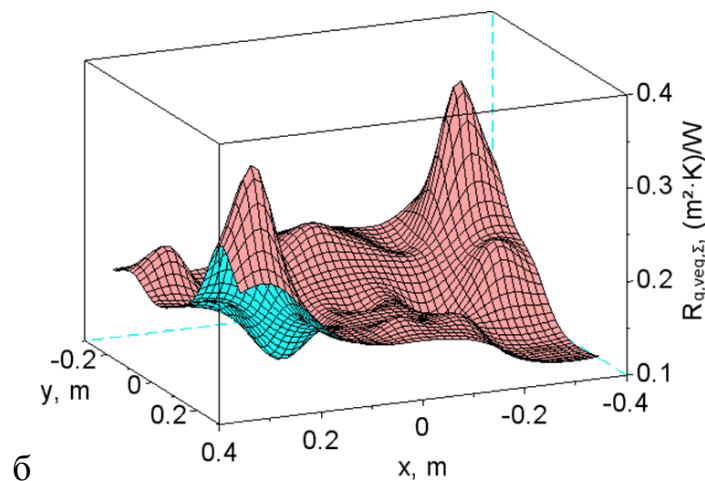


Рис. 1.3. Фізичні принципи додаткового утеплення рослинами



а



б

Рис. 1.4. Дослідження опору теплопередачі *Lolium perenne*: а – дослід в аеродинамічній трубі з травою заввишки 40 мм; б – результати досліджень



Рис. 1.5 Дослідження опору теплопередачі рослинного шару *Parthenocissus quinquefolia* без листя:
 а, б – світлини рослинного шару для побудови тривимірної моделі; в – тривимірна модель для математичного моделювання за k-ε моделлю турбулентності; г – експериментальні дослідження у КНУБА: 1 – поверхня стіни; 2 – рослинний шар; 3 – термометр температури повітря під рослинним шаром; 4 – датчик теплового потоку; 5 – вимірювач теплового потоку; термометр температури навколишнього повітря розміщено позаду

- для атаки вітру під кутом 45°

$$R_q = (\delta/260) \cdot (7,52 \cdot v + 1,453)^{-0,9147}. \quad (3)$$

Крім утеплення рослини мають охолоджувальний ефект [1], що визначається як різниця температури поза межами та під рослинним шаром $\Delta\theta$, К. Це пов'язано з випаровуванням ними вологи крізь продиhi (рис. 1.6) в листі (транспірація) або з субстрату та продиhi в листі (евапотранспірація). Випаровування води потребує енергії, яка забирається з довкілля зі зниженням температури. У кондиціюванні повітря зниження температури повітря при випаровуванні називається «пряме випарне охолодження». При цьому явна теплота (енергія хаотичного руху молекул) перетворюється на приховану (теплота пароутворення пари в складі повітря).



Рис. 1.6. Відкритий продиhi у листі, зображення під мікроскопом

Експериментально визначений охолоджувальний ефект трав'яного шару *Lolium perenne* показано на рис. 1.7. Видно, що відсутність косіння значно знижує його в середині та з боку атаки вітру, адже вітер замість винесення вивільненої водяної пари пригинає траву та не дає парі виходити з простору між травинками.

Газообмін в рослинах кисень-вуглекислий газ досліджено в спеціальній газообмінній камері в КНУБА (рис. 1.8, 1.9). Для оцінювання впливу різних джерел світла введено нову одиницю вимірювання освітленості E – фітолюкс, зважену не за чутливістю людського ока, а за типовою кривою ефективності фотосинтезу рослин суходолу. Вона чисельно рівна люксу для спектру сонячного світла на рівні моря. Поглинання вуглекислого газу ΔG_{CO_2} , мкг/с, залежить також від мольної частки вуглекислого газу в зоні рослин Y_{CO_2} , ppm.

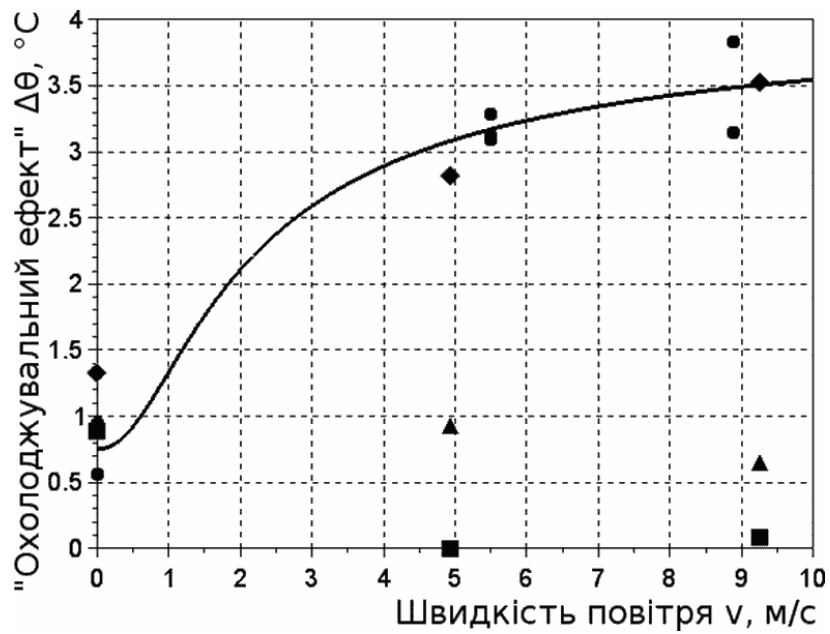


Рис. 1.7 – Залежність охолоджувального ефекту від швидкості повітря:
 ● – висота трави 40 і 123 мм, різні точки; ▲ – висота трави 399 мм, навколо центру моделі; ■ – висота трави 399 мм, кут з навітряного боку; ◆ - висота трави 399 мм, кут з завітряного боку



Рис. 1.8. Дослідження газообміну в рослинах в газообмінній камері КНУБА

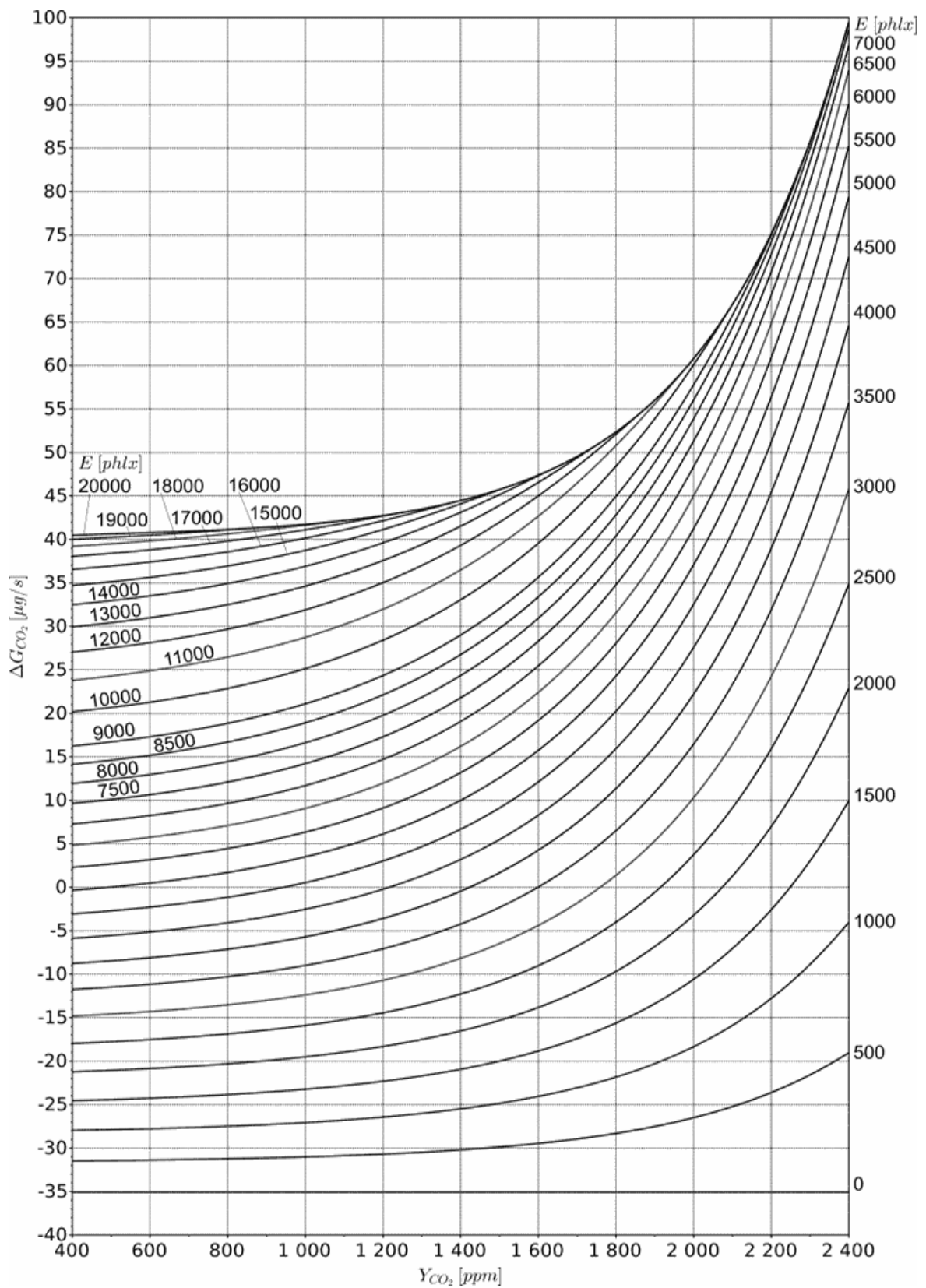


Рис. 1.9. Графік для визначення поглинання вуглекислого газу ΔG_{CO_2} мкг/с, залежно від мольної частки вуглекислого газу в зоні рослин Y_{CO_2} та освітленості E , фтлк, для *Chlorophytum comosum*

Головною умовою функціонування зелених конструкцій є дотримання будівельних норм і правил. При висадженні рослин у ґрунт (вертикальне або вертикально-горизонтальне озеленення) відстань від місця висадження до фундаменту має бути не менше 0,5 м. В іншому випадку корені пошкоджують фундамент та гідроізоляцію. У результаті волога потраплятиме в конструкцію, що і є основною причиною всіх скарг на грибок і пошкодження оздоблення.

При правильному виконанні відносна вологість повітря під рослинним шаром за дослідними даними відрізняється від довкілля менше ніж на 1...3 %, що не може спровокувати розвиток грибків і плісняви. Ці зелені конструкції можуть бути створені після введення споруди в експлуатацію самостійно з мінімальними вкладеннями коштів або, у разі розмноження диких в'юнких рослин, безкоштовно.

Дуже серйозні негативні наслідки спричиняються помилками конструкції горизонтальних систем озеленення. Зокрема відсутність протикореневого захисту призводить до пошкодження теплоізоляції та носійних конструкцій коренями. А заощадження на дренажі перетворило відомий китайський житловий будинок на осередок розмноження комарів (<https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3102773-kitajskij-proekt-zitla-z-lisom-na-balkoni-zgubili-komari.html>). Приклад конструкції зеленої покрівлі з вітчизняних матеріалів наведено на рис. 1.10.

Зелені конструкції створюють позитивний вплив на довкілля шляхом підтримання біорізноманіття та поглинання рослинами забрудників. На підставі авторських досліджень створено проєкт національного нормативного документа прДСТУ ХХХХ:202Х «Зелені конструкції. Методи визначення теплотехнічних та газообмінних характеристик рослинних шарів». Це – перший у світі стандарт щодо випробування характеристик тепло- та газообмінних характеристик рослинних шарів у лабораторних умовах. На момент написання рукопису він знаходиться на редагуванні в ДП УкрНДНЦ, прийняття планується у 2026 р.

Таким чином, зелені конструкції створюють складний і різноплановий позитивний вплив на людину, будівлю та довкілля. Більш детально це питання розглянуто в окремому розділі 8.

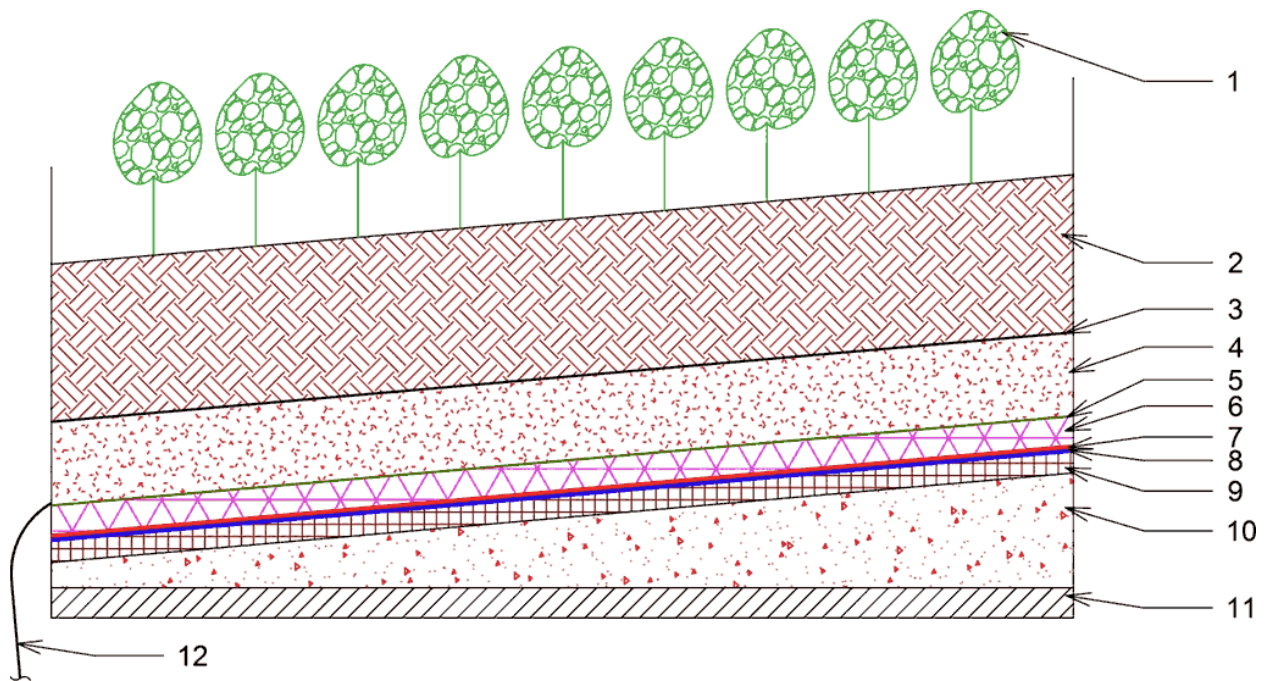


Рис. 1.10. Інверсійна «зелена покрівля» інтенсивного типу з вітчизняних матеріалів:

- 1 – рослинний шар; 2 – субстрат; 3 – фільтрувальний шар з термоскріпленого геотекстилю; 4 – дренаж з керамзиту; 5 – бар’єр для коренів зі склополотна; 6 – утеплювач з екструзійного пінополістиролу; 7 – пароізоляція (пароізоляційна плівка УкрСпан); 8 – гідроізоляція еврорубероїд; 9 – армована цементно-піщана стяжка; 10 – похилоутворювальний шар з керамзиту; 11 – несуча основа – залізобетонна плита перекриття; 12 – водозлив

Висновки

Зелене будівництво є концепцією, яка забезпечує сталість будівельної галузі, безпечні та здорові умови життєдіяльності людини, обмеження негативного впливу (а також певний позитивний вплив) на довкілля та врахування інтересів майбутніх поколінь. Зелені стандарти на сьогодні є важливим механізмом, який регулює процес зеленого будівництва. Вони є добровільними, однак з часом вони набудуть все більшого поширення. На сьогодні будь-яка компанія, яка хоче закріпитися на будівельному ринку, має будувати енергоефективно і з дотриманням зелених стандартів.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняттям «енергоефективність» та «енергозбереження». У чому полягає принципова різниця між ними? За яких умов енергозбереження можна вважати виправданим і раціональним?
2. Чому енергозбереження у сфері формування мікроклімату може бути ілюзорним? Як погіршення параметрів мікроклімату впливає на продуктивність праці та сумарні витрати енергії?
3. Чому споживацтво вважається небезпечним явищем для людини та довкілля? Які основні негативні наслідки надмірного споживання?
4. У чому полягає поняття суспільства сталого розвитку? Які переваги сталого розвитку отримують населення, держава, довкілля та енергетичні компанії?
5. Чому будівельна галузь відіграє ключову роль у реалізації концепції сталого розвитку?
6. Які приклади енергоефективних рішень використовувалися в давні часи?
7. Дайте визначення поняттю «зелене будівництво». Які принципи лежать в основі зеленого будівництва?
8. Наведіть приклади фінансових механізмів стимулювання зеленого будівництва.
9. Яку роль відіграє зелене будівництво в концепції сталого розвитку міст? Які етапи життєвого циклу охоплює концепція зеленого будівництва?
10. Стандарти зеленого будівництва є обов'язковими, добровільними чи існують обидва види стандартів?
11. Назвіть найвідоміші міжнародні стандарти зеленого будівництва та країни їх походження.
12. Який національний стандарт зеленого будівництва прийнято в Україні у 2025 році? У чому полягає його особливість і новизна? Які типи будівель охоплено?
13. Які основні групи критеріїв оцінюються при новому будівництві за BREEAM? Яка роль Лідера зі сталого розвитку?
14. Які проблеми культури будівництва є актуальними для України?

15. Які категорії оцінювання передбачає стандарт LEED для нового будівництва? Які ключові принципи закладено в стандарт?
16. Дайте визначення поняттю «зелені конструкції». Які є основні типи зелених конструкцій?
17. Які задачі вирішують зелені конструкції в контексті сталого розвитку? Що таке екорегуляція і яку роль у ній відіграють зелені конструкції?
18. Який фізичний принцип лежить в основі теплоізоляційного ефекту рослинних шарів? Що спільного з принципом теплозахисту хутра, одягу й будівельної теплоізоляції
19. У чому полягає охолоджувальний ефект рослин? Поясніть різницю між транспірацією та евапотранспірацією.
20. Які фактори впливають на поглинання рослинами вуглекислого газу?
21. Які вимоги необхідно дотримувати при вертикальному озелененні?
22. Які помилки найчастіше допускають при проектуванні зелених конструкцій? Які негативні наслідки може мати відсутність дренажу?
23. Який вплив зелені конструкції мають на біорізноманіття та якість довкілля?

Рекомендована література

1. Ткаченко Т. Науково-методологічні основи підвищення рівня екологічної безпеки урбоценозів шляхом створення енергоефективних технологій «зеленого» будівництва : дис. д.т.н. : спец. 21.06.01 : дата захисту 2018-12-26. Київ: КНУБА, 2018. 386 с. URL: <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0519U001004/>
2. An introduction to BREEAM. URL: <https://breeam.com/standards/>
3. LEED V5. URL: <https://www.usgbc.org/leed/v5>
4. СОУ OEM 08.002.41.032. Система екологічної сертифікації та маркування згідно з ДСТУ ISO 14024:2018 (ISO 14024:2018, IDT). Громадські будівлі. Екологічні критерії та метод оцінювання життєвого циклу на етапах проектування та будівництва. Проект, друга редакція. Київ: 2025. URL: <https://livingplanet.org.ua/images/2025/28-02-2025-druga-redakciya.pdf>

5. У Китаї експериментальний проєкт житлового комплексу з "вертикальним лісом" провалився через велику кількість комах, яких привабили рослини. Укрінформ. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3102773-kitajskij-proekt-zitla-z-lisom-na-balkoni-zgubili-komari.html>

2. УРБАНІЗАЦІЯ ТА ЇЇ НЕГАТИВНІ ВПЛИВИ НА КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ

2.1. Історія урбанізації

Слово "город" зустрічається в літописах часів Київської Русі та походить від слова "городити", "захищати". Місто – огорожена укріплена місцевість. Спочатку люди ставили огорожу від хижих звірів, потім – від ворогів. У будь-якому випадку за огорожену територію сходилися люди, щоб уникнути небезпеки. Там вони осідали, і поступово сільське поселення переростало в місто.

Історично виділяють три стадії урбанізації:

- перша стадія – від виникнення перших поселень і до XVIII ст.;
- друга стадія – кінець XVIII – початок XX ст.;
- третя стадія – метрополізація – початок XX ст. і дотепер

Більшість стародавніх міст (рис. 1) були достатньо дружніми до довкілля, зокрема, через:

- обмежений обсяг виробництва;
- відсутність технологій та транспортних засобів з викидами небезпечних речовин;
- вивільнення вуглецю (на опалення, приготування їжі, технології, сільськогосподарськими тваринами) в межах секвестрованого рослинами обсягу без видобутку викопного палива.

Проте такі перенаселені великі міста, як Вавилон, Ніневія або Помпея, вже відчували проблеми довкілля і намагалися вирішити їх зеленими покриттями та терасами. На сьогодні розкопки не підтвердили, але й не спростували наявність Вісячих садів Семіраміди саме у Вавилоні. Проте, в Ніневії та Помпеї (рис. 2) залишки їх було виявлено.

Кінець XVIII ст. ознаменований початком розростання розмірів і кількості міст і пришвидшенням розвитку науки та технологій, широким застосуванням кам'яного будівництва, капітальних фортифікаційних споруд, транспорту тощо. Але міста залишалися відносно дружніми до довкілля. У цей час людина бажає полегшити своє життя і намагається підкорити енергію вогню. У 1799 році в Північному Йоркширі вперше успішно застосовують парову енергію для молотарки.



Рис. 2.1. Пальміра – місто-оаза для відпочинку караванів. Реконструкція (<https://ateist66.livejournal.com/924358.html>)



Рис. 2.2. Залишки саду на даху вілли Містеріас у Помпеї (Lane, Michael R. (1976). *Pride of the Road (The Pictorial Story of Traction Engines)*. New English Library. с. 29. ISBN 0-450-03277-9.)

У 1804 році Річард Тревітік будує перший паровоз, а у 1829 році Джордж Стефенсон будує «Ракету» – паровоз (рис. 3), який стане прототипом для всіх подальших розробок і буде забруднювати довкілля до 1960-х років. У 1863 році П'єр-Еміль Мартен будує першу сталеплавильну піч, названу мартенівською. Таким чином міста ставали все більш обтяжливими для довкілля.

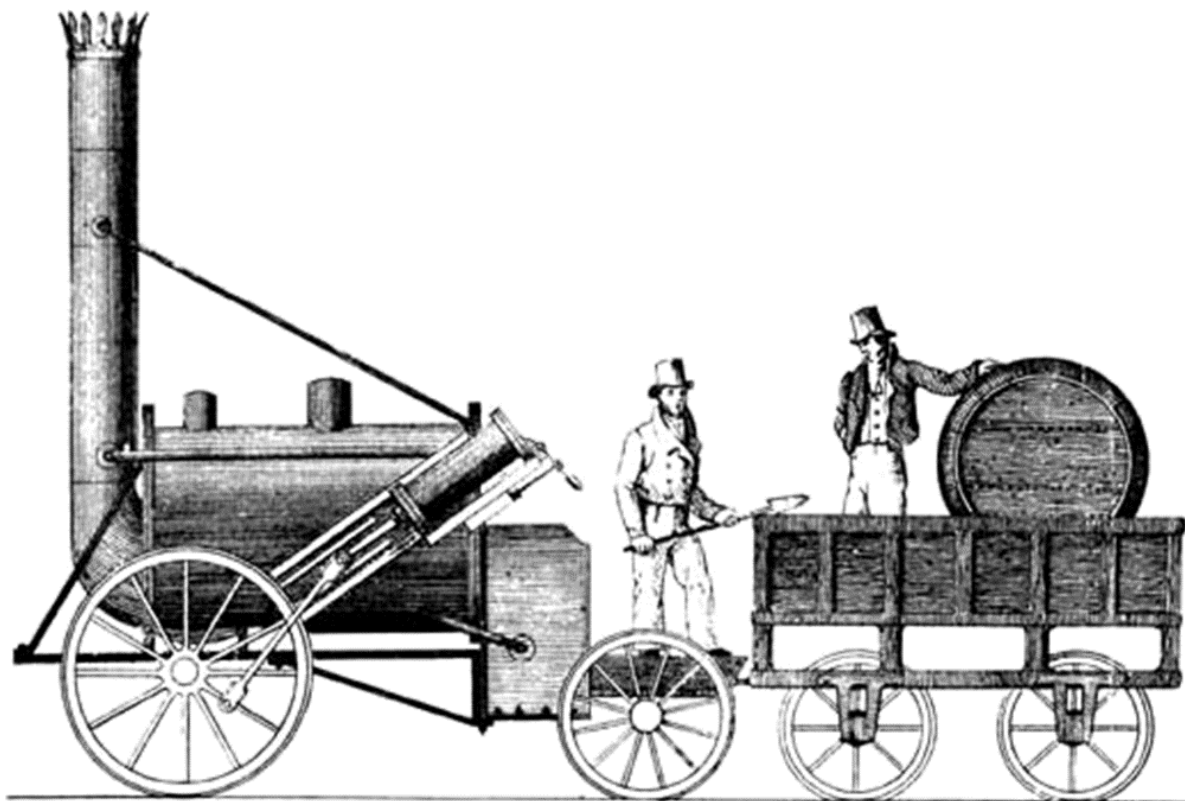


Рис. 2.3. Креслення паровоза «Ракета» – першого паровоза, який став прототипом всіх майбутніх поколінь паровозів

З початку ХХ століття починається метрополізація. З промисловою революцією все більше людей полишають села і переселяються в міста, щоб задовольнити величезні потреби в робочій силі, інженерному та управлінському персоналі. Промисловість необмежено споживає викопне паливо з викидами шкідливих речовин і парникових газів. Міста розростаються в ширину та висоту. Окремі міста, як-от Гонконг, мають забудову 72 поверхи з утворенням тисняв пішоходів на окремих тротуарах.

2.2. Сучасний стан урбанізації

З подальшою урбанізацією відбувається перехід від окремих міст до міських *агломерацій* – просторово та функціонально єдині угруповання поселень міського типу, які створюють спільне екологічне і соціально-економічне середовище. У ЄС прийнято вважати урбанізованою територію таку, де щільність населення переважає 1500 жителів на кв. км, території із щільністю населення від 300 до 1500 жителів на кв. км відносять до так званих урбаністичних кластерів. Агломерації ділять на два види.

Конурбація – агломерація поліцентричного типу, що об'єднує кілька більш-менш рівноправних міст і великих міських територій, що через зростання населення і фізичне розширення, зливаються в одну безперервну міську промислово розвинену область (рис. 4).

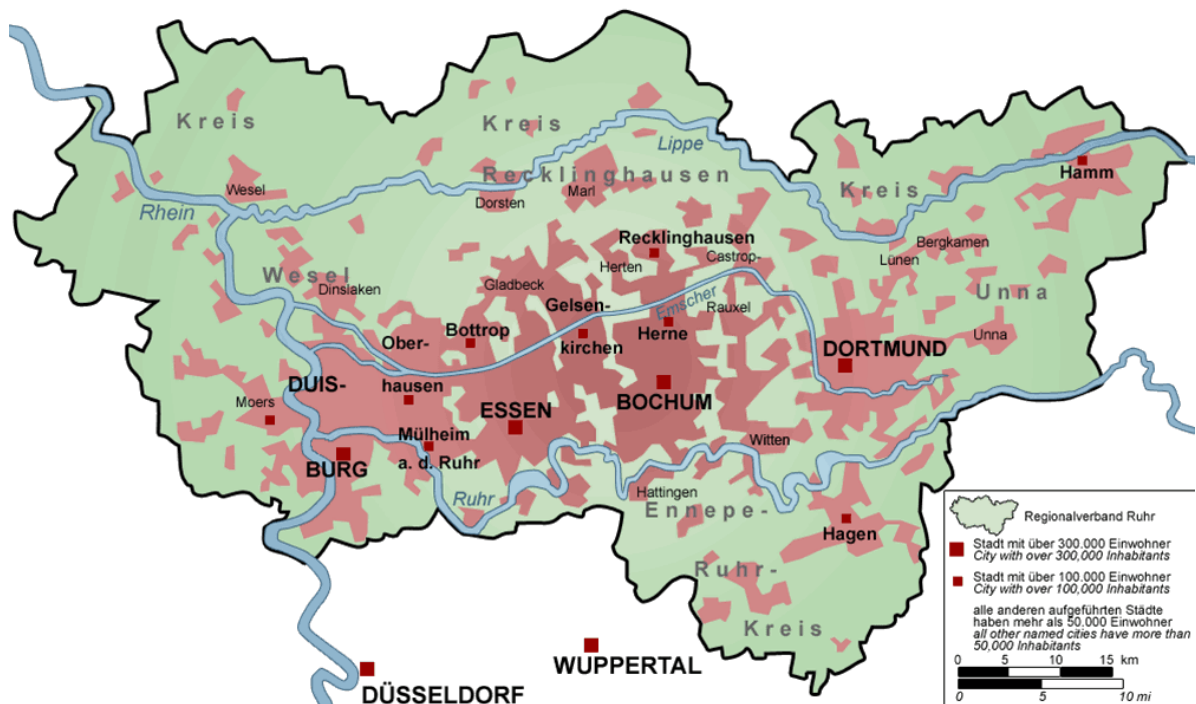


Рис. 2.4. Приклад конурбації – Рурська (Німеччина)
(https://uk.wikipedia.org/wiki/Конурбація#/media/Файл:Ruhr_area-map.png)

Автор: Threedots (Daniel Ullrich), CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24854>)

Мегаполіс – велике місто, яке утворилося внаслідок злиття декількох міських агломерацій. Мегаполіси (рис. 5) порівняно з конурбаціями характеризують якісно інший просторовий рівень розвитку території. Вони займають величезні площі, але не є територією суцільної забудови. Зазвичай під міськими видами користування землею зайнято від 1/5 до 1/4 їх території. Природні ландшафти, сільськогосподарські площі, рекреаційні зони, що присутні в мегаполісі, дробляться міськими видами землекористування і не можуть зберігатися в тривалій перспективі.

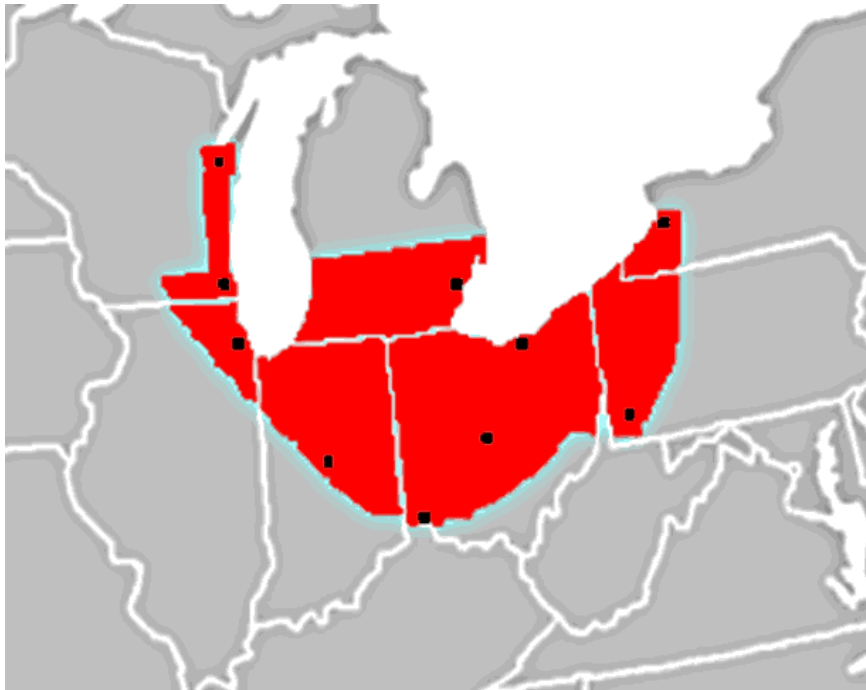
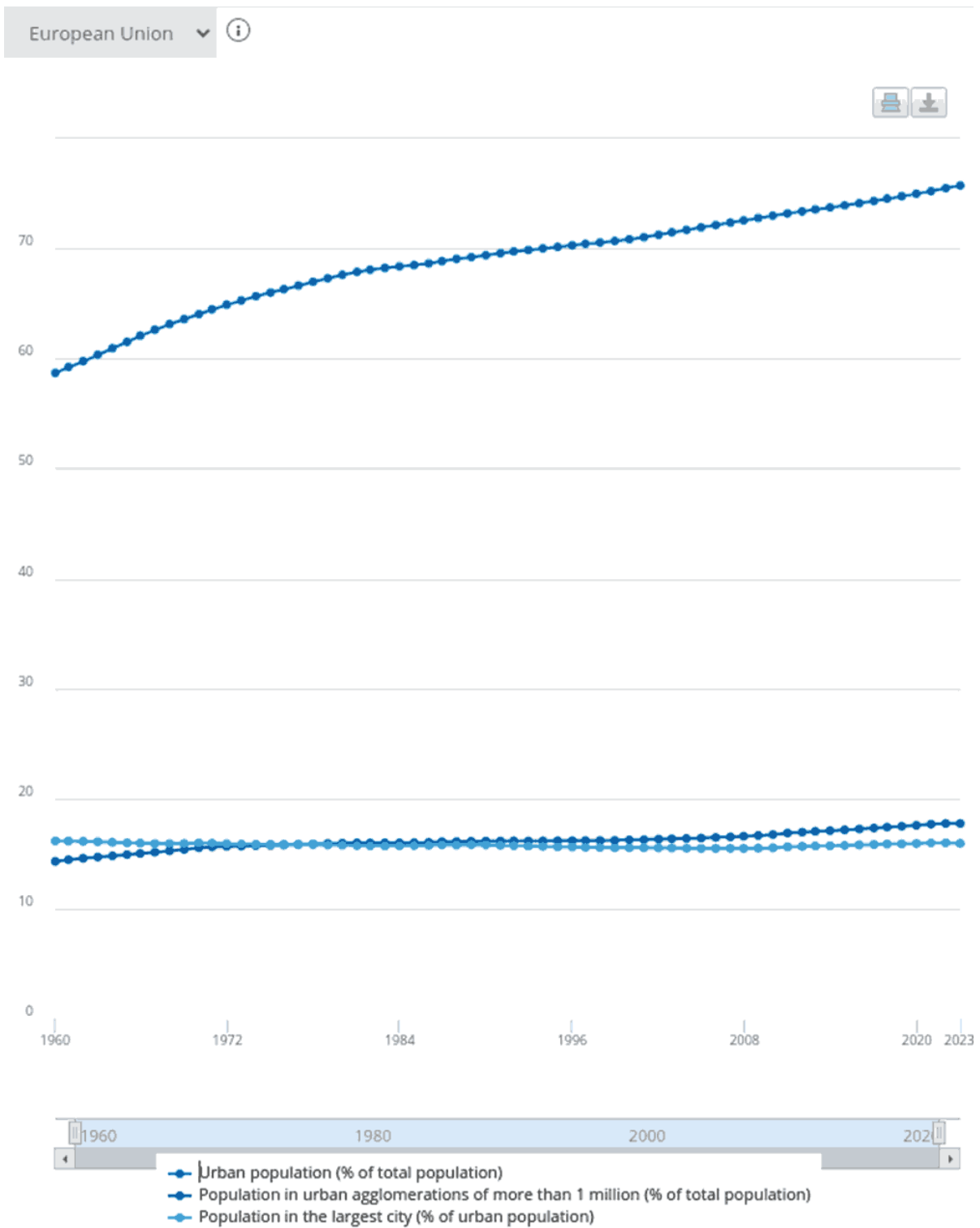


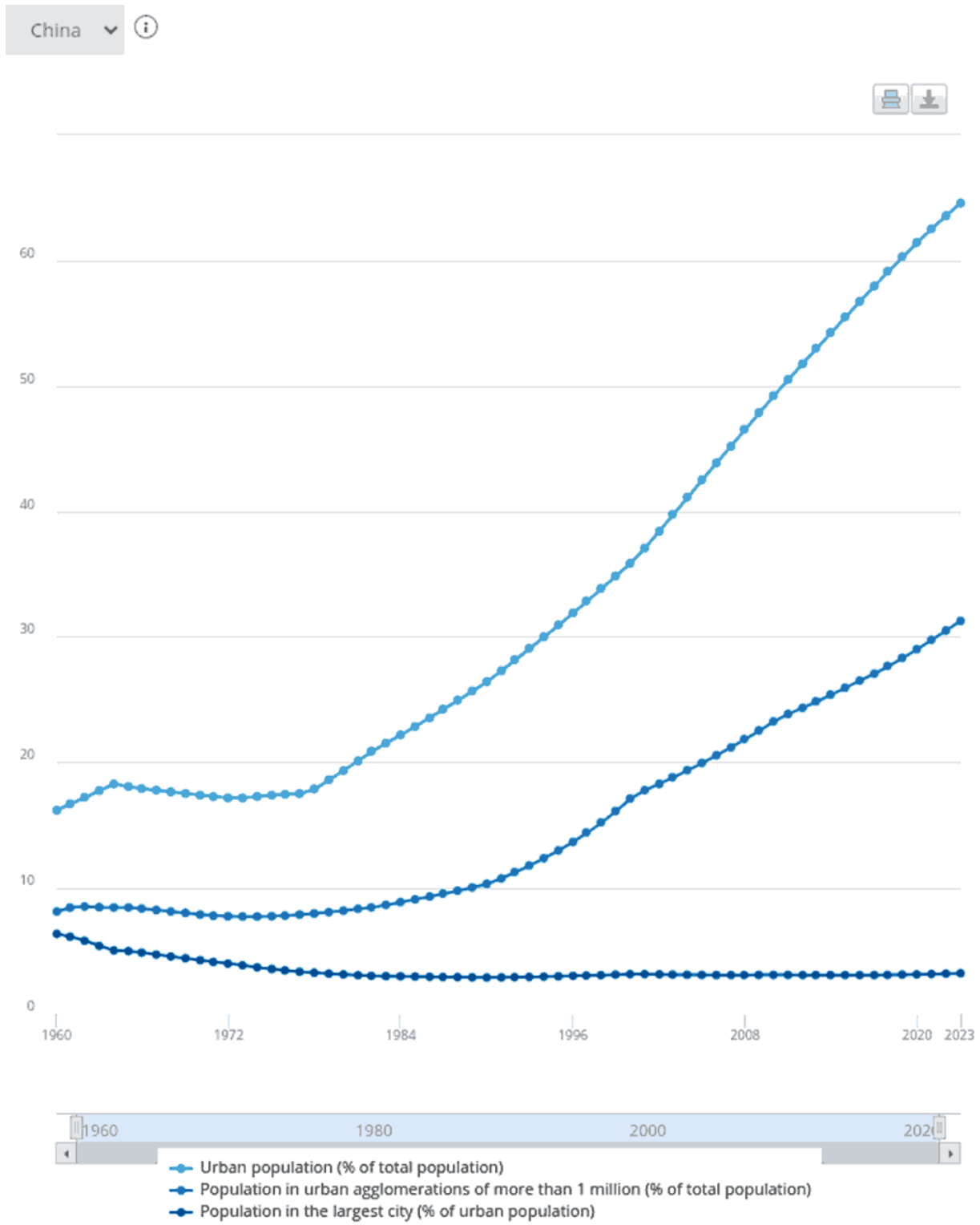
Рис. 2.5. Приклад мегаполіса – Чипіттс – ЧИкаго-ПІТТСбург (США)
(https://uk.wikipedia.org/wiki/Чипіттс#/media/Файл:ChiPitts_area.png)
Автор: Threedots (Daniel Ullrich), CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24854>)

Для багатьох розвинених країн Європи та Північної Америки рівень урбанізації сягнув 75-80 %. У деяких розвинених країнах, як-от Швейцарія чи Австрія, рівень урбанізації є значно нижчим, близьким до українського, і залишається таким протягом багатьох років. Натомість у багатих нафтою країнах Близького сходу, у містах проживає 90-95 % населення, стрімкими темпами урбанізуються країни Латинської Америки, острівної Азії (рис. 6, 7 і 8).



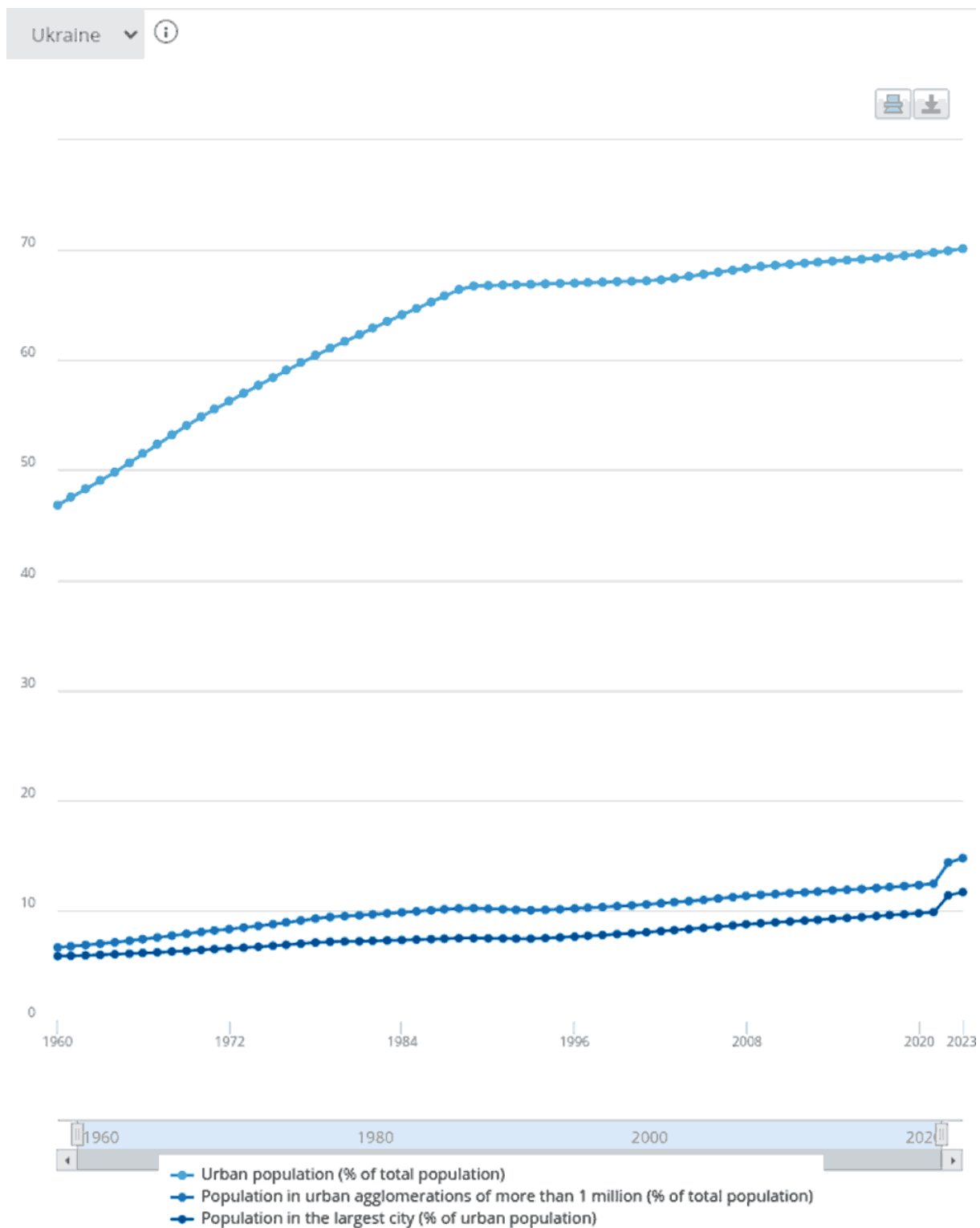
Source: World Development Indicators

Рис. 2.6. Показники урбанізації для ЄС
 (<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>)



Source: World Development Indicators

Рис. 2.7. Показники урбанізації для Китаю
 (<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>)



Source: World Development Indicators

Рис. 2.8. Показники урбанізації для України
 (<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>)

Урбанізація в Європі та країнах, що розвиваються, принципово відрізняється. Зростання кількості міського населення у країнах, як-от Бангладеш чи Індонезія, часто не призводить до зміни якості життя міського населення, яке сформувалось із сільського населення. Тут немає елементарних для міста сервісів та житла.

2.3. Наслідки урбанізації

Урбанізацію як таку не можна розглядати як лише зло. Урбанізація має позитивні наслідки для розвитку економіки та суспільства, а також, певним чином, і довкілля:

- ✓ зростання ВВП;
- ✓ збереження культурної та історичної спадщини;
- ✓ можливість ефективного керування виробництвом і споживанням енергії шляхом розумної централізації енергопостачання і створення «розумних мереж» Smart Grid;
- ✓ освітня функція;
- ✓ функції розвитку науки і техніки;
- ✓ функції розвитку медицини;
- ✓ підвищення ефективності управління та комунікацій;
- ✓ об'єднання транспортних потоків та ефективна логістика;
- ✓ забезпечення робочих місць;
- ✓ покращення рівня життя та комфорту;
- ✓ більш ефективне управління відходами та каналізаційними стоками;
- ✓ краще оповіщення населення в разі катастроф або військових дій.

Однак, міста споживають 75% світових природних ресурсів та вносять 80% глобальних викидів парникових газів [25]. Роль міст зростає експоненціально з наслідками їхнього впливу на кліматичні зміни.

Негативними наслідками є:

глобальні:

- ✗ хімічне/теплове забруднення довкілля пришвидшує зміни клімату;
- ✗ забруднення водних екосистем;
- ✗ забруднення ґрунту;
- ✗ знищення лісових масивів;
- ✗ зменшення біорізноманіття;
- ✗ зростання споживання вичерпних енергоресурсів;

- × техногенні катастрофи;
- × посилення природних катаклізмів;
- × збільшення озонових дір.

локальні:

- × забруднення водного, ґрунтового та повітряного середовищ міст;
- × підвищення обсягу відходів;
- × теплове, шумове, вібраційне та радіаційне забруднення;
- × розповсюдження хвороб і епідемій;
- × погіршення психоемоційного стану;
- × енергетична бідність;
- × залежність від колективних інженерних систем;
- × природні та техногенні аварії;
- × знищення зелених насаджень та збіднення ландшафту;
- × полегшене знищення багатьох сконцентрованих об'єктів під час військових дій;
- × значні жертви сконцентрованого мирного населення від ударів, особливо зброєю масового враження (ядерна, хімічна та біологічна касетні снаряди, фосфорні бомби), або терористичних актів.

Переважання позитивних і негативних ефектів залежить винятково від розглянутого в розділі 1 типу суспільства стосовно споживання (споживацьке, сталого розвитку)

Висновки

Урбанізація пройшла три історичні етапи розвитку, кожен з яких відповідав рівню розвитку тогочасних технологій і потреб. Ще на першому етапі, коли міста були в основному дружніми до довкілля, в окремих великих містах люди відчували певні проблеми. Другий етап урбанізації припав на початок розвитку індустріальних технологій та енергетичних машин. Третій етап відповідав бурхливому розвитку технологій та нестримного споживацтва, що призвело до перевершення можливостей навколишнього середовища адаптуватися до теплового забруднення та викидів парникових газів. У результаті почалися незворотні кліматичні зміни. Урбанізація спричиняє низку позитивних і негативних впливів, переважання яких залежить від ставлення суспільства до споживання та використання ресурсів.

Контрольні запитання

1. Яке походження має слово «город» і як його первісне значення пов'язане з виникненням міст?
2. Які основні причини зумовили появу перших міських поселень?
3. Які є три історичні стадії урбанізації і які часові межі кожної з них?
4. Якими були характерні риси міст першої стадії урбанізації? Чому більшість стародавніх міст можна вважати відносно дружніми до довкілля?
5. Які проблеми довкілля виникали вже у великих стародавніх містах? Які рішення застосовувалися для пом'якшення екологічних проблем у Вавилоні, Ніневії та Помпеях?
6. Які технологічні та соціальні зміни відбулися наприкінці XVIII – на початку XIX століття? Чому індустріальні міста почали швидко втрачати екологічну рівновагу?
7. Що таке метрополізація і чим вона відрізняється від попередніх стадій урбанізації? Які причини масового переселення населення з сільської місцевості до міст у XX столітті?
8. Що таке міська агломерація та урбаністичний кластер?
9. Назвіть два основні типи агломерацій. У чому полягають відмінності між ними?
10. Який рівень урбанізації характерний для різних регіонів?
11. Які позитивні наслідки урбанізації?
12. Які негативні наслідки урбанізації?

Рекомендована література

1. Мезенцев К., Олійник Я., Мезенцева Н. та ін. Урбаністична Україна: в епіцентрі просторових змін: монографія. Київ: Видавництво «Фенікс», 2017. 438 с. URL: https://www.geokyiv.org/pdf/Urban_Ukraine.pdf
2. Li T., Chen H., Ma C. China's urbanisation evolution and metropolitan area expansion, based on the Prolonged Artificial Nighttime-light Dataset (PANDA, 1984–2020). International Journal of Digital Earth. 2024. Vol. 17, no. 1, Article ID 2347448. <https://doi.org/10.1080/17538947.2024.2347448>
3. Allan M., Rajabifard A., Folient G. Climate resilient urban regeneration and SDG 11 – stakeholders' view on pathways and digital infrastructures.

International Journal of Digital Earth. 2024. Vol. 17, no. 1, Article ID 2385076.
<https://doi.org/10.1080/17538947.2024.2385076>

4. Arko T., Mensah D. A., Obani P., Adomako J., Denton F. The charcoal footprint of greater Accra on the Afram Plains: Urban energy consumption and forest degradation in Ghana. *Trees, Forests and People*. 2024. Vol. 18., Article ID 100678. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100678>

5. Abdulhadi R., Bailey A., Noorloos F. V. Access inequalities to WASH and housing in slums in low- and middle-income countries (LMICs): A scoping review. *Global Public Health*. 2024. Vol. 19, no. 1, Article No 2369099. <https://doi.org/10.1080/17441692.2024.2369099>

6. Katsumbe T. H., Telukdarie A., Munsamy M., Tshukudu C. Extraction of the essential elements for urban systems modelling – A word-to-vector approach. *City and Environment Interactions*. 2024. Vol. 24, Article ID 100166. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2024.100166>

7. Foong L. K., Blazek V., Prokop L., Misak S., Atamurotov F., Khalilpoor N. Improve carbon dioxide emission prediction in the Asia and Oceania (OECD): nature-inspired optimisation algorithms versus conventional machine learning. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. 2024. Vol. 18, no. 1. Article ID 2391988. <https://doi.org/10.1080/19942060.2024.2391988>

8. Zabaleta A. P., Sanjuan M. B. The role of the Water Framework Directive in enhancing water use efficiency in the EU. *European Journal of Government and Economics*. 2024. Vol. 13, no. 2. Article ID 10003. <https://doi.org/10.17979/ejge.2024.13.2.10003>

9. Jinoll G. T., Workalemahu L., Adugna D. Impact assessment of mixed land-use planning in Ethiopia: The case of Addis Ababa. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, no. 24. Article ID: e40814. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40814>

10. Dipeolu A., Taiwo A., Adebara T. Urban green infrastructure and social cohesion in Lagos Metropolis, Nigeria. *Acta Structilia*. 2024. Vol. 31, no. 2, P. 123 – 149. <https://doi.org/10.38140/as.v31i2.8516>

11. Т.І. Кривомаз, А.М. Савченко. Зниження впливу будівельної галузі на кліматичні зміни шляхом впровадження принципів зеленого будівництва. *Екологічна безпека та природокористування*. 2021. № 1(37), С. 55-68. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.1.55-68>

3. КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО МІСТА ТА ЕКОМІСТА ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ СТАЛОЇ УРБАНІЗАЦІЇ

3.1. Проблематика питання

За даними ООН, у 2025 році частка міського населення у світі досягла 77%. Ця тенденція, де планета стає дедалі більш урбанізованою, а не сільською, характеризується зростанням міст і поширенням міського способу життя, причому значна частина цього приросту припадає на країни, що розвиваються [1]. Це пов'язано з позитивними наслідками урбанізації, розглянутими в розділі 1.

Через загострення екологічних, економічних і соціальних проблем, усе більша кількість міськ прагне до сталого розвитку, який передбачає:

- дружність до довкілля;
- енергоефективність і ресурсоощадність;
- економічну стабільність;
- соціальну спрямованість.

3.2. Принципи формування сталого міста

Основні принципи формування сталого міста спрямовані на мінімальну залежність від навколишньої місцевості з максимальним виробництвом енергії з відновлюваних і вторинних джерел.

Скорочення вуглецевого сліду та пом'якшення ефекту міського теплового острова (перевищення температури повітря міст над температурою навколишнього простору є одними з ключових принципів сталого міста. Для цього

- створюють різні сільськогосподарські структури та ділянки (міське сільське господарство) в межах міста (в центрі або передмістях), щоб скоротити шлях продуктів харчування від місця зростання до кінцевого споживача;
- використовують відновлювані джерела енергії: вітрогенератори, сонячні панелі й колектори або біогаз, створений зі стічних вод і відходів;
- підвищують енергоефективність будівель, зокрема:
 - знижують необхідність кондиціонування повітря:

- висаджують дерева або створюють перголи (затінення);
- використовують світловідбивні покриття поверхонь;
- використовують природну вентиляцію за сприятливих параметрів зовнішнього та внутрішнього повітря;
- використовують вентиляцію зі змінною витратою повітря відповідно до потреб;
- забезпечують динамічний мікроклімат приміщень з періодичним коливанням від оптимальних до допустимих мікрокліматичних умов у приміщеннях, що одночасно покращує здоров'я та самопочуття через максимальне наближення до природних умов;
- регулюють природне освітлення жалюзі, маркізами тощо для уникнення непотрібних теплонадходжень від сонячної радіації
- підвищують енергоефективність опалення та теплохолодопостачання, зокрема:
 - розумна централізація/децентралізація;
 - розумний вибір виду опалення (радіаційне, конвективне, радіаційно-конвективне, повітряне, газове тощо) відповідно до особливостей об'єкта;
 - автоматизація систем опалення та охолодження;
 - утилізація теплоти витяжного повітря, каналізаційних стоків тощо;
 - автоматичне балансування систем водяного опалення, тобто забезпечення відповідності витрати води до потреб споживачів.
- підвищують енергоефективність і екологічну безпеку освітлення:
 - перехід на світлодіодні технології;
 - відмова від ртутьмістких ламп (газорозрядні люмінесцентні, натрієві тощо);
 - автоматизація освітлення залежно від потреб (у разі, якщо датчики споживають енергії менше, аніж лампи);
- застосовують енергоефективне обладнання, зокрема:
 - електрочайники та інше кухонне обладнання з ефектом термоса та максимальною автоматизацією;
 - побутова техніка класу енергоефективності А+ і вище;

- сучасні світлодіодні або рідкокристалічні зі світлодіодним підсвічуванням телевізори та монітори, повна відмова від плазмових матриць;
- комп'ютери з максимально енергоефективними технологіями, за можливості перехід на процесори з малим енергоспоживанням;
- звукові підсилювачі класу D (цифрові) на заміну класу A (аналогові), що мають значні непродуктивні втрати;
- використовують системи розумного будинку/розумного міста з інтелектуальним управлінням всіма системами;
- збільшення водних об'єктів і зелених зон до рівня не менше 20 % від площі міста, садове та ландшафтне проектування зі збереженням чистої води;
- поліпшення роботи громадського транспорту та збільшення пішохідних зон (створення громадських просторів) для скорочення автомобільних вихлопів;
- перехід на персональний електричний та велосипедний транспорт (концепція велосипедного міста) що одночасно дозволяє подолати тисняви на дорогах і пришвидшити переміщення людей і товарів;
- наближення інфраструктурних об'єктів до споживачів (концепція 15-хвилинного міста передбачає пішохідну доступність місць роботи та інфраструктурних об'єктів у радіусі 15 хв. ходіння).
- оптимізування щільності забудови з урахуванням транспортних потреб, що додатково забезпечує життєздатність громадського транспорту та доступ екстрених служб;
- застосування зелених конструкцій;
- стійке міські дренажні системи;
- зміна способу життя на екологічний, зокрема:
 - обмеження продукування відходів:
 - вживання довговічних товарів на противагу дешевим;
 - відмова від разового посуду та напоїв у пластикових пляшках;
 - оновлення електронної техніки лише в разі невиконання нею потрібних задач або значного зменшення енергопотреб у нових моделях на противагу гонитві за сучасною технікою заради престижу;

- відмова від постійного оновлення гардеробу, особливо швидкої моди;
- використання довговічних оздоблювальних матеріалів;
- відмова від переїдання та куріння
- мінімізування друку, перехід до електронної інформаційної продукції (книги, газети, журнали, фотоальбоми).
- сортування відходів;
- обмеження споживання води:
 - економне споживання води при гігієнічних процедурах (наприклад, миття рук з припиненням потоку води під час намилювання рук);
 - відмова від прийняття ванн, скорочення часу водних процедур до необхідного;
 - своєчасна заміна картриджів та прокладок, ремонт наливних і зливних туалетних систем для уникнення протікання води;
- регулювання систем опалення, охолодження, регулювання штучного та природного освітлення (жалюзі, маркізи), а також вимкнення штучного освітлення на час невикористання приміщення (за умови світлодіодних ламп, строк служби яких при цьому практично не сколюється)

Разом з поняттям «стале місто», з'явилося та використовується поняття «екомісто». Однак, між цими поняттями є відмінності. Стале місто – це ширша концепція, що передбачає збалансований розвиток за трьома напрямками: екологічним, соціальним та економічним, де кожен з цих вимірів має однакове значення. Екомісто ж є частиною цієї концепції, що фокусується переважно на екологічних аспектах, як-от зменшення забруднення, покращення довкілля та ефективне управління природними ресурсами.

Отже, екомісто та стале місто – населений пункт, спроектований з урахуванням впливу на навколишнє середовище. У такому місті жителі прагнуть мінімізувати споживання енергії, води та продуктів харчування, уникнути нераціонального виділення теплоти, забруднення повітря вуглекислим газом (CO₂) і метаном, а також забруднення водних об'єктів [2]. Екомісто може бути частиною концепції сталого міста.

3.3. Основні аспекти екоміста

Екомісто (рис. 3.1) характеризується:

- зменшенням забруднення повітря, води та ґрунтів.
- ефективним управлінням ресурсами: ощадним споживанням енергії, води й сировини.
- активним залученням зелених технологій екологічно чисті транспортні системи, енергоефективні будівлі тощо.



Рис. 3.1. Екомісто. Проект у Сингапурі. Загальний вигляд.

<https://ecopolitic.com.ua/ua/news/u-singapuri-pobudujut-rozumne-ekomisto-yakij-viglyad-vono-matime/>

Вперше термін «екомісто» використав Річард Реджистер у 1987 році в книзі «Екомісто Берклі: Будівництво міста для здорового майбутнього» [3-19]. Екомісто не означає відмову від сучасних підходів і повернення до стародавнього світу чи первісного племінного способу життя. Воно передбачає сучасні містобудівні та технологічні підходи, але з урахуванням впливу на довкілля. Завдання-мінімум – мінімальний негативний вплив. Завдання-максимум – позитивний вплив, зокрема на біорізноманіття, створення додаткових площ і шляхів міграції для біоти тощо.

Розглянемо основні ознаки екоміста. По-перше, це наявність парків і паркових зон та збереження водно-болотних угідь, що є найефективнішими поглиначами вуглецю на планеті. Торф'яники зберігають удвічі більше вуглецю, ніж усі ліси світу разом узяті (рис. 3.2).



а



б

Рис. 3.2. Національний парк Лахемаа, де знаходиться популярне болото Виру, Естонія (авторські світлини)

Доріжки для велотранспорту є важливою ознакою екоміста (рис. 3.3). Наприклад, в Амстердамі близько 40% жителів їздять на роботу на велосипеді. Однак тут немає будь-якої пропаганди чи нав'язування цього виду транспорту. Амстердам завжди вважався одним з найбільш вільних міст світу, і це відноситься також і до вибору засобу пересування. Як відомо, найшвидший спосіб дістатися до місця призначення в Амстердамі це велосипед. Практично половину всього транспортного руху в місті займають велосипедисти. В Амстердамі піклуються про навколишнє середовище. Тут купівля автомобіля обкладається 50 % податком, якщо це не гібрид чи електромобіль. Кажуть: “Той, хто в Амстердамі їздить на машині, вже стоїть однією ногою у в'язниці”. В Амстердамі вибирають велосипед [20].



Рис. 3.3. Велосипедні доріжки, Амстердам [20]

Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України оновлює державні будівельні норми, зокрема, в частині організації велосипедного руху вводить обов'язкове проектування велосипедних доріжок і смуг під час нового будівництва та реконструкції доріг. Відповідна норма міститься у новому ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів» [21].

Застосування зелених технологій при будівництві є однією з основних рис екоміста (рис. 3.4-3.5). Також не менш важливою для екоміста є продумана політика управління відходами.



Рис. 3.4. Відведення надлишку дощових стічних вод з ланів та автошляхів за допомогою технологій зелених конструкцій – дощових садів. М.Вроцлав, Польща (авторські світлини)



Рис. 3.5. Приклади застосування зелених конструкцій на фасадах будівлі торговельного комплексу: а – фасадні зелені блоки, б - вертикальне озеленення, м. Вроцлав, Польща (авторські світлини)

Найсучасніші приклади екоміст у світі – це Масдар (ОАЕ), Сонгдо (Південна Корея), Копенгаген (Данія) та Ванкувер (Канада), які відзначаються передовими системами зеленої енергетики, сталими транспортними рішеннями, ефективним управлінням ресурсами та інтегрованими екосистемами, що сприяють зниженню екологічного впливу та покращенню якості життя.

Масдар – це одне з перших у світі повністю сталого міста ОАЕ, яке використовує сонячну енергію та інші відновлювані джерела для власних потреб. Тут застосовуються інноваційні технології для економії води та перероблення відходів.

Сонгдо розташоване на штучному острові в Південній Кореї. Це місто побудоване з акцентом на стале сільське господарство та передові технології. Воно має інтелектуальну систему управління енергією та водою, а також інноваційну систему вакуумного збирання сміття.

Копенгаген – столиця Данії – відома своєю амбітною метою стати першою у світі кліматично нейтральною столицею. Копенгаген робить ставку на розвиток велосипедної інфраструктури, вітрову енергетику та "зелені" будівлі, що робить його одним з найстійкіших міст у світі.

Ванкувер – місто в Канаді, що активно впроваджує стратегії сталого розвитку, зосереджуючись на зелених будівлях, відновлюваній енергетиці, ефективному управлінні відходами та розвитку громадського транспорту, що покращує його екологічні показники.

Ключові характеристики екоміст:

- стала енергетика – активне використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова та гідроелектроенергія;
- зелений транспорт – розвиток громадського транспорту, велосипедних доріжок та електромобілів для зменшення викидів від транспорту;
- ефективне управління ресурсами – запровадження систем перероблення та повторного використання відходів, а також раціональне використання води.
- зелені будівлі – будівництво з використанням екологічно чистих матеріалів, енергоефективних технологій та систем збору дощової води.
- інтегровані системи – створення екосистем, де місто, природа та люди співіснують у гармонії, з акцентом на біорізноманіття та зелені зони.

3.4. Принципи управління відходами

Загальноприйнята ієрархія управління відходами (рис. 3.6) починається з запобігання їхнього утворення. Економіка замкненого циклу або циркулярна економіка (англ. Closed-loop economy, Circular economy) – це модель економічного розвитку, заснована на відновленні та раціональному споживанні ресурсів, альтернатива традиційній, лінійній економіці. Вона використовує економічні підходи з метою мінімізації негативного впливу на довкілля, безвідходного виробництва та досягнення цілей сталого розвитку.



Рис. 3.6. Ієрархія управління відходами

Якщо ж запобігти утворенню відходів не вдається – докладаються зусилля для повторного використання. Якщо і це неможливо – здійснюється рециклінг (матеріали з відходів переробляються на продукцію, матеріали або речовини). Рециклінг – це перероблення органічного матеріалу, але не передбачає відновлення енергії чи перероблення на матеріали, що будуть використовуватися як паливо або матеріали для зворотного заповнення.

Коли рециклінг неможливий, застосовуються інші види утилізації відходів, зокрема операції із відновлення енергії чи перероблення на матеріали, що будуть використовуватися як паливо або матеріали для зворотного заповнення.

І лише в разі неможливості виконати зазначені операції відбувається видалення відходів – захоронення їх у спеціально обладнаних місцях та знищення (знешкодження) на установках, що не відповідають екологічним нормативам.

Для ефективного управління відходами як на національному, так і на регіональному рівнях має функціонувати інформаційна система із зручним доступом до даних щодо ліцензій, дозволів, розміщення полігонів та сміттєзвалищ, актуальної інформації щодо забруднювачів та переробні потужності.

Управління відходами повинно бути системним і плановим. Реалізація реформи здійснюється як на державному, так регіональному та місцевому рівнях. На основі Національного плану управління відходами розробляються Регіональні плани управління відходами з використанням єдиних методологічних підходів.

Розширена відповідальність виробника (РВВ) – це фінансовий і організаційний механізм, спрямований на підтримання розроблення та виробництва товарів, що повністю враховують і полегшують ефективне використання ресурсів упродовж усього їхнього життєвого циклу, зокрема їхнє відновлення, повторне використання, утилізацію без шкоди для вільного обігу товарів на внутрішньому ринку. Основна мета РВВ – збільшити кількість і ступінь відновлення продукту та мінімізувати вплив відходів на довкілля. Політика РВВ вперше почала застосовуватися на початку 1990-х років серед низки європейських держав, особливо стосовно відходів пакування, і в подальшому поширилася у країнах ЄС та за його межами. З того часу система РВВ сприяла значному збільшенню темпів перероблення відходів і допомогла зекономити державні витрати на управління ними.

Україна інтегрується у ринок відходів ЄС та європейську систему управління відходами. Реформа не тільки відповідає європейському законодавству, але й ураховує українські реалії та особливості ринку. При цьому, такі фундаментальні речі, як вимоги до учасників системи управління відходами, класифікація відходів – мають повністю відповідати стандартам ЄС. Це створюється для того, аби українським установам та підприємствам було простіше інтегруватися в систему ЄС і говорити із партнерами однією юридичною мовою [22].

3.5. Практичні кейси



ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

Вивчити джерело [23] рекомендованої літератури, ознайомтеся з прикладом управління відходами в Німеччині.

Які позитивні приклади ви можете ще навести в країнах Європи та в Україні?

Які документи регулюють поводження з відходами в Україні та Європі?

Переорієнтація старих будівель під потреби міста (редевелопмент)

В XIX столітті на березі лондонської річки Темзи [24] довгий час розташовувалася пивоварня купця Олександра Хея. Ці приміщення викупив Джон Хемфрі-молодший і перебудував їх у причал і портові склади. Згодом «причал Хея», як його називали місцеві за старою звичкою, став найважливішим торговельним портом королівства. Він приймав 80 % сухих вантажів з усього світу – зокрема індійський чай. А в 1867 році тут уперше в Англії організували холодне зберігання для партій вершкового масла. Порт і причал набули такої важливості для місцевої торгівлі, що його прозвали «лондонською коморою» (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Причал Хея [24]

Осло: інтелектуальні ліхтарі й енергія з відходів

Більше десяти тисяч ліхтарів на вулицях норвезької столиці об'єднані в систему [25], яка управляється центральним комп'ютером, враховує погодні умови і потреби клієнтів прилеглих магазинів і кав'ярень (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Система інтелектуальних ліхтарів у місті Осло [25]

Старі освітлювальні прилади в системі замінили на високоефективні натрієві лампи високого тиску. Яскравість конкретного ліхтаря можна регулювати за потребою. Такі лампи простіші в обслуговуванні, а система дозволяє заздалегідь дізнатися, коли прилад потребує заміни. Таким чином, в Осло скорочується енергоспоживання і викиди парникових газів. Крім розумного освітлення, в Осло діє програма «Енергія з відходів».

Програма дозволяє отримувати енергію для опалення більш ніж з 70 % сміття при переробленні. Наприклад, на сміттєвих полігонах заборонено розміщувати біорозкладні відходи. Вони відправляються на біогазовий завод, де перетворюються на паливо для міських автобусів. Утворений на полігонах метан трубопроводом направляють на сміттєспалювальні заводи, де він використовується як додаткове паливо.

Нью-Йорк: пінопласт під заборону

Нью-Йорк став найбільшим містом США, в якому введено офіційну заборону на пакування з пінопласту. З 1 липня 2015 склянки, кухлі, тарілки, харчові контейнери та гранули, які використовуються для пакування речей при пересиланні, зникли з ресторанів, магазинів і підприємств міста. Пінопласт не може бути перероблений. Вторинного ринку для використання пакування з пінопласту також не існує, а на її розкладання підуть сотні років. Щорічно в Нью-Йорку в сміття потрапляє близько 30 тисяч тонн пінопласту. Заборона на такий вид пакування вже діє в Сан-Франциско, Сіетлі та Портленді.

Токіо: ефективний водопровід і підземне паркування велосипедів [25]

У столиці Японії функціонує одна з найефективніших систем водопостачання та водовідведення у світі. У її основі – найсучасніші методи контролю витікань, система інтелектуальної діагностики стану водопроводу та швидкісний ремонт за принципом усунення проблеми в той же день. У результаті кількість води, яка безповоротно губилася в місті, зменшилась удвічі.

З недавнього часу в місті діють підземні антисейсмічні місця для паркування велосипедів (рис. 3.9). Система Eco-Cycle Underground Park керується всього однією кнопкою: власник набирає код і паркує велосипед за вісім секунд. Такий спосіб зберігання дозволяє звільнити велостоянки та вулиці, а також захистити велосипеди від крадіжки. Ширина місця для паркування всього 7 метрів. Цього достатньо для розміщення приблизно 200 велосипедів.



ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

Проаналізуйте інші екологічні ініціативи з джерела [25] для розвинених міст світу.

Ознайомтеся з екологічними ініціативами для м. Києва [26].

Проаналізуйте інформацію та порівняйте з прикладами джерела [25].

Які ще екологічні ініціативи, на вашу думку, можна запровадити у містах України?



Рис.3.9. Система Eco-Cycle Underground Park у Токіо [25]

Ефективна політика споживання та заощадження енергії ЄС

Ефективна політика споживання та заощадження енергії в Європі зосереджується на зменшенні викидів парникових газів, збільшенні частки відновлюваних джерел енергії та підвищенні енергоефективності шляхом встановлення амбітних цілей, як-от у стратегії ЄС до 2030 та 2050 рр. (Європейський зелений курс). Це досягається через законодавче регулювання, впровадження інноваційних технологій, модернізацію інфраструктури, фінансові стимули та просвітницькі кампанії для споживачів.

Технологічні рішення:

- Впровадження енергоефективних технологій у промисловості та модернізація обладнання для зниження енерговитрат.
- Розумні системи управління енергією:
- Використання технологій для автоматичного регулювання споживання енергії в будівлях та на *Ванкувер* підприємствах.

Екологічні переваги:

- Зменшення викидів парникових газів, що сприяє боротьбі зі зміною клімату та покращенню якості повітря.

Економічні переваги:

- Зниження витрат на енергоресурси та створення нових "зелених" робочих місць.
- Комфортне та здорове середовище:
- Підвищення комфорту в приміщеннях, краща якість повітря та водних ресурсів.

3.6. Екопоселення.

У багатьох країнах світу активно будуються спеціалізовані екопоселення, у яких дома або споживають мінімальну кількість енергії або виробляють більше енергії, ніж споживають. Найбільш відомими у світі є:

Пермакультурне село Кристал-Уотерс, Австралія (Crystal Waters Permaculture Village) розташоване біля австралійського заповідника дикої природи. Поселення отримало Всесвітню премію «Хабітат» за свої екологічні будиночки та пермакультурний дизайн Макса Ліндеггера та Роберта Теппа. Все, від будівлі до водопостачання, побудовано на принципах сталого землекористування. Це також передбачає використання сонячної енергії та компостних туалетів. Житлова зона займає лише 20 % території. Решта використовується для відновлення дикої природи, бамбукових ферм, органічного сільського господарства та створення природних ігрових майданчиків.

Punta Mona, Коста-Ріка – це автономна ферма та центр сталого розвитку й освіти. Знаходяться в заповіднику дикої природи Гандока-Мансанільйо в Коста-Ріці. Карибські води відіграють важливу роль у біорізноманітті. Тут вивчають пермакультури, траволікування, мистецтва та будівництво будиночків на деревах із відновлюваних матеріалів, зібраних у джунглях. Усі інгредієнти для ліків, їжі та оздоровчих процедур постачаються з ферм. Екологічність поселення полягає не тільки в будівництві екобудинків, а й у зв'язках з природою.

Екопоселення Фіндхорн, розташоване у затоці Морей у Шотландії. Поселення прагне повністю скоротити свій вуглецевий слід. Краса Фіндхорна проявляється у його садах, екологічній архітектурі та благоустрої. Селище отримало нагороду ООН-Хабітат за передовий досвід. У будинках Findhorn із нульовим рівнем викидів вуглецю

використовуються лише натуральні матеріали. Вони оснащені «стінами, що дихають» для підтримання мікроклімату в приміщенні та пасивними сонячними системами для водо-я та електропостачання [27].



ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

Проаналізуйте наведені приклади екоміст. Які інноваційні технології використовують ці міста? Наведіть приклади інших екоміст та охарактеризуйте їх.

Висновки

Таким чином, стале місто, зокрема екомісто, – це нова модель урбанізації, що поєднує екологічні, соціальні й економічні принципи сталого розвитку. Основою є енергоефективність і відновлювані джерела енергії, екологічний транспорт і "розумні" системи управління ресурсами. Зелені зони та природне середовище інтегруються у міський простір, забезпечуючи комфорт і здоров'я мешканців. Успіх розвитку екоміст залежить від взаємодії влади, бізнесу та громади, а також формування екологічної культури містян.

Контрольні запитання

1. Які екологічні, економічні та соціальні проблеми зумовлюють перехід до концепції сталого розвитку? Якими є базові складові сталого розвитку?
2. У чому полягає ефект міського теплового острова? Які заходи застосовуються для пом'якшення ефекту міського теплового острова?
3. Яке призначення міського сільського господарства у концепції сталого міста? Як скорочення ланцюгів постачання продуктів харчування впливає на сталий розвиток?

4. Які архітектурні та інженерні заходи дозволяють знизити енергоспоживання?
5. Яке значення має збільшення площі зелених зон і водних об'єктів у місті?
6. Чому розвиток громадського транспорту є важливим для сталого міста?
7. У чому полягають концепції велосипедного та 15-хвилинного міста?
8. Чому екологічний спосіб життя мешканців є необхідною умовою сталого міста?
9. Які заходи спрямовані на зменшення утворення відходів? Чому відмова від швидкої моди важлива для сталого розвитку?
10. Як побутові звички та технічні рішення впливають на енергоспоживання та водоспоживання міста?
11. У чому полягає принципова відмінність між сталим містом та екомістом? Чому стале місто розглядається як ширша концепція? Які ключові характеристики притаманні екомісту?
12. Чому водно-болотні угіддя є важливими для вуглецевого балансу?
13. Яку роль відіграє велосипедна інфраструктура в екомісті? Які нормативні зміни в Україні спрямовані на розвиток велосипедного руху?
14. Наведіть приклади екоміст? Які їхні особливості?
15. Якими є підходи до управління відходами, якою є ієрархія управління відходами?
16. У чому полягає сутність циркулярної економіки?
17. Які функції має виконувати інформаційна система управління відходами?
18. Яку роль відіграє гармонізація системи управління відходами України з вимогами ЄС?
19. У чому полягає сутність редевелопменту міських територій? Наведіть приклади.

Рекомендована література

1. Вікіпедія. Урбанізація. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F>.
2. Вікіпедія. Стабільне місто. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B5_%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%82%D0%BE
3. Державна екологічна інспекція України. Концепція «ЕКОміста» або «Сонячне місто» Лінц (Австрія) - приклад для міського екологічного розвитку. URL: <https://www.dei.gov.ua/post/2649>.
4. Суспільне новини. Війна та інфраструктура: концепція екоміст для відбудови країни. URL: <https://suspilne.media/273683-vijna-ta-infrastruktura-koncepcia-ekomist-dla-vidbudovi-kraini/>
5. URA: Еко-міста як стратегічний шлях відбудови: сталий розвиток і сучасні будівельні технології. URL.: <https://www.ukrainerebuild.com.ua/eko-mista-yak-strategichnyj-shlyah-vidbudovy-stalyj-rozvytok-i-suchasni-budivelni-tehnologiyi/>
6. Новини. 10 «зелених» міст світу та українські зелені міста. URL: <https://ecolog-ua.com/news/10-zelenyh-mist-svitu-ta-ukrayinski-zeleni-mista>
7. Екомісто. URL: <https://tseivo.com/b/fox/t/xzy15aojez>
8. 1. Xu Boqian and Lin Zhongjie (2023) Positioning Ecocities within the Planetary System: A Comparative Analysis of Ecosystem Service Values and Ecological Footprints in China's National New Areas. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.46055162>.
9. Wilson J. & Grant J. (2009) Calculating ecological footprints at the municipal level: what is a reasonable approach for Canada? *Local Environment*, no. 14(10), pp. 963–979. DOI: <https://doi.org/10.1080/135498309032444333>.
10. Isman M., Archambault M., Racette P., Konga C. N., Llaque R.M., Lin D., Iha K., & Ouellet-Plamondon C.M. (2018) Ecological Footprint assessment for targeting climate change mitigation in cities: A case study of 15 Canadian cities according to census metropolitan areas. *Journal of cleaner production*, no. 174, pp. 1032–1043. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.1894>.

11. Hes D., Bush J. (2018) Introduction: Creating Eco-Cities – From Sustaining to Thriving. In: Hes, D., Bush, J. (eds) Enabling Eco-Cities. Palgrave Pivot, Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7320-5_
12. Russo A., Cirella G. T. (2020) Urban Sustainability: Integrating Ecology in City Design and Planning. In: Cirella, G. (eds) Sustainable Human–Nature Relations. Advances in 21st Century Human Settlements. Springer, Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-3049-4_106.
13. Li J. (2017) Economic Development and Environmental Protection of the Eco City. In: Liu, J., Sun, W., Hu, W. (eds) The Development of Eco Cities in China. Springer, Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-2287-6_37.
14. Yang T., Sun W., Liu J., Wang D., Zeng G. (2016) Ecological Crisis, Eco-civilization, and Eco-cities. In: Li, J., Yang, T. (eds) China's Eco-city Construction. Research Series on the Chinese Dream and China's Development Path. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-48153-0_8.
15. Nguyen T. H. & Vu G. H. T. (2023) Eco-city Paradigm: Urban Planning Towards Sustainable Development Goals. In E3S Web of Conferences (Vol. 403, p. 01002). EDP Sciences.
16. Biosphere Eco-Cities Canada. At. Available at: <https://bioecocity.org/>
17. Perera S. (September 6, 2023) The economic benefits of creating green cities. Thrive. Available at: <https://blog.strive2thrive.earth/the-economic-benefits-of-creating-green-cities>
18. Anderson M. (April 29, 2022). Green cities: how to make a sustainable city. THOUGHT LEADERSHIP. Available at: <https://onekeyresources.milwaukeeetool.com/en/green-city>
19. What is a sustainable city? Meep. Digital connected mobility solutions. Available at: <https://www.meep.app/blog/what-is-a-sustainable-city13>. Key Components of Green and Sustainable Cities. (October 25, 2022). HydroPoint. Available at: <https://www.hydropoint.com/blog/key-components-of-green-sustainable-cities>
20. Найкращі міста світу для пересування на велосипеді. URL: <https://velo.lviv-online.com/style/najkraschi-mista-svitu-dlya-peresuvannya-na-velosypedi/>

21. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-199>

22. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів. Управління відходами. URL: <https://mepr.gov.ua/upravlinnya-vidhodamy/>

23. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів. Управління відходами західного зразка: як працює кругова економіка Німеччини. URL: <https://mepr.gov.ua/upravlinnya-vidhodamy-zahidnogo-zrazka-yak-pratsyuye-krugova-ekonomika-nimechchynu/>

24. Як оновили порт Лондона після авіанальотів Другої Світової? Приклад реконструкції міського простору. URL: <https://www.village.com.ua/village/city/redevelopment/308133-pasazh-zh-sklyanim-dahom-na-mistsy-prichalu-yak-onovili-budivli-portu-pislya-avianalotiv-drugoyi-svitovoyi>

25. Snspired. 11 екологічних ініціатив світових мегаполісів. URL: <https://inspired.com.ua/ideas/11-eco-ideas-from-cities/>

26. Катерина Новосвітня. Вечірній Київ. ТОП екологічних ініціатив 2024 року у Києві: більше лучних квітів, розчищені озера та нова рекреація. URL: <https://vechirniy.kyiv.ua/news/106698/>

27. Найкращі екопоселення світу. URL: <https://constructive-voices.com/uk/%D0%BD%D0%B0%D0%B9%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%89%D1%96-%D0%B5%D0%BA%D0%BE-%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%89%D0%B0-%D1%81%D0%B2%D1%96%D1%82%D1%83/>

4. ВІДЕОЕКОЛОГІЯ. СТВОРЕННЯ ВІЗУАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА І ЙОГО РОЛЬ У СТАЛОМУ РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА

4.1. Відеоекологія - визначення, походження терміну

Термін "відеоекологія" запроваджено Василем Філіним у 1989 року. Він складається з двох слів: "відео" - все те, що людина бачить за допомогою органу зору та "екологія" - наука про різні аспекти взаємодії людини з навколишнім середовищем. Теоретичною основою відеоекології є концепція автоматії сакад.

У місцях проживання людини відбулося погіршення візуального середовища, що є одним із важливих компонентів його життя. "Забруднені" міста, житлові та виробничі приміщення, транспорт, виробничі процеси. "Забруднювачами" візуального середовища є гомогенні та агресивні візуальні поля, а також достаток прямих ліній, прямих кутів і великих площин.

Процеси урбанізації, раціоналізації та індустріалізації віддалили нас від візуального ідеалу: штучне середовище припинило приносити естетичну насолоду і породило велику кількість соціальних проблем. Архітектура останніх 50 років негативно впливає на психоемоційний стан людини. Взаємодія архітектури та екології найчастіше обмежуються в кращому випадку використанням у будівництві екологічно чистих матеріалів та енергоефективних технологій. У той час як архітектурна концепція, запропонована Паоло Солері, яка враховує екологічні фактори при проєктуванні середовищ існування людини – аркологія – всього лише поодиноким явищем. У реаліях сьогодення в багатьох містах різко змінене візуальне середовище: переважає темно-сірий колір, прямі лінії та кути, міські будівлі в основному статичні та мають велику кількість площин, що негативно впливає на зорові процеси.

Все це створює несприятливе середовище в місцях проживання людини і призводить до погіршення ментального здоров'я, збільшення кількості людей, які страждають на короткозорість, і до погіршення моральності.

Актуальність проблеми відеоекології ще і в тому, що на даний час не існує в повній мірі розроблених нормативних документів щодо формування візуального середовища, немає вимог щодо допустимих відхилень, зокрема за допустимими розмірами гомогенних і агресивних

полів у архітектурі міста. Стрімка зміна візуального середовища вступає в суперечність із можливостями зору. Сама людина з усім комплексом потреб залишилася незмінною, і колишніми залишилися фундаментальні механізми зору, тоді як зорове середовище в місцях проживання людини змінюється на гірше.

4.2. Теорія сакад

Сакадою (в перекл. з франц. saccade «сильний поштовх, ривок») називається швидкий рух ока, який здійснюється мимовільно, тобто в автоматичному режимі. Очі безперервно сканують видиме навколишнє середовище, здійснюючи приблизно дві сакади за хвилину.

Після кожної сакади око фіксує деякий зоровий елемент, і в мозок надходить інформація про побачене. Око влаштоване так, що воно обов'язково має на чомусь сфокусуватися. Після цього від фоторецепторів надходить підтвердження інформації і мозок заспокоюється: була сакада, був елемент, елемент зафіксований. А в даному випадку немає на чому сфокусуватися – лінії, кути, великі прозорі плоскості.

Око може вловити лише певну кількість елементів, а за хвилину відбувається 120 сакад. Один рух, інший – в мозок надходять все ті ж однотипні сигнали, внаслідок чого мозок перебуває в стані повної розгубленості.

4.3. Будова ока

Око – найактивніший з органів почуттів; він ніколи не стоїть на місці, постійно переміщаючись у двох основних площинах: горизонтальній (праворуч - ліворуч) і вертикальній (вгору - вниз). Така активність досягається природою окорухового апарату і особливістю роботи його нервових центрів, а також властивостями м'язів ока, які є найбільш швидкодіючими в організмі.

У чималому ступені активності ока сприяють його куляста форма та мінімальне тертя: око практично плаває в орбіті, воно вільно переміщується і здійснює швидкий аналіз довкілля (рис. 4.1).

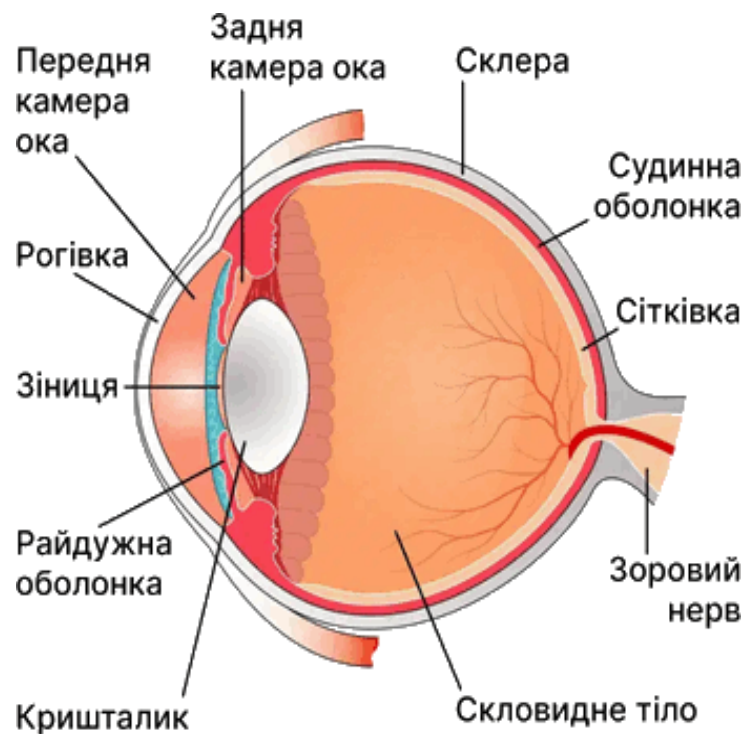


Рис. 4.1. Будова ока (<https://novyizir.ua/zakhvoriuvannia/budova-oka/>)

Переміщення ока, в основному, досягаються двома видами рухів: повільними і швидкими. У цьому легко переконається, подивившись на запис рухів очей (рис. 4.2).

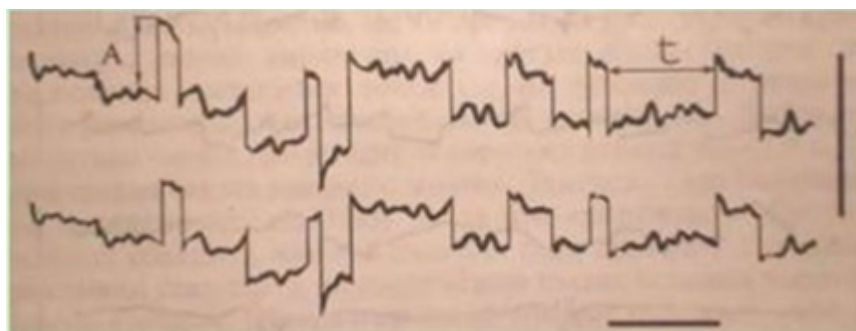


Рис. 4.2. Типовий зразок запису рухів очей при фіксуванні випробуванням нерухою точки. Верхній запис - праве око, нижній - лівий. Відхилення променя вгору відповідає руху очей праворуч, вниз - ліворуч. Вертикальна лінія - калібрування 1° , горизонтальна - час 1 с., t - інтервал між сакадами, A - амплітуда сакад (<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%B4%D0%>)

Швидкі рухи очей на запису мають вигляд вертикальних прямих тонких ліній – сакад. Їх досить багато: дві і більше в секунду. Сакади обох очей абсолютно синхронні і однакової амплітуди, як і орієнтація сакад. Наявність такої великої кількості сакад, означає, що зорова вісь ока, змінює свій напрямок через кожні пів секунди.

4.4. Візуальне середовище. Гомогенні візуальні поля

Візуальне середовище – це все те, що оточує людину в її повсякденному житті, або все те, на що вона дивиться очима. Це природне середовище – ліси, поля, гори, водойми, хмари та штучне середовище – виробничі та житлові приміщення: офіси, магазини, транспорт – автобуси, автомобілі, потяги, літаки, підводні човни та космічні кораблі.

Гомогенні візуальні поля – це видимі поля в навколишньому просторі, на яких або відсутні зорові деталі, або їхня кількість різко знижена. У міських умовах гомогенні візуальні поля утворюються торцями будівель, огорожами, дахами, асфальтовими дорогами. Гомогенізація міського середовища, зокрема й внутрішнього середовища приміщень, пов'язана із застосуванням панелей та скла великого розміру, ДСП, плівок, лінолеуму, фанери, пластику або однотонне фарбування стін без предметів декору.

В оточенні гомогенних полів (рис. 4.3) око не може повноцінно працювати, адже йому нема за що зачепитися після чергової сакади. Сакади різко збільшують амплітуду, тобто очі працюють не в економному режимі, що створює дискомфорт. На наведеній світлині фасад складається зі скла, що утворює гомогенне поле великого розміру. Фасад будівлі зі скла й асфальтове покриття – це рукотворний безорієнтирний простір. І відбиття у склі, як показує практика, ситуацію не рятує, а погіршує.



ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

Розгляньте наведені світлини (Рис. 4.4-4.5). Чи можна наведені будинки віднести до гомогенних? Поясніть чому.



Рис. 4.3. Офісна будівля на вулиці Короленківська, м. Київ
(авторська світлина)



Рис. 4.4. Будівлі на вулиці Ділова, м. Київ (авторська світлина)



Рис. 54.5. Будівлі на вулиці Предславінська, м.Київ (авторська світлина)

4.5. Малі архітектурні форми як елементи візуального середовища

До малих архітектурних форм слід віднести кіоски, намети та павільйони, які у всі часи були яскраво розфарбовані, створюючи тим самим своєрідні акценти у міському середовищі. Достатньо згадати знамениті лондонські телефонні будки (рис. 4.6), які у свій час створювали яскравий акцент на тлі стриманих кольорів будівель. Такий підхід (рис. 4.7, 4.8) сприятливо позначався на візуальному середовищі міста.

Ситуація докорінно змінилася у наші дні (рис. 4.9 і 4.10). Тепер архітектура малих форм багато в чому нагадує велику архітектуру: ті ж прямі лінії, прямі кути, голі поверхні, часто скляні, бідна колірна гама.



Рис. 4.6. Лондонська телефонна будка



Рис. 4.7. Кіоск з морозивом на Хрещатику. Світлина: test.org.ua
https://kiev.vgorode.ua/ukr/news/transport_y_ynfrastruktura/a1198163-peretvorennja-torhivli-u-kioskakh-ta-paviljonakh-shcho-varto-vzjati-za-priklad-kijevu-u-jevropi



Рис. 4.8. Торгові точки у Південного терміналу у Києві.
Світлина: mesta.com.ua
https://kiev.vgorode.ua/ukr/news/transport_y_ynfrastruktura/a1198163-peretvorennja-torhivli-u-kioskakh-ta-paviljonakh-shcho-varto-vzjati-za-priklad-kijevu-u-jevropi



Рис. 4.9. Невдалі приклади МАΦ, м.Київ, район станції метро Шулявська (авторські світлини)

4.6. Механізми зорового сприйняття, які не можуть повноцінно працювати у гомогенному середовищі

У гомогенному середовищі неспроможна повноцінно працювати автоматія сакад, оскільки після чергової сакади око не знаходить деталі для фіксації. Це веде до різкого збільшення амплітуди сакадичних рухів очей, але такий режим не призводить до бажаного результату. Тривала робота у цьому режимі спочатку веде до відчуття дискомфорту, а потім – до порушення автоматії сакад.

У гомогенному середовищі не можуть повноцінно працювати системи увімкнення та вимкнення рецепторів (on- і off-системи), які у звичайній ситуації спрацьовують лише на перепад освітленості. У гомогенному середовищі такого перепаду фізично не може бути, оскільки до сакади та після неї погляд залишається у межах однорідного видимого поля. У результаті після чергової сакади в мозок надходить недостатньо інформації. Після здійснення дії – сакади – немає підтвердження цієї дії. У

результаті зорова система виявляється ніби в омані, що неминуче веде до неприємних відчуттів. З іншого боку, недостатність сенсорного сигналу зменшує силу зворотного зв'язку між сенсорним та руховим апаратами, які в нормі працюють як єдине ціле.

У гомогенному середовищі не може повноцінно працювати бінокулярний апарат очей, оскільки імпульсом до злиття двох зображень правого і лівого очей є розбіжність їхніх контурів, а вона якраз і відсутня в гомогенному полі.

У гомогенному середовищі не можуть повноцінно працювати й інші механізми зору, зокрема апарат акомодатії, регулювання розміру зіниці.

У гомогенному середовищі не спрацьовують належним чином нервові клітини мозку.

4.7. Агресивні візуальні поля

Агресивні візуальні поля – це поля, що складаються з безлічі однакових елементів, рівномірно розосереджених на поверхні.

Багатоповерховий житловий будинок з великою кількістю вікон якраз і утворює агресивне візуальне поле (кількість однакових елементів), на якому важко визначити, на яке вікно він дивиться, тому що всі вікна абсолютно однакові.

Сучасна архітектура здебільшого створює своїм виглядом агресивне видиме середовище в місті. Це властиво всім багатоповерховим будинкам, де на величезній стіні розосереджена велика кількість вікон. Дивлячись на громадську будівлю з проїжджої частини вулиці або з протилежного боку, ми бачимо одночасно понад 500 однакових вікон. Дивитися на таку поверхню дуже неприємно. Це відбувається з тієї причини, що зображення, отримані правим і лівим очима, важко злити в зоровий образ. У результаті не може повноцінно працювати бінокулярний апарат очей (рис. 4.10-4.12).

На думку відеоекологів, проживання в типових кварталах може серйозно шкодити психіці. Людське око не витримує великої кількості прямих кутів і ребер і достатку площин – йому потрібні вигадливі, «природні» лінії та фарби. Опитування показують, що основна маса жителів спальних районів хотіли б звідти виїхати.



Рис. 4.10. Вулиця Драгоманова, 2а, 2б, 4а, вулиця Олени Пчілки, 6а, 8
Архітектори: «Виробничо-Технічна Агенція», Ігор Авдєєв
Забудовники: «Київміськбуд», Perfect Group
Роки будівництва: 2014—2016 [<https://birdinflight.com/architectura-uk/25-najgirshih-suchasnih-budivel-kiyeva.html>]



Рис. 4.11. Житловий масив мікрорайону Позняки
[<https://100realty.ua/uk/articles/kvartira-na-poznakah-plusi-i-minusi-zitta-v-popularnomu-raioni-kiyeva>]



Рис. 4.12. ЖК Manhattan City, Київ

[<https://100realty.ua/uk/articles/kvartira-na-poznakah-plusi-i-minusi-zitta-v-popularnomu-raioni-kieva>]

Агресивне візуальне середовище є двох типів. Один тип візуальної однорідності – гладкий монохром, як-от: біла стеля без єдиної тіні або цяточки, інший – суцільне заповнення дрібними однорідними елементами: точками, квадратиками, рівними лініями, штрихуванням та іншими подібними деталями, що постійно повторюються.

Прикладами таких поверхонь є підвісна стеля, розділена на однакові квадрати, жалюзі, вагонка, тротуарна плитка. Споглядання цих поверхонь є не лише неприємним, але й некорисним. Від таких візуальних середовищ людина дуже швидко стомлюється. Оскільки агресивні візуальні поля в силу своїх характеристик виснажують зоровий апарат людини, який тісно зв'язаний з мозком, що в цілому призводить до нервового перенапруження організму та стресу.



ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

Наведіть приклади забудови з архітектурними агресивними полями. Доведіть, чому саме ці будівлі можна віднести до агресивної архітектури.

Наведіть приклади двох типів агресивного візуального середовища. Обґрунтуйте свою думку.

4.8. Гомогенні та агресивні візуальні поля як можлива причина агресії

Медико-біологічні дослідження показують, що агресивні візуальні поля провокують синдром «неусвідомленої агресії» – хуліганство, пияцтво, лихослів'я. У людей з хворою нервовою системою можуть з'явитися запаморочення, нудота, у епілептиків – черговий напад, а у здорових людей можуть виявитися відхилення в психіці.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), процеси урбанізації ведуть до неухильного зростання психічних захворювань. За останнє десятиріччя кількість психічно хворих людей зросла на порядок. Лікарі-психіатри вважають, що 80 % їхніх пацієнтів у великих містах мають «синдром великого міста». Основні ознаки – пригнічений стан, психічна невірноваженість, агресивність.

Дослідженнями встановлено, що якщо в поле зору потрапляє більше 10-13 однакових елементів, то людина вже внутрішньо готова до подразнення. Одноманітні, гомогенні й агресивні візуальні середовища призводять до розладу зору, впливають на здоров'я центральної нервової системи. Виявлено, що у міських школярів короткозорість зустрічається в півтора-два рази частіше, ніж у сільських. І це обумовлено урбанізованим візуальним середовищем.

У жителів мікрорайонів, у яких панують голі стіни, асфальт, залізобетон, прямі тротуари, однакові бордюри, збудовані в ряд гаражі-черепашки, радість зорового спілкування з навколишнім світом поступово поступається місцем роздратуванню. Виникає підсвідомий, часто неконтрольований протест, бажання змінити обстановку. І, як

наслідок, – зневажливе ставлення до свого дому, оселі, до свого двору. Звідси - вигоптані газони, зіпсовані ліфти й брудні під'їзди.

Багато країн приймають досить жорсткі заходи для оздоровлення міського середовища. Так, в Сент-Луїсі (США, штат Міссурі) був знесений цілий квартал, збудований в стилі модерн. Рішення влада штату мотивувала тим, що весь район став розсадником злочинності й розпаду соціальних зв'язків у місті.

4.9. Можливості створення комфортного візуального середовища з використанням горизонтальних і вертикальних зелених конструкцій та внутрішнього озеленення

Покращити візуальне середовище можна декоруванням або ускладненням архітектурних форм задля уникнення гомогенності або ритмічного повторення однотипних елементів. Проте найкращі результати надасть максимальне наближення середовища до природного. Такий напрям дизайну називається «*біофільний дизайн*». Це поняття стосується лише зовнішнього вигляду. Воно передбачає створення архітектурних форм, оздоблення та предметів, наближених до природних форм, уведення штучних, сухих і живих рослин тощо. Цей підхід ставить лише одну задачу – створення візуального середовища, сприятливого для людини. Є більш вузьке за доступними засобами, але більш глибоке з огляду на цілі поняття – фітодизайн. Його ввів у світову практику український учений, академік АН УРСР, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (помертньо) Андрій Гродзинський у 1981 р. як «використання рослин для поліпшення довкілля у штучних системах». Живі рослини мають багатогранний комплексний вплив на середовище завдяки фізичним, хімічним і біологічним процесам у них.

Крім цього, рослини спроможні позитивно впливати на суб'єктивне сприйняття параметрів мікроклімату. При вивченні впливу рослин на людину (когнітивні здібності, психоемоційний стан), індійські вчені виявили, що група людей, яка знаходилася у приміщенні з рослинами, відчувала оточення прохолоднішим (0,4 балів за семибальною шкалою температурних відчуттів ASHRAE) і менш сухим, ніж група людей у приміщенні без рослин, навіть коли параметри мікроклімату в обох групах підтримувалися ідентичними. Крім того зазначалося, що рослини

значно покращують психоемоційний стан та візуальний комфорт людей і знижують негативні впливи. Також спостерігаються фізіологічні покращення, наприклад полегшення дихання [56]. Фітодизайну буде присвячено окремий розділ.

Зелені конструкції – це поєднання будівельних конструкцій та живих рослин. Однією з їхніх переваг є перетворення гомогенного та агресивного візуального середовища на дружнє до людини. Приклади на рис. 4.13-4.20 показують, як рослини здатні приховати недоліки будівель та штучно створити візуальне середовище, близьке до природного. Зелені конструкції також можуть приховувати позаконтекстну забудову на тлі історичної забудови. На рис. 4.21 показано контекстний колаж світлин м. Бичина. Як бачимо, рослини здатні сховати позаконтекстну будівлю банку, але штучне порушення рівної горизонтальної лінії карниза значно покращує естетичний вигляд. СЕМ UA.10156.41.032-2025 визначає термін «відеоєкологічний підхід» як «Підхід, що формує сприятливе для сприйняття людиною візуальне середовище». Зеленим конструкціям також буде присвячено окремий розділ.



Рис. 4.13. Маскування недоліків будівлі вертикальним озелененням, м. Одеса (авторська світлина)



Рис. 4.14. Маскування недоліків будівлі вертикальним озелененням.
Поділ, м.Київ (авторська світлина)



Рис. 4.15. Вертикальне озеленення фасадів будівлі готельного
комплексу Казка, селище Кароліно-Бугаз, Одеська область
(авторська сітлина)



Рис. 4.16. Вертикальне озеленення будівлі бібліотеки Варшавського технічного університету (авторська світлина)



Рис. 4.17. Вертикальне озеленення фасаду будівлі Національного музею, м.Вроцлав, Польща (авторська світлина)



Рис. 4.18. Можливості покращення візуального сприйняття паркінгу за рахунок маскуванню зеленими конструкціями, Іспанія (авторська світлина)



Рис. 4.19. Використання озеленення для покращення візуального сприйняття фасаду будівлі. Париж, Франція (авторська світлина)



Рис. 4.20 Зелена покрівля Варшавського технічного університету, м.Варшава, Польща (авторська світлина)



Рис. 4.21. Контекстні колажі банку в Бичині:
 а – загальний вигляд; б – варіант приховування ампельними рослинами;
 в – варіант приховування з уникненням горизонтальних ліній



ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

Знайдіть приклади озеленення будівель с фасадними зеленими блоками, терасним озелененням та покрівлями.

Проаналізуйте та поясніть, як ці зелені конструкції впливають на відеоекологічний аспект та які функції у концепції сталого розвитку вони ще можуть виконувати.

Висновки

Процеси урбанізації з кожним днем віддаляють наше сучасне навколишнє середовище від візуального ідеалу. Завдання відеоекології спрямовані на максимальну гармонізацію штучного простору для покращення психоемоційного стану людини задля забезпечення комфортного існування без шкоди здоров'ю. Для покращення візуального стану місцевого середовища важливого значення набуває розвиток екологічної архітектури, який повинен передбачати відеоекологічний підхід. Важливим фактором для покращення візуального середовища міст є багатство та різноманітність архітектурних форм, відсутність гострих прямих ліній, декор будівель і застосування принципів зеленого будівництва з використанням технологій зелених конструкцій. Аспект зеленого будівництва можна значно розвинути та просунути на будівельному ринку за рахунок створення національної нормативної бази, а початок цьому процесу вже покладено в СЕМ UA.10156.41.032-2025.

Контрольні запитання

1. З яких двох понять походить термін «відеоекологія»? Яка теоретична концепція лежить в основі відеоекології?
2. Що розуміють під візуальним середовищем?
3. Чому візуальне середовище є важливим компонентом якості життя людини? Як процеси урбанізації та індустріалізації призвели до погіршення візуального середовища?

4. Що таке сакада і як перекладається цей термін? Який характер мають сакадичні рухи очей? Яку роль відіграють сакади у процесі зорового сприйняття?
5. Які наслідки виникають, якщо око не знаходить елемента для фіксації? Як одноманітність середовища впливає на стан мозку?
6. Дайте визначення гомогенних візуальних полів. Які елементи міської забудови найчастіше утворюють гомогенні візуальні поля?
7. Чому в гомогенному середовищі око не може працювати в економному режимі? Як змінюється амплітуда сакад у гомогенному середовищі?
8. Які об'єкти відносять до малих архітектурних форм? Яку роль малі архітектурні форми відігравали у візуальному середовищі? Як змінилася архітектура малих форм у сучасних містах?
9. Дайте визначення агресивних візуальних полів. Чому багатоповерхові житлові будинки з великою кількістю однакових вікон вважаються агресивними? Яким чином агресивні поля ускладнюють бінокулярне сприйняття?
10. Який зв'язок встановлено між візуальними полями та агресивною поведінкою людей?
11. Які медико-біологічні наслідки агресивного візуального середовища можуть виникати у людей з ослабленою нервовою системою?
12. Що таке «синдром великого міста»? Які психоемоційні симптоми характерні для цього синдрому?
13. У чому полягає суть біофільного дизайну? Які засоби використовує біофільний дизайн для покращення візуального середовища?
14. Хто і коли запровадив поняття «фітодизайн»? Чим фітодизайн відрізняється від біофільного дизайну?
15. Який комплексний вплив мають живі рослини на штучне середовище, зокрема на суб'єктивне сприйняття параметрів мікроклімату? Які психоемоційні та фізіологічні ефекти спостерігаються у присутності рослин?
16. Що таке зелені конструкції? Як вони змінюють гомогенне та агресивне візуальне середовище?

17. Як вертикальне та горизонтальне озеленення може маскувати недоліки забудови? Яку роль зелені конструкції можуть відігравати в історичному середовищі міста?
18. Що означає «відеоекологічний підхід» згідно з СЕМ UA.10156.41.032-2025?
19. Які додаткові функції зелені конструкції виконують у концепції сталого розвитку?

Рекомендована література

1. Library of Consciousness. Arcology the city in the image of man. URL: <https://www.organism.earth/library/document/arcology>
2. Вікіпедія. Сакада. Автоматія сакад. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%B4%D0%>
3. Будова ока. URL: <https://novyizir.ua/zakhvoriuvannia/budova-oka/>
4. Перетворення торгівлі у кіосках: що варто взяти за приклад киеву у Європи. URL: https://kiev.vgorode.ua/ukr/news/transport_y_ynfrastruktura/a1198163-peretvorennya-torhivli-u-kioskakh-ta-paviljonakh-shcho-varto-vzjati-za-priklad-kijevu-u-jevropi
5. Козлова К. 25 найгірших сучасних будівель Києва. 2020. URL: <https://birdinflight.com/architectura-uk/25-najgirshih-suchasnih-budivel-kiyeva.html>
6. Квартира на Позняках: плюси і мінуси життя в популярному районі Києва. URL: <https://100realty.ua/uk/articles/kvartira-na-poznakah-plusi-i-minusi-zitta-v-popularnomu-raioni-kiyeva>
7. Устименко Л. Регіональні відеоекологічні особливості туристичних центрів. Вісник Київського національного університету культури і мистецтв. Серія: Туризм. Випуск 1, 2018. DOI:10.31866/2616-7603.1.2018.151801
8. Kozlova N. Contemporary facades of multistorey residential buildings in kiev: videoecological aspect. SPATIUM. No. 36, December 2016, pp. 24-33. <https://doi.org/10.2298/spat1636024k>
9. Kozlova N. Architectural organization of facades according to the principle of variability: videoecological aspect. Journal of Architecture and

Urbanism. 2018 Volume 42 Issue 1: 52–62.
<https://doi.org/10.3846/jau.2018.1842>

10. Петрук В. Г., Цвенько О. О., Кватернюк С. М. Відеоєкологія. Позитивні тенденції та перспективи розвитку. Conference: III-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю. At: Вінниця Volume: 2. 2011.
https://www.researchgate.net/publication/276273197_Videoekologia_Pozitivni_tendencii_ta_perspektivi_rozvitku

11. Nekos A.N., Bielkina O. V. Video Environmental Assessment of the Administrative Regions Within Urbgeosystem Territories. No. 31 (2019): Man and Environment. Issues of Neoeology. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-07>

12. Bondarchuk O., Petruk V., Tsvenko O. Ecological safety of visual perception of natural and artificial environment. Ecological Sciences, 2016. № 12-13. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2016/12-13/9.pdf>

13. Боярчук О. Д. Екологія людини: навч. посіб. / О. Д. Боярчук, А. В. Гришук, О. Е. Грановський. – Полтава: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2024. – 110 с.

14. Кашуба О., Якубовський В. Формування фасадів через призму візуальної екології. Просторовий розвиток. № 1. 2022. 15–27.
<https://doi.org/10.32347/2786-7269.2022.1.15-27>

15. Козлова Н.В. До питання комфортного візуального середовища міста: методи визначення. Містобудування та територіальне планування. С. 254-260., 2017. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/e7f3b000-46ee-470e-966f-2321ce627cda/content>

5. СТАНОВЛЕННЯ ПОНЯТТЯ «СИНДРОМУ ХВОРОЇ БУДІВЛІ» ТА ШЛЯХИ ЙОГО ПОДОЛАННЯ

У сучасному світі люди проводять у середньому 80-90 % свого часу в приміщеннях, а саме школах, квартирах, офісах, спортивних залах, торговельних і розважальних закладах тощо. Отже, ризики для здоров'я можуть бути більшими через забруднене повітря в приміщенні, ніж через забруднене зовнішнє повітря [1-6]. Якщо людина живе у житловому комплексі з внутрішнім або підземним паркінгом і працює в закладі, що має подібний паркінг, а також користується лише послугами доставлення для покупок, то вона може взагалі не перебувати на зовнішньому повітрі протягом тривалого часу. А це ще більше поглиблює проблему

5.1. Історія питання

З 1970-х років все частіше реєструються неспецифічні симптоми, які відзначалися мешканцями нещодавно збудованих будинків, офісів та дитячих садків. У ЗМІ це називалося «службовою хворобою», яку пов'язували з заміною старих будинків з природною вентиляцією на більш енергоефективні, «герметичні» будівлі. [7]. До таких захворювань відносяться риніт, астма та гіперчутливий пневмоніт, які можуть бути спричинені впливом плісняви, спор чи подразнювальних хімічних речовин, а також інфекційними ускладненнями, як-от синусит [8]. Риніт, кон'юнктивіт і ларингофарингіт можуть бути викликані певними подразненнями в приміщеннях [7]. Спалахи інфекційних захворювань, пов'язаних із будівлями, як-от хвороба легіонерів, вірусні інфекції та туберкульоз, добре відомі. Окремі шкірні захворювання, зокрема алергічний і дратівливий дерматит і кропив'янка, теж пов'язані з певними впливами в приміщеннях, зокрема алергени та волокнисте скло [9].

Більш широке використання синтетичних матеріалів у будівництві та обладнанні, зростання кількості працівників, зайнятих в офісних приміщеннях, та автоматизація офісної роботи з більшою регламентацією та стресом також можуть сприяти зростанню офісних захворювань [10].

Термін «синдром хворої будівлі» (Sick Building Syndrome, SBS) було запроваджено ВООЗ у 1986 році, коли вони також підрахували, що 10-30 % новозбудованих офісних будівель на Заході мають проблеми з повітрям у приміщеннях. [11].

Термін «синдром хворої будівлі» (sick building syndrome – SBS) використовується для опису ситуацій, коли довготривале перебування людей у певній будівлі призводить до різних недуг, проте об'єктивних причин, що б свідчили про конкретну хворобу, немає [12].

Агентство з охорони навколишнього середовища (EPA) визначило «синдром хворої будівлі (SBS) як ситуацію, у якій мешканці будівлі мають гострі проблеми зі здоров'ям та комфортом, які, мабуть, пов'язані з часом, проведеним у будівлі, але не можуть бути ідентифіковані жодні конкретні захворювання чи причини». Крім того, у Європейській організації узгоджених дій (ЕСА) термін «синдром хворої будівлі» позначає категорію різних симптомів, які відчуваються переважно людьми, які працюють у будівлях, у яких повітря кондиціюється» [13].

Аналіз наявних підходів дозволяє визначити [14] термін «синдром хворої будівлі» як сукупність постійних фізичних, хімічних, біологічних та психологічних факторів, які призводять до погіршення здоров'я, а симптоми повністю або частково зникають, коли людина залишає проблемну будівлю.

У програмі «Офісу радіації внутрішнього повітря» (США) підіймається питання впливу забруднення повітря приміщення на здоров'я людини, зокрема, ретельно розглядається негативний вплив радону [15].

Виділяють дві групи порушень стану здоров'я людини, обумовлених впливом внутрішнього середовища. Перша група має назву «захворювання, пов'язані з будівлями» (BRI, Building Related Illness) [16]. Вона містить порушення стану здоров'я, що пов'язані з певними факторами всередині приміщення, наприклад, виділенням формальдегіду з полімерних та дерево-струганих матеріалів. Після усунення шкідливого впливу симптоми захворювання, як правило, не зникають і процес відновлення може потребувати досить тривалого часу.

Друга група має назву «синдром хворої будівлі» (SBS, Sick Building Syndrome) [17]. Це гострі порушення стану здоров'я та дискомфорт, що виникають у конкретному приміщенні та майже повністю зникають при виході з цього приміщення.

5.2. Забруднювачі повітря приміщень

Стосовно якості повітря в приміщеннях опубліковано багато статей. Найбільша кількість публікацій припадає на Китай (загальна сила посилань 621), за ним слідує Австралія (515), США (340) і потім Великобританія (325). Індія знаходиться на п'ятому місці з кількістю посилань 288. Походження здається набагато глобальнішим, охоплюючи Європу, Азію та Америку [18].

У повітрі приміщень існує безліч потенційно важливих впливів. Найпоширенішими джерелами цих забруднювачів речовин є матеріали для ремонту та реконструкції, як-от фарби, килими, покриття для підлоги, ізоляційні матеріали, клеї, офісне приладдя, засоби для чищення та офісна техніка.

Підвищена вологість та наявність джерел води є значущим фактором ризику для розвитку біологічного забруднення всередині приміщень. Вологі будівельні та оздоблювальні матеріали, як-от килимові покриття та стельові плити, створюють сприятливе середовище для проліферації мікроорганізмів, зокрема пліснявих грибів і бактерій.

Окрім того, пористі матеріали, як-от килими та оббивні тканини, можуть виступати не лише первинними джерелами забруднення, але й виконувати функцію вторинних резервуарів. Вони здатні адсорбувати різноманітні забруднювачі, зокрема леткі органічні сполуки (ЛОС) та тверді частки, з подальшим вторинним забрудненням повітря.

Фізичні параметри внутрішнього середовища, як-от температура, відносна вологість повітря, рівень шуму та інтенсивність освітлення, також є важливими показниками якості внутрішнього повітря та можуть суттєво впливати на формування синдрому хворої будівлі [19].

Системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря повинні забезпечувати надходження зовнішнього* повітря, змішування його з рециркуляційним повітрям (у разі потреби), кондиціонування (тобто нагрівання, охолодження, зволоження, осушення) та подальшу циркуляцію

* У літературі часто можна зустріти термін «свіже повітря» для зовнішнього. Цей термін некоректно вживати в контексті вентиляції, оскільки визначення свіжого повітря на сьогодні немає, а зовнішнє повітря з навантаженої магістралі або гірничо-видобувного регіону з териконами, що виділяють пил і забруднюють повітря всього міста, навіть інтуїтивно важко назвати свіжим.

отриманого повітря. Для забезпечення належної якості повітря така система має подавати достатній об'єм зовнішнього повітря до всіх зайнятих приміщень та ефективно видаляти забруднене відпрацьоване повітря, знижуючи концентрацію шкідливих домішок. У США Американське товариство інженерів з опалення, охолодження та кондиціонування повітря (ASHRAE) встановило стандарт вентиляції для офісних приміщень, який рекомендує подавати не менше 20 кубічних футів за хвилину ($0,57 \text{ м}^3/\text{хв}$) зовнішнього повітря на одну людину [20].

Багато проблем можуть призвести до неналежного функціонування зазначених систем, навіть тих, що були спроектовані відповідно до стандартів. Наприклад, вентиляція та кондиціонування повітря покладаються на чисте зовнішнє повітря. Якщо будівля оточена з усіх боків навантаженими автошляхами з частими тиснявами або знаходиться у місті з гірничо-видобувною промисловістю і териконами, які постійно забруднюють повітря всього міста пилом і продуктами горіння, або знаходиться в промисловій зоні з застарілими не екологічними технологіями, то забруднене повітря буде забиратися системами вентиляції.

Хоча загальна продуктивність вентиляції відповідає нормам, система може бути недостатньо відрегульованою, тобто вентиляція в різних частинах будівлі може бути нерівномірною. Неправильно запроектована організація повітрообміну (подавання та видалення повітря) може призводити до забирання невідпрацьованого припливного повітря.

Нездоланною хворобою вентиляції приміщень з масовим перебуванням людей XXI століття стало подавання та видалення повітря з протилежних стін (рис. 5.1). Замовники вимагають проектувати саме таку організацію повітрообміну через мінімальну довжину повітропроводів, що призводить до значного здешевлення системи. Проте рух повітря розноситиме біоаерозолі.

У найгіршому випадку формується спіралеподібний рух повітря, здатний перенести забрудники як поперек, так і вздовж усього приміщення (рис. 5.1). На рисунку видно нерівномірність розподілення температури вздовж приміщення.

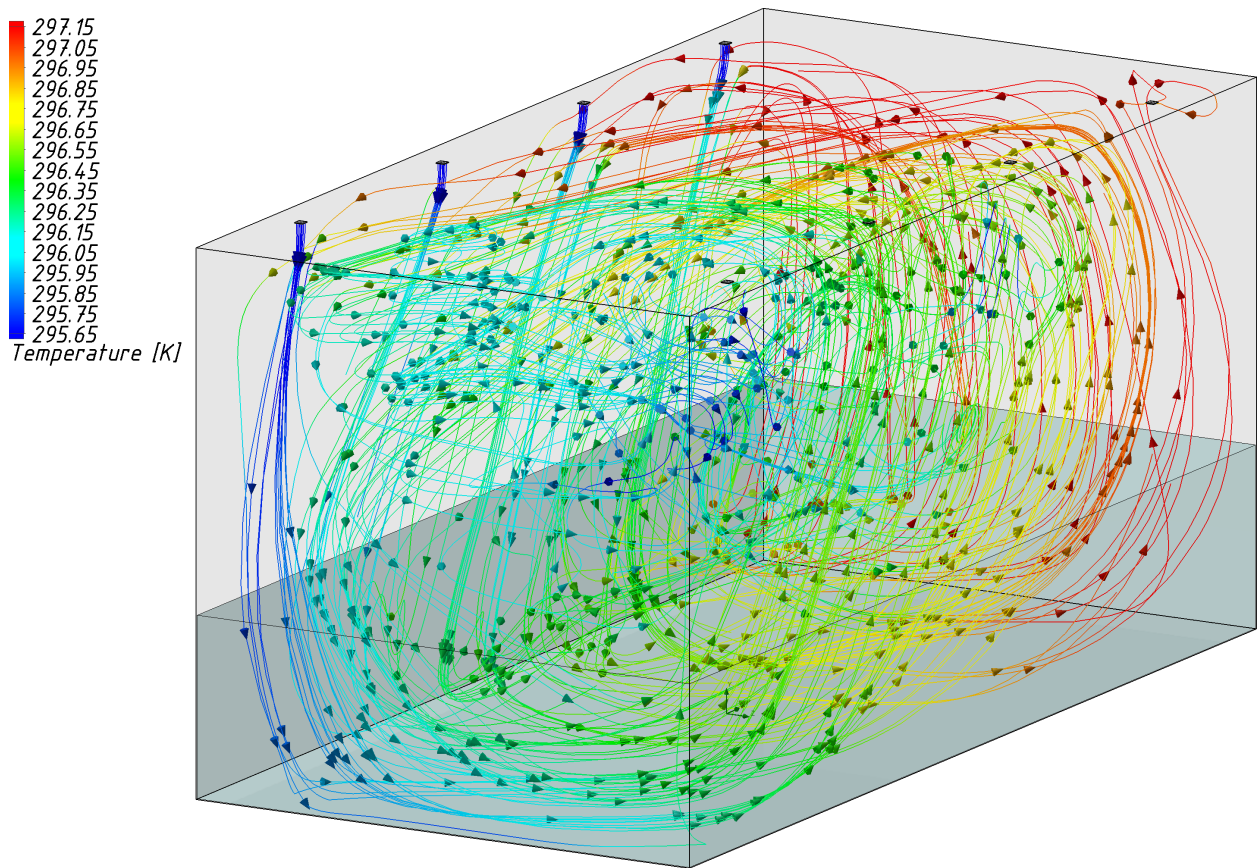


Рис. 5.1. Лінії течії повітря в приміщенні при подаванні повітря біля однієї стіни та видаленні біля іншої: сірим виділено робочу зону приміщення

Крім того, сама система вентиляції може бути джерелом забруднення повітря. Скловолокно та інші теплоізоляційні матеріали, що покривають повітропроводи, можуть виділяти тверді частинки в повітря. Такий матеріал може стати вологим, створюючи ідеальне і часто приховане місце для зростання мікроорганізмів [21]. При застосуванні електричних повітрянагрівачів з високою температурою нагрівних поверхонь відбуваються хімічні реакції у частинках пилу.

Особливо небезпечним явищем є порушення правил експлуатації фільтрів, зокрема невчасне замінення або регенерування фільтрувального матеріалу. Навіть якщо через достатню чистоту зовнішнього повітря або режим експлуатації вентиляції за рекомендований час фільтр не засмічено, його обов'язково треба замінювати. Інакше мікроорганізми з уловленого пилу розмножуються, що супроводжується вторинним забрудненням повітря.

Тривалість роботи в постраждалій будівлі є важливим фактором. Менеджери, які можуть не працювати на одному місці довгий час, можуть не мати синдрому хворої будівлі, тоді як службовці, які залишаються на одному місці, мають їх. Психологічні фактори, як-от незадовільне візуальне середовище, незадоволеність роботою, стрес та низький статус на роботі посилюють симптоми синдрому хворої будівлі. Поглиблюють проблему індивідуальні фактори ризику, зокрема алергія, гіперреактивність дихальних шляхів та бронхіальна астма в анамнезі, проблеми зі шкірою або інші наявні захворювання. Також відмічено, що жінки схильні до більш високого ризику, ніж чоловіки.

Виходячи з аналізу літератури, можна сказати, що синдром хворої будівлі пройшов значну еволюцію у визначенні та вивченні як факторів, які сприяють прояву симптомів синдрому хворої будівлі, так і у класифікації самих симптомів. Поступово, з розвитком промисловості та введенням в інтер'єр нових будівельних та оздоблювальних матеріалів, різних технологій і приладів, зростає кількість і інтенсивність шкідливих факторів синдрому хворої будівлі.

Наприклад, починаючи з 2000 р., активно вивчається вплив кліматичних змін на здоров'я людини. Британські вчені вважають, що підвищення герметичності житлових приміщень з метою підвищення енергоефективності та пом'якшення змін клімату може мати негативні наслідки за рахунок збільшення концентрації забруднювачів (таких як РМ 2.5, СО і радон), одержуваних з внутрішніх або наземних джерел, і біологічного забруднення. Ці ефекти можна значно пом'якшити за допомогою механічної вентиляції з утилізацією теплоти (MVHR) та фільтрування повітря, якщо таке рішення здійснене і якщо система правильно встановлена, експлуатується та обслуговується. До груп підвищеного ризику цих несприятливих наслідків для здоров'я належать люди похилого віку (особливо ті, хто живе один), люди з вже наявними захворюваннями, люди, що живуть у переповнених приміщеннях, та особи, які перебувають у несприятливому соціально-економічному становищі [22]. До заходів щодо зниження перегрівання будівлі відносяться використання зелених конструкцій, застосування оздоблювальних матеріалів з високим альбедо, використання енергоефективних

склопакетів, якісна теплоізоляція, світлодіодне освітлення тощо. Разом з тим, якість повітря в приміщенні залежить від якості зовнішнього повітря.

Поряд з тим, група вчених на підставі аналізу 38 літературних джерел дійшла до висновку, що вплив кліматичних змін на внутрішній тепловий комфорт будівель вивчено недостатньо та потребує подальших досліджень впливу теплоти на здоров'я та комфорт людей. З появою таких досліджень можна буде розробляти превентивні заходи для безпеки внутрішнього середовища будівель [23]

Середовище та спосіб життя людей кардинально змінилися з часом. Необхідно переоцінити фактори ризику, пов'язані зі змінами соціальних умов, щоб запобігти синдрому хворої будівлі. Японськими вченими було проведено загальнонаціональне онлайн-опитування за участю 4996 осіб. Чинники ризику цього синдрому було вивчено за допомогою логістичного регресійного аналізу. Основними факторами ризику були жіноча стать і молодий вік. Іншими факторами ризику були наявність в анамнезі алергії та психічних захворювань, особливі житлові умови для внутрішнього середовища. Результати дослідження вказують на можливість запобігання синдрому хворої будівлі шляхом ретельного вибору внутрішнього середовища та способу життя [24].

5.3. Хвороби, спричинені забрудненням внутрішнього повітря

З'являється все більше доказів того, що забрудники повітря є основною причиною зростання респіраторних захворювань у країнах, що розвиваються, як-от Китай та Індія [25, 26]. Ці забрудники повітря можуть бути присутніми в приміщеннях у більш високих концентраціях, ніж на відкритому повітрі [27].

Поширені симптоми при СХБ [7]:

- подразнення слизових оболонок – очей, горла, кашель.
- нейротоксичні ефекти – головний біль, втома, відсутність концентрації.
- респіраторні симптоми – задишка, кашель, хрипи.
- шкірні симптоми – висипання, свербіж, сухість.
- хемосенсорні зміни – підвищене чи ненормальне сприйняття запахів.
- порушення зору.

У дослідженні [28] оцінюються симптоми синдрому хворої будівлі та показник якості внутрішнього повітря в приміщенні (Indoor Air Quality, IAQ) серед персоналу лікарняних відділень. Респонденти висловили стурбованість щодо умов у приміщеннях, зокрема коливання температури, неприємні запахи та шум. Поширеними були втома, труднощі з концентрацією уваги та різні респіраторні симптоми, що вказує на потенційні проблеми зі здоров'ям, пов'язані із забруднювачами у приміщеннях. Результати підкреслюють терміновість вирішення проблем якості повітря для покращення добробуту пацієнтів і працівників охорони здоров'я.

Дослідження [29] показали, що астма та риніт у китайських дітей пов'язані з неякісним повітрям. Було досліджено 39 782 китайські дитини віком 3–6 років з випадково вибраних дитячих садків у семи містах Китаю. Дані про астму, респіраторні симптоми, риніт, вплив у приміщенні та на вулиці оцінювалися за допомогою анкети, що заповнюється батьками. Автори прийшли до висновку, що вогкість у приміщенні, забруднення повітря цвілью, пасивне куріння, проживання поблизу великих автодоріг сприяє розвитку астми та риніту у дітей.

Також на розвиток астми впливає вид бактерій у пилу [30].

Дослідження Агентства з охорони навколишнього середовища США показало, що моделі Монте-Карло можна використовувати для прогнозування впливу на людину та ризиків раку, спричинених фталатами у приміщеннях [31, 32]. Розуміння концентрацій, рівнів впливу та ризиків для здоров'я від фталатів у приміщеннях важливе для зниження небезпек для здоров'я, спричинених впливом навколишнього середовища.

5.4. Забруднення повітря леткими органічними сполуками та хімічними речовинами

Монооксид вуглецю, оксиди азоту, сірки, озон, бензол, толуол, етилбензол, ксилол та інші є забрудниками повітря в приміщеннях. Вони перебувають у набагато більш високих концентраціях у приміщеннях, особливо коли у будівлі немає вентиляції. Дослідження проведено в різних частинах світу, зокрема домогосподарства з низьким доходом у Європі [33] та недавні дослідження Агентства з охорони навколишнього середовища США (EPA) у школах [34].

Вуглекислий газ є особливою речовиною CO₂, яка з одного боку життєво необхідна для нормального функціонування організмів, але при перевищенні певного вмісту стає забрудником. Хоча рівень CO₂ у приміщенні 600 ppm забезпечує адекватну якість повітря, за даними [35] 1000 ppm вказує на погану якість повітря. При рівнях CO₂ 1000...2500 ppm відбувається значне зниження ефективності прийняття рішень. Організм не відчуває вмісту кисню, натомість підвищення рівня вуглекислого газу є індикатором нестачі кисню в повітря. Спрацьовують захисні механізми, які дозволяють забезпечити мінімальне функціонування органів при нестачі кисню – підвищується частота серцевих скорочень та артеріальний тиск, з'являється сонливість, що може наростати до практично нездоланної, знижується розумова діяльність тощо. Побічним ефектом зміни функціонування кровоносної системи є підвищення ризику серцево-судинних захворювань.

Рівень CO₂ в приміщенні можна розглядати як індикатор ефективності вентиляції приміщень. Високі концентрації CO₂ можуть бути пов'язані з вищими концентраціями інших забрудників у приміщенні, які є результатом поганої вентиляції [36]. Вентиляція зі змінною витратою повітря може використовувати давачі CO₂ для керування.

При дослідженні рівня концентрації бензолу, толуолу та ксилолу у нещодавно відремонтованих будівлях міських і приміських районах Гуанчжоу, Китай, було встановлено підвищення їх концентрацій у повітрі порівняно зі старими будівлями. Середній приріст ризику раку протягом життя, викликаний вдиханням бензолу в недавно відремонтованих будівлях у Гуанчжоу, становив $6,8 \times 10^{-6}$, що вище за прийнятний рівень ризику – $1,0 \times 10^{-6}$ – і розрахункових значень для старих будинків [37].

Фталати (PAE) визнані напівлеткими органічними сполуками (SVOC) і широко використовуються як пластифікатори у споживчих товарах та будівельних матеріалах. Вони можуть потенційно несприятливо впливати на здоров'я людини. Фталати можуть прилипати до твердих частинок у приміщенні через свою леткість. Деякі з них присутні в повітрі та пилу, що осів. Це призводить до їх значного поширення в приміщеннях. У 2019 році Китай став одним із найбільших споживачів пластифікаторів у світі [38].

Якщо на початку вивчення синдрому хворої будівлі використовувалися здебільшого методи обстеження та анкетування, з часом з'явилися інші

методи вивчення негативних факторів та симптомів. Наприклад, застосовується метод технології дерева рішень. Дослідження було проведено в будівлі офісу муніципалітету Мешхеда, і були досліджені всі параметри здоров'я, які можуть сприяти виникненню синдрому хворої будівлі: соціально-демографічні дані, звички у стосунках та образі життя, інформація, пов'язана з роботою, інформація про історію хвороби, ергономічні параметри, психологічні фактори, забруднення навколишнього середовища, зокрема викиди летких органічних сполук, і бактеріальні забруднення. Результати показали, що поширеність симптомів синдрому хворої будівлі становила 74,4 % і 68,5 % у жінок і чоловіків, відповідно. Більш того, був виявлений значущий зв'язок між формою синдрому хворої будівлі та поточним захворюванням, тривалістю роботи і, особливо, психологічними факторами. Найбільш високі концентрації летких органічних сполук були пов'язані з бензолом і толуолом. Найбільш розповсюдженими представниками патогенної мікрофлори були *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* та *Klebsiella pneumoniae*. Таким чином, через поширеність синдрому хворої будівлі серед офісних працівників, використання коригувальних і контрольних заходів у довгостроковій перспективі має високе значення [13].

З розвитком штучного інтелекту активно почали використовуватися моделі прогнозування якості повітря [39]. Цей напрямок може значно вплинути на боротьбу з цим поширеним захворюванням.

5.5. Забруднення повітря пиловими частинками

Не менш важливим є забруднення повітря твердими частинками [74]. Найбільш шкідливими є частинки PM_{2.5}, тобто такі, що мають розміри до 2,5 мкм. Вони можуть глибоко проникати в легені, що викликає подразнення стінок альвеол, корозію та порушення дихання. PM_{2.5} проникають у кров через альвеолярно-капілярний бар'єр, що спричиняє серцево-судинні та респіраторні захворювання, а також рак. Більше того, сьогодні відомо про руйнування внутрішнього гематоретинального бар'єру, епітеліального бар'єру в клітинах носового епітелію людини та шкірного бар'єру.

Менш шкідливими є частинки PM10 (але ті, які не відносяться до PM2.5). Вони також можуть глибоко проникати в легені і викликати проблеми зі здоров'ям, але не спроможні долати гістогематичні бар'єри.

Вважається, що сільські регіони сприяють покращенню здоров'я. Проте [74] дослідження в Університеті Міннесоти показало, що 17 900 американців помирають щороку через забруднення повітря сільським господарством, насамперед, аміаком (NH₃) від розкладання добрив і відходів тваринництва (17,9 тис. смертей), а також частинками PM_{2,5} (4,8 тис. смертей). На забруднених територіях рослини мають більш агресивний алергенний пилок. Запилення сільської місцевості пов'язано з рухом транспорту ґрунтовими дорогами, відсутністю регулярного поливання асфальтованих доріг, роботою сільськогосподарської техніки тощо.

Контрольні запитання

1. Яку частку часу сучасна людина проводить у приміщеннях і чому це підвищує ризики для здоров'я? Чому забруднення повітря приміщень може бути небезпечнішим за зовнішнє забруднення?
2. У який період почали фіксувати неспецифічні симптоми, пов'язані з перебуванням у нових будівлях? Чому перехід до герметичних будівель став передумовою появи СХБ?
3. Які захворювання вперше пов'язували з перебуванням у «службових» будівлях? Яку роль відіграли синтетичні матеріали та автоматизація офісної праці у розвитку проблеми?
4. Коли і якою організацією було офіційно введено термін «синдром хворої будівлі»? Як ВООЗ та ЕРА трактують поняття СХБ? Яке узагальнене визначення СХБ пропонується на основі аналізу літератури?
5. Яка ключова ознака відрізняє СХБ від інших захворювань? Які основні симптоми характерні для СХБ?
6. Які основні джерела хімічного забруднення повітря в приміщеннях?
7. Яку роль відіграє підвищена вологість у формуванні біологічного забруднення? Чому пористі матеріали можуть бути вторинними джерелами забруднення?

8. Які фізичні параметри внутрішнього середовища впливають на формування СХБ?
9. Чому навіть правильно спроектовані системи вентиляції можуть працювати неефективно? У чому полягає проблема подавання і видалення повітря біля протилежних стін?
10. Яким чином теплоізоляційні матеріали повітропроводів можуть забруднювати повітря? Чому вологі ізоляційні матеріали є особливо небезпечними?
11. Які процеси відбуваються при використанні електричних повітрянагрівачів?
12. Чому порушення регламенту обслуговування фільтрів є критичним? Які наслідки має несвоєчасна заміна фільтрів навіть за низького пилового навантаження?
13. Як тривалість перебування в будівлі впливає на прояв симптомів СХБ?
14. Які психологічні фактори посилюють симптоми синдрому?
15. Які індивідуальні особливості підвищують ризик розвитку СХБ? Чоловіки чи жінки є більш уразливими до СХБ?
16. Як підвищення герметичності будівель з метою енергоефективності може впливати на якість повітря? Яку роль може відігравати механічна вентиляція з утилізацією теплоти?
17. За яких рівнів CO_2 якість повітря вважається поганою? Які фізіологічні реакції організму виникають при підвищених концентраціях CO_2 ?
18. Що таке фталати і де вони використовуються? Чому фталати вважаються небезпечними для здоров'я людини і як вони поширюються у внутрішньому середовищі?
19. Які пилові частинки вважаються найбільш небезпечними для здоров'я людини? Чим відрізняється вплив $\text{PM}_{2.5}$ та PM_{10} ? Які бар'єри організму можуть долати частинки $\text{PM}_{2.5}$?
20. Чому забруднення повітря є проблемою не лише для міських, а й для сільських територій?

Рекомендована література

1. Impact of the COVID-19 pandemic on clean fuel programmes in India and ensuring sustainability for household energy needs / K. Ravindra et al. *Environmental International*. 2021. Vol. 147. P. 106335. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106335> (date of access: 03.04.2025).
2. National Human Activity Pattern Survey. The national human activity pattern survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2001. Vol. 11. P. 231–252. URL: <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165> (date of access: 03.04.2025).
3. Personal exposure monitoring of particulate matter, nitrogen dioxide, and carbon monoxide, including susceptible groups / R. Harrison et al. *Occupational and Environmental Medicine*. 2002. Vol. 59. P. 671–679. URL: <https://doi.org/10.1136/oem.59.10.671> (date of access: 03.04.2025).
4. Soreanu G., Dixon M., Darlington A. Botanical biofiltration of indoor gaseous pollutants – a mini-review. *Chemical Engineering Journal*. 2013. Vol. 229. P. 585–594. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.06.074> (date of access: 03.04.2025).
5. The national human activity pattern survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants / N. E. Klepeis et al. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2001. Vol. 11. P. 231–252. URL: <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165> (date of access: 10.04.2025).
6. Vardoulakis S. Human exposure: indoor and outdoor. *Air Quality in Urban Environments*. 2009. Vol. 28. P. 85–107. URL: <https://doi.org/10.1039/9781847559654-00085> (date of access: 03.04.2025).
7. Redlich C. A., Sparer J., Cullen M. R. Sick-building syndrome. *The Lancet*. 1997. Vol. 349, no. 9057. P. 1013–1016. URL: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(96\)07220-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(96)07220-0).
8. Bourbeau J., Brisson C., Allaire S. Prevalence of the sick building syndrome symptoms in office workers before and after being exposed to a building with an improved ventilation system. *Occupational and Environmental Medicine*. 1996. Vol. 53, no. 3. P. 204–210. URL: <https://doi.org/10.1136/oem.53.3.204>.

9. Gaudinski M. R., Milner J. D. Atopic Dermatitis and Allergic Urticaria: Cutaneous Manifestations of Immunodeficiency. *Immunology and Allergy Clinics of North America*. 2017. Vol. 37, no. 1. P. 1–10. URL: <https://doi.org/10.1016/j.iac.2016.08.016>.
10. Indoor air quality and sick building syndrome symptoms in administrative office at public university / A. A. Mansor et al. *Dialogues in Health*. 2024. P. 100178. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dialog.2024.100178> (date of access: 03.05.2025).
11. Contributors to Wikimedia projects. Sick building syndrome - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Sick_building_syndrome (date of access: 03.05.2025).
12. Синдром хворої будівлі: причини, ознаки та профілактика | Центр громадського здоров'я. Центр громадського здоров'я України | МОЗ. URL: <https://phc.org.ua/news/sindrom-khvoroi-budivli-prichini-oznaki-ta-profilaktika> (дата звернення: 03.05.2025).
13. Air Quality associations with sick building syndrome: An application of decision tree technology / M. Sarkhosh et al. *Building and Environment*. 2025. Vol. 188. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107446>.
14. Tsiuriupa Y. Biosafety Provision in Large Halls. Case Study. *Науковий вісник ДонНТУ*. 2024. Vol. 13, no. 2. P. 6–14. URL: <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2024-2-13-6-14>.
15. Environmental Protection Agency. Office of Radiation and Indoor Air: Program Description. 1993. URL: <https://doi.org/10.2172/10115876>.
16. Building-Related Illnesses - Pulmonary Disorders - MSD Manual Professional Edition. MSD Manual Professional Edition. URL: <https://www.msmanuals.com/professional/pulmonary-disorders/environmental-and-occupational-pulmonary-diseases/building-related-illnesses> (date of access: 03.05.2025).
17. United States Environmental Protection Agency. Indoor Air Facts No. 4 (revised): Sick Building Syndrome. Washington, DC : U.S. Environmental Protection Agency, 1991.
18. Khaiwal R., Suman M. Phytoremediation potential of indoor plants in reducing air pollutants. *Frontiers in Sustainable Cities*. 2022. Vol. 4. P. 25. URL: <https://doi.org/10.3389/frsc.2022.1039710>.

19. Orkomi A. A. Impacts of environmental parameters on sick building syndrome prevalence among residents: a walk-through survey in Rasht, Iran. *Archives of Public Health*. 2024. Vol. 82, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s13690-024-01486-z> (date of access: 03.05.2025).
20. ASHRAE. Ventilation for acceptable indoor air quality: ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2022. 70 p.
21. Impact of the COVID-19 pandemic on clean fuel programmes in India and ensuring sustainability for household energy needs / K. Ravindra et al. *Environmental International*. 2021. Vol. 147. P. 106335. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106335> (date of access: 03.04.2025).
22. Impact of climate change on the domestic indoor environment and associated health risks in the UK / S. Vardoulakis et al. *Environment International*. 2015. Vol. 85. P. 299–313. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.010>.
23. Cartwright A., Khalatbari-Soltani S., Zhang Y. Housing conditions and the health and wellbeing impacts of climate change: A scoping review. Elsevier. 2025. Vol. 1. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.120846>.
24. Risk factors for the onset of sick building syndrome: A cross-sectional survey of housing and health in Japan / N. Suzuki et al. *Building and Environment*. 2021. Vol. 202. P. 107976. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107976>.
25. Evolution of air pollution management policies and research gap assessment in India / S. Gulia et al. *Int. J. Environ. Probl.* 2021. Vol. 100431. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100431>.
26. Overview of particulate air pollution and human health in China: evidence, challenges, and opportunities / Q. Zhang et al. *The Innovation*. 2022. Vol. 100312. URL: <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2022.100312>.
27. Myers I., Maynard R. L. Polluted air—outdoors and indoors. *Occupational Medicine*. 2005. Vol. 55. P. 432–438. URL: <https://doi.org/10.1093/occmed/kqi137>.
28. Evaluation of Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Measurement of Indoor Air Quality (IAQ) Parameter in One of Hospital Building in Johor / M. A. Rosli et al. *Journal of Advanced Research in Applied*

Sciences and Engineering Technology. 2024. P. 139–147. URL: <https://doi.org/10.37934/araset.52.2.139147> (date of access: 03.05.2025).

29. Asthma and rhinitis among Chinese children – Indoor and outdoor air pollution and indicators of socioeconomic status (SES) / D. Norbäck et al. *Environment International*. 2018. Vol. 115. P. 1–8. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.02.023> (date of access: 03.05.2025).

30. Indoor bacterial microbiota and development of asthma by 10.5 years of age / A. M. Karvonen et al. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2019. Vol. 144, no. 5. P. 1402–1410. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2019.07.035> (date of access: 03.05.2025).

31. Cumulative health risk in children and adolescents exposed to bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) / X. Gao et al. *Environmental Research*. 2023. Vol. 237, no. 1. P. 116865. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116865>.

32. Hu, Y., Bai, Z., Zhang, L., Wang, X., Zhang, L., Yu, Q., & Zhu, T. (2007). Health risk assessment for traffic policemen exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Tianjin, China. *Science of the Total Environment*, 382(2-3), 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.038>

33. Kolokotsa, D., & Santamouris, M. (2015). Review of the indoor environmental quality and energy consumption studies for low income households in Europe. *Science of the Total Environment*, 536, 316–330.

34. Why Indoor Air Quality is Important to Schools | US EPA. (n.d.). US EPA. <https://www.epa.gov/iaq-schools/why-indoor-air-quality-important-schools>

35. Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance / U. Satish et al. *Environmental Health Perspectives*. 2012. Vol. 120, no. 12. P. 1671–1677. URL: <https://doi.org/10.1289/ehp.1205181>.

36. Particle and Carbon Dioxide Concentration Levels in a Surgical Room Conditioned with a Window/Wall Air-Conditioning System / M. Pereira et al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17, no. 4. P. 1180. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph17041180>.

37. Benzene, toluene and xylenes in newly renovated homes and associated health risk in Guangzhou, China / Z. Du et al. *Building and Environment*. 2014. Vol. 72. P. 75–81.

38. Cancer risk and sick building syndrome in different regions of China: Potential hazard from particulate matter and phthalate pollutants / C. Sun et al. *Sustainable Cities and Society*. 2025. Vol. 124. P. 106297. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106297>.

39. Tkachenko T., Mileikovskiy V., Satin I., Ujma A. Agroecosystems air improvement for longer and healthier people life. *Engineering for rural development*, 2023, p. 895-901. URL: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF177>

6. РОЗРОБЛЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ФАКТОРІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ПОЯВУ ТА ПЕРЕБІГ «СИНДРОМУ ХВОРОЇ БУДІВЛІ»

6.1. Основні проблеми класифікування небезпечних факторів, пов'язаних із синдромом хворого будинку

Згідно з Державними санітарними нормами та правилами «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [3] шкідливий виробничий фактор – це фактор середовища або трудового процесу, вплив якого на працівника за певних умов (інтенсивність, тривалість дії тощо) може спричинити професійне або виробничо обумовлене захворювання, тимчасове або стійке зниження працездатності, підвищення частоти соматичних та інфекційних захворювань, призвести до порушення здоров'я як працівника, так і його нащадків. До шкідливих виробничих факторів відносяться фізичні, хімічні, біологічні фактори та фактори трудового процесу.

Наявна гігієнічна класифікація розроблена лише для промислових підприємств. Шкідливими виробничими факторами є:

- фізичні фактори:
 - мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання);
 - барометричний тиск;
 - неіонізуючі електромагнітні поля та випромінювання: електростатичні поля, постійні магнітні поля, електричні та магнітні поля промислової частоти (50 Гц), електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону, електромагнітні випромінювання оптичного діапазону, зокрема лазерне та ультрафіолетове;
 - іонізуючі випромінювання;
 - виробничий шум, ультразвук, інфразвук;
 - вібрація (локальна, загальна);
 - освітлення: природне (відсутність або недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

- іонізація повітря;
- хімічні фактори:
 - речовини хімічного походження, деякі речовини біологічної природи, які отримані хімічним синтезом та/або для контролю яких використовуються методи хімічного аналізу, аерозолі фіброгенної дії (пил);
- біологічні фактори:
 - мікроорганізми - продуценти, живі клітини та спори мікроорганізмів, що містяться в бактеріальних препаратах, патогенні мікроорганізми;
 - фактори трудового процесу:
 - важкість (тяжкість) праці - характеристика трудового процесу, що відображає рівень загальних енергозатрат, переважне навантаження на опорно-руховий апарат, серцево-судинну, дихальну та інші системи.

Виходячи з цієї класифікації, не дуже зрозуміло, чому кліматичні фактори (температура, відносна вологість повітря, освітленість, швидкість руху повітря) відносяться до фізичних факторів. Також незрозумілим лишається питання щодо класифікації деяких забрудників, наприклад, тютюнового диму та антропогенних, які є виділеннями від людини. Таким чином можна зазначити, що сучасна гігієнічна класифікація та класифікація впливових шкідливих факторів, яка наведена в неї, потребує розширення.

На початку 70-х років, коли тільки формувалася система понять, для «синдрому хворої будівлі» аналізувалася велика кількість різних факторів та параметрів виробничого середовища, серед яких:

- температура повітря;
- температура поверхонь;
- відносна вологість повітря;
- параметри вентиляції;
- параметри шуму;
- вібрація;
- денне освітлення;
- електромагнітні поля;
- ергономічний і універсальний дизайн;

- меблеве обладнання;
- запахи;
- тютюновий дим;
- фталати;
- формальдегід;
- леткі органічні речовини;
- штучні мінеральні волокна;
- біоциди;
- цвіль;
- бактерії;
- мікробні леткі органічні сполуки;
- пил;
- гендер;
- соціальний статус.

Статті 70-х років здебільшого були написані докторами медичних наук та були спрямовані саме на виявлення негативних факторів внутрішнього середовища та симптомів розладу здоров'я. Далі шкідливі фактори намагалися класифікувати за різними групами, наприклад, фізичні, хімічні, біологічні, фактори трудового процесу [3].

Проблема привернула широку увагу, це призвело до її ретельного вивчення. З часом до досліджень приєдналися вчені різних наукових галузей. Було зазначено, що недоцільно вивчати та описувати хворобу однієї людини. «Синдром хворої будівлі» – це масова хвороба, яка потребує широкої вибірки досліджених. Крім того, було зазначено, що поряд з широтою вибірки має значення гендер (чоловічий чи жіночий), соціальний та віковий статус людини, а також наявні хвороби в анамнезі. Наприклад, було зазначено, що найбільше до впливу «синдрому хворої будівлі» схильні люди низького соціального статусу, а також пенсіонери, люди з інвалідністю та діти, які забагато часу змушені проводити у закритому приміщенні. Крім того, більше до прояву хвороби схильні жінки та люди, які мають проблеми серцево-судинної системи, алергійні захворювання тощо.

З часом, з розвитком хімії та появою нових будівельних та оздоблювальних матеріалів та інших інноваційних технологій, суттєво поширився хімічний фактор «синдрому хворої будівлі».

З появою проблеми кліматичних змін, з'явився нових підхід у класифікації негативних факторів «синдрому хворої будівлі». Наприклад, країни з розвинутою економікою прийшли до висновку, що «синдром хворої будівлі» притаманний не тільки для країн з недостатньо розвинутою економікою та людей низького соціального статусу. До нього схильні будь-які будівлі, а дія негативних факторів розширюється за рахунок факторів зовнішнього середовища, кліматичних та екологічних. Саме вони діють на будівлю ззовні, перегрівують її, або навпаки переохолоджують, що в сукупності з внутрішніми факторами провокує різні хвороби у людей. Таким чином, класифікація негативних факторів «синдрому хворої будівлі» також повинна набути змін.

Деякі автори вважають важливими лише чотири критерії забруднення, а саме [2]:

- твердими частинками;
- біологічне забруднення, зокрема:
 - пилок;
 - грибки;
 - пліснява;
 - пилові кліщі;
- фізичне забруднення, викликане такими агентами, як:
 - температура;
 - світло;
 - електромагнітні поля;
- хімічне забруднення, зокрема
 - леткі органічні сполуки;
 - радон.

Саманех Бандехалі та ін. [1] поділяють забруднювачі повітря в приміщень на дві великі групи:

1. Неорганічні забруднювачі:
 - оксиди азоту;
 - мікроелементи;
 - ртуть;
 - озон;
 - тверді частинки, що вдихаються;
 - азбест.

2. Органічні забруднювачі:

- леткі органічні сполуки;
- толуол і етилбензол;
- формальдегід;
- вуглекислий газ і діоксид вуглецю;
- ацетальдегід;
- акролеїн;
- нафталін;
- трихлоретилен;
- тетрахлоретилен.

На наш погляд, ця класифікація не є повною, оскільки вона не враховує інші забруднювачі повітря.

Класифікація летких органічних сполук (ЛОС) Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), адаптована з [4], наведена у табл. 6.1. Але ця класифікація стосується лише одного типу забруднювачів, та не може бути вичерпною.

Таблиця 6.1

Класифікація летких органічних сполук ВООЗ [4]

| Категорія | Абревіатур а | Діапазон температур кипіння, °С |
|---|-----------------|------------------------------------|
| Дуже леткі (газоподібні) органічні сполуки | VVOCs | <0 до 50 |
| Леткі органічні сполуки | VOCs | 50-240 |
| Напівлеткі органічні сполуки | SVOCs | 240-380 |
| Органічні сполуки, пов'язані з твердими частками: органічні сполуки, пов'язані з частками | POCs | >380 |

Пандемія COVID-19 вивела проблему забруднення внутрішнього середовища приміщень на глобальний міжнародний рівень. Незважаючи на це, на сьогодні немає чітко сформованої класифікації негативних факторів «синдрому хворої будівлі». Наприклад, на сайті комісії щодо безпеки споживчих товарів США є «Посібник щодо якості повітря в

приміщенні» [5] та класифікація основних забрудників повітря в приміщенні. При цьому виділяються такі фактори:

- радон (Rn, джерело: Земля та каміння під будинком; кринична вода; будівельні матеріали);
- тютюновий дим (ETS, джерело: куріння сигарет, трубок та сигар);
- біопрепарати (мокрі або вологі стіни, стелі, килими та меблі; несправні зволожувачі, осушувачі повітря та кондиціонери; постільна білизна; домашні тварини);
- чадний газ (CO, джерело: невентильовані гасові та газові обігрівачі; протікаючи димарі та печі; зворотний потяг від печей, газових водонагрівачів, дров'яних печей та камінів; газові плити. Вихлопні гази автомобілів із прибудованих гаражів. Екологічний тютюновий дим.);
- діоксид азоту (NO₂, джерело: гасові обігрівачі, газові плити, що не вентилуються, і обігрівачі, навколишній тютюновий дим);
- органічні гази (джерело: побутова продукція, зокрема: фарби, засоби для зняття фарби та інші розчинники; консерванти для деревини; аерозольні спреї; чистячі та дезінфікуючі засоби; репеленти від молі та освіжувачі повітря; паливо, що зберігається, і автомобільне приладдя; товари для хобі; одяг, що пройшов хімчистку);
- частини, що вдихаються людиною (джерело: каміни, дров'яні печі та гасові обігрівачі. Тютюновий дим у навколишньому середовищі);
- формальдегід (джерело: виробы з пресованої деревини (стінові панелі з фанери листяних порід, ДСП, ДВП) та меблі, виготовлені з цих виробів із пресованої деревини. Сечовиноформальдегідна пінна ізоляція (UFFI). Джерела горіння та тютюновий дим у навколишньому середовищі. Міцні пресовані штори, інші текстильні виробы та клеї);
- пестициди (джерело: засоби, що використовуються для знищення домашніх шкідників (інсектициди, термітициди та дезінфікуючі засоби), а також засоби, що використовуються на газонах та в садах, які дрейфують або відстежуються всередині будинку);
- азбест (джерело: зношена, пошкоджена або порушена ізоляція, вогнезахист, акустичні матеріали та плитка для підлоги);

- Plumbum (свинець, джерело: фарба на основі свинцю, забруднений ґрунт, пил та питна вода).

Таким чином, на сьогодні взагалі не існує чіткої класифікації негативних факторів синдрому хворого будинку. Кліматичні фактори не виділені окремо, чітко не зазначені забруднювальні фактори зовнішнього середовища, хоча скрізь підкреслюється їхня значущість. Деякі негативні фактори внутрішнього середовища, як-от антропоксини та тютюновий дим чітко не долучені до однієї групи факторів, а згадуються у декількох групах, що ускладнює їхнє визначення.

6.2. Створення класифікації шкідливих факторів, що призводять до синдрому хворого будинку

У запропонованій класифікації (рис. 6.1) фактори впливу поділено на зовнішні та внутрішні. До зовнішніх факторів уведено кліматичні екологічні, радіаційні та відеоєкологічні фактори. Фактори внутрішнього середовища поділено на параметри внутрішнього середовища, фізичні, технічні, радіаційні, психологічні та біохімічні.

Серед зовнішніх факторів відеоєкологічні відіграють важливе значення, оскільки визначають реакцію на вид крізь вікна, балконні двері та інші світлопрозорі вертикальні огороження. При спогляданні гомогенних агресивних полів виникають сакади більшої амплітуди, що спричинене пошуковими рухами очей, внаслідок чого окоруховий апарат змушений працювати в неекономному режимі, що потребує зайвих витрат енергії, тоді як всі фізіологічні процеси намагаються працювати саме в режимі максимальної економії [6].

Особливо при тривалій роботі за екранами, вид назовні є важливим фактором боротьби з іншим симптомом – спазмом акомодатії або фальшивої близькозоркості. Коли око тривалий час сфокусовано на однаковій відстані, м'язи перебувають у неприродному для них стані, що спричиняє порушення перефокусування. Щоб усунути проблему необхідно періодично споглядати по чергово близькі та далекі об'єкти, причому останні доступні в приміщенні лише крізь світлопрозорі огороження. І якщо там знаходиться агресивне візуальне поле, то воно активно впливатиме під час вправ.

ЗОВНІШНІ ФАКТОРИ

КЛІМАТИЧНІ

- Температура $t_{\text{вдв}}$, °C
- Відносна вологість $\phi_{\text{вдв}}$, %
- Швидкість вітру $v_{\text{вдв}}$, м/с
- Сонячна радіація:
 - інтенсивність, Вт/м²;
 - положення сонця на небозводі;
 - затінювальні об'єкти;

ЕКОЛОГІЧНІ

- Хімічне забруднення;
- Біологічне забруднення:
 - бактерії;
 - грибки;
 - пліснява;
 - спори;

РАДІАЦІЙНІ

- Радіація від природних джерел;
- Радіація від техногенних джерел

ВНУТРІШНІ ФАКТОРИ

РАДІАЦІЙНІ

- Радон
- β γ α -фон

ПСИХОЛОГІЧНІ

- Стрес від:
- недосконалого дизайну (депресивний, яскравий, контрастний);
 - відео-екологічних факторів (за вікнами);
 - дискомфорту;
 - шуму;
 - вібрацій;
 - інфразвуку

ФІЗИЧНІ

- Шум
- Вібрація
- Інфразвук
- Електро-магнітні хвилі
- Електричні поля
- Магнітні поля

ВІДЕОЕКОЛОГІЧНІ

- Агресивна забудова
- Депресивні ландшафти
- Нестача озеленення
- Світлове забруднення

ТЕХНІЧНІ

- Системи формування мікроклімату
- Техніка, обладнання

БІОХІМІЧНІ

- Токсини
- Хімічні елементи (Рb, Сu тощо)
- ЛОР
- Бактерії
- пліснява
- Спори
- Віруси
- Дим від куріння

ПАРАМЕТРИ ВНУТРІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

- Температура $t_{\text{вдв}}$, °C
- Відносна вологість $\phi_{\text{вдв}}$, %
- Швидкість вітру $v_{\text{вдв}}$, м/с
- Освітлення:
 - природне;
 - штучне;
 - зміна синьофіолетової складової спектру протягом дня (вплив на циркадні ритми)

Рис. 6.1. Класифікація шкідливих факторів синдрому хворої будівлі

Позбавитися негативного впливу гомогенності можна завдяки застосуванню позитивних гетерогенних елементів у архітектурі та будівництві а також завдяки озеленення та введення зелених рослин та зелених конструкцій в екстер'єр. Саме тому цей фактор навколишнього середовища обов'язково потрібно враховувати в класифікації зовнішніх факторів СХБ.

Внутрішня температура будівлі, хоча й опосередковано, залежить від зовнішніх кліматичних умов. Вона є критично важливим фактором, що безпосередньо впливає на цивільну безпеку. Цей вплив проявляється через призму забезпечення належних умов для життєдіяльності людей, стабільної роботи інженерних систем та збереження експлуатаційних характеристик будівельних конструкцій.

Підтримання оптимального температурного режиму у внутрішніх приміщеннях є фундаментальною вимогою для забезпечення теплового комфорту та збереження здоров'я людей. Діапазон комфортних температур зазвичай коливається в межах 20-24 °C у холодний період та 23-26 °C у теплий період року [7]. Відхилення від цих меж може мати негативні наслідки:

- тривале перебування в умовах підвищеної температури внутрішнього повітря може призвести до значних втрат організмом вологи, а після виснаження системи терморегулювання – до перегрівання організму (гіпертермія), що проявляється у вигляді теплового виснаження, теплового удару та інших серйозних фізіологічних реакцій, причому особливо вразливими є діти, літні люди та особи з хронічними захворюваннями [8];
- низька внутрішня температура призводить до зниження імунітету та посилення застудних захворювань, а при виснаженні механізмів терморегулювання може викликати гіпотермію (зниження температури тіла нижче 35 °C), що порушує нормальне функціонування органів і систем організму та може призвести до летальних наслідків [9];
- відхилення внутрішньої температури від комфортних меж чинить негативний вплив на когнітивні функції та працездатність людини, зокрема, неоптимальні температурні умови призводять до погіршення розумової діяльності, зниження концентрації уваги та

зменшення фізичної витривалості, що може мати критичні наслідки, значно підвищуючи ймовірність помилок та виникнення нещасних випадків, що становить загрозу цивільній безпеці [10].

- поширення інфекційних захворювань: низький рівень відносної вологості повітря у внутрішніх приміщеннях, нерідко зумовлений інтенсивним функціонуванням систем опалення, призводить до дегідратації слизових оболонок респіраторного тракту з послабленням їхньої природної бар'єрної функції, що значно підвищує вразливість організму до інвазії та поширення вірусних патогенів у колективах [11];
- екстремальні внутрішні температури створюють ризики для інженерних систем, спричиняють перегрівання або переохолодження обладнання, замерзання рідин у трубопроводах та порушення функціонування систем автоматизації та безпеки, що в сукупності становить загрозу цивільній безпеці будівлі [12];
- значні температурні градієнти між внутрішнім та зовнішнім середовищами будівлі за умов недостатньої вентиляції є передумовою для інтенсивної конденсації вологи на внутрішніх поверхнях будівельних конструкцій, а пролонгований вплив надмірної вологості створює сприятливе середовище для розвитку мікроорганізмів, зокрема плісняви та грибків, біодеградація якими призводить до руйнування органічних будівельних матеріалів (наприклад, гіпсокартону, деревини), суттєвого погіршення якості внутрішнього повітря та підвищення ризиків для здоров'я людей [13].

Відносна вологість повітря є критично важливим параметром мікроклімату будівель, що чинить багатогранний вплив на цивільну безпеку. Відхилення від оптимальних значень можуть призводити до низки негативних наслідків, які охоплюють як стан будівельних конструкцій та інженерних систем, так і здоров'я та добробут людей.

Підвищена відносна вологість створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, зокрема плісняви та грибків, які спричиняють біокорозію будівельних матеріалів [13]. З іншого боку, низька відносна вологість, особливо в опалювальний період, призводить до пересушування слизових оболонок дихальних шляхів, знижуючи їхню бар'єрну функцію та

підвищуючи сприйнятливість до вірусних та бактеріальних інфекцій. Сухе повітря також може викликати дискомфорт, подразнення шкіри та очей, а також збільшувати статичну електризацію, що може бути небезпечним у приміщеннях з чутливим електронним обладнанням [11].

Таким чином, підтримання оптимального рівня відносної вологості є ключовим аспектом забезпечення цивільної безпеки будівель, що сприяє збереженню їхнього технічного стану, запобіганню ризикам для здоров'я мешканців та забезпеченню безпечної експлуатації інженерних систем.

Швидкість руху повітря у внутрішніх приміщеннях є важливим, хоча часто недооціненим, фактором цивільної безпеки, що впливає на здоров'я, комфорт та безпеку експлуатації будівель. Неоптимальні значення швидкості повітря можуть створювати прямі та опосередковані загрози. Недостатня швидкість повітря призводить до неефективного повітрообміну та накопичення забруднювальних речовин, як-от пил, алергени, вуглекислий газ, а також потенційно небезпечних хімічних сполук і біологічних агентів. Це особливо критично в приміщеннях з масовим перебуванням людей, виробничих цехах, медичних установах та лабораторіях, де концентрація шкідливих речовин може швидко досягати небезпечних рівнів, підвищуючи ризик респіраторних захворювань, алергічних реакцій та інтоксикацій. Застій повітря також сприяє розмноженню патогенних мікроорганізмів зі збільшенням ймовірності поширення інфекційних захворювань у колективах [14].

На противагу цьому, надмірна швидкість повітря також несе потенційні загрози цивільній безпеці. Створення сильних протягів може призводити до переохолодження організму, особливо в холодну пору року, що збільшує ризик застудних захворювань та загострення хронічних патологій. У виробничих умовах висока швидкість повітря може піднімати в повітря дрібнодисперсний пил та інші шкідливі речовини. Це збільшить їхню концентрацію в зоні дихання працівників. В окремих технологічних процесах неконтрольовані повітряні потоки можуть порушувати стабільність технологічних операцій, наприклад, у фармацевтичній або мікроелектронній промисловості, що може призвести до виробничих аварій. Крім того, сильні пориви вітру всередині приміщення можуть становити фізичну небезпеку, наприклад, розгойдуючи або перекидаючи легкі предмети, що може призвести до травмування людей.

Таким чином, підтримання оптимальної швидкості повітря у внутрішніх приміщеннях відповідно до їхнього функціонального призначення та нормативних вимог є важливим аспектом забезпечення цивільної безпеки, спрямованим на створення здорового, комфортного та безпечного середовища для життєдіяльності людини.

Якісні та кількісні характеристики освітлення внутрішніх приміщень є фундаментальним фактором забезпечення цивільної безпеки, що охоплює широкий спектр аспектів від запобігання травматизму до підтримання психофізіологічного добробуту людини. Недостатній рівень освітленості прямо корелює зі збільшенням ризику побутових та виробничих травм, оскільки ускладнює візуальне сприйняття потенційних небезпек, перешкод та елементів навколишнього середовища, критично важливих для безпечної навігації та виконання різноманітних завдань.

Особливо гостро ця проблема постає в умовах аварійних ситуацій, коли відсутність адекватного аварійного освітлення може призвести до дезорієнтації, паніки та значного ускладнення процесів евакуації, що в підсумку збільшує ймовірність травмування та блокування евакуаційних шляхів. Крім того, хронічний дефіцит освітлення негативно впливає на зорову систему, зокрема викликає астенопію, прогресування міопії та загальну зорову втому, що опосередковано може призводити до зниження уваги, помилок при виконанні відповідальних робіт та, як наслідок, до підвищення ризику нещасних випадків [15]. Тривалий вплив недостатнього освітлення вдень також асоціюється з порушеннями циркадних ритмів, погіршенням настрою та зниженням загальної працездатності, що хоча й не є безпосередньою фізичною загрозою, але впливає на загальний рівень безпеки та продуктивності в суспільстві [16].

На противагу цьому, неправильно організоване освітлення, навіть при формально достатній інтенсивності, може створювати не менші загрози цивільній безпеці. Ефект засліплення, викликаний надмірно яскравими джерелами світла або їхніми відблисками, призводить до тимчасового погіршення зору, що є критично небезпечним у ситуаціях, які вимагають швидкої реакції та чіткого візуального сприйняття [17]. Нерівномірність освітлення, наявність глибоких тіней та стробоскопічний ефект можуть спотворювати сприйняття простору, відстані та руху об'єктів, значно підвищуючи ризик помилок та травм, особливо на виробництві [18].

Дослідження також показують, що певні спектральні характеристики штучного освітлення можуть впливати на нейропсихологічний стан людини, з появою дискомфорту, дратівливості та навіть провокувати епілептичні напади у чутливих осіб [19].

Отже, забезпечення якісного та нормованого освітлення, що відповідає функціональним потребам приміщень та ергономічним вимогам, є невід'ємною складовою комплексної системи цивільної безпеки, спрямованої на мінімізацію ризиків для здоров'я та життя людей у штучно створеному середовищі.

Акустичне забруднення, або шум, є значущим фактором, що негативно впливає на цивільну безпеку, оскільки його надмірний рівень та тривалий вплив призводять до низки фізіологічних і психологічних порушень у людини, зокрема погіршення когнітивних функцій, підвищення рівня стресу, порушення сну та зростання ризику серцево-судинних захворювань [20]. У виробничих умовах шум є доведеним фактором ризику травматизму через зниження уваги та ускладнення комунікації, що може призводити до нещасних випадків [21]. Крім того, хронічний вплив шуму, особливо в міських агломераціях, негативно впливає на якість життя та може викликати соціальну напругу, що також є аспектом цивільної безпеки [22].

Вібрація як фізичне явище є значущим фактором ризику для цивільної безпеки, що проявляється у двох основних аспектах: вплив на структурну цілісність споруд та вплив на фізіологічний стан людини. Вібраційні навантаження на споруди, що генеруються різноманітними джерелами, як-от інтенсивний транспортний рух, зокрема підземний транспорт, будівельні роботи із застосуванням ударних технологій (забивання паль, гідромолот), вибухові роботи та функціонування промислового обладнання, можуть ініціювати процеси втоми матеріалів, призводити до утворення та розширення тріщин у носійних конструкціях, послаблення з'єднань та, в критичних випадках, до часткового або повного руйнування об'єктів. Особливо вразливими до вібраційного впливу є будівлі старого фонду та споруди, що мають наявні дефекти або розташовані на нестабільних ґрунтах. Резонансні явища можуть значно підсилювати амплітуду коливань, що підвищує ймовірність структурних пошкоджень навіть при відносно низьких рівнях вібрації. Це потребує ретельного інженерного

аналізу та моніторингу вібраційного стану будівель у зонах інтенсивної вібраційної активності [23, 24].

В аспекті впливу на людину, вібрація є доведеним фактором ризику для здоров'я та добробуту [25]. Тривалий вплив вібрацій, особливо на робочих місцях, де використовується інструмент або обладнання, що вібрують, може призвести до розвитку професійних захворювань, таких як вібраційна хвороба, що характеризується порушеннями кровообігу, чутливості та функцій опорно-рухового апарату [26]. Навіть низькочастотні вібрації, що сприймаються як коливання або гул, можуть викликати дискомфорт, головний біль, порушення сну, підвищену дратівливість та зниження когнітивних функцій, тобто опосередковано впливати на безпеку праці та загальну якість життя в урбанізованому середовищі [27]. Нормування рівнів вібрації в житлових та робочих зонах, а також застосування засобів індивідуального та колективного захисту від вібрації є важливими складовими комплексу заходів із забезпечення цивільної безпеки, спрямованих на мінімізування негативного впливу цього фізичного фактору на населення та інфраструктуру.

Інфразвук – це акустичні коливання з частотою нижче порогу чутності людського вуха (зазвичай до 16 Гц), є потенційним фактором ризику для цивільної безпеки, хоча його вплив часто залишається поза увагою. Низькочастотні хвилі можуть поширюватися на значні відстані з мінімальним поглинанням, проникати крізь будівельні конструкції та впливати на фізіологічний і психологічний стан людини. Дослідження показують, що вплив інфразвуку може викликати неприємні відчуття, такі як тиск у вухах, запаморочення, нудоту, втому, а також більш серйозні ефекти, зокрема порушення серцевого ритму та резонансні явища у внутрішніх органах при певних частотах та інтенсивностях [27]. У контексті будівель, хоча прямі структурні пошкодження від типових рівнів інфразвуку малоімовірні, тривалий вплив може викликати вібрацію елементів конструкцій, що призводить до втоми матеріалів та посилення шумового фону в низькочастотному діапазоні. Це впливає на комфорт і безпеку перебування [29]. Джерелами інфразвуку можуть бути промислове обладнання, транспортні засоби (особливо великогабаритні), природні явища (вітер, землетруси) та навіть певні акустичні системи, що

підкреслює необхідність подальших досліджень та врахування інфразвукового впливу при оцінюванні факторів цивільної безпеки.

Електромагнітні хвилі стали невід'ємною частиною сучасного життя. Вони забезпечують функціонування зв'язку, енергетики, медицини та багатьох інших сфер. Однак, їхній вплив на цивільну безпеку є предметом наукових дискусій та суспільного занепокоєння. Основними аспектами впливу електромагнітних хвиль на цивільну безпеку є їхній потенційний вплив на здоров'я людини та функціонування електронних систем. Щодо здоров'я, іонізуюче випромінювання (високочастотні електромагнітні хвилі, як-от рентгенівське та гамма-випромінювання) є беззаперечно небезпечним, оскільки може пошкоджувати ДНК та спричиняти рак [30]. Проте вплив неіонізуючого випромінювання (низькочастотні електромагнітні хвилі від ліній електропередач, радіохвилі від мобільних телефонів та базових станцій, мікрохвилі від Wi-Fi) є менш однозначним. Хоча численні дослідження не виявили переконливих доказів прямого причинно-наслідкового зв'язку між впливом неіонізуючого електромагнітного випромінювання в межах встановлених норм та серйозними захворюваннями, існують побоювання щодо можливих довгострокових ефектів, особливо у дітей та осіб з підвищеною чутливістю [31].

Іншим важливим аспектом є вплив електромагнітних хвиль на функціонування електронних систем. Електромагнітні імпульси, як природного (наприклад, блискавка), так і штучного походження (наприклад, ядерний вибух, спеціальна зброя), можуть виводити з ладу електронне обладнання, зокрема критично важливі системи зв'язку, енергетики, транспорту та управління. Це може призвести до масштабних техногенних катастроф та порушення життєдіяльності суспільства [32]. Крім того, зростання кількості бездротових пристроїв підвищує ризик електромагнітної несумісності, коли випромінювання одного пристрою може заважати роботі іншого, що є особливо небезпечним у медичному обладнанні, авіації та системах керування промисловими процесами. Забезпечення електромагнітної безпеки передбачає розроблення стандартів на рівні випромінювання, екранування чутливого обладнання та впровадження заходів захисту від електромагнітних імпульсів для мінімізації потенційних ризиків для цивільної безпеки.

Внутрішні електричні поля в будівлях, хоча зазвичай значно слабші за зовнішні поля від ліній електропередач, можуть мати певний вплив на цивільну безпеку, особливо у специфічних контекстах. Одним з аспектів є вплив статичної електрики. Накопичення статичного заряду на поверхнях, особливо в умовах низької вологості, може призводити до електростатичних розрядів. Більшість з них безболісні для людини, але вони можуть становити небезпеку для чутливого електронного обладнання, що використовується в системах безпеки (пожежна сигналізація, системи контролю доступу), медичній апаратурі та промислових контролерах. Вихід з ладу такого обладнання через ЕСР може призвести до порушення функціонування критично важливих систем. Це створює загрозу для безпеки людей і майна [33,34]. Електричний розряд може призвести до втрати рівноваги та травмування через падіння при роботах на висоті. Заходи з контролю статичної електрики, такі як використання антистатичних матеріалів, зволоження повітря та заземлення, є важливими для мінімізування цих ризиків.

Іншим аспектом є вплив електричних полів, що генеруються внутрішньою електропроводкою та електроприладами. Змінні електричні поля промислової частоти (50 Гц) присутні в будь-якій будівлі з електромережею. Хоча рівні цих полів зазвичай значно нижчі за встановлені норми безпеки, тривале перебування в зонах з підвищеною інтенсивністю таких полів (наприклад, поблизу потужних електроцилів або електроприладів) викликає певне занепокоєння щодо можливих довгострокових наслідків для здоров'я, хоча наукові докази прямого шкідливого впливу наразі є недостатніми та суперечливими [35]. Важливішим є забезпечення належного технічного стану електропроводки та електрообладнання, оскільки несправності можуть призвести до коротких замикань, перегрівання та виникнення пожежі, що є прямою загрозою цивільній безпеці. Регулярні перевіряння електромережі, використання якісних матеріалів та дотримання правил електробезпеки є ключовими для запобігання цим ризикам.

Внутрішні магнітні поля в будівлях генеруються переважно електричними струмами, що протікають через електропроводку та електроприлади. На відміну від статичних магнітних полів, які мають чітко виражений північний та південний полюси, ці поля є змінними. Їхня

інтенсивність залежить від величини струму та відстані до джерела. Вплив цих полів на цивільну безпеку є менш дослідженим та менш інтенсивним порівняно з електричними полями, але все ж заслуговує на увагу.

Одним з аспектів є потенційний вплив на здоров'я людини. Низькочастотні магнітні поля, що генеруються електромережею (50 Гц), були предметом багатьох епідеміологічних досліджень щодо їхнього можливого зв'язку з різними захворюваннями, зокрема рак. Однак на сьогодні науковий консенсус полягає в тому, що докази прямого причинно-наслідкового зв'язку між впливом магнітних полів промислової частоти в межах типових побутових рівнів та серйозними захворюваннями є недостатніми та неузгодженими [36]. Проте, окремі дослідження вказують на можливий вплив на біологічні процеси, такі як вироблення мелатоніну та функція нервової системи, особливо при тривалому та інтенсивному впливі [37].

Іншим аспектом є потенційний вплив на електронні пристрої. Магнітні поля можуть індукувати струми в провідних елементах електронних схем, що в окремих випадках може призвести до збоїв у їхній роботі або некоректних показань [38]. Однак, сучасне електронне обладнання, як правило, розробляється з урахуванням вимог електромагнітної сумісності, що мінімізує ризик таких впливів від внутрішніх магнітних полів побутової частоти. Більш значну загрозу можуть становити потужні імпульсні магнітні поля, наприклад, у випадку навмисного електромагнітного впливу, але це виходить за межі звичайних внутрішніх магнітних полів будівлі [39, 40].

Загалом, вплив внутрішніх магнітних полів будівлі на цивільну безпеку в повсякденному житті вважається відносно низьким. Проте для забезпечення безпеки та комфорту важливо дотримуватися встановлених норм при проєктуванні та експлуатації електромереж і електрообладнання, а також продовжувати наукові дослідження потенційних довгострокових ефектів впливу низькочастотних магнітних полів на здоров'я людини.

Існують технічні методи покращення параметрів внутрішнього середовища, які базуються на використанні різних технічних засобів для зменшення дії шкідливих факторів. Наприклад, для оптимізування температури використовуються системи опалення та кондиціонування повітря.

Для покращення відносної вологості застосовуються зволожувачі або осушувачі та системи кондиціонування повітря; для освітленості – світлозахисні засоби та внутрішнє енергоефективне освітлення. Для боротьби з біохімічними факторами використовуються побутові фільтри. Проте існує стародавній, але високоефективний природний засіб боротьби з забрудниками повітря – озеленення, яке розглянемо в наступному розділі.

Висновки

Наявні європейські та державні класифікації небезпечних факторів СХБ є недосконалими та потребують уточнення та розширення. Виходячи з цього, ми пропонуємо створення класифікації небезпечних факторів СХБ. У запропонованій класифікації пропонується поділяти фактори впливу на зовнішні та внутрішні. До зовнішніх факторів пропонується введення кліматичних (температура, відносна вологість повітря, швидкість вітру, сонячна радіація), екологічних (хімічне забруднення повітря, біологічне забруднення), радіаційні (радіація від природних джерел, радіація від техногенних джерел) та відеоєкологічні фактори (агресивна забудова, депресивні ландшафти, нестача озеленення, світлове забруднення). Фактори внутрішнього середовища пропонуємо поділити на параметри внутрішнього середовища (температура, відносна вологість, швидкість вітру, освітлення), фізичні (шум, вібрація, інфразвук, електромагнітні хвилі, електричні поля, магнітні поля), технічні (системи формування мікроклімату, техніка, обладнання), радіаційні (радон, β й γ -фон), психологічні (стрес від недосконалого дизайну та відеоєкологічних факторів, дискомфорту, шуму, вібрації, інфразвуку) та біохімічні (токсини, хімічні елементи, ЛОР, бактерії, пліснява, спори, віруси, дим від куріння).

До ефективних природних біотехнічних фільтрів відносяться рослини, дії яких спрямовані на покращення не одного фактору внутрішнього середовища, а на весь комплекс факторів.

Рослини покращують психоемоційний комфорт, підвищують вологість повітря, поглинають шкідливі речовини та секвеструють CO_2 , знищують патогенну мікрофлору за рахунок виділення фітонцидів, відлякують шкідників за рахунок алелопатичних речовин та хімічного

складу рослинного соку, сприяють поглинанню шуму. Тому рослини активно та вдало використовуються у біофільному дизайні та зонуванні приміщень. Виходячи з комплексної позитивної дії рослин на покращення всіх негативних факторів внутрішнього середовища, рослини вважаються перспективним дешевим засобом для боротьби з СХБ, створення безпечного внутрішнього середовища, покращення гігієни праці та здоров'я людей.

Контрольні запитання

1. Чому відсутність єдиної класифікації факторів синдрому хворої будівлі є проблемою? Які обмеження має чинна гігієнічна класифікація шкідливих виробничих факторів щодо аналізу СХБ?
2. Як у державних санітарних нормах визначається шкідливий виробничий фактор? Які групи факторів відносять до шкідливих виробничих? Які параметри мікроклімату віднесено до фізичних факторів?
3. Чому для дослідження СХБ необхідна широка вибірка спостережень? Яку роль відіграють гендерні відмінності у перебігу СХБ? Які групи населення є найбільш уразливими до дії факторів СХБ?
4. Чому з розвитком сучасних будівельних матеріалів зростає роль хімічних факторів? Які групи речовин стали ключовими хімічними забрудниками внутрішнього повітря?
5. Як кліматичні зміни вплинули на уявлення про природу СХБ? Чому СХБ перестали вважати проблемою лише країн із низьким рівнем розвитку?
6. Які чотири основні критерії забруднення внутрішнього середовища пропонують окремі класифікації? У чому обмеженість таких спрощених підходів?
7. На які дві категорії Саманех Бандехалі та співавтори поділяють забрудники повітря в приміщеннях? Чому ця класифікація неповною?
8. Які категорії ЛОС виділяє ВООЗ? За яким критерієм здійснюється поділ ЛОС на групи?

9. Які основні забрудники внутрішнього повітря виділяє Комісія з безпеки споживчих товарів США?
10. Які джерела радону в будівлях? Чому тютюновий дим розглядається як комплексний забрудник? Які є побутові джерела формальдегіду є найбільш небезпечними? Чому пестициди та азбест залишаються актуальними ризиками?
11. На які дві категорії поділено фактори впливу в авторській класифікації? Які групи факторів віднесено до кожної категорії.
12. Чому відеоекологічні фактори є важливими для СХБ. Як вид з вікон впливає на профілактику спазму акомодациї? Чому озеленення зовнішнього простору є важливим відеоекологічним чинником для приміщень?
13. Як температура впливає на людину? Які ризики пов'язані з перегріванням та переохолодженням внутрішнього середовища? Чому температурний режим є критичним для інженерних систем?
14. Чому відносна вологість є критичним параметром мікроклімату? Які ризики створює підвищена вологість та надмірна сухість?
15. Які ризики виникають при надмірній та недостатній швидкості руху повітря? Як потоки повітря впливають на поширення забрудників і мікроорганізмів?
16. Які ризики створює недостатня освітленість, засліплення та нерівномірність освітлення? Як освітлення впливає на циркадні ритми людини? Чому аварійне освітлення є критично важливим?
17. Які наслідки має тривалий вплив шуму та вібрацій на людину? Які професійні захворювання пов'язані з вібрацією? Чим небезпечний інфразвук для людини?
18. Які ризики пов'язані з іонізуючим випромінюванням?
19. Чому вплив неіонізуючих електромагнітних хвиль є дискусійним?
20. Які ризики пов'язані з електромагнітними імпульсами, внутрішніми електричними та магнітними полями?
21. Які технічні засоби застосовують для коригування параметрів внутрішнього середовища? Які обмеження мають технічні методи боротьби із забрудниками?
22. Чому озеленення розглядається як ефективний природний засіб покращення якості внутрішнього середовища?

Рекомендована література

1. Current State of Indoor Air Phytoremediation Using Potted Plants and Green Walls / S. Bandedali et al. Atmosphere. 2021. Vol. 12, no. 4. P. 473. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos12040473>.
2. ДБН В.2.2-25:2009. "Підприємства харчування (заклади ресторанного господарства)". Чинний від 2009-12-30. Вид. офіц. Київ : М-во регіон. розвитку та буд-ва України, 2010. 55 с. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199658968553096642?doc_type=2 (дата звернення: 10.04.2025).
3. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» : Наказ МОЗ України від 08.04.2014 № 248. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text> (дата звернення: 03.05.2025).
4. Organization W. H. Indoor Air Quality: Organic Pollutants. Copenhagen, Denmark : World Health Organization Regional Office for Europe, 1989.
5. U.S. Consumer Product Safety Commission. Indoor Air Quality Guide. <https://www.cpsc.gov/>
6. Відеоєкологія. Позитивні тенденції та перспективи розвитку : thesis / В. Г. Петрук та ін. 2011. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/1069> (дата звернення: 03.05.2025).
7. ASHRAE Standard 55:2017, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2017.
8. Anderson, G. B., & Bell, M. L. (2011). Heat waves and mortality: a systematic review and meta-analysis of observational studies. Epidemiology, 22(2), 205–213.
9. Duong H., Patel G. Hypothermia. StatPearls [Internet]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545239/>.
10. Hancock P., Vasmatazidis I. Effects of heat stress on cognitive performance: The current state of knowledge. International journal of hyperthermia : the official journal of European Society for Hyperthermic Oncology, North American Hyperthermia Group. 2009. Vol. 19. P. 355–72. URL: <https://doi.org/10.1080/0265673021000054630>.

11. Relative Humidity and Its Impact on the Immune System and Infections / G. Guarnieri et al. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, no. 11. P. 9456. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms24119456>.
12. International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings - State of the Art Review / Z. Ai et al. 2022. URL: <https://doi.org/10.52776/COXK4763>.
13. Study on moisture condensation on the interior surface of buildings in high humidity climate / S. You et al. *Building and Environment*. 2017. Vol. 125. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.041>.
14. Indoor Air Quality in Elderly Centers: Pollutants Emission and Health Effects / T. M. Mata et al. *Environments*. 2022. Vol. 9, no. 7. P. 86. URL: <https://doi.org/10.3390/environments9070086>.
15. Serikov Y., Nazarenko L., Serikova K. Non-Visual Exposure to Light as a Production Factor of the Influence of Lighting of the Working Area on Labor Productivity and Safety of Workers. *Metrology and instruments*. 2020. P. 35–39. URL: [https://doi.org/10.33955/2307-2180\(6\)2019.35-39](https://doi.org/10.33955/2307-2180(6)2019.35-39).
16. Health Effects of Disrupted Circadian Rhythms by Artificial Light at Night / L. K. Davis et al. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*. 2023. Vol. 10, no. 2. P. 229–236. URL: <https://doi.org/10.1177/23727322231193967> (date of access: 07.05.2025).
17. Jurado-Piña R., Pardillo Mayora J. M. Methodology to Predict Driver Vision Impairment Situations Caused by Sun Glare. *Transportation Research Record*. 2009. Vol. 2120. P. 12–17. URL: <https://doi.org/10.3141/2120-02>.
18. The Impact of Workplace Lighting on Employee Well-Being and Productivity: A Measurement Study / P. Belany et al. *System Safety: Human - Technical Facility - Environment*. 2024. Vol. 6. P. 277–288. URL: <https://doi.org/10.2478/czoto-2024-0030>.
19. Martins da Silva A., Leal B. Photosensitivity and epilepsy: Current concepts and perspectives-A narrative review. *Seizure*. 2017. Vol. 50. URL: <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2017.04.001>.
20. Passchier-Vermeer W., Passchier W. F. Noise exposure and public health. *Environmental Health Perspectives*. 2000. Vol. 108, Suppl 1. P. 123–131. URL: <https://www.seattle.gov/documents/Departments/SDOT/TransitProgram/>

RapidRide/RainierRapidRide_HIA_final_7June2018.pdf (date of access: 01.05.2025).

21. Smith A. A review of the effects of noise on human performance. *Scandinavian Journal of Psychology*. 1989. Vol. 30. P. 185–206. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.1989.tb01082.x>.

22. Shimadera N. Effects of Noise Pollution on Human Health in Urban Areas. *Journal of Pollution Effects and Control*. 2024. Vol. 12. P. 413. URL: <https://www.longdom.org/open-access/effects-of-noise-pollution-on-human-health-in-urban-areas-1101943.html> (date of access: 08.01.2025).

23. Kovrova V., Volkova V., Pakrastins L. The impact of vibration on buildings: Problems and solutions. *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 534. P. 01010. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453401010> (date of access: 07.05.2025).

24. Analysis of the effect of vibration on structures - SUPSI. SUPSI. URL: <https://www.supsi.ch/en/analysis-of-the-effect-of-vibration-on-structures> (date of access: 07.05.2025).

25. Vibration - Health Effects. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. URL: https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/vibration/vibration_effects.html (date of access: 07.05.2025).

26. Cristea A. F., Bălcău M. C., Haragâș S. A Chronological Review of the Transmission and Effects of Mechanical Vibrations on the Hand–Arm System in an Occupational Workplace. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 3. P. 1182. URL: <https://doi.org/10.3390/app15031182>.

27. Persson Wayne K. Noise and Health - Effects of Low Frequency Noise and Vibrations: Environmental and Occupational Perspectives. *Encyclopedia of Environmental Health*. 2011. Vol. 4. P. 240–253. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00245-2>.

28. Negative effect of high-level infrasound on human myocardial contractility: In-vitro controlled experiment / R. Chaban et al. *Noise Health*. 2021. Vol. 23, no. 109. P. 57–66. URL: https://doi.org/10.4103/nah.NAH_28_19.

29. Leventhall G., Pelmear P., Benton S. A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects. 2003.

https://www.researchgate.net/publication/237245317_A_Review_of_Published_Research_on_Low_Frequency_Noise_and_its_Effects

30. Ionizing radiation and health effects. World Health Organization (WHO). URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-and-health-effects> (date of access: 07.05.2025).

31. Electric and Magnetic Fields. National Institute of Environmental Health Sciences. URL: <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/emf> (date of access: 07.05.2025).

32. US EMP Commission. Assessing the impact of EMP on the electric power grid. Commission to Assess the Threat from Electromagnetic Pulse (EMP) Attack, 2017. 34 p. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1051492.pdf> (date of access: 18.01.2024).

33. Harris J. ESD Control. The Electronics Assembly Handbook. Berlin, Heidelberg, 1988. P. 469–473. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-13161-9_74 (date of access: 07.05.2025).

34. Smallwood J. M. ESD Control Program Handbook. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2020. 544 p.

35. EMF-Portal | Mobile Phones and Health (The Stewart Report). EMF-Portal | Home. URL: <https://www.emf-portal.org/en/article/11173> (date of access: 07.05.2025).

36. Zannella S. Biological effects of magnetic fields. 1998. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:16793055>.

37. Effects of exposure to a circularly polarized 50-Hz magnetic field on plasma and pineal melatonin levels in rats / M. Kato et al. Bioelectromagnetics. 1993. Vol. 14, no. 2. P. 97–106. URL: <https://doi.org/10.1002/bem.2250140203>.

38. Hamouda S., Amneenah N. Electromagnetic Interference Impacts on Electronic Systems and Regulations. 2024. Vol. 1. P. 124–127.

39. Effect of strong pulsed electromagnetic field on metal's solidified structure / B. T. Zi et al. 2000. Vol. 49. P. 1013–1014.

40. Wik M., Radasky W. Intentional Electromagnetic Interference (IEMI)–Background and Status of the Standardization Work in the International Electrotechnical Commission (IEC).

7. ВНУТРІШНЄ ОЗЕЛЕНЕННЯ ЯК ЗАСІБ ОЗДОРОВЛЕННЯ ВНУТРІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

7.1. Поняття та термінологія

З'являється все більше доказів того, що різні види рослин (наприклад, *Ficus benjamina*, *Chlorophytum comosum*, *Draceana*) або їхні частини можуть надійно знижувати концентрацію численних забрудників у мікросередовищі всередині приміщень та сприяти добробуту людини [1].

Фітотерапія – це метод біоремедіації, що використовує рослини та пов'язані з ними мікроорганізми для видалення, перенесення, стабілізації або знищення забруднювачів [2]. Процес відбувається завдяки трьом фізіологічним механізмам рослин: фотосинтез, дихання, транспірація. Оскільки рослини ростуть в ґрунті, враховуються процеси випаровування вологи з рослин та ґрунту (евапотранспірація) та бактеріальне розкладання речовин ризосферою. Ґрунтові бактерії також здатні очищувати повітря, що є видом біофільтрації – бактеріальні методи очищення.

Вирощування зелених рослин розглядається як економічний, екологічно чистий, високопотенційний та найефективніший метод [3, 4]. Поряд з дорогими технічними методами зниження забруднення повітря, рослини є природними економічними та надійними біофільтрами, завдяки яким можливо створити комфортні умови існування людей у приміщенні.

Досліди в лабораторних фітотронах показують ефективність видалення формальдегіду із повітря. Найбільша активність спостерігалася в *Chlorophytum elatum* var. *Vittatum* [5]. Цю рослину, разом з *Scindapsus aureus* та *Syngonium podophyllum* рекомендовано також використовувати для створення зелених стін у приміщеннях. NASA провело ряд експериментів, які довели, що зелені рослини можуть ефективно видаляти різні леткі органічні речовини із повітря [6].

Радянський біолог Борис Токін створив вчення про фітонциди – токсичні леткі речовини деяких рослин з антимікробними властивостями, а як виявилось пізніше – і противірусними. У 1928 році він запропонував термін «фітонциди».

Фітонциди (від грецької *Φυτό* — рослина і лат. *caedo* — вбиваю) — біологічно активні речовини, що утворюються рослинами, які вбивають чи

пригнічують зростання і розвиток бактерій, мікроскопічних грибів, та інші форми мікроорганізмів.

Токін зауважив, що страви східної кухні, приготовані на базарах в невідповідних умовах, не викликали у спалахів кишкових інфекцій. Адже прянощі оберігають їх від псування, а людей — від зараження [7]. У 1942 році у видавництві «Медгиз» вийшла брошура, де автор описував досліди щодо дії кашки часнику та цибулі на мікроорганізми. У роки II Світової Війни при нестачі медикаментів Токін рекомендував застосовувати кашку, водні розчини тканинних соків, а також водну настоянку зовнішніх лусок (20 г на 200 мл води) цибулі та часнику при лікуванні інфікованих ран та кишкових захворювань. Токін стверджував, що під дією фітонцидів гинуть не тільки бактерії, але і мікроскопічні гриби та найпростіші. Дана пропозиція Токіна широко і успішно використовувалося в госпіталях в роки війни.

На підставі численних досліджень, проведених лабораторією Бориса Токіна, було встановлено час загибелі найпростіших після безконтактного впливу фітонцидних дерев:

- дуб звичайний - 5 хвилин,
- кипарис пірамідальний - 6 хвилин,
- тис ягідний - 6 хвилин,
- ялівець козацький - 7 хвилин,
- сосна звичайна - 10 хвилин,
- береза бородавчаста – 20 хвилин,
- тополя срібляста - 9 хвилин.

Б.П. Токін писав: «... не можна ототожнювати леткі фітонциди й ефірні масла, які досить імовірно, є зміненими леткими фракціями фітонцидів. Так, ряд рослин (береза, дуб і ін.), що не містять ефірних масел, мають виражені фітонцидні властивості. Молоді листя дуба, наприклад, на відстані вбивають різних мікробів. Якщо витягти з листя чорної смородини всі залозки з ефірними маслами, то такий лист, без слідів ефірних масел, теж виділяє леткі фітонциди, які мають бактерицидну дію. Ці фітонциди зазвичай називають «нативними антимікробними речовинами рослин»

У XXI ст. цю тезу підтверджують вітчизняні дослідження щодо фітонцидної активності ефірних олій для санації повітря приміщень.

Ялівець – одна з найсильніших фітонцидних рослин, що вилікувала смертельно хворого Льва Голіцина, засновника Нового Світу (Крим), – має слабку фітонцидну активність олії (рис. 7.1).

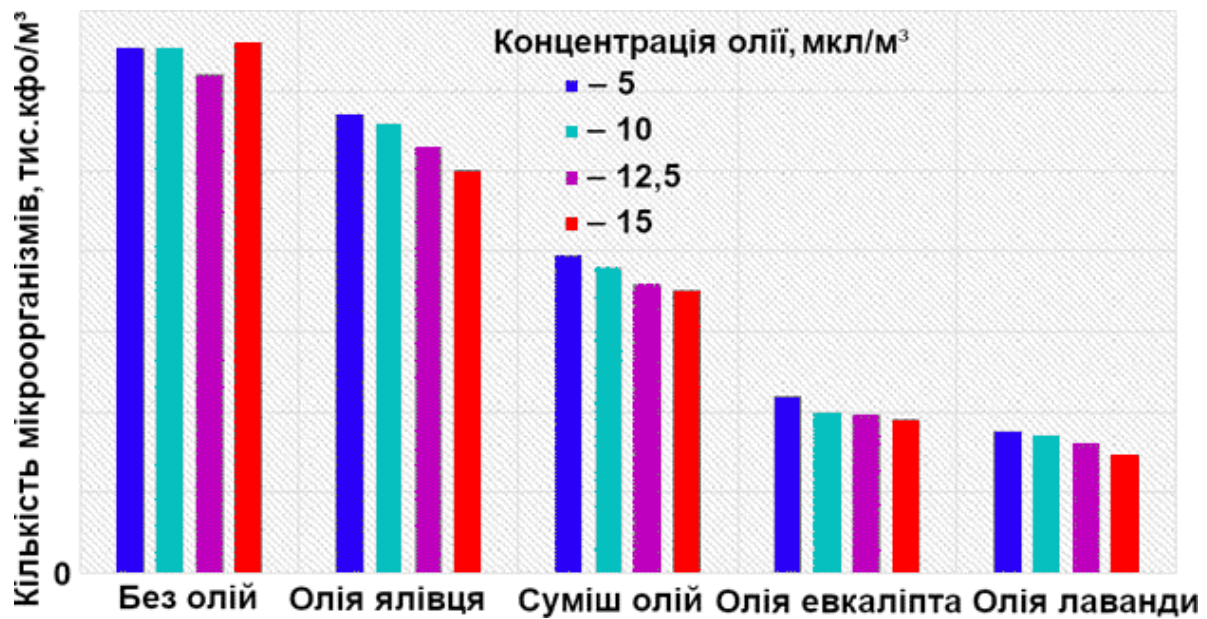


Рис. 7.1. Фітонцидна дія олій рослин [8]

Розквіт в області вивчення фітонцидів припадав на 1950-1980 рр. Були проведені дослідження протибактеріального, антивірусного, імунотропного та інших терапевтичних ефектів речовин з різних класів сполук (алкалоїдів, глікозидів, флавоноїдів, дубильних речовин), виділених з рослин, і зокрема, саме ефірних олій. Тоді й відбулася підміна понять – під фітонцидами почали розуміти саме ефірні олії. Так, наприклад, у книгах «Фітонциди в ергономіці», «Фітоергономіка», «Фітонциди в медицині», всі дослідження проведені тільки на ефірних оліях. А, як ми лишень бачили, ефірні олії фітонцидних рослин не завжди фітонцидні.

Багато вчених не приймають термін фітонциди. Натомість, вживається поняття «леткі фітоорганічні речовини» (ЛФОР). Але це не зовсім коректно. Запахи викликають теж ЛФОР. Але не всі вони мають фітонцидну активність. Зокрема, ялівцева олія має виражений запах і слабку фітонцидну дію.

Фітонциди проникають крізь легені та шкіру в організм людини. Вони гальмують розвиток хвороботворних мікроорганізмів, оберігають від інфекцій. Хвороботворним мікробам важче адаптуватися до фітонцидів

вищих рослин, ніж до антибіотиків з мікроскопічних грибів. Це важливий факт, який свідчить про перспективність використання фітонцидні препаратів для профілактики і лікування захворювань.

7.2. ФітореMediaція

Ще наприкінці ХХ століття Національне управління з аеронавтики та дослідження космічного простору США (NASA) зіткнулося з проблемами здоров'я, пов'язані з поганим повітрям приміщень у повністю закритих системах у відкритому космосі.

У середовищі космічного корабля було виявлено понад 300 летких органічних сполук, які були причиною погіршення стану здоров'я астронавтів. Щоб вирішити цю проблему, НАСА дослідило використання рослин для видалення забрудників. Перші дослідження щодо очищувальних властивостей рослин були проведені в рамках проєкту «Чисте повітря» НАСА у співпраці з Асоціацією виконавців ландшафтних робіт Америки (Associated Landscape Contractors of America, ALCA) [9].

Результати цих досліджень показали, що деякі поширені кімнатні рослини в комбінації з активованим вугіллям, як субстрат, сприяють природному очищенню повітря від ряду токсичних для людини речовин, як-от, формальдегід та трихлоретилен. Перший список рослин, що очищають повітря, був складений НАСА і опублікований в 1989 [9-11].

Другий і третій списки були сформовані пізніше Б.С. Вулвертоном у книзі [12] та статті [13] з рослинами, що видаляють більш специфічні хімічні речовини з повітря. Дослідники НАСА припускають, що ефективне очищення повітря може бути здійснене за допомогою щонайменше однієї рослини на 100 квадратних футів (приблизно 9,29 квадратних метрів) приміщення. На початковому етапі розглядалися лише рослини, вирощені на гідропоніці (тобто без ґрунту), у пізніших дослідженнях було показано, що мікроорганізми у ґрунтовій суміші в горщику здатні видаляти бензол із повітря.

Враховуючи необхідну площу поверхні, використання лише листя було недоцільним, тому група НАСА дослідила можливість видалення токсинів за рахунок мікроорганізмів у ризосфері. У 1985 році фундаментальні дослідження, які виявили здатність кімнатних рослин та їхніх кореневих

мікроорганізмів очищати повітря в приміщенні від хімічних забруднювачів отримали подальший розвиток.

Для фітореMediaції велике значення мають фенотипові властивості рослин та екологічні параметри мікроклімату (освітленість, температура повітря, вологість). Ірга та ін. [14] підраховали, що 57 м² площі листя зможуть поглинути/видалити близько 13 % CO₂, що виділяється на людину в середній кімнаті без вентиляції. Чим більша площа листя, тим більше CO₂ видаляється кімнатними рослинами. Різні інші характеристики листя (шорсткість, товщина, наявність ворсинок) є важливими аспектами для утримування пилу [15-15].

Фотосинтез є основним процесом, відповідальним за зниження кількості CO₂ в приміщенні. Рослини поглинають CO₂ і виділяють O₂ до навколишнього середовища. Вони використовують CO₂ як джерело вуглецю для синтезу органічних сполук, при цьому необхідна вода та сонячне світло як джерело енергії. Отже, швидкість фотосинтезу залежить від екологічних умов, а саме: доступності сонячного світла, вмісту CO₂ і температури [17-18]. Швидкість фотосинтезу збільшується із збільшенням концентрації CO₂ при інтенсивному освітленні, що призводить до більшого виділення кисню.

Фуджі та ін. [19] повідомили про збільшення ефективності видалення CO₂ зі збільшенням освітленості. Крім того, Берчетт та ін. [20] виявили, що низька інтенсивність світла (приблизно 10 мкмоль/(м²·с) фотосинтетично активної радіації показала менше видалення CO₂. Швидкість видалення була недостатньою, навіть при розумній кількості рослин для поліпшення якості повітря в приміщенні. Ця нижча ефективність видалення CO₂ була зумовлена процесом дихання, що відбувається не зеленими частинами рослин і мікроорганізмами в горщиках. Тому для кімнатних рослин потрібна підвищена інтенсивність світла зі зменшеною кількістю мікроорганізмів у ґрунтовій суміші.

Але, як показали авторські дослідження [21], рослини нарощують поглинання вуглекислого газу і виділення кисню до певної межової освітленості, яка зростає при збільшенні вмісту CO₂ в повітрі. Також при досягненні певної поглинутої дози вуглекислого газу фотосинтетичні можливості вичерпуються.

Також використання сучасних одиниць освітленості (кількість фотонів на одиницю часу, потік енергії на одиницю часу або, ще гірше, люкси, зважені за чутливістю людського ока) не відповідає кривій ефективності фотосинтезу. Тому введено нові одиниці вимірювання освітленості – фітолюкс, зважені саме за кривою ефективності фотосинтезу (рис. 7.2).

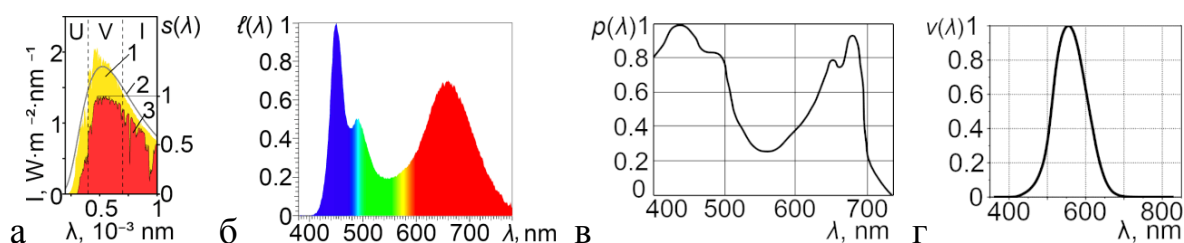


Рис. 7.2. Дані для переважування освітленості [8]:

а – спектр сонячного випромінювання; б – приклад спектру випромінювання – світлодіод ZVision LED 2835 для зростання рослин; в – крива ефективності фотосинтезу; г – спектральна ефективність фотопічного зору, за яким визначено люкс

Оскільки жоден прилад у світі, навіть призначений для теплиць, не вимірює правильно цю величину, у роботі [22] детально наведено метод перерахунку показників приладів за відомими кривими чутливості приладу (або людського ока для дуже точних люксметрів), спектром випромінювання джерела світла та спектром сонячного світла на рівні моря. При освітленні рослин сонячним світлом фітолюкс чисельно рівний люксу. Саме за такою величиною коректно визначати умови газообміну в рослинах при різних джерелах світла.

Існують різні форми видалення забруднень рослинами. Поглинання забрудників корінням із ґрунту та води пов'язане з концентрацією та властивостями забруднювача, видом/складом рослин, часом впливу та іншими системними змінними. Коли органічні забрудники (як-от трихлоретилен) знаходяться в пагонах, вони можуть бути переміщені до коренів за допомогою флоєми. Подальша трансформація або деградація забруднювача тканинами рослин є ще одним важливим етапом процесу фіторемедіації [23].

Газоподібні забруднення та частки, як-от пил і біоаерозолі, адсорбуються на поверхні листя. Також газоподібні забрудники

поглинаються продихами й накопичуються в різних внутрішніх структурах. Під час фотосинтезу рослини поглинають леткі органічні сполуки через продихи та віск кутикули, згодом перетворюючи їх на амінокислоти через цикл Кальвіна [24]. У міжклітинних просторах рослин поглинені забруднювачі зберігаються або вступають у реакцію з внутрішньою поверхнею листя та водною плівкою, потім розкладаються або виділяються на ззовні [25].

Інші поширені газоподібні забруднювачі повітря, такі як SO₂, CO₂, NO_x і O₃, також накопичуються в рослинних клітинах і тканинах, головним чином, через продихи, віск і кутикулу.

Варто виділити метод видалення летких органічних сполук мікроорганізмами в ґрунті та на рослинах, який є підвидом фітореMediaції – *фітодеградацію*. При цьому відбувається розпад складних органічних забрудників до простих сполук або метаболізм забрудників у філосфері та ризосфері [26].

Перетворення в ризосфері, яке також називається *ризозодеградацією* (або розглядається як фітостимуляція), здійснюється ґрунтовими організмами, як-от бактерії, гриби або ферменти, що виділяються з рослин або мікроорганізмів. Забрудники розкладаються в ризосфері, а також всередині рослин за допомогою специфічних рослинних ферментів, зокрема нітроредуктази, дегалогенази та лаккази [27]. Сполуки, що виділяються з рослин, як-от цукри, амінокислоти або ферменти, можуть стимулювати зростання бактерій у ґрунті і навпаки – стимулювати мікробну та грибову деградацію, шляхом виділення ферментів до ризосфери. Тому ризозодеградацію також називають фітореMediaцією або біореMediaцією за допомогою рослин [26].

7.3. Історія застосування фітонцидів і фітонцидних рослин

У давньому світі про фітонциди не знали. І зараз ми не маємо уяви про їхній хімічний склад. Але використання пахощів для лікування хвороб відомо з давніх-давен у різних народів. Елементи запашних рослин знайдено в мотивах декоративних малюнків первісних печерних людей. У печерах Ласко (Франція, провінція Дардонь) виявлено наскельні малюнки зі способами використання рослин для оздоровлення та лікування (рис. 7.3). Вік цих малюнків понад 20 тис. років.



Рис. 7.3. Світлина в печерах Ласко з наскальними малюнками [28]

Достовірні відомості про те, що люди навчилися виділяти запашні речовини з рослинної сировини, відносяться до V тисячоліття до н.е. Керамічний дистильатор, якому не менше 5 тис. років, зберігається в музеї Тазіла в Пакистані. Як вважають вчені, цей пристрій використовували для отримання ароматів [28].

Археологи виявили флакони з пахощами в стародавніх єгипетських гробницях, а бальзам, мирра і ладан згадувалися ще в Старому Заповіті. Серед них найбільш відома мирра – запашна смола різних видів дерев сімейства Бурзерові, що ростуть на пустельних узбережжях Червоного моря. Вона витікає з надрізів стовбурів, застигаючи на повітрі грудками неправильної форми жовтого або бурого кольору з приємним запахом і гірким смаком. Мирра містить 40-67% камеді, 28-35% смоли Миррини (рис. 7.4), 2-6% ефірного масла миррола, має виражені антимікробні властивості і в давнину використовувалася для запашного кадила в релігійних обрядах [29, 30].



Рис. 7.4. Мирра [30]

З ладану (рис. 7.5) – смоли, одержуваної з різних видів рясту, – ароматичні речовини звільнялися при нагріванні. Звідси згодом і з'явився термін "парфумерія" ("*per fumum*" - латинське "через дим, за допомогою диму").



Рис. 7.5. Загальний вигляд квітучого ладану [31]

У гробниці Тутанхамона, наприклад, знайдено ароматичні речовини, що складаються на 90 % з тваринного жиру і на 10 % з олій, бальзамів і смол. Статуетки та тіла мертвих просочували ефірними оліями та пахощами. У письмових пам'ятках зображено сцени обкурювання. Мирра і ладан застосовувалися в будь-який час дня і ночі при молитвах,

жертвопринесеннях, святах. Ладан за своєю цінністю відповідав золоту. У стародавньому Єгипті створили знамените «Кіфі», що складається з 16-ти ароматичних речовин. Рецепт «Кіфі» ніхто не знає, але вважають, що крім ладану, туди входили айр, кориця, хна, ялівець і мирра. «Кіфі» використовували як аромати, курили як ладан, застосовували як ліки. Його склад дозволяв досягти нових рівнів свідомості, духовної та психічної зосередженості [29, 31].

У Стародавньому Вавилоні ароматичні масла спеціально додавали в будівельні матеріали, з яких споруджувалися храми. При цьому протимікробні властивості лимонного, кедрового і миррової олій забезпечували дезінфекцію у приміщенні храму [29-31].

За 600 років до н.е. вавилонські купці поставляли пахощі в склянках, алебастрових і порцелянових баночках на римський і грецький ринки, а близько 500 р до н.е. в Коринті існувала фабрика пахощів. Останні у формі олій, мазей, смол і "коренів" були символами багатства та були одним з найцінніших подарунків, які, наприклад, біблійна цариця Шеви піднесла Соломону. Подібні східні пахощі перебували серед дарів Юдифи Олоферну. З дерева кориці, яке зростало в саду Соломона, готували порошок для пахощів, яким помазувалися священні особи та посудини. У Євангелії від Марка також згадуються пахощі для помазування ніг. Мирра була одним з дарів Східних Волхвів Немовляті Ісусу. При похованні мертвих іудеї використовували у великій кількості смирну, мирру, ладан і алое. Никодим при похованні Ісуса Христа приніс, із «смирни і алое, літрів близько ста».

Скіфські жінки (за Геродотом), турбуючись про гігієну й аромати свого тіла, товкли кипарис, тмин, кедрове дерево, та отриману масу ретельно втирали в шкіру.

Взагалі перші спроби використовувати аромати рослин відомі в Стародавньому Єгипті. Цікаво, що робочі парфумерних фабрик у Грассі практично не хворіли на туберкульоз, хоча серед населення ця хвороба носила мало не епідемічний характер. Пізніше виявили, що масло лаванди пригнічує ріст туберкульозних бацил, а масла чебрецю, кориці, лаванди, кедрового і дудника особливо активні проти сапу і жовтої лихоманки [29, 31, 32].

На початку XVII століття французький медик Шарль де Лорм запропонував у 1619 р. спеціальний захисний одяг для чумних лікарів. Цей костюм уперше використали в Неаполі, після чого він набув поширення в різних країнах Європи й став характерним атрибутом професії чумного лікаря. До складу комплексу входила відома маска з подовженим «дзьобом», виготовлена з жорсткої шкіри та оснащена прозорими вставками в зоні очей. Усередину «дзьоба» поміщали ароматичні рослини, квіти та спеції, зокрема пелюстки троянд, розмарин, лаврове листя, ладан тощо, які, за тодішніми уявленнями, мали нейтралізувати шкідливі випари – «міазми», – що вважалися причиною хвороби [33]. Такий захист не давав 100 % гарантії, адже чумні лікарі теж хворіли при контакті з хворими на легеневу форму чуми. У ті часи не розуміли особливостей дії фітонцидів, зокрема часу, необхідного для знищення бактерій. Проте їх намагалися використовувати проти найбільш смертоносних хвороб.

7.4. Властивості фітонцидів

У природі явище фітонцидів універсально. Разом з тим існують відмінності фітонцидної активності в різних видів. При цьому фітонциди листя дерев відрізняються за своєю протимікробною дією від плодів тощо.

Фітонцидна активність рослини може змінюватися залежно від пори року, від погоди, часу доби (вранці до 8 годин і ввечері після 19 годин кількість фітонцидів, вироблених рослинами, в кілька разів менше, ніж удень). Дерева, що опиняються в тіні, виділяють менше фітонцидів. У березовому і сосновому лісах більше світла і більше фітонцидів, ніж, наприклад, у змішаному. На кількість продукованих летких речовин може впливати також температура повітря і його вологість: у спекотну погоду концентрація фітонцидів істотно зростає (в 1,5-1,8 рази), а при підвищенні вологості повітря – зменшується.

Фітонциди діють по-різному. Одні згубно діють на мікробів, інші лише гальмують їхнє зростання. Фітонцидам одних рослин властиво впливати на різні класи мікроорганізмів (бактерії, найпростіші одноклітинні тварини, мікроскопічні грибки тощо), інші ж вибірково пригнічують лише певні види мікробів. Таким чином, фітонциди створюють несприйнятливості, підтримують природний імунітет рослин до різних видів захворювань.

У багатьох джерелах фітонцидам приписують різнопланову дію на організм – вплив на артеріальний тиск, біль, концентрацію уваги, настрої тощо. Подібні твердження мають бути доведені, наприклад, виділенням конкретної речовини та вивченням її протимікробної дії й плацебо-контрольованими дослідженнями її інших впливів на організм. Поки це не буде зроблено, ми не можемо приписувати додаткові властивості фітонцидам і будемо казати про дію летких фітоорганічних речовин. Ця дія не менш важлива ніж знищення мікроорганізмів [34-40].

7.5. Методи експериментальних досліджень фітонцидної активності рослин

Оскільки пряме визначення концентрації фітонцидів поки залишається неможливим, використовуються загальновизнані непрямі методи визначення фітонцидної активності.

Метод бактеріального посіву (седиментаційний метод) полягає у визначенні кількості мікробів у повітрі приміщень без і з рослинами шляхом посіву на відповідному живильному середовищі. Кількість бактерій визначають за правилом відомого українського мікробіолога Василя Омелянського: на поверхню площею в 100 см^2 за 5 хв. осідає стільки мікроорганізмів, скільки їх міститься в 10 дм^3 повітря. Загальна кількість бактерій, при кількості посіяних колоній a , куо (колонієутворювальних одиниць), площі чашки Петрі b , см^2 , та часі відкриття її в повітрі t , хв:

$$\begin{aligned} X &= 1000 \times (a \times 100 \times 5) / (b \times t \times 10) = \\ &= 50000 a / (b \times t), \text{ куо/м}^3 \end{aligned} \quad (4)$$

де 1000 – перевідний коефіцієнт з дм^3 на м^3 .

Для визначення фітонцидної активності використовують методику М. Б. Разумовича, С. М. Наумова і В. Т. Атарова, засновану на взаємодії летких фракцій фітонцидів з емульсією фотопаперу. Методика рослинних дисків дозволяє виявити дію фітонцидів на конкретний штам мікроорганізмів. Вона передбачає рівномірне засіювання живильного середовища цим штамом. Далі на нього кладуть вирізаний листяний диск діаметром 1 см.

Під дією фітонцидів мікроорганізми гинуть з утворенням кільцевої зони лізису. Ширина цієї зони визначає фітонцидну активність листа (рис. 7.6).

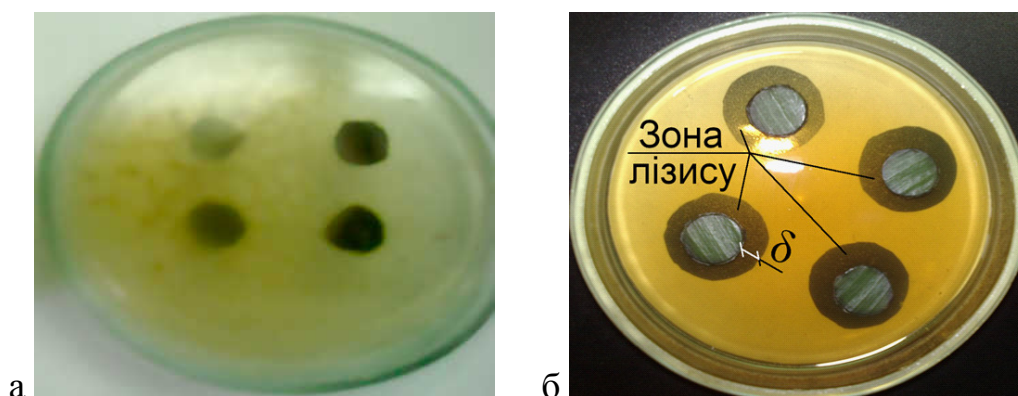


Рис. 7.6. Методика рослинних дисків для виявлення зони лізису (авторські світлини):

а – початок досліду; б – результат дослідження

Для ідентифікації мікроорганізмів використовують їхні тинкторіальні властивості, тобто їхню взаємодію з барвниками. Широко відомий Грам-метод:

- на фіксований мазок, вкритий фільтрувальним папером, наливають розчин карболового генціанвіолету і витримують 1...2 хвилини.
- зливають фарбу, одразу наливають розчин Люголя і витримують 1-2 хвилини.
- зливають розчин Люголя і одразу мазок занурюють до 96 % етилового спирту, витримують 25-30 хвилин.
- ополіскують мазок дистильованою водою і фарбують його розчином фуксину Циля протягом 1-2 хв.,
- зливають розчин, остаточно промивають мазок водою і висушують за допомогою фільтрувального паперу;
- Грам-позитивні бактерії мають фіолетовий колір, грам-негативні – червоний

7.6. Фітодизайн

Уперше поняття фітодизайну і теоретичне обґрунтування його прикладних задач дав український радянський учений, академік АН УРСР лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (по смертю)

Андрій Гродзинський у 1981 р. як «використання рослин для поліпшення довкілля в штучних системах». Проте від висловленої ідеї до її практичної системної реалізації необхідний був етап тривалих і поглиблених наукових досліджень антимікробних і газопоглинальних властивостей рослин, придатних для використання у фітодизайні [41].

А. М. Гродзинський (1983) виділяє шість основних завдань фітодизайну [42]:

1. Етико-психологічний вплив рослин на людину за допомогою краси форми й кольору;
2. Поліпшення повітряного середовища проживання людини (тонізаційні або заспокійливі запахи);
3. Знезараження, оздоровлення навколишнього середовища, в основному за рахунок фітонцидів;
4. Очищення повітря від газів, пилу, диму, зниження шуму рослинами та інші;
5. Біоіндикація, тобто використання рослин як живих індикаторів забруднення повітря, ґрунту та води;
6. Вивчення стану самих рослин в інтер'єрах з метою підбирання найбільш ефективних видів, що добре зростають.

Створення фіторекреацій з використанням підбраного асортименту видів рослин для профілактики і лікування інфекційних захворювань згодом виділено в особливий напрямок – *медичний фітодизайн*.

У практиці фітодизайну виникає серйозна проблема – безконтрольне використання рослин з отруйним соком і алергійною дією. Так, кожен третій дитячий заклад має отруйні рослини, небезпечні для життя й здоров'я, зокрема:

- алоказія зустрічається у 83% випадках (рис. 7.7);
- дифенбахія – у 65 % (рис. 7.8);
- молочай – 56 % (рис. 7.9).

Сік цих рослин містить синильну кислоту, отруйну смолу, канцерогенні речовини. Зареєстровані випадки отруєнь дітей і тварин соком дифенбахії та алоказії. Серед рослин з вираженою алергійною дією примула зворотноконічна, безпосередній контакт з листям якої може викликати почервоніння шкірних покривів, печіння, свербіж і навіть появу пухирців, як після опіку (алергічний дерматит).



Рис. 7.7. Алоказія амазонська. (*Alocasia amazonica*) [43]



Рис. 7.8. Дифенбахія Сегуїна (*Dieffenbachia seguina*) [44]



Рис. 7.9. Молочай Тірукаллі (*Euphórbia tirucállì*) [45]

Як правило, асортимент для озеленення підбирається спонтанно, отруйні рослини використовуються безконтрольно, оскільки люди не знайомі з цими рослинами.

Наприклад, дифенбахія не отрує повітря, але її сік смачний. Тому діти та тварини можуть вжити листя – і це буде востаннє. Вона не придатна для фітодизайну приміщень, де є діти або домашні улюбленці. Натомість, отруйний сік діпладенії настільки пекучий, що вжити його отруйну дозу практично неможливо.

За даними авторських досліджень для ефективного очищення повітря приміщення площею 18 м² потрібно 5-7 рослин заввишки 0,6...1,5 м. Радіус дії фітонцидів становить близько 1,5-2 м, далі ефект знижується [46-48].

У табл. 7.1 наведений список фітонцидних рослин, які можуть застосовуватися для фітодизайну.

Живі тропічні та субтропічних рослин, запропоновані для утримання в приміщеннях, забезпечують:

- очищення повітря від хвороботворної (патогенної і умовно-патогенної) мікрофлори;
- очищення повітря від виробничих і побутових газів і пилу;
- створення чистого, комфортного й зволоженого повітря приміщень;
- звукопоглинання;

Асортимент фітонцидних рослин для створення санаційних інтер'єрів

| Сімейство | Вид |
|-----------------------------------|--|
| <i>Aprocynaceae</i> Juss. | <i>Acokanthera oppositifolia</i> (Thunb.) G. Don |
| | <i>Allamanda cathartica</i> L. |
| | <i>Nerium oleander</i> L. |
| | <i>Rauvolfia verticillata</i> (Lour.) Baill. |
| | <i>Trachelospermum jasminoides</i> L. |
| | <i>Thevetia peruviana</i> (Pers.) Sohum |
| | <i>Vinca major</i> L. cv. Reticulata |
| <i>Crassulaceae</i> A.DC. | <i>Crassula portulacae</i> Lam. |
| <i>Euphorbiaceae</i> Juss. | <i>Acalypha wilkesiana</i> Muell. |
| | <i>Euphorbia neriifolia</i> L. |
| | <i>Euphorbia tirucalli</i> L. |
| | <i>Synadenium grantii</i> Hook. f. |
| <i>Lauraceae</i> Juss. | <i>Laurus nobilis</i> L. |
| <i>Moraceae</i> Link. | <i>Ficus bengalensis</i> L. |
| | <i>Ficus benjamina</i> L. |
| | <i>Ficus pumila</i> L. |
| | <i>Ficus ramentaceae</i> Roxb. |
| | <i>Ficus rubiginosa</i> Desf. ex Venten |
| <i>Myrtaceae</i> Juss. | <i>Acca selloviana</i> (Berg.) Burr. |
| | <i>Callistemon citrinus</i> (Curt). Stapf. |
| | <i>C. pinifolius</i> (Wendl.) DC. |
| | <i>C. salignus</i> DC. |
| | <i>C. speciosus</i> DC. |
| | <i>Eucalyptus blakelyi</i> Maiden |
| | <i>E. camaldulensis</i> Dehnh. |
| | <i>E. dealbata</i> A. Cunn ex Chau |
| | <i>Eugenia myrtifolia</i> Sims. |
| | <i>Myrtus communis</i> L. |
| | <i>Psidium littorale</i> Raddi |
| | <i>Psidium Littorale</i> Raddi f. Lucidum Pilip. |

| Сімейство | Вид |
|--|---|
| | <i>P. guajava</i> Linn. |
| <i>Pittosporaceae</i> R.Br. | <i>Pittosporum tobira</i> Dryand. |
| | <i>P. heterophyllum</i> Franch. |
| | <i>P. viridiflorum</i> Sims. |
| <i>Rosaceae</i> Juss. | <i>Eriobotria japonica</i> (Thumb.) Lindl. |
| | <i>Laurocerasus officinalis</i> Roem. |
| <i>Rutaceae</i> Juss. | <i>Citrus aurantium</i> L. |
| | <i>C. aurantifolia</i> (Christmans) Swingle var. <i>limetta</i> Risso |
| | <i>Citrus x limon</i> L. |
| | <i>Fortunella margarita</i> (Lour). Swingle |
| | <i>Myrraya exotica</i> L. |
| <i>Vitaceae</i> Juss. | <i>Cissus antarctica</i> Vent. |
| | <i>Rhoicissus rhomboidea</i> Vent. |
| <i>Amaryllidaceae</i> Jaume St.-Hill. | <i>Amarillis belladonna</i> L. |
| | <i>Hemanthus albiflos</i> Yacg. |
| | <i>Hippeastrum x hybridum hort.</i> cv. Sygnal |
| | <i>Hymenocallis calatina</i> Nicols. |
| <i>Araceae</i> Juss. | <i>Aglaonema commutatum</i> Schott |
| | <i>Diffenbachia maculate</i> (Lodd.) G. Don |
| | <i>D. sequina</i> (L.) Scott |
| | <i>Epipremnum aureum</i> (Lindl. et Andre) benting |
| <i>Asphodelaceae</i> Juss. | <i>Chlorophyttum comosum</i> (Thunb.) Baker |

- збагачення повітря біогенними речовинами, які сприятливо діють на загальний стан організму людини;
- естетично приємну та комфортну обстановку, що знімає стрес.

Для досягнення значного терапевтичного (санаційного) ефекту, в приміщеннях можливо сумісне використання живих рослин і дозоване розпорошення ефірних олій певного набору видів з фітонцидним ефектом відносно різних груп мікроорганізмів.

Для підвищення безпеки в місцях загального користування багатоповерхових будівель (ліфтові холи, загальні коридори) пропонується реновація внутрішніх приміщень [49]. Такі приміщення, як правило, не мають постійної вентиляції та фітодизайну.

Для вирішення цієї проблеми автори розробили асортимент фітонцидних рослин з 11 видів: *Aspidistra elatior*, *Aglaonema "Silver queen"*, *Aglaonema "Maria"*, *Chlorophytum comosum*, *Chlorophytum capense*, *Dracena marginata*, *Monstera deliciosa*, *Philodendron scandens*. Для нормального зростання та розвитку рослин за відсутності природного освітлення запропоновано три варіанти додаткового ефективного підсвічування [49].

Авторські дослідження [50] вивчали можливості покращення якості повітря у приміщеннях за методом седиментації Р. Коха. Правило В. Омелянського (4) дозволило розрахувати мікробне число в повітрі. Дослідження в середній школі показали дуже високу загальну життєздатну кількість бактерій після досліджень – до 6000 куо/см³. Дослідження повітря у приміщеннях після реалізації фітодизайну показали можливість зниження загальної чисельності життєздатних мікроорганізмів у приміщеннях середньої школи у 2,5-3,5 рази.

Для ранжування рослин за фунгіцидною (протигрибковою) дією фітонцидну активність оцінювали шляхом випробування листових дисків (рис. 7.6) у чашках Петрі з рівномірно засіяними мікроорганізмами. Бачимо (рис. 7.10) найбільш потужну дію *Chlorophytum comosum* та *Ficus benjamina Wiandi* – рослин, які не мають запаху, що підкреслює необхідність вирізняти фітонциди як підклас летких органічних речовин.

Фіторемедіаційні системи [51] поділяють (рис. 7.11) на:

- пасивні, тобто без примусового руху повітря;
- активні ботанічні біофільтраційні системи – з примусовим рухом повітря, зазвичай, крізь рослини та ґрунт, – термін означає те, що система використовує як рослини та асоційовані з ними бактерії (фіторемедіація), так і ґрунтові бактерії (біофільтрація).

Автори [53] дослідили активну систему фіторемедіації (рис. 7.12) «зелена стіна» в реальних офісних умовах протягом 300 днів. Було виявлено задовільну ефективність щодо видалення формальдегіду і толуолу (90% і понад 33%, відповідно протягом перших чотирьох днів).

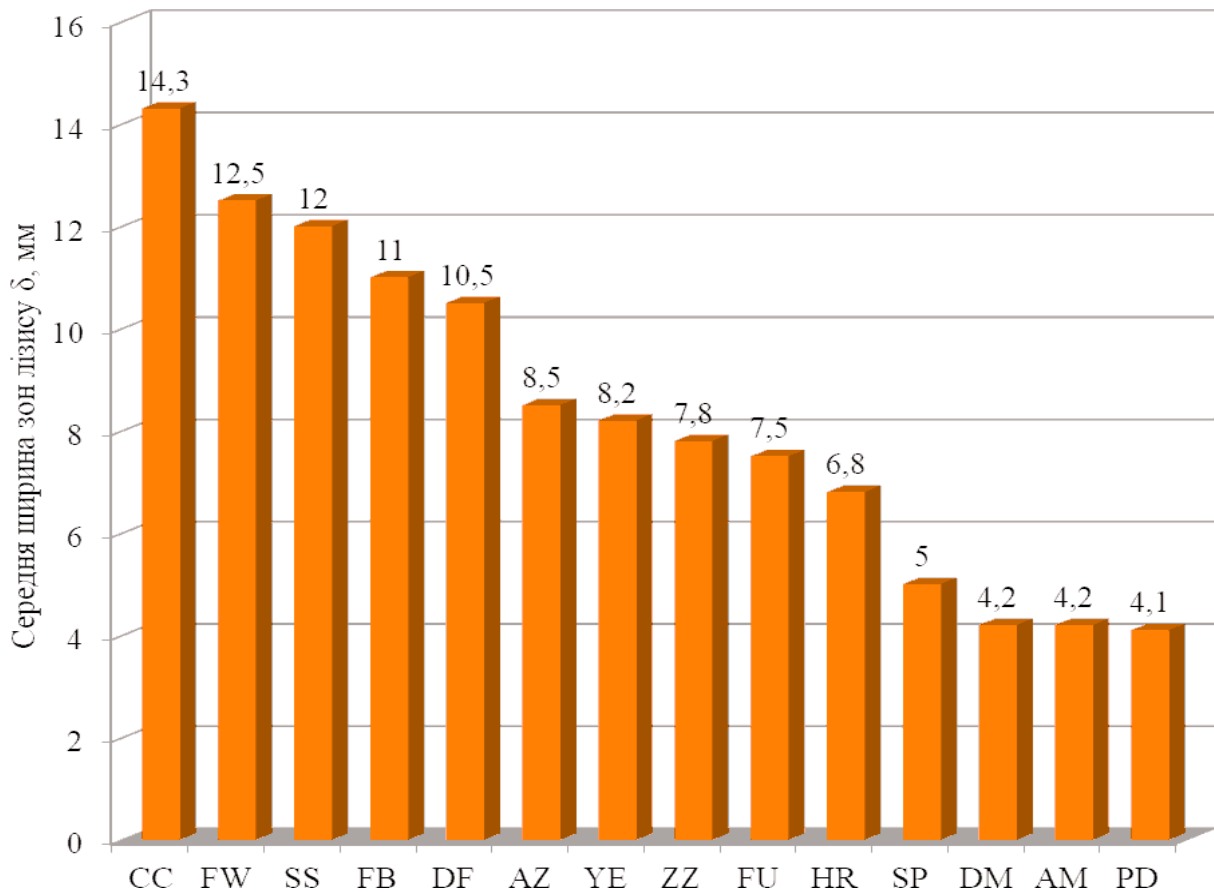


Рис. 7.10. Вплив різних видів рослин на цвілеві гриби:

CC - *Chlorophytum comosum*; FW - *Ficus benjamina* Wiandi; SS - *Sansevieria*; FB - *Ficus benjamina*; DF - *Dracaena Fragrans*; AZ – *Azalea*; YE - *Yucca elephantipes*; ZZ - *Zamioculcas zamiifolia*; FU - *Fuchsia*; HR - *Hibiscus rosa-sinensis*; SP - *Spathiphyllum*; DM - *Dracaena Marginata* Lam; AM - *Amaryllis*; PD – *Phoenix Dactylifera*

Крім того, ця система успішно знизилася температуру повітря в приміщенні на 0,5°C в реальному середовищі, тоді як зниження температури становило 1°C в лабораторних умовах. Підвищення відносної вологості для реалістичних і лабораторних умов становило 17,7 і 9-13%, відповідно.

Крім того, зменшення на 20% подачі зовнішнього повітря було досягнуто за допомогою даної системи, що дозволило заощадити енергію, необхідну будівлі, враховуючи, що концентрації толуолу та формальдегіду визначали кратність повітрообміну для цього випадку.

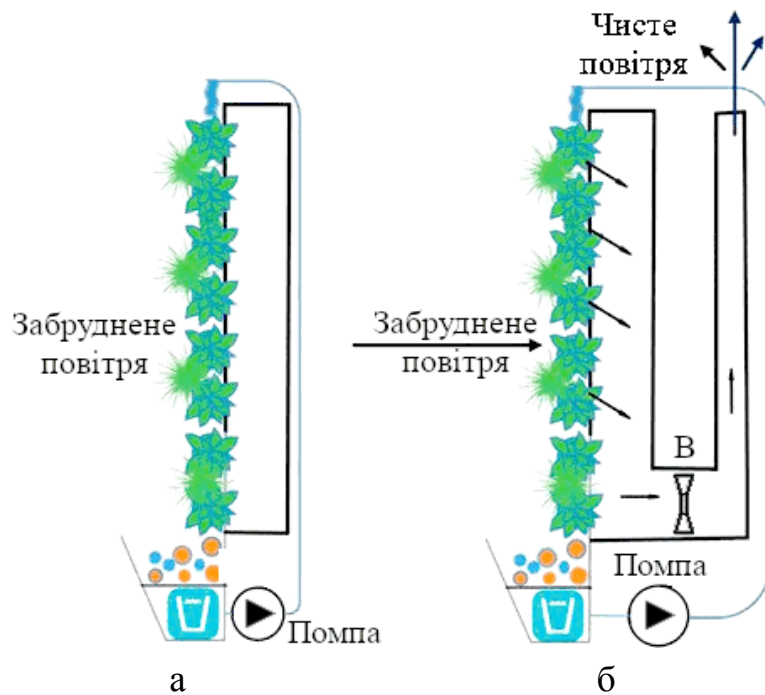


Рис. 7.11 – Фіторемедіаційні системи [51]:
 а – пасивна, б – активна ботанічна біофільтраційна система

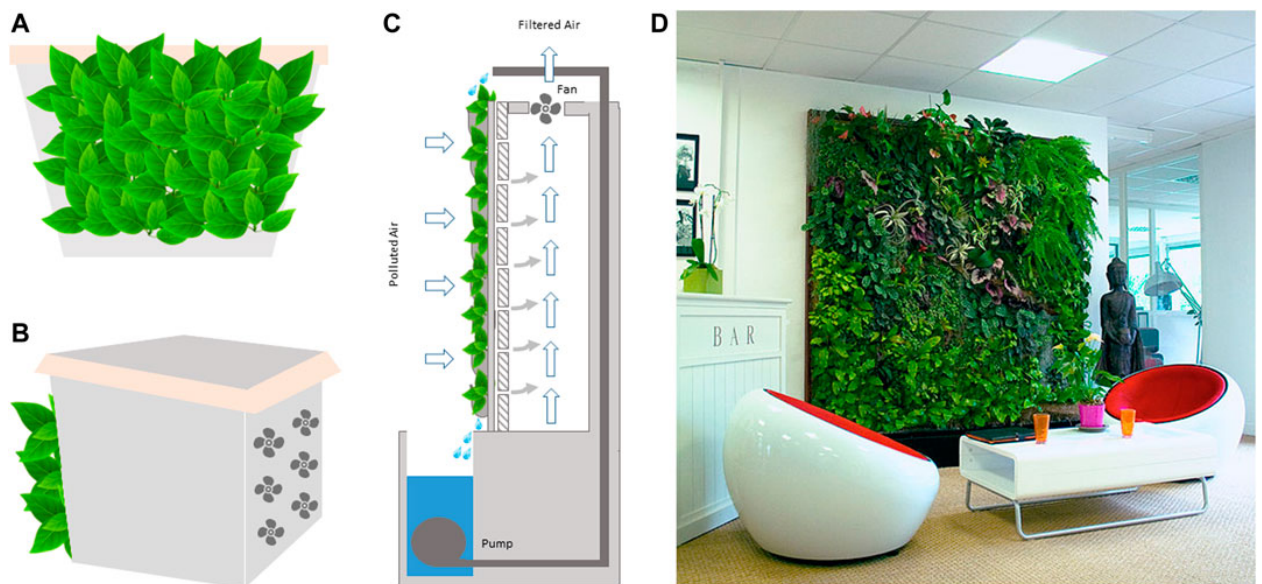


Рис. 7.12. Активні ботанічні біофільтраційні системи в реальних умовах [53]:

А – модульна система, вид спереду; В – модульна система, загальний вигляд; С – зелена стіна, розріз; D – зелена стіна в інтер'єрі

Також, аналіз досліджених даних підтвердив зниження концентрацій твердих часток (РМ) до рівня, якого поточна система кондиціонування повітря в приміщенні могла досягти в нормальних умовах.

Отже, оскільки якість повітря в приміщенні будівель у великих масштабах сприяє проблемам зі здоров'ям людей, впровадження стійких рішень для підтримки якості повітря в приміщенні стало особливою проблемою для наукової спільноти. Активні системи ботанічної біофільтрації були визнані ефективними для видалення забруднюючих речовин разом із потенціалом для підвищення вологості та охолодження повітря.

Добре вивчено, що ботанічні системи не сприяють поширенню грибів, якщо їх підтримувати в добре контрольованому стані [54]. Більше того, естетична цінність АСББ виступає додатковою перевагою для позитивних психічних ефектів.

Щоб побудувати оптимальну систему, проведено аналіз рослин, щоб врахувати деякі вимоги, такі як умови освітлення, кліматичні умови та поживне середовище [60]. У табл. 7.2. представлений список кімнатних рослин, що беруть участь у видаленні забруднювачів із повітря.

Таким чином, рослини є природним біофільтром, завдяки якому можна покращити якість повітря в приміщенні та психоемоційний стан людей. Ступінь покращення наслідків забруднення повітря залежить від виду рослин.

Перший експеримент проведено в офісній будівлі в кімнаті переговорів, приймальній, кабінеті директора. Залучені рослини (жирний шриффт – фітонцидність визначається вперше) (табл. 7.3).

Особливістю досліджень є визначення у фітонцидних рослин тривалості виділення фітонцидів залежно від фази їхнього розвитку: початок вегетації; період активного росту; період цвітіння (для аглаонеми); помірне зростання; період спокою (рис. 7.13).

Відповідно до думки А. П. Дегтярьової [21], більшість рослин проявляє найвищу антимікробну активність у період цвітіння, незалежно від присутності або відсутності запаху. Це навело на думку про залежність тривалості виділення фітонцидів від фази розвитку рослин. Тому визначено тривалість виділення фітонцидів залежно від періоду вегетації і цвітіння.

Список кімнатних рослин, що очищують повітря

| Забруднювач | Вид рослин | Залучена частина | Ступінь вилучення | Джерело |
|---------------|---|---------------------------|---|-------------|
| Формальдегід | <i>Chrysanthemum morifolium</i> | коріння | 81-96 % | [55] |
| | <i>Chlorophytum comosum</i> | | 11 % | [56] |
| | <i>Ficus benjamina</i> | | 80 % | [57] |
| Бензол | <i>Chlorophytum comosum</i> | листя | 95% за 7 днів | [58] |
| | | пагони | 88% | [59] |
| | <i>Asparagus densiflorus</i> | листя | 2,61-5,54 мг/(год·м ³ ·м ²) | [60] |
| | <i>Dracaena sanderiana</i> | віск і продихи | 66-70 %/день | [61] |
| Кетони | <i>Epipremnum aureum</i> | листя | 50-65% | [62] |
| Толуол | <i>Asparagus densifloru</i> | листя | 5,81-9,63 мг/(м ³ ·м ² ·год) | [60] |
| | <i>Draceana</i> | листя | 2,2-549 мг/(м ³ ·день) | [63] |
| | <i>Sensevieria Hyacinthoides</i> | віск | 85% | [64] |
| | <i>Zamioculcas zamiifolia</i> | кутикула й продихи | 95% | [63, 65] |
| Ксілен | <i>Draceana</i> | листя | 90% за 5 днів | [63] |
| | <i>Zamioculcas zamiifolia</i> | листя | 95% за 72 год. | [66] |
| Трихлоретилен | <i>Hemigraphis alternata</i> , <i>Hedera</i> | листя | 5,79-11,8 мг/(м ³ ·м ² ·год) | [60] |
| | <i>Ficus elastica</i> | листя | 9,8% за год. | [67] |
| Етилбензол | <i>Zamioculcas zamiifolia</i> | кутикула та продихи | 95% | [65] |
| | <i>Sensevieria hyacinthoides</i> | віск | 90% | [66] |

Асортимент рослин для фітодизайну приміщень

| Загальний вигляд | Назва | Приміщення |
|---|--|------------------------------|
|  | Фікус Бенджаміна (<i>Ficus benjamina</i> L.) | в кімнаті переговорів |
|  | Драцена запашна (<i>Dracaena fragrans</i> «Massangeana») | в кімнаті для переговорів |
|  | Кодіеум (кротон) строкатий (<i>Codiaeum variegatum</i> (L.) Rumph. ex A.Juss.) та аглаонема «Pattaya Beauty» (<i>Aglaonema</i> «Pattaya Beauty») | приймальна |
|  | Драцена деремська Janet Craig (<i>Dracaena</i> «Janet Craig») та аглаонема «Pattaya Beauty» (<i>Aglaonema</i> «Pattaya Beauty») | кабінет директора |
|  | Товстянка яйцеподібна (<i>Crassula portulacastris</i> Lam) | кабінет директора |

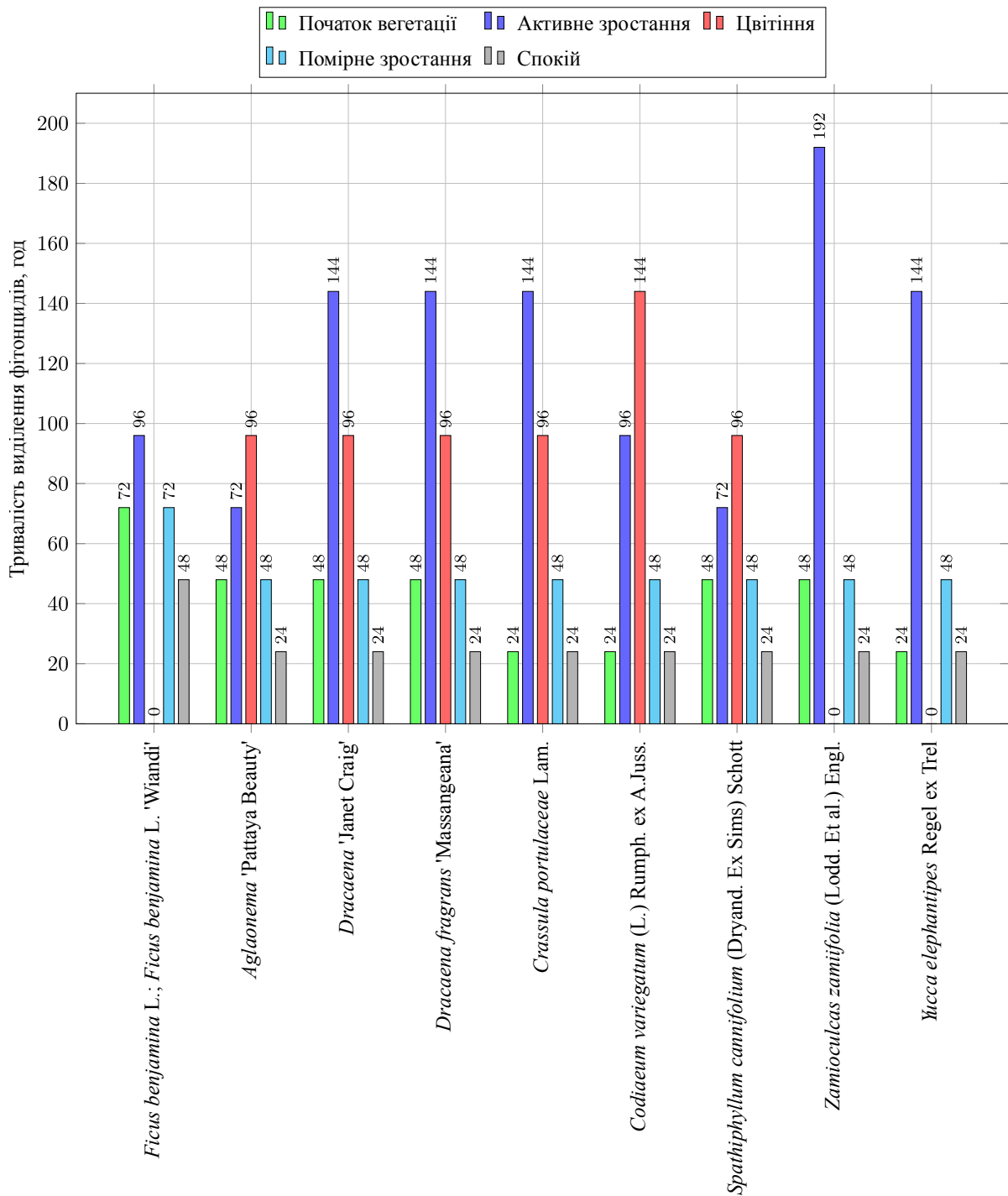
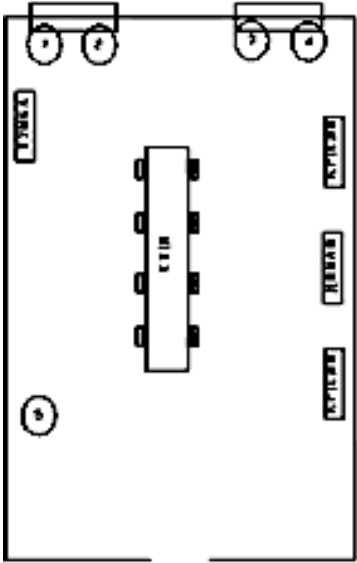


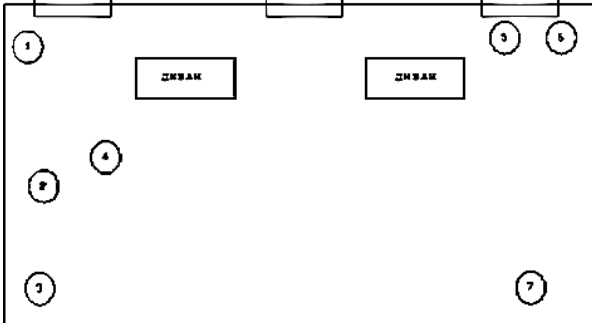





Рис. 7.13. Тривалість виділення фітонцидів рослинами залежно від фази розвитку рослин



Наступним етапом досліджень був моніторинг повітря кількох офісних приміщень задля відбору перспективних рослин для створення санаційних інтер'єрів (табл. 7.4).

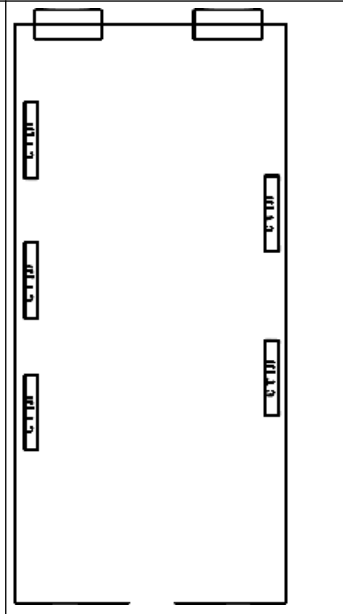
Асортимент рослин для фітодизайну приміщень

| Схема розміщення рослин у приміщенні | Назва та зовнішній вигляд рослин |
|--|---|
|  <p data-bbox="194 891 737 927">Кімната для ведення переговорів, 18 м²</p> |  <p data-bbox="804 631 1305 667"><i>Yucca elephantipes</i> Regel ex Trel (1-4)</p>  <p data-bbox="804 999 1359 1079"><i>Zamioculcas zamiifolia</i> (Lodd. et al.) Engl. (5)</p> |
|  <p data-bbox="194 1482 456 1518">Зимовий сад, 12 м²</p> |  <p data-bbox="804 1729 1264 1765"><i>Dracaena marginata</i> «Tricolor» (1)</p> |

| Схема розміщення рослин у приміщенні | Назва та зовнішній вигляд рослин |
|--------------------------------------|---|
| |  <p data-bbox="805 996 1337 1030"><i>Dracaena marginata</i> «Tricolor»(4)</p> |
| |  <p data-bbox="805 1776 1337 1809"><i>Ficus benjamina</i> L(2)</p> |

| Схема розміщення рослин у приміщенні | Назва та зовнішній вигляд рослин |
|--------------------------------------|---|
| |  <p data-bbox="802 1014 1197 1048"><i>Ficus benjamina</i> L. Wiandi(3)</p> |
| |  <p data-bbox="802 1720 1273 1753"><i>Yucca elephantipes</i> Regel ex Trel(5)</p> |

| Схема розміщення рослин у приміщенні | Назва та зовнішній вигляд рослин |
|--------------------------------------|---|
| |  <p data-bbox="804 1025 1369 1115"><i>Spathiphyllum cannifolium</i> (Dryand. ex Sims) Schott (7)</p>  <p data-bbox="804 1568 1375 1648">Зона відпочинку. Загальний композиційний вигляд.</p> |

| Схема розміщення рослин у приміщенні | Назва та зовнішній вигляд рослин |
|--|----------------------------------|
| Бухгалтерія, 18м ²  | Кімната без рослин |

Мета – визначити, наскільки ефективно рекомендовані нами фітонцидні рослини діють на мікрофлору повітря приміщень. Для цього вибрано кілька приміщень:

- кімната для ведення переговорів
- кімната відпочинку
- контрольне неозеленене приміщення, рівнозначне за площею та кількістю людей

Визначали тривалість виділення фітонцидів для порівнянням фітонцидних властивостей рослин (рис. 7.13).

Наступним етапом досліджень був моніторинг повітря кількох офісних приміщень задля відбору перспективних рослин для створення санаційних інтер'єрів. Критерії оцінювання повітря приміщень та результати посівів наведено на рис. 7.14

Можна виділити такі *шляхи розвитку й потрапляння мікроорганізмів до приміщення*:

1. Повітряно-краплинний шлях (орально-крапельні інфекції);
2. Одяг, взуття, інші предмети, занесені ззовні;
3. Побутовий пил;
4. Комахи, тварини та птахи;

бактеріальне) забруднення повітря призводить до алергійних захворювань і бронхіальної астми. Мікробіологічний стан повітряного середовища закритих приміщень дуже лабільний.

Кількість мікроорганізмів у повітрі коливається залежно від санітарно-гігієнічного стану приміщень, кількості в них людей, температури, часу доби, вологості повітря, рівня хімічного забруднення повітряного середовища. Основним джерелом (на 70-80%) мікробного забруднення повітря закритих приміщень є людина.

Переважає частина мікрофлори пов'язана з пиловими частками – ґрунтовим пилом і часточками епідермісу, що забезпечують тривалу циркуляцію мікроорганізмів у повітряному середовищі приміщень.

Санітарно-гігієнічний стан повітря закритих приміщень оцінюється за рядом параметрів, серед яких:

- загальна кількість мікроорганізмів в 1 куб. м (відносний показник стану);
- наявність мікроорганізмів, що вегетують на слизовій оболонці верхніх дихальних шляхів (альфа- і бета-стрептококи й стафілококи);
- наявність цвілевих грибів (фактор розвитку алергійних і бронхолегеневих захворювань).

Усе більшу значущість набуває оцінювання повітряного середовища приміщень, обладнаних системами кондиціонування повітря й механічної вентиляції. У таких приміщеннях відбувається повернення відпрацьованого повітря, у результаті чого формуються сприятливі умови для розмноження й поширення патогенних мікроорганізмів.

Мікробіологічний моніторинг повітряного середовища приміщень проводився протягом 7 місяців (рис. 7.15-7.21) у різні періоди: осінньо-зимовий і весняний. Проби (посіви в чашки Петрі з МА) бралися на третю добу. Повторність проб триразова.

Результати дослідження свідчать про те, що показники кількості мікроорганізмів в 1 м³ повітря в приміщенні з рослинами (дослід) значно менше, ніж у контрольному варіанті (приміщення без рослин). Крім того, ці показники перебувають у межах норми (1500 бактерій в 1 м³ улітку до 4500 бактерій в 1 м³ узимку) і навіть значно нижче.

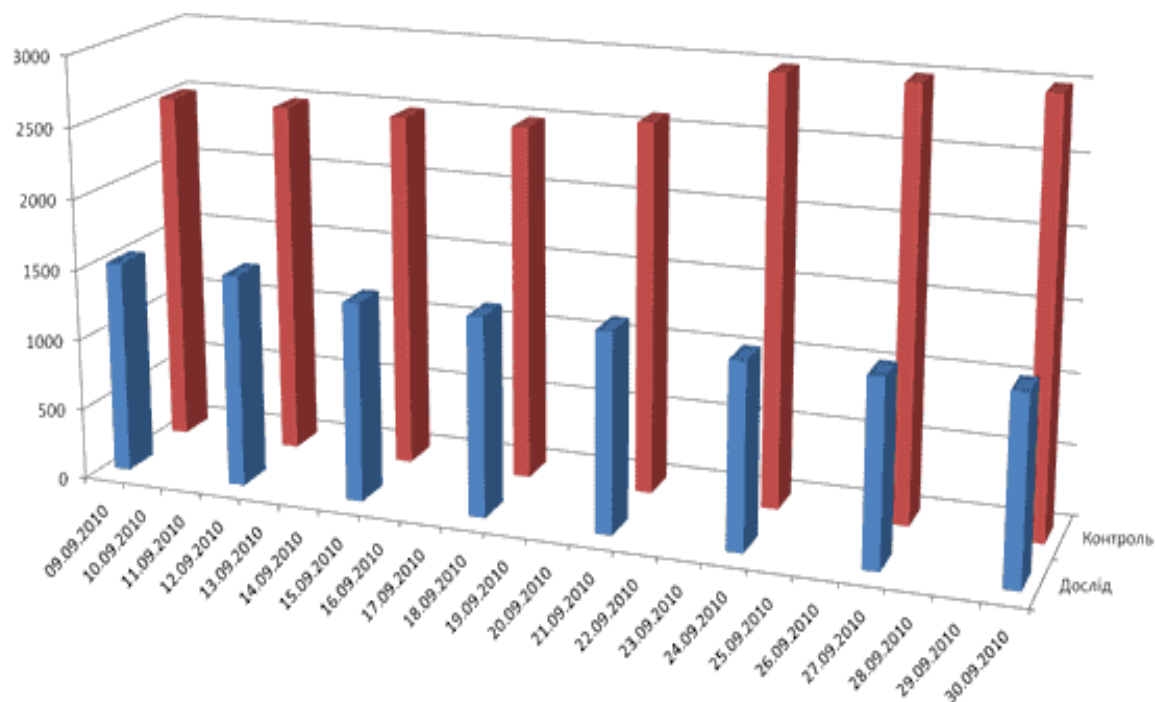


Рис. 7.15. Зміна числа мікроорганізмів в 1 м³ повітря (вересень 2010 р):
 ■ – дослід; ■ – контроль

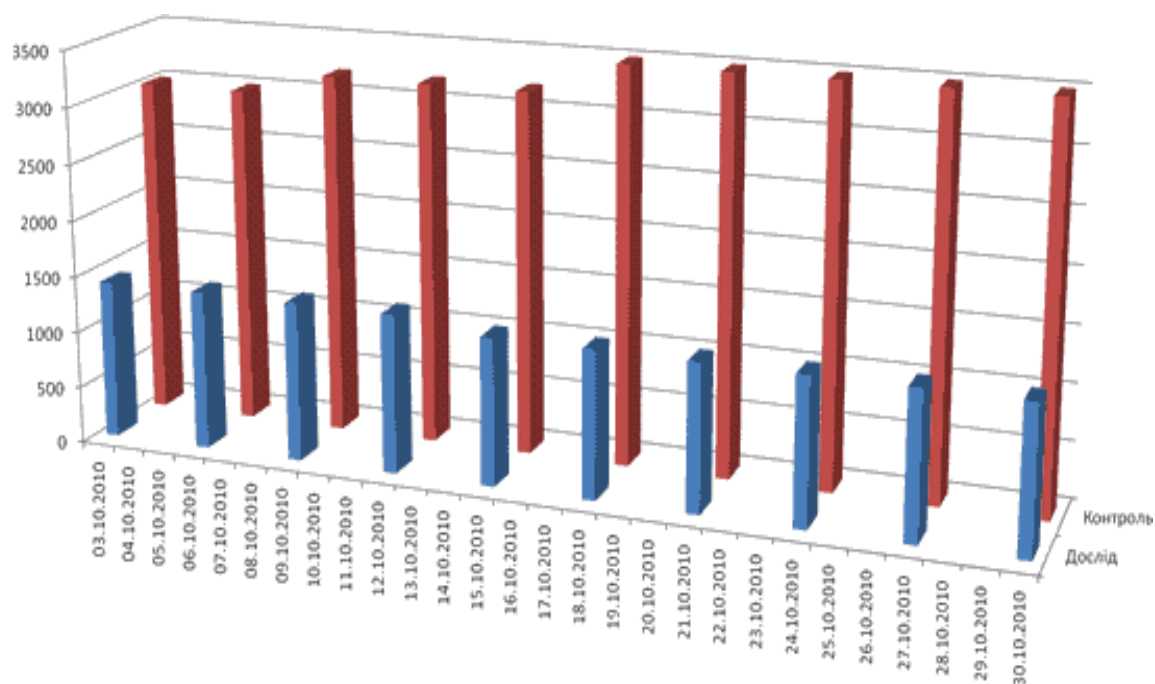


Рис. 7.16. Зміна числа мікроорганізмів в 1 м³ повітря (жовтень 2010 р):
 ■ – дослід; ■ – контроль

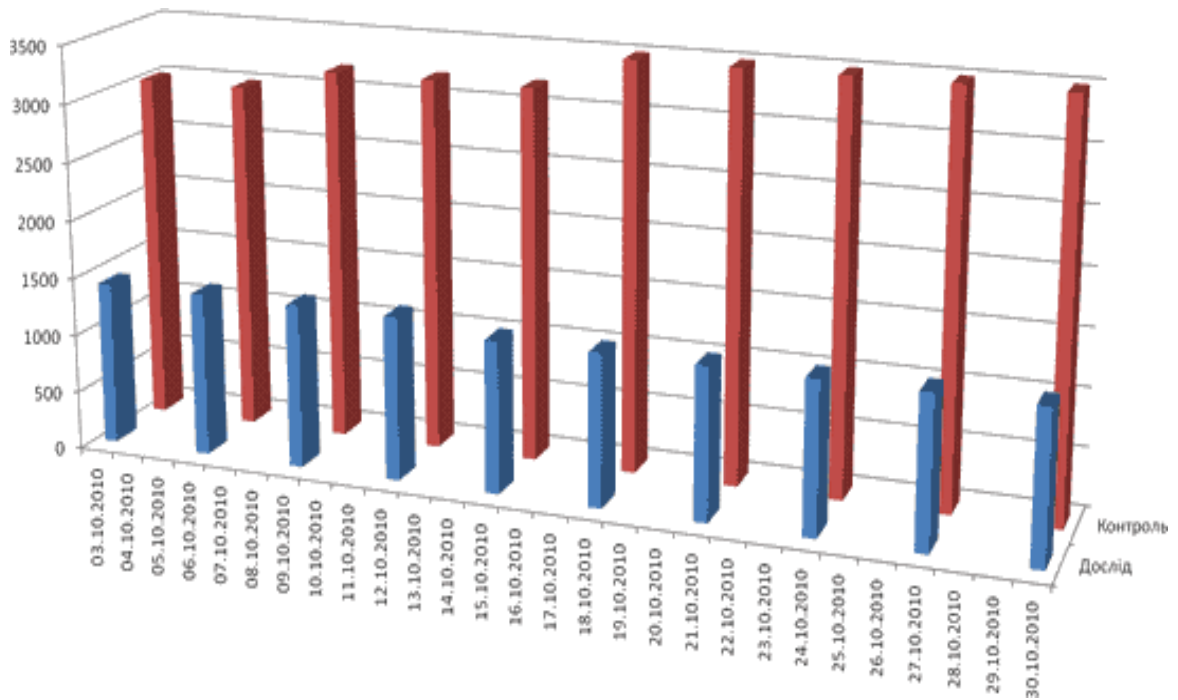


Рис. 7.17. Зміна числа мікроорганізмів в 1 м³ повітря (листопад 2010 р):
 ■ – дослід; ■ – контроль

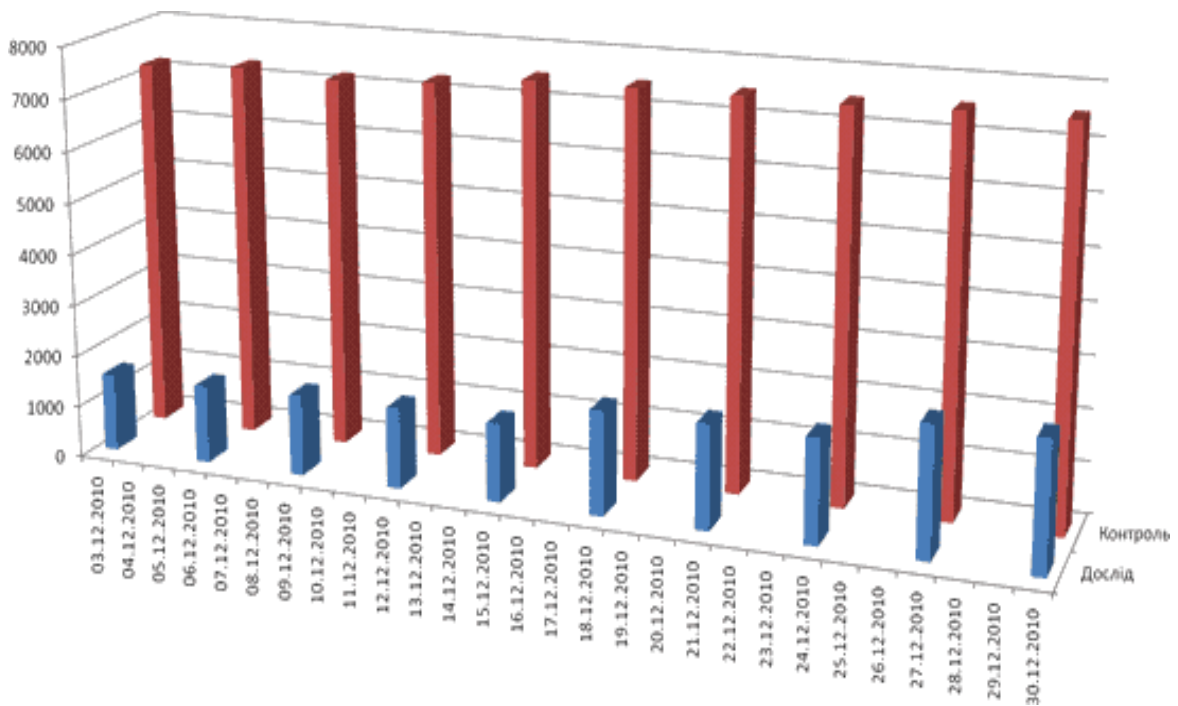


Рис. 7.18. Зміна числа мікроорганізмів в 1 м³ повітря (грудень 2010 р):
 ■ – дослід; ■ – контроль

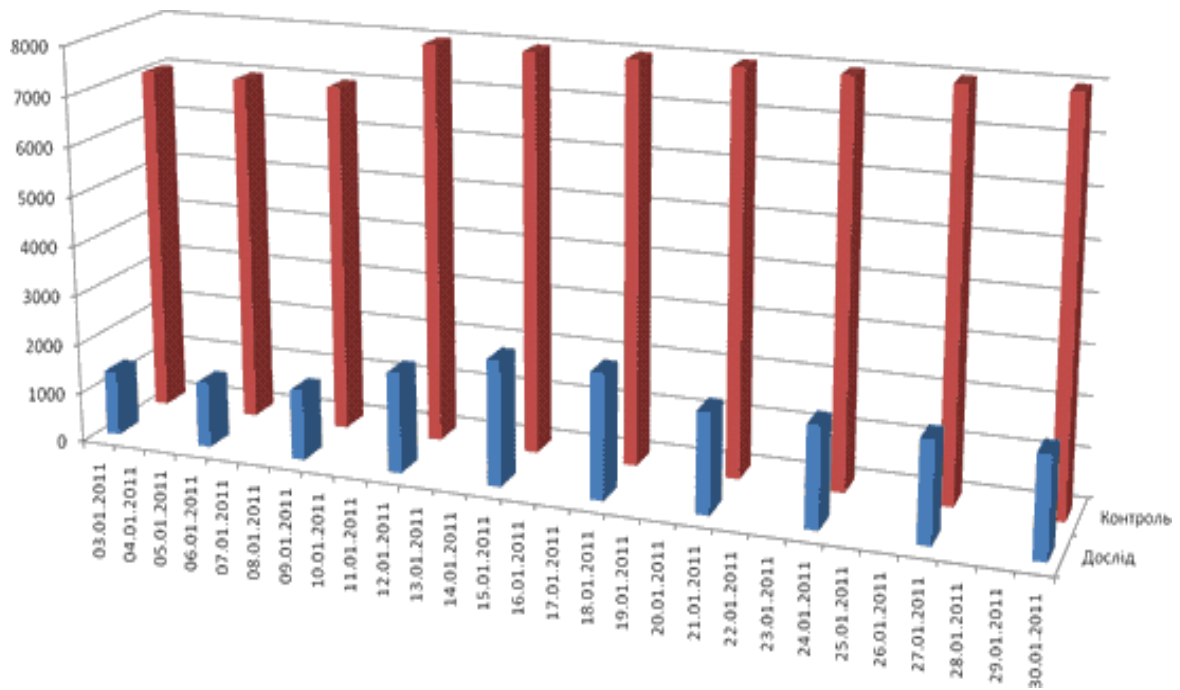


Рис. 7.19. Зміна числа мікроорганізмів в 1 м³ повітря (січень 2010 р):
 ■ – дослід; ■ – контроль

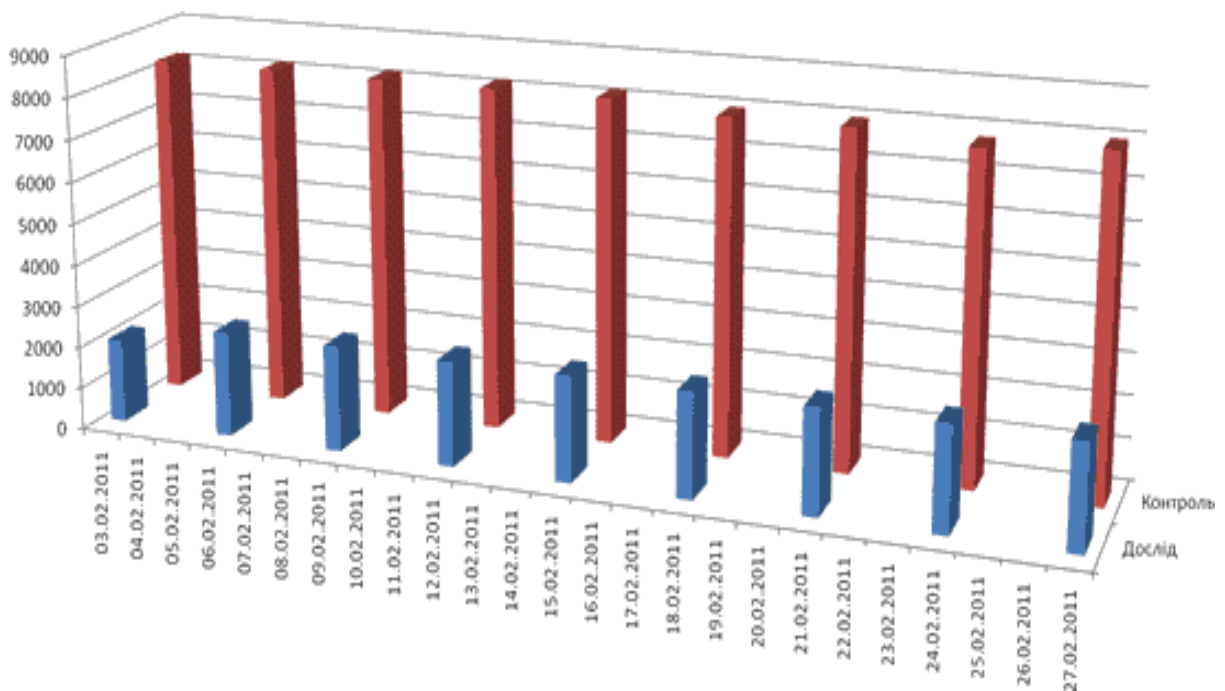


Рис. 7.20. Зміна числа мікроорганізмів в 1 м³ повітря (лютий 2010 р):
 ■ – дослід; ■ – контроль

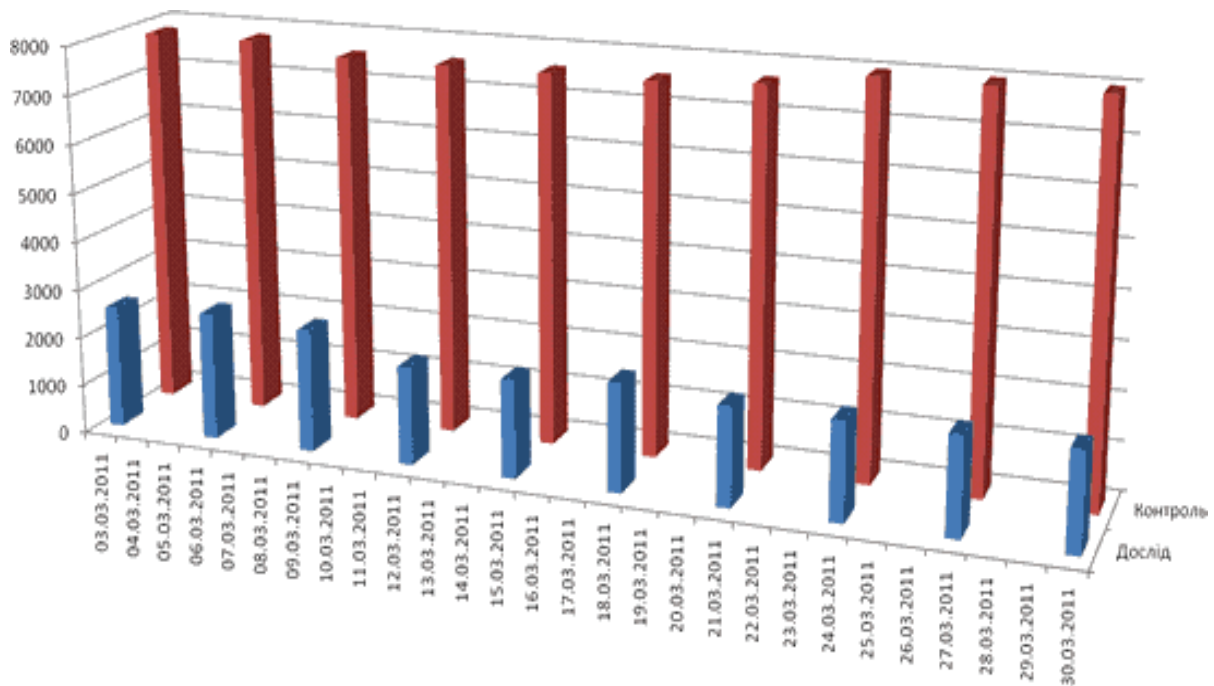


Рис.7.21. Зміна числа мікроорганізмів в 1 м³ повітря (березень 2010 р):
 ■ – дослід; ■ – контроль

Спостерігалася закономірна динаміка зміни мікробного числа: деяке підвищення в зимовий період і зниження у весняний. Цікавими були сплески мікробного забруднення у святкові дні: 27.12 і 30.12. спостерігалася антропогенне навантаження через присутність сторонніх відвідувачів: гостей.

Після свят (з 3.01 по 9.01) спостерігається спад мікробного числа (у цей час були зимові канікули), а з 12.01 знову його збільшення (люди вийшли на роботу). Хоча підкреслюємо, що всі показники були навіть нижче припустимих по мікробному числу.

Інша ситуація спостерігалася в контрольному приміщенні. Тут значення мікробного числа динамічно збільшувалися й перевищували припустимий показник.

Зазначене наочно видно в період з кінця листопада (7000 бактерій в 1 м³) по березень місяць включно, коли показник мікробного забруднення вище припустимого (від 7800 до 8000 бактерій в 1 м³ повітря). Як показали отримані результати, фітонциди рослин ефективно знижують число бактерій в 1 м³ повітря.

У зимовому саді, де найбільша кількість фітонцидних рослин, число мікроорганізмів у даному приміщенні протягом усього експерименту було

рекордно низьким й істотно не змінювалося протягом 7 місяців. Дані спостереження наочно свідчать про дію фітонцидів досліджуваних рослин на мікрофлору приміщень.

Виявлені у дослідженнях бактерії було ідентифіковано. У бактерій явно переважали грампозитивні кокові, найбільш поширеними представниками якої є члени родини мікрококи (зустрічаються повсюдно) – роди стафілококи (сапрофіти (тобто корисні), патогенні та умовні патогенні) і мікрококи (в основному сапрофітні).

В одній колонії спостерігалася змішана культура – палички та коки різних кольорів, що, можливо, викликане наростанням колоній одна на одну. Коки з цієї колонії зібрані в групи по дві і чотири, що дозволяє припустити їхню приналежність до сімейства Сарцини, або Стрептококи.

Серед колоній у контрольному приміщенні виявлено дуже патогенний золотистий стафілокок та цвілеві грибки, які виділяють найсильніші канцерогени – мікотоксини. У приміщеннях з рослинами таких патогенів не виявлено. Тобто фітонциди діють як на бактерії, так і на грибки.

Також дослідження були виконані у приміщеннях (табл. 7.5) закладі вищої освіти – ДОННАБА (до 2014 р.) седиментаційним методом. Результати досліджень наведено на рис. 7.22. Бачимо беззаперечну перевагу фітонцидних рослин як санувальних агентів.

Таблиця 7.5

Асортимент рослин для фітодизайну приміщень

| Приміщення | Навантаження, люд.- год/м ² | Наявні | |
|--------------------|---|---------|----------------------|
| | | рослини | офісне обладнання |
| Бібліотека | 10 | так | так |
| Лекційна аудиторія | 30 | ні | ні |
| Спортивна зала* | 25 | ні | ні |
| Лабораторія | 10 | так | ні |

* У спортивній залі виконується постійне вологе прибирання. Усі перебувають у спортивній формі.

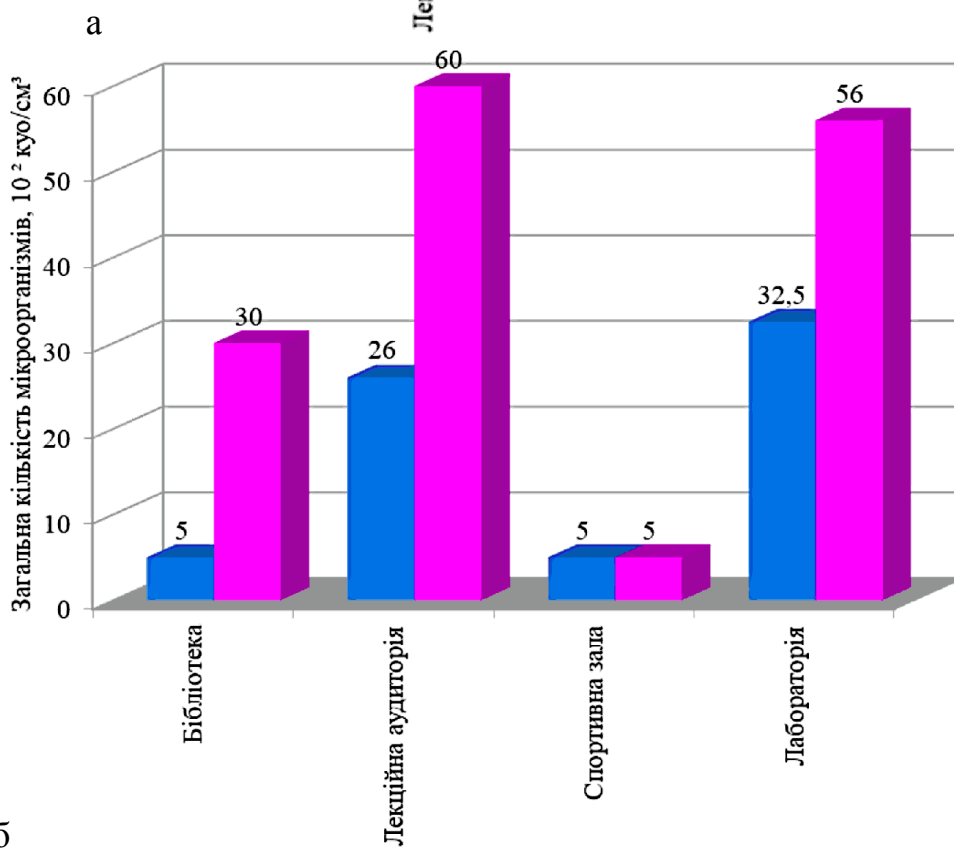
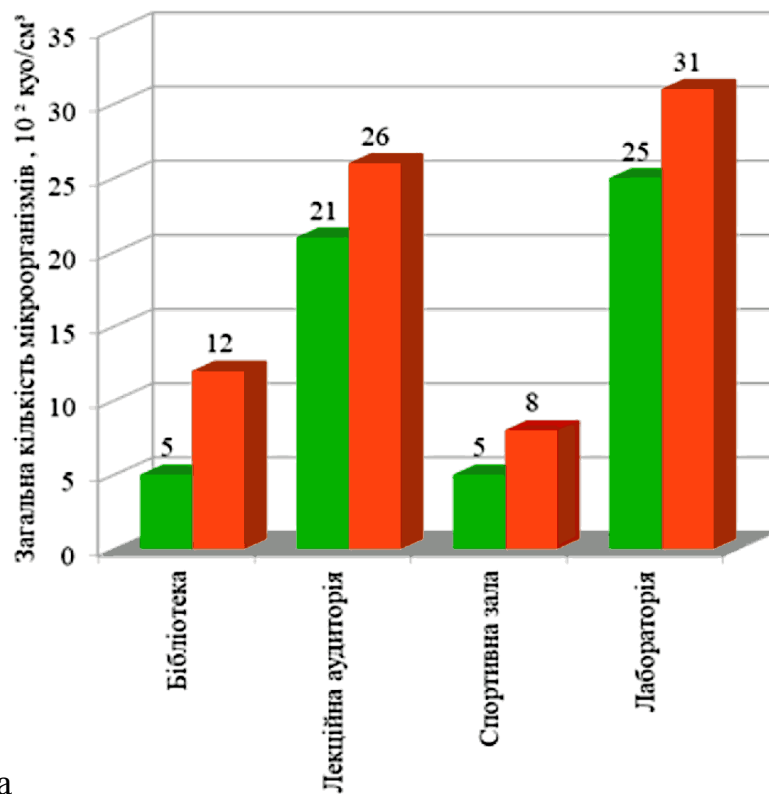


Рис. 7.22. Результати досліджень протимікробних властивостей рослин у закладі вищої освіти: а – осінь; б – зима:
зелений, синій - початок робочого дня, червоний, рожевий – завершення робочого дня

7.7. Дослідження фітонцидного ефекту рослин в зимовому саду Київського національного університету будівництва і архітектури

Для дослідження дезінфекційних властивостей рослин використано метод пасивної седиментації в зимовому саду [14] Київського національного університету будівництва і архітектури (рис. 7.23-7.25), де студенти та викладачі можуть відпочити та поснідати/пообідати в кафетерії. Це місце має найбільш інтенсивний потік людей. Таким чином, ризик зараження є дуже високим.



Рис. 7.23. Зимовий сад Київського національного університету будівництва і архітектури, вид на північний схід

Ситуацію погіршує відсутність організації повітрообміну, яка була розроблена за багато років до COVID-19 без урахування поширення аерозолів.

Сад має площу 930 м². У ньому ростуть лише фітонцидні рослини:

- *Areca lutescens* hort.;
- *Diffenbahia seguine* Scott;
- *Dracaena compacta* L.;
- *Dracaena fragrans* L.;
- *Ficus benjamina* L.;
- *Ficus elastica* L.;



Рис. 7.24. Зимовий сад Київського національного університету будівництва і архітектури, вид на північний захід

- *Hibiscus rosa sinensis*;
- *Monstera deliciosa* Liebm.;
- *Phoenix dactylifera*;
- *Schefflera actinophylla* L.;
- *Yucca elephantipes* L.;



Рис. 7.25. Зимовий сад Київського національного університету будівництва і архітектури: а – вид на північний схід; б – вид на північний захід; в – вид на південний захід

Однією з проблем зимового саду є щитівка (*Diaspididae*), яка в тій чи іншій мірі вразила всі екзотичні рослини. Цей шкідник покриває себе восковим щитком, що захищає від усіх спреїв. Обприскування є лише тимчасовим заходом, оскільки бродячі щитівки можуть ховатися в землі та щілинах будівельних конструкцій. Ефективні ґрунтові інсектициди, які отруюють сік рослин, небезпечні для бджіл, які можуть залетіти в зимовий сад і отруїтися.

Досліджено фітонцидну ефективність рослин зимового саду. Для цього в лабораторії екобіології КНУБА чашки Петрі заповнили живильним середовищем Агар та автоклаували.

17 вересня 2024 року чашки були рівномірно (по кутах квадрата) встановлені навколо рослин (по чотири на рослину) на відстанях (від меж рослин) $r = 1$ м від рослин (рис. 7.26-7.29). Інші чотири чашки були встановлені посередині ділянки, вільної від рослин. Як видно з рис. 7.30, мікробне число на ділянці, вільній від рослин, є значним, але не критичним. Це можна пояснити наявністю кафетерію та вживанням їжі.

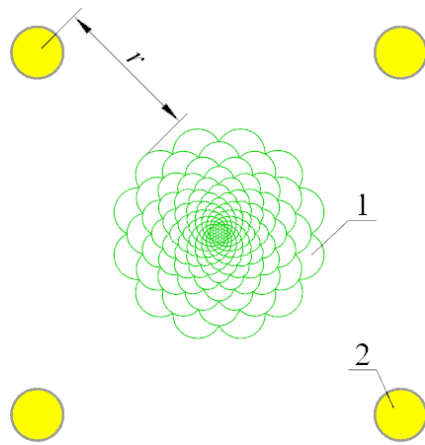


Рис. 7.26. Схема розміщення чашок Петрі



Рис. 7.27. Розміщення чашок Петрі навколо *Ficus benjamina* L.



Рис. 7.28. Розміщення чашок Петрі навколо *Ficus elastica* L.



Рис. 7.29. Розміщення чашок Петрі навколо *Hibiscus rosa sinensis*

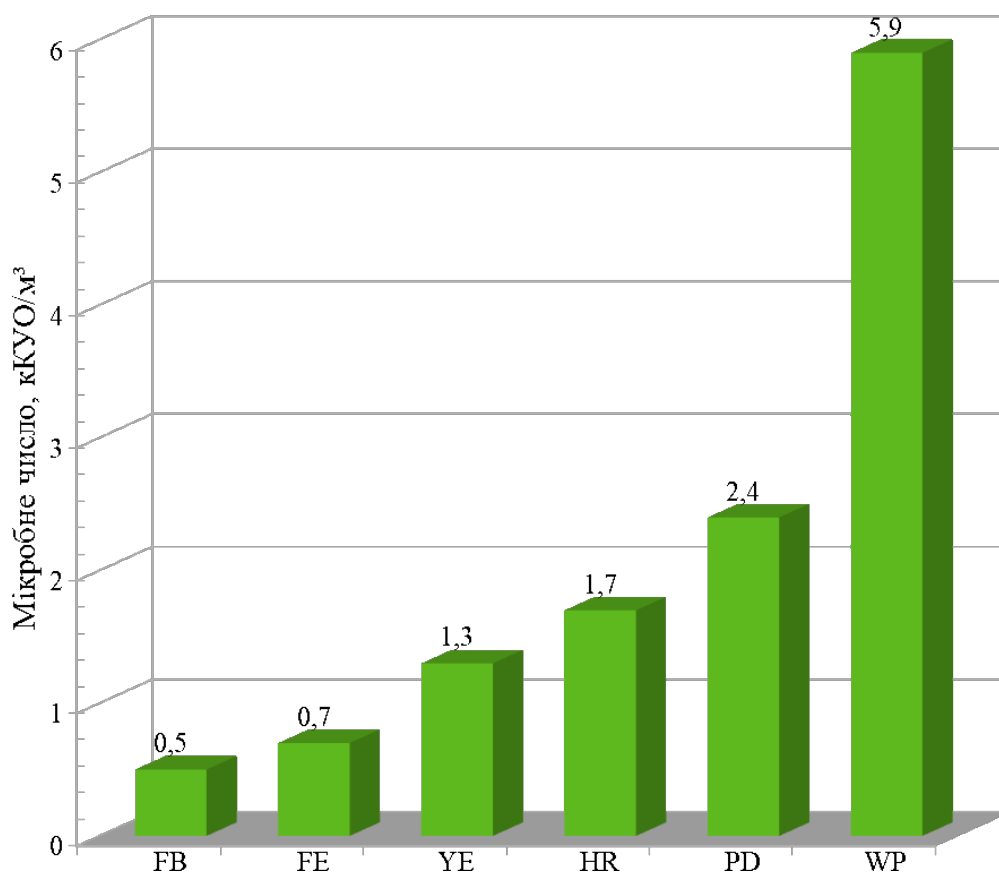


Рис. 7.30. Мікробне число навколо рослин: WP - референтна ділянка без рослин; FB - *Ficus benjamina*; FE - *Ficus elastica*; YE - *Yucca elephantipes*; HR - *Hibiscus rosa-sinensis*; PD - *Phoenix dactylifera*

Кількість мікробів навколо рослин значно менша, ніж на ділянці без рослин (рис. 7.30). Але це залежить від фітонцидної активності рослин. Отримані результати узгоджуються з результатами, отриманими в ДОННАБА. Всі рослини в зимовому саду є фітонцидними. Таким чином, рослинний асортимент можна вважати вдалим.

Тим не менш, слід додати додаткові рослини. Фітонцидна активність рослин має обмежений радіус дії. Рослини виробляють фітонциди, щоб захистити себе, а не людей.

Якщо ми хочемо встановити мутуалізм між нами і фітонцидними рослинами (ми створюємо нові місця для рослин, поливаємо і удобрюємо землю, а рослини захищають нас від інфекцій), ми повинні правильно спроектувати простір з урахуванням радіусу фітонцидної активності і освітленості.

Потрібно 310 рослин, щоб повністю покрити всю площу фітонцидами, що є надмірною кількістю і створить завади для переміщення дюдей. Пріоритетом має бути покриття зон, де люди проводять понад 15 хвилин, а також максимального забруднення особливо між столами.

Рекомендовано поставити або повісити невеликі фітонцидні рослини на або над столами, наприклад, *Chlorophytum comosum*, який є однією з найпотужніших фітонцидних рослин, незважаючи на свій невеликий розмір. Крім того, бажано поставити між столами великі рослини для дезінфікування місця для вживання їжі.



ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

Роздивіться наведені світлини (рис.7.31-7.38). Ідентифікуйте (якщо є) фітонцидні рослини та їхні назви. Прокоментуйте, які функції може виконувати фітодизайн у наведених прикладах.

Висновки

Встановлено, що поряд з технічними та хімічними методами покращення якості мікрокліматичних параметрів внутрішнього середовища, існує природний біологічний метод – фітодизайн. Введення фітонцидних рослин в інтер'єри покращує якість повітря, зменшуючи кількість патогенної мікрофлори. Деякі рослини володіють фунгіцидним ефектом. Показано, що для забезпечення ефекту покращення ментального здоров'я необхідно приділяти особливу увагу правильному розміщенню рослин відносно їхніх екологічних потреб у освітленні та вологості повітря. Рослини, які містять отруйні речовини, категорично заборонено розміщати в дитячих закладах.

Контрольні запитання

1. Чому внутрішнє озеленення розглядається як складова оздоровлення внутрішнього середовища будівель? Які основні типи забрудників внутрішнього повітря можуть знижуватися за допомогою рослин?
2. Дайте визначення поняттю «фіторемедіація». Які фізіологічні процеси рослин лежать в основі фіторемедіації?
3. Чим біофільтрація відрізняється від фіторемедіації? Яке значення мають ґрунтові мікроорганізми у процесах очищення повітря?
4. Яку роль відіграли дослідження NASA у розвитку уявлень про очищення повітря рослинами? Які висновки були зроблені за результатами проєкту «Чисте повітря» NASA?
5. Що таке фітонциди? Якими антимікробними властивостями володіють фітонциди?
6. Чому фітонциди не можна ототожнювати з ефірними оліями та леткими фітоорганічними речовинами? Які експериментальні факти це підтверджують?
7. Які приклади використання пахучих рослин відомі з давніх цивілізацій? Яке значення мали фітонцидні рослини для стародавнього світу та в роки Другої світової війни?
8. Від яких чинників залежить інтенсивність виділення фітонцидів рослинами?

9. Яку роль відіграє фотосинтез у зниженні концентрації CO₂ в приміщеннях? Від яких факторів залежить швидкість фотосинтезу?
10. Якими шляхами рослини поглинають газоподібні забрудники повітря? Яку роль відіграють продири, кутикула та віск листя?
11. Що таке фітодеградація і чим вона відрізняється від ризодеградації?
12. Які типи фіторемедіаційних систем виділяють? Чим пасивні системи відрізняються від активних ботанічних біофільтраційних систем? Які переваги мають активні системи з примусовим рухом повітря?
13. Які основні джерела мікробіологічного забруднення внутрішнього повітря?
14. Які показники використовуються для оцінювання чистоти повітря?
15. Чому системи кондиціонування повітря можуть сприяти поширенню мікроорганізмів?
16. Чому фітонцидну активність визначають непрямими методами?
17. У чому полягає седиментаційний метод бактеріального посіву? Наведіть правило В. Омелянського.
18. У чому суть методики рослинних дисків? Що таке зона лізису і як за нею оцінюють фітонцидну активність?
19. Опишіть Грам-метод ідентифікації мікроорганізмів.
20. Хто і коли запровадив поняття фітодизайн? Які основні завдання фітодизайну? Що таке медичний фітодизайн?
21. Чому безконтрольне використання рослин у приміщеннях є небезпечним? Які рослини не можна використовувати в дитячих закладах і чому?
22. Які фактори слід враховувати при доборі асортименту рослин?
23. Яка кількість рослин необхідна для ефективного очищення повітря приміщення площею близько 18 м²?
24. Який радіус дії фітонцидів у приміщенні?

Рекомендована література

1. Abbasoğlu M. S., Kahramanoğlu İ. Effects of indoor plants on perceptions about indoor air quality and subjective well-being. *Journal of Building Engineering*. 2025. Vol. 106. P. 112563. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.112563>.
2. Newman L. A., Reynolds C. M. Phytodegradation of organic compounds. *Current Opinion in Biotechnology*. 2004. Vol. 15. P. 225–230. URL: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2004.04.006>.
3. A review on indoor green plants employed to improve indoor environment / F. Liu et al. *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 53. P. 104542. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104542>
4. Plants in Air Phytoremediation / S. W. Gawronski et al. *Advances in Botanical Research*. 2017. Vol. 83. P. 319–346. URL: <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2016.12.008>
5. Wolverton B. C., McDonald R. C., Watkins E. A. Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy-efficient homes. *Economic Botany*. 1984. Vol. 38. P. 224–228. URL: <https://doi.org/10.1007/BF02858837>.
6. Wolverton B. C., Johnson A., Bounds K. Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement. Technical Memorandum (TM), 1989. URL: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19930073077>.
7. Вікіпедія. Фітонциди. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%96%D1%82%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B4%D0%B8>
8. Tetiana Bilyk, Nataliia Lukianenko, Karina Vityk, Olesia Havryliuk Application of plant essential oils for improving air quality in the lecture-halls of universities. *Environment protection*. Vol.75. No.2 (2018). <https://doi.org/10.18372/2306-1472.75.13119>
9. Bandehali B., Miri T., Onyeaka H., Kumar P. Current State of Indoor Air Phytoremediation Using Potted Plants and Green Walls. *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, Iss. 4. Article ID 473. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos12040473>
10. Wolverton B.C., Douglas W.L., Bounds K. A study of interior landscape plants for indoor air pollution abatement. NASA. 1989. P. 22. URL: <https://go.nasa.gov/3DWBQ42>



а



б

Рис.7.31. а,б -зимовий сад у торгівельно-розважальному центрі «Respublika Park», Київ (авторська світлина)



Рис. 7.32. Кав'ярня, м.Арсенальна, м. Київ (авторська світлина)



Рис. 7.33. Офісне приміщення, м. Арсенальна, Київ (авторська світлина)



Рис. 7.34. Офісне приміщення, м. Арсенальна, Київ (авторська світлина)



Рис. 7.35. Офісне приміщення, м. Арсенальна, Київ (авторська світлина)



Рис. 7.36. Зелена стіна готелю, м. Варшава, Польща (авторська світлина)



Рис. 7.37. Зелена стіна меблевого магазину, м.Київ (авторська світлина)



Рис. 7.38. Зелена стіна ресторану «Охота на овець», м. Київ (авторська світлина)

11. Pottorff L. Plants «Clean» Air Inside Our Homes. Colorado State University & Denver County Extension Master Gardener. 2010.
12. Wolverton B.C. Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy-efficient homes. *Economic Botany*. 1984. Vol. 38, Iss. 2. P. 224-28. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02858837>
13. Wolverton B.C. *How to Grow Fresh Air*. New York: Penguin Books. 1996. URL: <http://www.wolvertonenvironmental.com/freshair.html>
14. Irga P. J., Torpy F. R., Burchett M. D. Can hydroculture be used to enhance the performance of indoor plants for the removal of air pollutants?. *Atmospheric Environment*. 2013. Vol. 77. P. 267–271. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.04.078>.
15. Measurement on ability of dust removal of seven green plants at micro-conditions / Y. Jia et al. *J. Cent. South Univ. Technol.* 2012. Vol. 43. P. 4547–4553.
16. Effects of plant leaf surface and different pollution levels on PM2.5 adsorption capacity / S. Lu et al. *Urban Forestry Urban Green.* 2018. Vol. 34. P. 64–70. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.05.006>.
17. Evaluation on the potential of 18 species of indoor plants to reduce particulate matter / N. R. Jeong et al. *J. People Plants Environ.* 2020. Vol. 23. P. 637–646. URL: <https://doi.org/10.11628/ksppe.2020.23.6.637>.
18. Zeiger E., Field C. Photocontrol of the functional coupling between photosynthesis and stomatal conductance in the intact leaf: Blue light and PAR-dependent photosystems in guard cells. *Plant Physiology*. 1982. Vol. 70. P. 370–375. URL: <https://doi.org/10.1104/pp.70.2.370>.
19. Cure J. D., Acock B. Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. *Agricultural and Forest Meteorology*. 1986. Vol. 38. P. 127–145. URL: [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(86\)90054-7](https://doi.org/10.1016/0168-1923(86)90054-7).
20. S. Fujii et al. Effects on air pollutant removal by plant absorption and adsorption *Building and Environment*. 2005. Vol. 40. P. 105–112. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.04.015>.
21. M. Burchett et al. *Indoor-Plant Technology for Health and Environmental Sustainability* / Sydney, Australia : Horticulture Australia, 2011.
22. T. Tkachenko et al. Gas Exchange Research on Plant Layers of Green Structures and Indoor Greening for Sustainable Construction Sustainability. 2025. Vol. 17, no. 8. P. 3467. URL: <https://doi.org/10.3390/su17083467>.

23. T. Tkachenko et al. Problems of standardising illumination for plants in greenhouses and green structures. *Engineering for rural development*, 2023, pp. 1011-1016/ <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF204>
24. Gawrońska H., Bakera B. Phytoremediation of particulate matter from indoor air by *Chlorophytum comosum* L. plants. *Air Quality, Atmosphere, and Health*. 2014. Vol. 8. P. 265–272. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11869-014-0285-4>
25. Lee B.X.Y., Hadibarata T., Yuniarto A. Phytoremediation Mechanisms in Air Pollution Control: A Review. *Water Air Soil Pollut.* 2020. Vol. 231. P. 1–13. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-020-04813-6>
26. Wei Z., Le Q., Peng W., Yang Y., Yang H., Gu H., Lam S.S., Sonne C.A. Review on Phytoremediation of Contaminants in Air, Water and Soil. *J. Hazard. Mater.* 2021. 403. 123658. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123658>
27. Heayyeen Lee, Ziwoo Jun, Zahra Zahra. Phytoremediation: The Sustainable Strategy for Improving Indoor and Outdoor Air Quality. *Environments*. 2021. Vol. 8, Iss. 11. Article no. 118. URL: <https://doi.org/10.3390/environments8110118>
28. Dela Cruz M., Christensen J.H, Thomsen J.D., Muller R. Can ornamental potted plants remove volatile organic compounds from indoor air? – a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014. Vol. 21: 13909–13928. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3240-x>
29. Вікіпедія. Печера Ласко. URL: <https://cutt.ly/JrLftKTD>.
30. Аннамухаммедова О. О., Аннамухаммедов А. О. Лікарські рослини: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2014. — 202 с.
31. Aromodoki. URL: <https://www.aromadoki.hu/mirha-illoolaj-commiphora-molmol-5-ml-42>
32. Wikipedia. *Boswellia sacra*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Boswellia_sacra
33. Ткаченко Т. М. Інтродукція представників родини Myrtaceae Juss. у захищений ґрунт в Україні : к.б.н. : спец.. 03.00.05 - Ботаніка : дата захисту 2002-05-14; Статус: Захищена; Київський національний університет імені Тараса Шевченка. — , 0402U001750..URL.: <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0402U001750/>

[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D1%83%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BB%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%80]

35. Tovan Lew, Kaitlyn J. Fleming. Phytoncides and immunity from forest to facility: A systematic review and meta-analysis. *Pharmacological-research-natural-products*. Vol.4, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2024.100061>.

36. Rongrong Luo, Xiaoxiu Lun, Rui Gao, Le Wang, Yuan Yang, Xingqian Su, Md Habibullah-Al-Mamun, Xiaohang Xu, Hong Li, Jinjuan Li. A Review of Biogenic Volatile Organic Compounds from Plants: Research Progress and Future Prospects. *Toxics* 2025, 13(5), 364; <https://doi.org/10.3390/toxics13050364>.

37. Alexander Mahnert, Christine Moissl-Eichinger, Gabriele Berg. Microbiome interplay: plants alter microbial abundance and diversity within the built environment. *Front. Microbiol.* Volume 6 - 2015 | <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00887>.

38. L. Soininen, M. I. Roslund, N. Nurminen, R. Puhakka, O. H. Laitinen, H. Hyöty, A. Sinkkonen & ADELE research group. Indoor green wall affects health-associated commensal skin microbiota and enhances immune regulation: a randomized trial among urban office workers. *Scientific Reports* volume 12, Article number: 6518 (2022). <https://www.nature.com/articles/s41598-022-10432-4>.

39. Rocel Amor Ortega, Alexander Mahnert, Christian Berg, Henry Müller, Gabriele Berg. The plant is crucial: specific composition and function of the phyllosphere microbiome of indoor ornamentals. *FEMS Microbiology Ecology*, Volume 92, Issue 12, December 2016, fiw173, <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw173>.

40. Gwynne Á. Mhuireach, Ashkaan K. Fahimipour, Roo Vandegrift, Mario E. Muscarella, Roxana Hickey, Ashley C. Bateman, Kevin G. Van Den Wymelenberg & Brendan J. M. Bohannan. Temporary establishment of bacteria from indoor plant leaves and soil on human skin. *Environmental Microbiome* volume 17, Article number: 61 (2022). <https://environmentalmicrobiome.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40793-022-00457-7>.

41. Majbrit Dela Cruz, Jan H. Christensen, Jane Dyrhauge Thomsen & Renate Müller. Can ornamental potted plants remove volatile organic

compounds from indoor air? — a review. Volume 21, pages 13909–13928, (2014). <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-3240-x>.

42. Вікіпедія. Гродзинський Андрій Михайлович. URL.: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B7%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%90%D0%BD%D0%B4%D1%80%D1%96%D0%B9_%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87.

43. Вікіпедія. Фітодизайн. URL.: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%96%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D0%B9%D0%BD>.

44. Алоказія.
https://shop.camellia.ua/upload/kamelia_flora/photos/8b/a9/1200x1200/d78e6139_5f7dda39435d4.JPG

45. Олена Н. Дифенбахія: вирощування, види і сорти. URL.: <https://floristics.info/ua/statti/2183-difenbakhija-v-domashnikh-umovakh.html>

46. Олена Н. Молочай: догляд у домашніх умовах і види URL.: <https://floristics.info/ua/statti/2037-molochaj-doglyad-v-domashnikh-umovakh.html>

47. Tkachenko T., Mileikovskiy V. Increasing indoor air quality by a natural sanitizing interior. E3S Web Conf. Volume 211, 2020. The 1st JESSD Symposium: International Symposium of Earth, Energy, Environmental Science and Sustainable Development 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021102015>.

48. Tkachenko T., Mileikovskiy V., Dziubenko V. and Tkachenko O. Improvement of the safety of multi-floor housing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 907, Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020) 21-22 May 2020, Kharkiv, Ukraine. DOI 10.1088/1757-899X/907/1/012064.

49. Tkachenko T., Mileikovskiy V. Solution of sick building syndrome problem using indoor plants. Procedia Environmental Science, Engineering and Management 6 (2019) (3) 405-411. https://procedia-esem.eu/pdf/issues/2019/no3/48_Tkachenko_19.pdf

50. T Tkachenko, V Mileikovskiy, V Dziubenko and O. Tkachenko. Improvement of the safety of multi-floor housing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 907, Innovative Technology in

Architecture and Design (ITAD 2020) 21-22 May 2020, Kharkiv, Ukraine.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012064>.

51. Tetiana Tkachenko and Viktor Mileikovskiy. Increasing indoor air quality by a natural sanitizing interior. E3S Web Conf. Volume 211, 2020. The 1st JESSD Symposium: International Symposium of Earth, Energy, Environmental Science and Sustainable Development 2020.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021102015>.

52. Anerao P., Kaware R., Khedikar A.K., Kumar M., Singh L. 18 - Phytoremediation of persistent organic pollutants: Concept challenges and perspectives. Phytoremediation Technology for the Removal of Heavy Metals and Other Contaminants from Soil and Water. 2022. P. 375-404. URL:
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85763-5.00018-0>

53. Rostami S., Azhdarpoor A. The application of plant growth regulators to improve phytoremediation of contaminated soils: A review. Chemosphere. 2019. Vol. 220. P. 818–827. URL:
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.203>

54. Fleck R., Pettit T.J., Douglas A.N., Irga P.J., Torpy F.R. Botanical biofiltration for reducing indoor air pollution. Bio-Based Materials and Biotechnologies for Eco-Efficient Construction. 2020. P. 305–327. URL:
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819481-2.00015-5>

55. Mehzabeen Mannan. Sami G. Al-Ghamdi. Active Botanical Biofiltration in Built Environment to Maintain Indoor Air Quality. Frontiers in Built Environment. 2021. URL: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.67210>

56. Aydogan A., Montoya L. D. Formaldehyde removal by common indoor plant species and various growing media. Atmospheric Environment. 2011. Vol. 45. P. 2675–2682. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.02.062>.

57. Dingle P., Tapsell P., Hu S. Reducing formaldehyde exposure in office environments using plants. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2000. Vol. 64, no. 2. URL: <https://doi.org/10.1007/s001289910044>.

58. Kim K., Kim H. Development of model and calculating equation for rate of volatile formaldehyde removal of indoor plants. Horticulture, Environment, and Biotechnology. 2008. Vol. 49. P. 155–161. URL: <https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE01013352>.

59. Purification of formaldehyde-polluted air by indoor plants of Araceae, Agavaceae and Liliaceae / J. Zhou et al. J. Food Agri. Environ. 2011. Vol. 9.

P. 1012–1018.

URL: https://www.researchgate.net/profile/Hui-Lian-Xu/publication/231184098_Purification_of_formaldehyde-polluted_air_by_indoor_plants_of_Araceae_Agavaceae_and_Liliaceae/links/0fcfd5065a101d697c000000/Purification-of-formaldehyde-polluted-air-by-indoor-plants-of-Araceae-Agavaceae-and-Liliaceae.pdf.

60. Detoxification of formaldehyde by the spider plant (*Chlorophytum comosum* L.) and by soybean (*Glycine max* L.) cell-suspension cultures / M. Giese et al. *Plant Physiology*. 1994. Vol. 104. P. 1301–1309. URL: <https://doi.org/10.1104/pp.104.4.1301>.

61. Screening indoor plants for volatile organic pollutant removal efficiency / D. S. Yang et al. *HortScience*. 2009. Vol. 44. P. 1377–1381. URL: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.5.1377>.

62. Treesubstunton C., Thiravetyan P. Removal of benzene from indoor air by *Dracaena sanderiana*: effect of wax and stomata. *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 57. P. 317–321. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.04.016>.

63. Tani A., Hewitt C. N. Uptake of aldehydes and ketones at typical indoor concentrations by houseplants. *Environmental Science & Technology*. 2009. Vol. 43. P. 8338–8343. URL: <https://doi.org/10.1021/es9020316>.

64. The potted-plant microcosm substantially reduces indoor air VOC pollution: II. laboratory study / R. L. Orwell et al. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2006. Vol. 177. P. 59–80. URL: <https://doi.org/10.1007/s11270-006-9092-3>.

65. Uptake of toluene and ethylbenzene by plants: removal of volatile indoor air contaminants / W. Sriprapat et al. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2014. Vol. 102. P. 147–151. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.01.032>.

66. Sriprapat W., Thiravetyan P. Phytoremediation of BTEX from indoor air by *Zamioculcas zamiifolia*. *Water Air Soil Pollut*. 2013. Vol. 224. P. 1482. URL: <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1482-8>.

67. Sriprapat W., Boraphech P., Thiravetyan P. Factors affecting xylene-contaminated air removal by the ornamental plant *Zamioculcas zamiifolia*. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014. Vol. 21. P. 2603–2610. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2175-y>.

68. Горницкая И.П. Действие фитонцидов тропических и субтропических растений на микрофлору палат хирургического отделения (эколого-гигиенический аспект) / Горницкая И.П., Варенко Ю.С., Ткаченко Т.Н. // Вестник гигиены и эпидемиологии. – 1999. – Т.3. - № 1. – С.121-125.

8. ЗЕЛЕНІ КОНСТРУКЦІЇ ЯК КОМПЛЕКСНЕ РІШЕННЯ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ, ЕКОЛОГІЧНИХ І СОЦІАЛЬНИХ ЗАДАЧ. ПРИКЛАДИ ВПРОВАДЖЕННЯ У СУЧАСНОМУ БУДІВНИЦТВІ, УСПІШНІ ПРОЄКТИ ТА ЇХНЯ ЕФЕКТИВНІСТЬ

8.1. Питання термінології та класифікації

Косим шрифтом виділено авторські визначення.

Зелені конструкції – це біотехнічні системи, у яких конструкції споруд та окремі елементи поєднані з живими рослинами з утворенням єдиної системи живої та неживої складової біогеоценозів сучасних міст у концепції сталого розвитку [1].

Вертикальне озеленення – технологія вирощування деревовидних ліан та інших витких рослин на вертикальних поверхнях з використанням підтримувальних конструкцій та/або без них.

Вертикальне озеленення може виконуватися на фасадах будівель, паркових спорудах, глухих стінах, опорних стінках, укосах, перголах та альтанках.

Вертикально-горизонтальне озеленення – вертикальне озеленення, рослини якого переходять і покривають горизонтальні поверхні.

Вертикально-горизонтальне озеленення може повністю накривати малі архітектурні форми.

Горизонтальна система озеленення – інженерна система з рослинним шаром, встановлена на поверхні верхнього елемента покриття будівлі та/або на інших горизонтальних елементах.

Горизонтальне озеленення – технологія вирощування витких і ґрунтопокривних рослин на горизонтальних поверхнях, на яких немає ґрунту, з висаджуванням рослин у горщики/діжки/лотки або окремі горизонтальні системи озеленення.

Горизонтальне озеленення може виконуватися на дахах, терасах тощо.

Горизонтально-вертикальне озеленення – горизонтальне озеленення, рослини якого переходять і покривають вертикальні поверхні шляхом звисання або прикріплення до спеціальних конструкцій або безпосередньо до стін.

Дощовий сад – зелене насадження, пристосоване для поглинання та затримування опадової води, засаджене багаторічними вологолюбними рослинами.

Дощовий сад-смуга – дощові сади, розташовані вздовж проїзної частини дороги, призначені для утримання води з обох боків. Складаються з багаторічних рослин, які накопичують та повертають дощову воду до екосистеми завдяки спеціальній дренажній системі.

Екстенсивне зелене покриття – тип зеленого покриття, засаджений рослинами з неглибокою кореневою системою.

Представниками рослин для екстенсивного зеленого покриття можуть бути сукуленти, мохи, трав'янисті та злакові рослини, а також цибулинні та бульбові рослини. Такі рослини здатні адаптуватися до екстремальних умов довкілля, мають високу здатність до регенерування та вимагають мінімального обслуговування. Якщо необхідно зберегти певний вид рослинності, наприклад, такий, що відзначається регулярним повним цвітінням трав та сукулентів, або якщо ця рослинність має важливе функціональне призначення і визнається як частина компенсаційних заходів, то може знадобитися обмежене, але цілеспрямоване забезпечення поживних речовин та належний догляд за ними. Середня товщина рослинного шару становить від 80 до 200 мм, вага – від 50 до 150 кг/м².

Засіб-губка – елемент ландшафту, будівлі, здатний поглинати, утримувати дощову воду та/або відводити її.

Зелена стіна – вертикальний елемент огорожувальної конструкції будівлі або окремо розташована конструкція, на поверхні якої створено озеленення з використанням живих рослин без спирання на кореневе середовище на рівні землі.

Зелене покриття – покриття, повністю або частково суміщене з ґрунтом або субстратом, у якому висаджено рослини.

Зелений фасад – конструкція з опорних елементів для озеленення, призначених для покриття певної площі поверхні фасаду будівлі.

Рослини можна висаджувати безпосередньо в ґрунт, в основу конструкції або в горщики на різних висотах фасаду.

Зелені тераси та балкони – відкриті або напіввідкриті зони будівель, призначені для вирощування рослинності на поверхні та/або в горщиках, та/або в контейнерах.

Інтенсивне зелене покриття – тип зеленого покриття з інтенсивним озелененням.

Рослинний шар має багаторічні рослини, трави, квіткові бульби, кущі, дерева, чагарники та газони, розміщені на спеціально облаштованому субстраті. За можливостями використання та різноманітністю дизайну з відповідним обладнанням їх можна порівняти з наземними відкритими просторами. Інтенсивне озеленення використовується для того, щоб використовувати дах як простір для активного відпочинку та в естетичних цілях. Цей тип зеленого покриття вимагає інтенсивного догляду, особливо регулярного забезпечення водою та поживними речовинами. Висота системи озеленення становить від 150 до 700 мм; вага – від 200 до 500 кг/м².

Кінетичне (мобільне) озеленення – компактні форми озеленення (квіткарки, вазони тощо), які розміщують як на дорожньому покритті/грунті, так і на спорудах (освітлювальні стовпи та стовпи для розміщення рекламних щитів, електротехнічні споруди, скульптурні композиції та спеціальні стовпи для них, споруди громадського транспорту тощо) або залишках споруд.

Напівінтенсивне зелене покриття – тип зеленого покриття, де рослинний шар складається із злакотрав'яної рослинності, дикорослих рослин, багаторічних чагарників і дерев, які мають менші вимоги до структури ґрунту, запасів води та поживних речовин порівняно з інтенсивним зеленим покриттям.

Середній шар рослинності становить 120...300 мм, вага – від 150 до 200 кг/м². Вартість виробництва та технічного обслуговування нижча, ніж для інтенсивних зелених покриттів.

Охолоджувальний ефект – різниця температури під рослинним шаром та ззовні його.

Функціональна фасадна біореакторна система (водоростевий біореактор) – біотехнологічна система з конструкцій панелей, виготовлених з прозорих матеріалів, які виконують роль біореакторів (фотобіореакторів).

Класифікацію зелених конструкцій наведено на рис. 8.1-8.4.



ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

Розгляньте наведені приклади різних типів зелених конструкцій (рис. 5-15). Класифікуйте їх згідно з запропонованою термінологією та наведеною класифікацією.

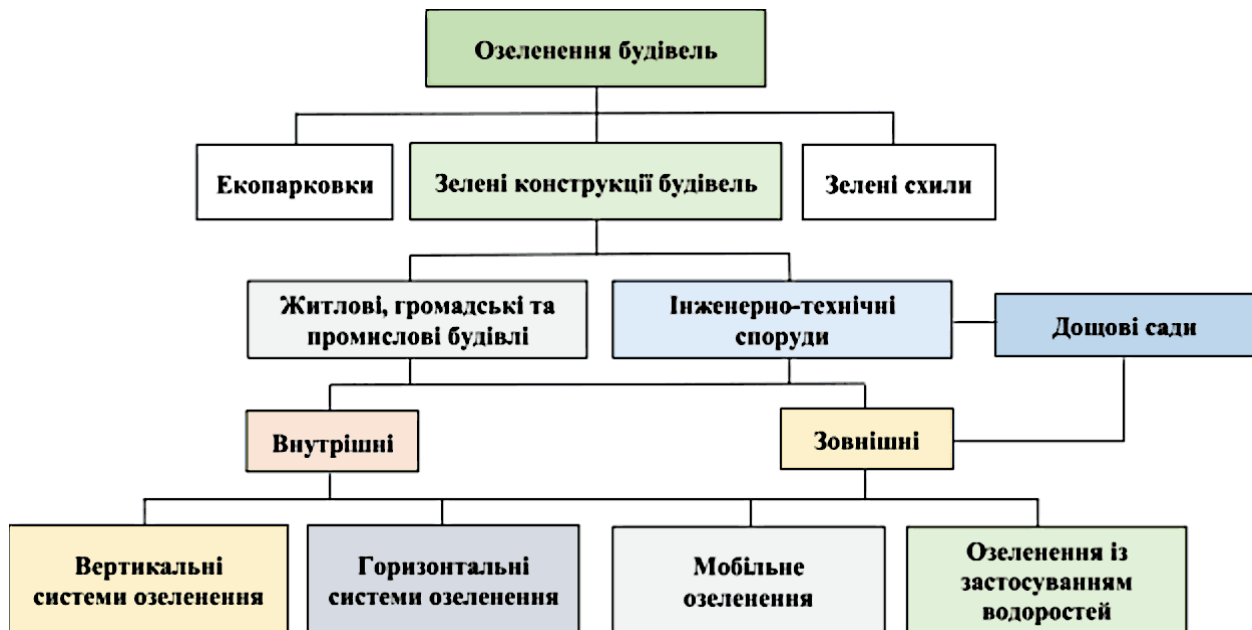


Рис. 8.1. Схема загальної класифікації «Озеленення будівель» [2]

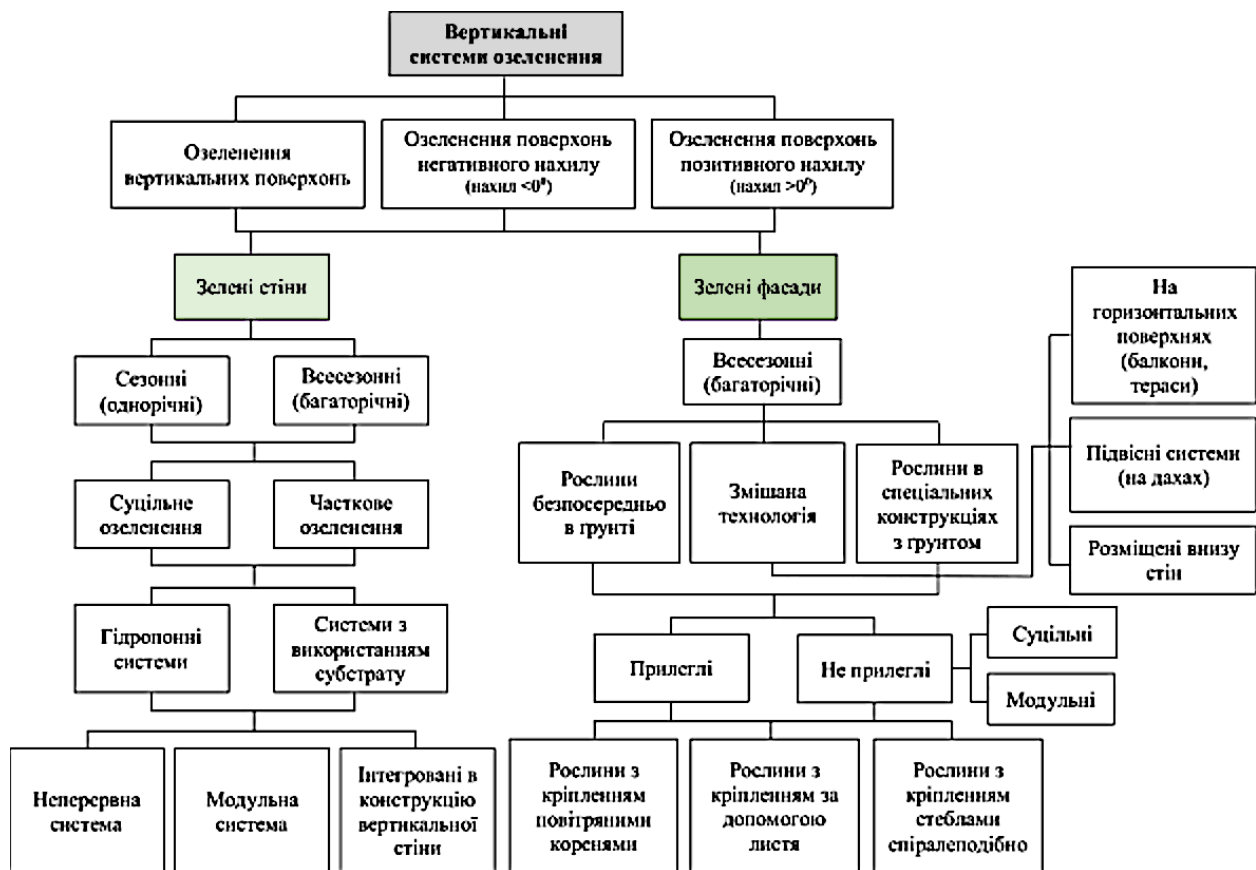


Рис. 8.2. Схема класифікації «Вертикальні системи озеленення» [2]

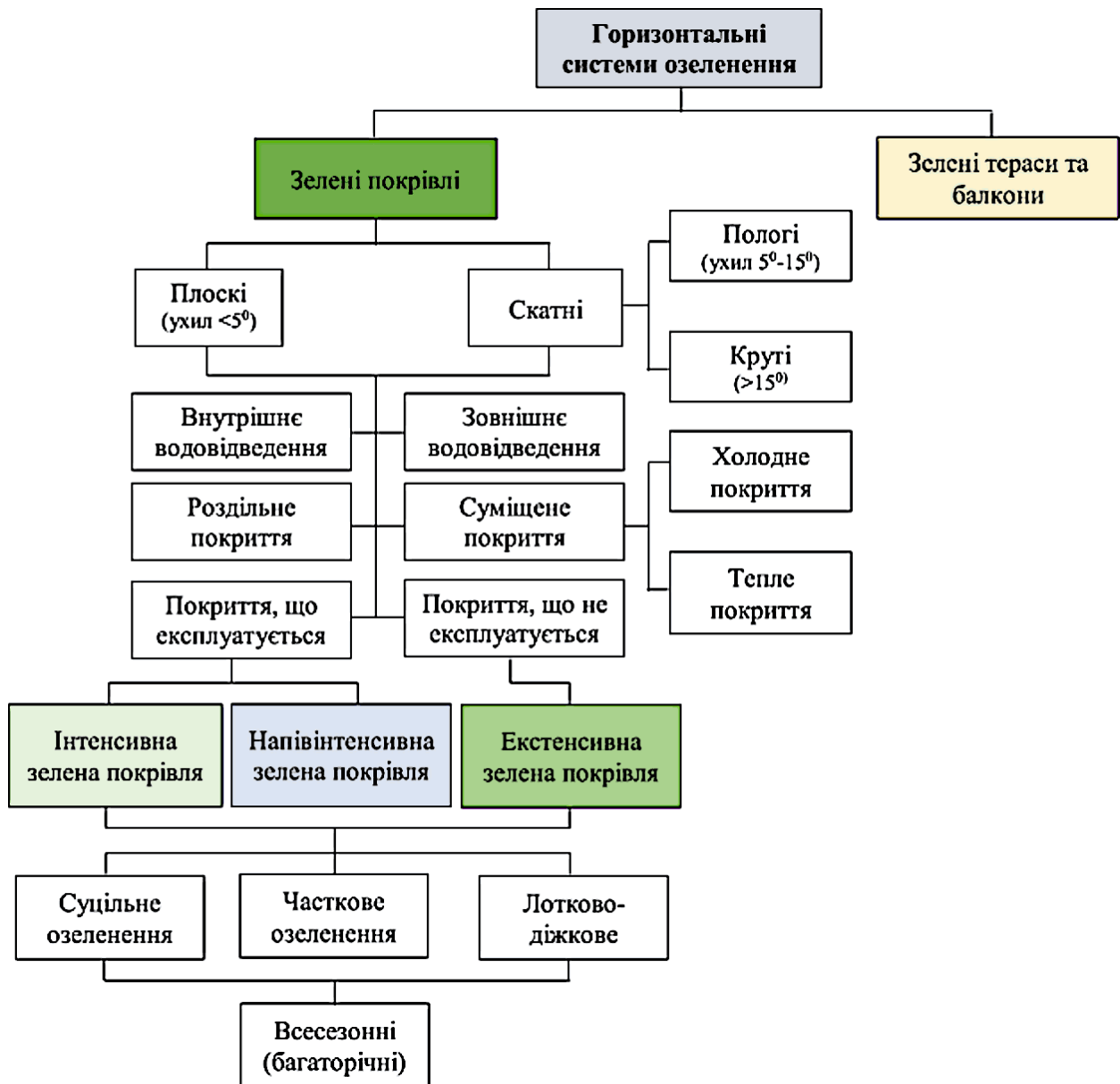


Рис. 8.3. Схема класифікації «Горизонтальні системи озеленення» [2]

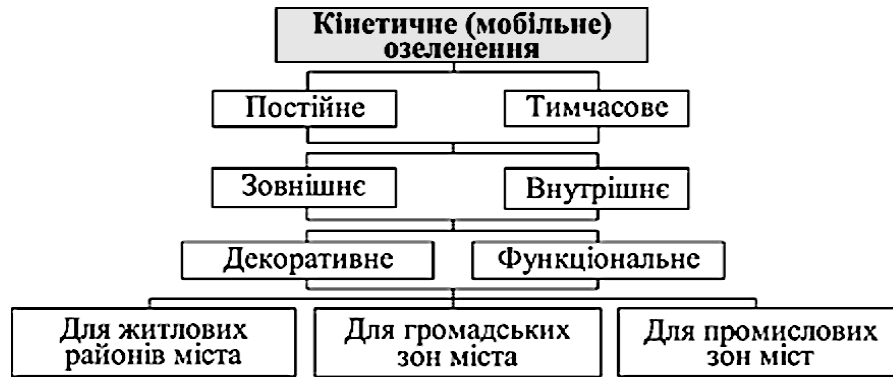


Рис. 8.4. Схема класифікації «Кінетичне (мобільне) озеленення» [2]



Рис. 8.5. Оранжерея Національного виставкового центру м. Київ (авторська світлина)

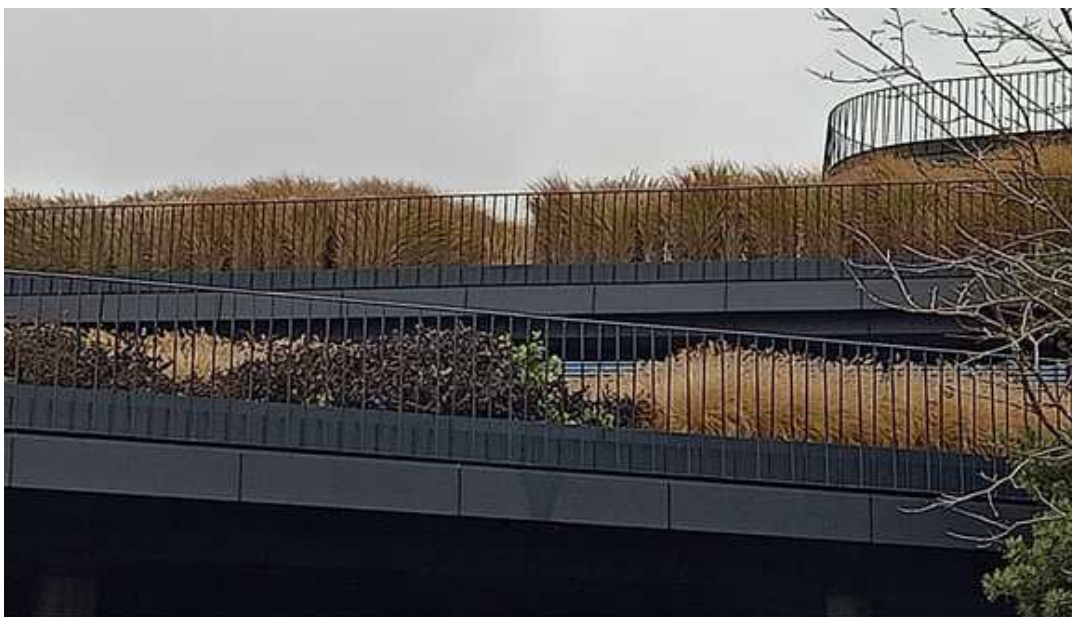


Рис. 8.6. Простір з зеленими конструкціями, Польща (авторська світлина)



Рис. 8.7. Зелена конструкція, Польща (авторська світлина)



Рис. 8.8. Будівля з зеленими конструкціями, Польща (авторська світлина)



Рис. 8.9. Простір з зеленими конструкціями, Польща (авторська світлина)



Рис. 8.10. Будівля з зеленими конструкціями, Велика Британія, м.Лондон (авторська світлина)



Рис. 8.11. Рацлавицька панорама з зеленими конструкціями, Польща (авторська світлина)



Рис. 8.12. Простір з зеленими конструкціями, Польща
(авторська світлина)



Рис. 8.13. Простір з зеленими конструкціями, м.Київ (авторська
світлина)



Рис. 8.14. Простір з зеленими конструкціями, Шотландія, Единбург
(авторська світлина)



Рис. 8.15. Простір з зеленими конструкціями, Португалія (авторська
світлина)

8.2. Історія покрівельного озеленення

Перші спогади про зелені дахи з'явилися понад 1000 років тому в Скандинавії та Ісландії (рис. 8.16). У давнину там були поширені будинки з засипаними землею дахами. На засипці виростала трава, яка служила додатковою ізоляцією і дозволяла зберігати тепло. У південних країнах Європи, навпаки, – озеленення дахів використовувалося для захисту від сонця.



Рис. 8.16. Будинки з дереновими дахами на Фарерських островах [3]

Найбільш відомий історичний приклад садів на даху – Висячі сади Вавилону (рис. 8.17). Відомі «Сади Семіраміди», були нічим іншим як «зеленими» покрівлями вавилонських палаців. Протягом наступних періодів, технології зелених конструкцій розвивалися повільно в основному у європейських країнах та США. Вдалим прикладом розвитку цих технологій можна вважати німецьку компанію ZinCo, яку заснував Вальтер Цинк у 1957 р.



Рис. 8.17. Висячі сади Вавилону. Реконструкція Ф. Крісхен [3]

Завдяки Цинку та його ідеям, Німеччина є світовим лідером у технологіях покрівельного озеленення. На сьогодні компанія не тільки виробляє покрівельні системи для різних типів покрівель, а й поєднує насадження на зелених покрівлях з фотовольтаїчними панелями (рис. 8.18). Такі конструкції називають біосолярними покрівлями. Їхня перевага – зниження температури рослинами, що підвищує коефіцієнт корисної дії фотовольтаїчних панелей, які у свою чергу затінюють траву та створюють їй більш сприятливі умови для зростання.

Зелені покрівлі будинку Гундертвассера-Кривини (рис. 8.19) послугували переходом від естетичних і утилітарних проблем у створенні «зелених покрівель» до екологічних. Будівля відрізняється «горбистою» поверховістю, дах покритий ґрунтом з чагарниками і травою. Всередині деяких кімнат-ніш висаджені дерева [3].



Рис. 8.18. Зелені покрівлі з фотовольтаїчними панелями [4]



Рис. 8.19. будинок Гундертвассера-Кривини у Відні [Робота https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Thomas_Ledl. Доступно за ліцензією CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>]

8.3. Позитивні ефекти зелених конструкцій

Зелені конструкції – перспективні технології, які мають такі позитивні ефекти:

- підвищення енергоефективності – подолання енергетичної бідності та посилення енергонезалежності країни;
- відведення дощових вод з автошляхів та міських територій – підвищення надійності транспорту, уникнення затоплення підвалів;
- шумопоглинання – висадження рослин задля зменшення шуму;
- поліпшення якості повітря приміщень – очищення від забруднення, пилу та хвороботворних мікроорганізмів і вірусів, насичення киснем;
- покращення екологічної ситуації – очищення повітря населених пунктів, збільшення природного різноманіття, організація шляхів міграції біоти вглиб щільно забудованих районів тощо;
- маскуванню об'єктів від архітектурних недоліків та від ворожих засобів виявлення;
- пасивна післявоєнна реабілітація завдяки максимальному наближенню середовища до природного, що знижує рівень стресу і заспокоює.

Завдяки цьому зелені конструкції є важливою складовою зеленого будівництва (рис. 8.20). Вони залучені у всі три напрями зеленого будівництва:

- поліпшення стану навколишнього середовища;
- енергоефективність;
- турбота про майбутні покоління.



ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

Розгляньте наведену схему позитивних ефектів зелених конструкцій (рис. 8.21). Прокоментуйте та наведіть приклади.

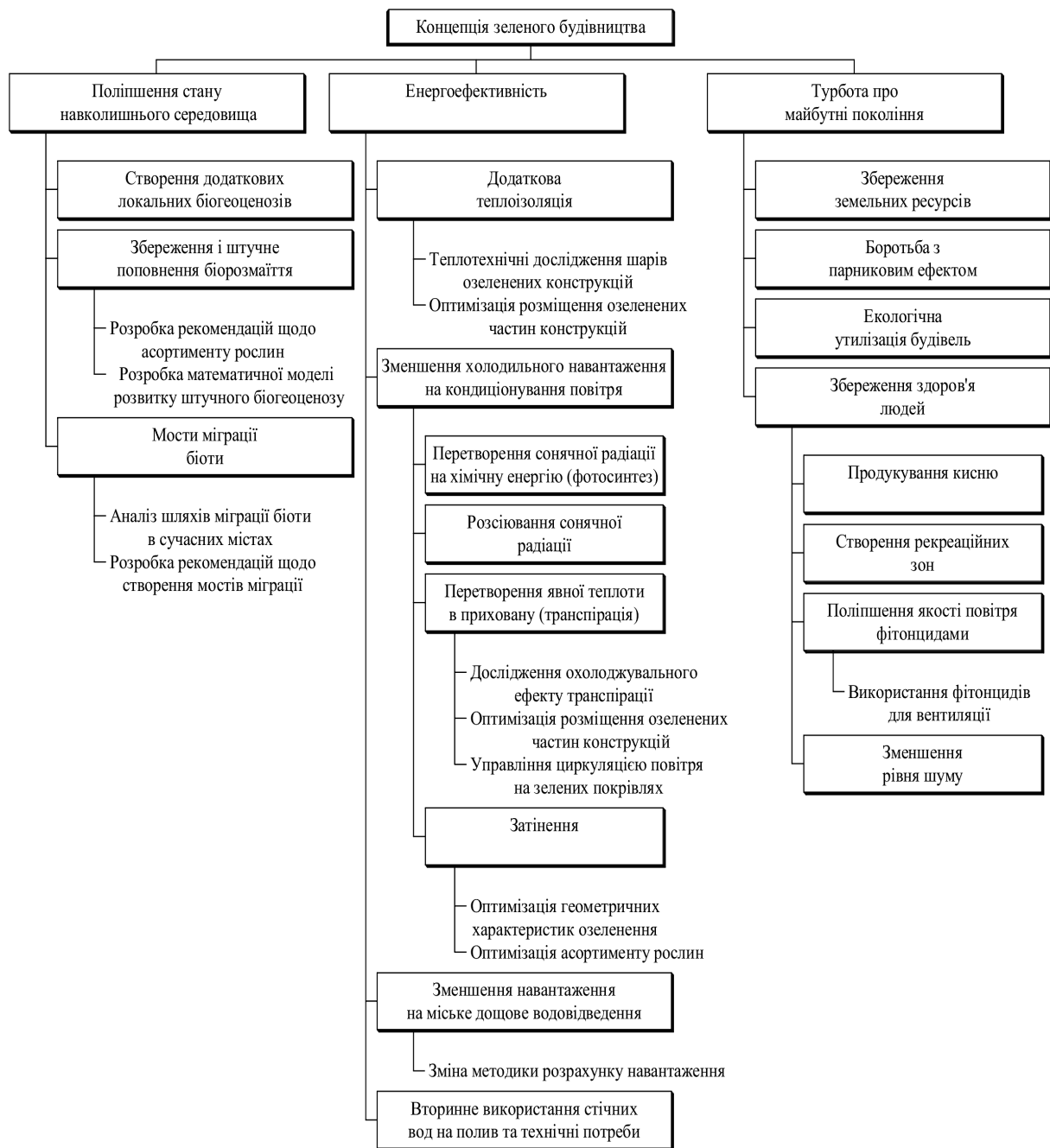


Рис. 8.20. Роль зелених конструкцій у забезпеченні сталого розвитку міст [3]



Рис. 8.21. Позитивні ефекти зелених конструкцій (авторська схема)

8.4. Приклади впровадження зелених конструкцій у сучасному будівництві

Центр Фонду Ставроса Ніархоса, Афіни, Греція (2017 р.). Даховий парк знаходиться на висоті 32-метра від рівня землі. Переважають оливкові дерева та пишна середземноморська рослинність. Більше 25 550 м² повністю озеленені системами ZinCo. Цей проект був нагороджений сертифікатом LEED Platinum і є найбільшим в новітній грецькій історії. Для необхідної іригації для всіх зелених зон використовується система крапельного зрошення. У парку висаджено 1450 нових дерев і 280000 чагарників (рис. 8.22, 8.23).

Варшавський сад на даху Бібліотеки Університету визнано одним із найкрасивіших у Європі. Сад на зеленій покрівлі університету був відкритий у 2002 р. За версією видання The Guardian цей сад увійшов до списку десяти найкрасивіших і водночас маловідомих парків Європи (рис. 8.24). Сад займає площу понад 1 гм². Він складається з двох частин: верхньої та нижньої, з'єднаних між собою водними каскадами та містками. У саду висаджено понад 150 видів рослин, серед яких є як місцеві, так і екзотичні.



Рис. 8.22. Зелена покрівля Центру Фонда Ставроса Ніархоса
(авторська світлина)



Рис. 8.23. Система накопичення дощових стічних вод зеленою покрівлею (авторські світлини): а – рослинний шар з ґрунтом і краплинним поливанням; б – водозбірний лоток; в – резервуари для збереження води; г – зливоприймач

В саду працюють фонтани, які не тільки прикрашають простір, але й створюють приємну прохолоду в спекотні дні. Всі водні елементи саду допомагають збирати дощову воду, що робить сад екологічно стійким.

Верхній сад: сад складається з чотирьох частин, кожна з яких має свою кольорову гаму: золотий, срібний, карміновий і зелений. Це створює різноманітні візуальні враження.

Головною принадою верхнього саду є його краєвид. З одного боку можна подивитись на урбаністичні хмарочоси Варшави, а з іншого – помилуватися Віслою.



Рис. 8.24. Зелена покрівля на бібліотеці Варшавського університету (авторські світлини)

Нижній сад: у цій частині саду можна побачити ставки з рибами та фонтани. А також тут розташовані гранітні скульптури Рішарда Стриєцького. Тут також є зелений лабіринт, який особливо подобається дітям. А ще кілька віконечок, крізь які можна підглядіти за студентами університету, які читають книги у залі бібліотеки. У саду є багато лавочок, які заховані у пишних кущах. Тут навіть є особливе місце для усамітнення, в невеличкій зеленій альтанці стоїть стілець, на якому можна почитати книгу або порозмірковувати над життям [5].

Пивоварня в окрузі Лючжоу (Кітай)

Китайські пивовари часто застосовують у виробництві пива саме рис, тому 2 га зелених насаджень частково забезпечують пивоварню сировиною і полегшують охолодження приміщень. Ферма має ще одну корисну функцію - вона затримує дощову воду, дозволяючи розвантажити стічні системи міста під час зливи (рис. 8.25). Подібні системи затримки води на дахах також використовуються в США і Німеччині. Створення такої рисової плантації стало вдалим маркетинговим ходом: про маловідому пивоварню дізналася велика кількість клієнтів не тільки з КНР, а й з інших куточків світу. Тепер тут проводять численні освітні екскурсії [6].



Рис. 8.25. Пивоварня в окрузі Лючжоу [6]

Органічна ферма Fenway Farms розташована на даху стадіону бейсбольного клубу Boston Red Sox. Площа її становить 1,5 тис. м² З неї щорічно можна зібрати близько 2 тонн свіжих овочів, фруктів і зелені, які використовуються в ресторані, розташованому на арені (рис. 8.26).



Рис. 8.26. Fenway Farms - органічна ферма на даху стадіону [6]

ЖК Royal Tower, Київ (рис. 8.27), збудовано у 2016 р. Площа зелених насаджень становить біля 180 м². Встановлено, що 1 м² площі деревних рослин поглинає 3,769 кг/(м²·рік) СО₂, а 1 гм² деревних насаджень за рік поглинає викид СО₂ з автомагістралі за 19,8 доби. Загальний ефект поглинання СО₂ від дерев та трави становить 5,461 кг/(м²·рік), а 1 гм² насаджень поглинає за рік викид з автомагістралі протягом 28,7 діб [3].



Рис. 8.27. Інтенсивна зелена покрівля на 30 поверсі. На зеленому даху висаджені дерева заввишки 6 м, а також чагарники та трави:

а,б – будівництво; в – вид з вулиці; г – зелене покриття (авторські світлини)

Зелена покрівля компанії «ZinCo» знаходиться на проспекті М. Лобановського, м. Київ (рис. 8.28). Поруч на сусідньому ідентичному будинку зелене покриття було втрачено. Натурні дослідження концентрації СО₂ на озелененій і неозелененій покрівлі показали, що «зелені покрівлі» суттєво впливають на рівень СО₂.



Рис. 8.28 Чотириповерхова будівля з зеленою покрівлею компанії «ZinCo» на проспекті М. Лобановського (авторські світлини):
а – загальний вигляд; б,в – вигляд експозицій з рослинами

На доріжках «зеленої покрівлі» концентрація CO_2 (410...415 ppm) відповідає нормальному рівню в зовнішньому повітрі. На неозелененій покрівлі концентрація CO_2 (452 ppm) незначно перевищує верхню межу концентрації в зовнішньому повітрі. На проспекті біля будівель ця концентрація (501 ppm) суттєво перевищує цю межу і наближається до верхньої межі прийнятного рівня. Під час дослідів були лише «світлофорні» тисняви та вітер. У години пік спостерігаються повні затори, а концентрація CO_2 має бути значно вищою [3].



ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

Проаналізуйте наведені приклади на рис. 22-25. Наведіть інші приклади застосування зелених покривель в Україні та інших країнах світу.

Висновки

Зелені конструкції є перспективною біотехнологією для післявоєнної розбудови та подальшого сталого розвитку України задля подолання енергетичної бідності, покращення здоров'я, досягнення енергонезалежності, компенсації негативного впливу бойових дій на навколишнє середовище та пасивної післявоєнної реабілітації; озеленення дозволить зробити заклади освіти енергоефективними, а їхнє середовище дружнім як для розвитку дітей, так і для освіти дорослих, а також сприяє формуванню цілісної особистості, яка розуміє потреби захисту довкілля і буде сприяти його покращенню.

Контрольні запитання

1. Розкрийте поняття та місце зелених конструкцій у сталому розвитку. Які складові біогеоценозів сучасних міст поєднують зелені конструкції?
2. Дайте визначення вертикального, вертикально-горизонтального, горизонтально-вертикального та горизонтального озеленення.
3. Що означає термін «засіб-губка»?
4. Дайте визначення поняттям «дощовий сад» і «дощовий сад-смуга». Яке функціональне призначення дощових садів у міському середовищі?
5. Що таке зелене покриття? У чому полягає різниця між екстенсивним та інтенсивним зеленим покриттям?
6. Які рослини характерні для екстенсивного зеленого покриття? Якими властивостями мають володіти рослини для екстенсивних зелених покриттів?

7. Які рослини застосовують в інтенсивних зелених покриттях? Яке функціональне призначення інтенсивних зелених покриттів?
8. Що таке напівінтенсивне зелене покриття? Чим напівінтенсивні системи відрізняються від інтенсивних?
9. Що таке кінетичне (мобільне) озеленення? Які об'єкти міської інфраструктури можуть бути основою для мобільного озеленення?
10. Що таке охолоджувальний ефект зелених конструкцій? Як визначається охолоджувальний ефект рослинного шару?
11. Що таке фасадна біореакторна система? Яку роль відіграють фотобіореактори у зелених фасадних системах?
12. Де та коли з'явилися перші приклади зелених дахів? Яку теплоізоляційну функцію виконували деревні дахи в північних країнах?
13. Що таке біосолярні покрівлі та в чому полягає їхній синергетичний ефект?
14. Які екологічні ідеї реалізовано в будинку Гундертвассера-Кривини? Які особливості характерні для цієї будівлі?
15. Яким чином зелені конструкції сприяють підвищенню енергоефективності будівель?
16. Як зелені конструкції впливають на управління дощовими водами?
17. Яку роль відіграють зелені конструкції у шумозахисті міських територій?
18. Як зелені конструкції впливають на якість повітря приміщень?
19. Яким чином зелені конструкції сприяють підвищенню біорізноманіття?
20. Чому зелені конструкції розглядаються як елемент післявоєнної реабілітації?
21. Які результати показали дослідження зелених покрівель у Києві щодо концентрації CO₂?
22. Яким чином упровадження зелених конструкцій сприяє формуванню екологічної відповідальності людей?

Рекомендована література

1. Kravchenko M. V., Tkachenko T. M. Problems of improving the terminology and modern classification of “green” constructions for the creation of ukrainian “green” standards. Collection of Scientific Publications NUS. 2013. Vol. 493, Issue 4. P. 194– 204. DOI:10.15589/znp2023.4(493).26.
2. Maryna Kravchenko. Scientific and technological bases of using green structures for effective management of rainwater runoff in an urban environment : Доктор технічних наук : спец.. 21.06.01 - Екологічна безпека : presented. 2024-11-14; popup.evolution: o; Kyiv National University of Construction and Architecture. – Київ, 0524U000361. URL: <https://nrat.ukrintei.ua/en/searchdoc/0524U000361/>
3. Tkachenko Tetiana Mykolaivna. Scientific and methodological basis for improving the environmental safety of urban ecosystems by creation of energy-efficient «green» construction technologies : д.т.н. : спец.. 21.06.01 - Екологічна безпека : presented. 2018-12-26; popup.evolution: .; Scientific - research complex of the Kyiv National University of Construction & Architecture. – Київ, 0519U001004. URL: <https://nrat.ukrintei.ua/en/searchdoc/0519U001004/>
4. ZinCo Life on Roofs. URL: <https://zinco-greenroof.com/>
5. Зелений оазис у серці міста: відвідайте сад на даху бібліотеки Варшавського університету. URL: <https://www.ukrayinynovyny.pl/korysna-informatsiya/news-zeleniy-oasis-u-serci-mista-vidvidayte-sad-na-dahu-bibliotek,nId,7935550>
6. Світовий тренд - міські ферми на дахах будинків. Топ-9 найцікавіших екоферм. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/svitovij-trend-miski-fermi-na-dahah-budinkiv-top-9-najcikavisih-ekoferm>
7. Кравченко М.В., Ткаченко Т.М., Щербак А. Дослідження впливу рослин на функціональну ефективність конструкцій дощових садів: аналіз рекомендацій та наукових результатів. Техніка будівництва. 2025. Вип. 42. С. 170-185. URL: <http://tehbud.knuba.edu.ua/article/view/332091>
8. Ткаченко Т., Святогорів І. Розпланування територій під житлову забудову за умови створення теплокомфортного житлового середовища. Техніка будівництва. 2025. Вип. 42. С. 161-169.

<https://doi.org/10.32347/tb.2025-42.0518>.

URL:

<http://tehbud.knuba.edu.ua/article/view/332090>

9. Tkachenko T., Kravchenko M., Mileikovskiy V., The influence of green structures of blue infrastructure on the load of building structures Strength of Materials and Theory of Structures. 2025. No 114. P.135-144. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2025.114.135-144>

10. Tkachenko T., Lis A., Tsiuriupa Yu., Mileikovskiy V., Ujma A., Tkachenko O., Sakhnovska V. Planning of green roofs for the best thermotechnical effect. Scientific Review Engineering and Environmental Sciences. 2025. Vol. 34. No. 1. P. 42-54. <https://doi.org/10.22630/srees.9954>

11. Tkachenko T., Mileikovskiy V., Kotelkov L. Theoretical simulation of natural air exchange and indoor air quality with an example of a green wall introduction. Results in Engineering. 2025. Vol. 25., Art. No. 104336. <https://www.doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104336>

12. Tkachenko T., Kravchenko M., Mileikovskiy V. Modelling infiltration processes in rain gardens: Influence of design parameters on hydrological efficiency. Ecological Safety and Balanced Use of Resources. 2024. Vol. 15., No. 2. P 22-35. <https://doi.org/10.69628/esbur/2.2024.22>

13. Ткаченко Т., Кравченко М. Розробка методів кількісної оцінки ефективності конструкції дощового саду у контексті управління дощовими водами. Екологічна безпека та природокористування, 2024, том 50, № 2. С. 19–35 <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.2.19-35>

14. Кравченко М.В., Ткаченко Т.М. Розрахунок еколого-економічного ефекту від збирання дощової води «зеленими» покрівлями. Екологічна безпека та природокористування. 2024. № 1 (49). С. 34-48. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.34-48>

15. Кравченко М.В., Ткаченко Т.М. Проблеми удосконалення термінології та сучасної класифікації «зелених» конструкцій для створення українських «зелених» стандартів. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. 2023. № 4 (493). С. 194 – 204. <https://eir.nuos.edu.ua/items/e671517f-8b29-453b-bcfa-8e7b78c69880>

16. Tkachenko T., Kravchenko M. Research of gas exchange and air purification processes by plants of the common privet (*Ligustrum vulgare* L.) species. Ecological Safety

17. and Balanced Use of Resources. 2023. Vol. 14. No 2. P. 28-37
<https://doi.org/10.69628/esbur/2.2023.28>

18. Ткаченко Т.М., Корбут В., Мілейковський В., Вахула В., Коновалюк В. Оцінювання формування комфортних теплових умов і чистоти повітря зональними місцево-центральними системами кондиціонування повітря і санаційним фітодизайном. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2023. вип. 45. С. 5-20. URL: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2023.45.5-20>.

19. Ткаченко Т.М., Мілейковський В.О., Кравченко М.В. Вплив «зелених» покрівель на управління дощовими водами: огляд наукових досліджень та перспективи використання. Екологічна безпека та природокористування. Вип. 2 (46). (2023). – С.37 -57.
<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.2.35-53>

20. Краченко М.В., Ткаченко Т.М. Порівняльний аналіз ефективності різних типів «зелених» конструкцій в поглинанні CO₂ залежно від типу рослинності та субстрату. «Екологічні проблеми сучасності»: матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції. - Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Луцьк, 10 травня 2023. – С. 94-98

Навчальне видання

ТКАЧЕНКО Тетяна Миколаївна
МІЛЕЙКОВСЬКИЙ Віктор Олександрович
КРАВЧЕНКО Марина Василівна
ЦЮРЮПА Юрій Володимирович

ЕКОЛОГІЯ З ОСНОВАМИ ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА

Навчальний посібник

Видавець **ФОП Ямчинський О.В.**
0322, Київ, вул. Васильківська, 32
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єкта видавничої справи ДК №6554 від 26.12.2018 р.
Формат 60×84/16. Наклад 100 пр. Ум. друк. арк. 16,5. Зам. № 169

Виготовлювач **ТОВ «ЦП «КОМПРИНТ»**
03022, Київ, вул. Васильківська, 32
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єкта видавничої справи ДК № 4131 від 04.08.2011 р.

