

Київський національний університет будівництва і архітектури
Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет будівництва і архітектури
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЦЮРЮПА ЮРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 581.6:[613.5+613.15+613.16+629.039.58+628.5]

ДИСЕРТАЦІЯ
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
БІОФІЛЬТРАЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО
ТА КОМФОРТНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИМІЩЕНЬ

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 263 – Цивільна безпека

Галузь знань 26 – Цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії вперше

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



Юрій ЦЮРЮПА

Наукова керівниця Негрій Тетяна Олександрівна, канд. техн. наук, доцентка

Київ – 2025

АНОТАЦІЯ

Цюрюпа Ю.В. Дослідження та математичне моделювання біофільтраційних елементів для створення безпечного та комфортного середовища приміщень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 263 «Цивільна безпека» (26-Цивільна безпека) – Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, 2025.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної задачі розроблення ефективних біофільтраційних технологій для створення здорових і безпечних умов у приміщеннях різного призначення.

У роботі основну увагу приділено проблемі безпеки перебування людей у приміщеннях, зокрема «синдрому хворої будівлі» (СХБ). Зокрема, зростання герметичності конструкцій та впровадження синтетичних матеріалів у будівництві призвело до погіршення якості повітря в приміщеннях. Комплексний аналіз шкідливих факторів при перебуванні в приміщеннях показав, що на сьогодні вони недостатньо систематизовані.

Запропоновано класифікацію шкідливих факторів СХБ, що передбачає поділ їх на внутрішні та зовнішні. Зовнішні — кліматичні, екологічні, радіаційні та відеоекологічні впливи. Внутрішні – параметри внутрішнього середовища, фізичні, технічні, радіаційні, психологічні та біохімічні фактори.

Дослідження біохімічному аналізу стану повітряного середовища виконано в приміщеннях різного призначення – зимовий сад університету, ресторан, коворкінг, медичний заклад та торгово-розважальний комплекс. Досліджено вплив рослин на мікробне число методом пасивної седиментації. Показано здатність рослин знижувати мікробне число в приміщеннях до 11,8 разів. Оброблення результатів досліджень фітонцидних властивостей рослин методом листових дисків дозволив ранжувати рослини за фітонцидною

активністю від *Chlorophytum comosum* (ширина зон лізису від дисків 14,3 мм) до *Phoenix dactylifera* (4,1 мм).

Для обґрунтованого вибору рослин створено математичні моделі їхнього стану. Запропоновано підхід до оцінювання стану рослин в приміщеннях за 100-бальним показником якості відповідно до оцінки за трьома шкалами від 1 до 5 балів з відповідними коефіцієнтами вагомості. За результатами спостереження в різних умовах складено регресійні математичні моделі. Це дозволяє прогнозувати стан рослин в різних зонах приміщень задля правильного підбирання асортименту рослин в різних зонах приміщень.

На основі проведеного аналізу запропоновано фітодизайн зимового саду Київського національного університету будівництва і архітектури задля боротьби з основними шкідливими факторами, серед яких мікробне забруднення та шум. Рослини підбрано за математичними моделями з очікуваним показником не нижче 80.

Практичне значення отриманих результатів полягає у науковому обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні доцільності використання фітонцидних рослин та зелених стін для очищення повітря від патогенної мікрофлори в приміщеннях різного призначення, що сприяє створенню безпечного та комфортного середовища. Розроблене ранжування рослин за фітонцидною активністю надає практичні рекомендації для оптимального підбирання асортименту рослин з метою досягнення максимального санаційного ефекту. Запропоновані рішення з фітодизайну, що враховують особливості газообміну рослин та вимоги до освітлення, дозволяють ефективно інтегрувати озеленення в інтер'єри з позитивним впливом на комфорт перебування людей та якість повітря з наданням рекомендацій для архітекторів, дизайнерів та фахівців з охорони праці. Отримані результати можуть бути використані при розробленні санітарно-гігієнічних норм та рекомендацій щодо озеленення громадських, виробничих та житлових приміщень для поліпшення якості внутрішнього повітря та зниження ризиків для здоров'я. Розроблення підходу до оцінювання стану

рослин в інтер'єрах дозволяє створювати регресійні математичні моделі для прогнозування їхньої ефективності фіторемедіації внутрішнього повітря та забезпеченні комфортного і безпечного середовища приміщень.

Результати роботи впроваджено в адміністративних приміщеннях ФГ «Енергія-1», у діяльності «ТОВ Столичний Будсоюз» та в навчальному процесі Київського національного університету будівництва і архітектури.

Наукова новизна отриманих результатів:

Уперше:

- розроблено математичні моделі якості кімнатних рослин для забезпечення безпечного повітряного середовища в приміщеннях.

Удосконалено:

- класифікацію факторів, що визначають появу та перебіг «синдрому хворої будівлі».

Набули подальшого розвитку:

- дослідження впливу фітонцидного ефекту рослин на внутрішнє повітряне середовище приміщень.

Ключові слова: біофільтрація, середовище приміщень, шкідливі фактори, внутрішнє середовище, синдром хворого будинку, мікробне число, фітодизайн, кімнатні рослини, внутрішнє озеленення, фітонциди, леткі фітоорганічні речовини.

ABSTRACT

Research and mathematical modelling of biofiltration elements to ensure a safe and comfortable indoor environment - Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the speciality 263 "Civil Security" (26-Civil Security) - Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2025.

The thesis is devoted to solving the urgent problem of developing effective biofiltration technologies for creating healthy and safe conditions in premises for various purposes.

The work focuses on the problem of indoor safety, in particular, the "sick building syndrome" (SBS). In particular, the increase in the tightness of structures and the use of synthetic materials in construction has led to a deterioration in indoor air quality. A comprehensive analysis of indoor hazards has shown that they are currently insufficiently systematised.

The article proposes a classification of harmful factors of the SBS, which provides for their division into indoor and outdoor. Outdoor factors include climatic, ecological, radiation and video-ecological impacts. Indoor - parameters of the internal environment, physical, technical, radiation, psychological and biochemical factors.

The study of biochemical analysis of the air environment was carried out in premises for various purposes - a university winter garden, a restaurant, a coworking space, a medical facility, and a shopping and entertainment centre. The effect of plants on microbial counts was studied using the passive sedimentation method. The ability of plants to reduce the microbial count in the premises by up to 11.8 times was shown. Processing the results of the study of the phytoncidal properties of plants using the leaf disc method allowed us to rank plants by phytoncidal activity from

Chlorophytum comosum (width of lysis zones from the discs 14.3 mm) to *Phoenix dactylifera* (4.1 mm).

Mathematical models of plants' quality have been created for a reasonable selection of plants. An approach is proposed for assessing the condition of plants in the premises according to a 100-point quality indicator using the assessment on three scales from 1 to 5 points with the corresponding weighting coefficients. Based on the results of observations under different conditions, regression mathematical models were developed. This allows us to predict the condition of plants in different areas of the premises in order to correctly select the range of plants in different areas of the premises.

Based on the analysis, the work proposes a phytodesign for the winter garden of the Kyiv National University of Construction and Architecture to combat the main harmful factors, including microbial contamination and noise. Plants are selected according to the mathematical models with an expected index of at least 80.

The practical significance of the obtained results lies in the scientific substantiation and experimental confirmation of the feasibility of using phytoncidal plants and green walls to purify the air from pathogenic microflora in premises for various purposes, which contributes to the creation of a safe and comfortable environment. The developed ranking of plants by their phytoncidal activity provides practical recommendations for the optimal selection of the plant assortment to achieve the maximum sanitation effect. The proposed phytodesign solutions, which take into account the peculiarities of plant gas exchange and lighting requirements, allow for the effective integration of greenery into interiors with a positive impact on human comfort and air quality, with recommendations for architects, designers and occupational health and safety specialists. The findings can be used to develop sanitary and hygienic standards and recommendations for greening public, industrial and residential spaces to improve indoor air quality and reduce health risks. The development of an approach to assessing the condition of plants in interiors allows the creation of regression mathematical models to predict their effectiveness in

phytoremediation of indoor air and ensuring a comfortable and safe indoor environment.

The results of the work have been implemented in the administrative premises of the Enerhiia-1 Farm, in activities of the “Stolychnyi Budsoiuz” LLC and in the educational process of the Kyiv National University of Construction and Architecture.

Scientific novelty of the results:

For the first time:

- mathematical models of the quality of indoor plants was developed to ensure a safe indoor air environment.

Improved:

- classification of factors that determine the occurrence and course of the "sick building syndrome".

Further developed:

- studying the impact of the phytoncidal effect of plants on the indoor air environment.

Keywords: biofiltration, indoor environment, harmful factors, indoor environment, sick building syndrome, microbial count, phytodesign, indoor plants, indoor gardening, phytoncides, volatile phytochemicals.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації

а) статті у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus:

1. Gas Exchange Research on Plant Layers of Green Structures and Indoor Greening for Sustainable Construction / T. Tkachenko et al. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, no. 8. P. 3467. URL: <https://doi.org/10.3390/su17083467> (дата звернення: 15.04.2025) (SCOPUS, Q1)

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні особливостей впливу освітленості на газообмін в рослинах, зокрема критичного значення освітленості, вище якого приросту фотосинтетичної активності не відбувається

2. Tkachenko T., Lis A., Tsiuriupa Yu. et al. Planning of green roofs for the best thermotechnical effect. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences (SREES)*. 2025. Vol. 34, no. 1. P. 42–54. URL: <https://doi.org/10.22630/srees.9954> (SCOPUS, Q3)

Особистий внесок здобувача полягає в проведенні аналізу позитивних ефектів від зелених конструкцій.

б) статті в наукових виданнях, внесених до переліку наукових фахових видань України категорії «Б» :

3. 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>.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

4. Korbut V., Tkachenko T., Mileikovskiy V., Vakhula V., Tsiuriupa Yu. Evaluation of the effectiveness of air exchange for the formation of a bio-safe and comfortable environment of premises with a massive presence of people. *Energy. Resources. Ecology: Program and abstracts of reports of the 5th international scientific and practical conference*, Kyiv, 27–29 November 2024. Kyiv, 2024. P. 68–69. URL: <https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2025/02/ere-2024-eng-1.pdf> (дата звернення: 04.05.2025).
Особистий внесок здобувача полягає в розробленні рекомендацій щодо використання рослин для зменшення забруднення повітря при змішувальній вентиляції
5. The research method for indoor air sanitation dependent on the ventilation / Y. Tsiuriupa et al. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction»*. Київ, 2024. P. 375–377. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf (date of access: 04.05.2025).
Особистий внесок здобувача полягає в аналізі напрямків досліджень фітонцидної активності рослин та впливу кратності повітрообміну на фітонцидну активність
6. Цюрюпа Ю. В., Ткаченко Т. М. Вплив біологічних факторів на повітряне середовище приміщень різного призначення. *«Актуальні питання суспільства у сферах екологічної та цивільної безпеки, енергозбереження, менеджменту та економіки»*: Матеріали Всеукр. науково-практ. конф. за участю молодих уч. та здобувачів вищ. освіти, м. Запоріжжя. Запоріжжя, 2024. С. 170–173. URL: https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/2024/aktualni-pytannya/zbirnyk_24.pdf (дата звернення: 04.05.2025).

Особистий внесок здобувача полягає в дослідженні впливу фітонцидних рослин на мікробне число в зимовому саду Київського національного університету будівництва і архітектури

7. Цюрюпа Ю., Негрій Т. Вплив біологічних факторів на мікроклімат виробничого приміщення. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування.* : Зб. матеріалів VIII міжнар. конгр., м. Львів, 16–18 жовт. 2024 р. Київ, 2024. С. 234. URL: <https://doi.org/10.56287/8285-40-1>.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі відомих способів класифікації шкідливих факторів та можливостей застосування рослин для зменшення шкідливого впливу біологічних факторів.

8. Tsiuriupa Y., Bubon S. Development of a classification of factors that determine the occurrence and course of "sick building syndrome". *Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference "Green Construction"*. Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture. 2025, Київ, 2025. С. 249-251. URL: https://www.researchgate.net/publication/391850107_Proceedings_of_the_IV_International_Scientific_and_Practical_Conference_Green_Construction_Kyiv_13-14_May_2025.

Особистий внесок здобувача полягає в розробленні класифікації визначальних факторів синдрому хворого будинку.

ЗМІСТ

Вступ	13
Розділ 1. Становлення поняття «синдрому хворої будівлі» та шляхи його подолання	18
1.1. Історія питання	18
1.2. Забруднювачі повітря приміщень	20
1.3. Хвороби, спричинені забрудненням внутрішнього повітря.....	23
1.4. Забруднення повітря леткими органічними сполуками та хімічними речовинами	24
1.5. Роль рослин у поглинанні та видаленні забруднюючих речовин у приміщеннях	26
1.6. Проблеми сучасної нормативної бази в Україні	31
1.7. Висновки до розділу 1.....	35
Розділ 2. Розроблення класифікації факторів, що визначають появу та перебіг «синдрому хворої будівлі»	36
2.1. Основні проблеми класифікування небезпечних факторів, пов'язаних із синдромом хворого будинку.....	36
2.2. Створення класифікації шкідливих факторів, що призводять до синдрому хворого будинку.....	40
2.3. Висновки до розділу 2.....	53
Розділ 3. Біохімічні дослідження стану повітряного середовища приміщень різного призначення	56
3.1. Вплив різних факторів на мікробне число в повітрі будівель.....	56
3.2. Дослідження фітонцидного ефекту рослин в зимовому саду Київського національного університету будівництва і архітектури ..	59
3.3. Дослідження впливу зеленої стіни на внутрішнє повітряне середовище ресторану	67

3.4. Дослідження впливу внутрішнього озеленення на внутрішнє повітряне середовище офісної будівлі.....	75
3.5. Дослідження впливу внутрішнього озеленення на внутрішнє повітряне середовище медичного закладу	78
3.6. Дослідження впливу внутрішнього озеленення на внутрішнє повітряне середовище торгово-розважального центру	85
3.7. Висновки до розділу 3	91
Розділ 4. Розроблення математичної моделі якості кімнатних рослин для забезпечення безпечного повітряного середовища в приміщеннях	93
4.1. Основні підходи до визначення якості рослин	93
4.2. Розроблення методу оцінювання та прогнозування стану рослин	94
4.3. Висновки до розділу 4.....	112
Розділ 5. Розроблення фітодизайну для біофільтрації повітря в навчальному закладі	113
5.1. Тривимірні моделі планування зимового саду та прилеглої до нього зони фойє	113
5.2. Пропонований фітодизайн зимового саду.....	116
5.3. Висновки до розділу 5	123
Загальні висновки.....	124
Список використаних джерел.....	127
Додаток А. Список опублікованих праць за темою дисертації:.....	147
Додаток Б. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	151

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Забезпечення здорових і безпечних умов праці, зниження ризику професійних захворювань, виробничого травматизму та аварій є ключовими завданнями цивільної безпеки. У контексті сучасних будівель та приміщень, особливо з урахуванням постійного посилення вимог до енергоефективності та герметичності, проблема забезпечення якісного внутрішнього повітря набуває особливої гостроти. Недостатня вентиляція та накопичення шкідливих хімічних і біологічних забруднювачів (леткі органічні сполуки, біоаерозолі, продукти життєдіяльності людини) створюють значні ризики для здоров'я та працездатності людей.

Біофільтрація як екологічно чистий та енергоефективний метод очищення повітря є перспективним напрямком у розробленні методів управління та контролю за безпекою робіт і використанням технічних нормативів для створення здорових і безпечних умов у приміщеннях. Дослідження ефективності біофільтраційних елементів, їхніх експлуатаційних характеристик та розроблення адекватних математичних моделей для прогнозування їхньої роботи є важливим кроком у напрямку зниження ризику професійних захворювань, пов'язаних із забрудненням повітря, та забезпечення комфортного мікроклімату, що безпосередньо впливає на безпеку трудової діяльності людини.

Таким чином, розроблення ефективних біофільтраційних технологій для створення здорових і безпечних умов у приміщеннях різного призначення відповідає актуальним завданням галузі та має значний практичний потенціал.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні дослідження дисертаційної роботи виконані відповідно до Кодексу цивільного захисту України (поточна редакція) від 02.10.2012 р. №5403-17, Стратегії національної безпеки України, затвердженої Указом

Президента України №392/2020 від 14.09.2020р., Закону України «Про національну безпеку України» № 2469-19 від 21.06.2018 і безпосередньо пов'язані з планами держбюджетної тематики Київського національного університету будівництва і архітектури на замовлення Міністерства освіти і науки України (№ державної реєстрації 0122U001197 і 0117U003297)

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розроблення науково обґрунтованих підходів до створення безпечного та комфортного середовища приміщень з залученням біофільтраційних елементів у контексті контролю небезпечних і шкідливих чинників.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі були поставлені та вирішені такі наукові завдання:

1. Проаналізувати та систематизувати наявні наукові підходи до запобігання синдрому хворої будівлі (СХБ) шляхом визначення та зниження впливу небезпечних і шкідливих чинників внутрішнього середовища приміщень.
2. Розробити науково обґрунтовану класифікацію факторів СХБ (небезпечних та шкідливих чинників внутрішнього середовища) з урахуванням їхньої природи, джерел, характеру впливу та взаємозв'язку для подальшого дослідження методів подолання СХБ.
3. Комплексно дослідити вплив різних факторів на мікробне число в повітрі приміщень різного призначення, зокрема дію фітонцидного ефекту рослин.
4. Розробити метод оцінювання стану рослин та їхньої фітонцидної спроможності для покращення якості повітря та зниження біологічної небезпеки відповідно до вимог охорони праці та санітарно-гігієнічних норм.
5. На практичному прикладі продемонструвати застосування біофільтраційних елементів задля вирішення комплексного завдання створення безпечного та комфортного внутрішнього середовища приміщення відповідно до функціональних призначень його зон.

Об’єкт дослідження – створення безпечного та комфортного середовища приміщень біофільтраційними елементами

Предмет дослідження - закономірності процесів біофільтрації повітря для видалення з нього забруднювачів задля створення безпечного та комфортного середовища приміщень.

Методи дослідження: для розв’язання поставлених наукових завдань у дисертаційному дослідженні використовувався критичний аналіз літературних джерел для визначення процесу становлення поняття «синдрому хворої будівлі» та шляхів його подолання; метод пасивної седиментації – для дослідження фітонцидного ефекту рослин в зимовому саду; статистичний аналіз – для оброблення та інтерпретації результатів багаторічних спостережень за станом рослин у різних умовах;

Наукова новизна отриманих результатів:

Уперше:

- розроблено математичну модель якості кімнатних рослин для забезпечення безпечного повітряного середовища в приміщеннях.

Удосконалено:

- класифікацію факторів, що визначають появу та перебіг «синдрому хворої будівлі».

Набули подальшого розвитку:

- дослідження впливу фітонцидного ефекту рослин на внутрішнє повітряне середовище приміщень.

Практичне значення отриманих результатів полягає у науковому обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні доцільності використання фітонцидних рослин та зелених стін для очищення повітря від патогенної мікрофлори в приміщеннях різного призначення, що сприяє створенню безпечного та комфортного середовища. Розроблене ранжування

рослин за фітонцидною активністю надає практичні рекомендації для оптимального підбирання асортименту рослин з метою досягнення максимального санаційного ефекту. Запропоновані рішення з фітодизайну, що враховують особливості газообміну рослин та вимоги до освітлення, дозволяють ефективно інтегрувати озеленення в інтер'єри з позитивним впливом на комфорт перебування людей та якість повітря з наданням рекомендацій для архітекторів, дизайнерів та фахівців з охорони праці. Отримані результати можуть бути використані при розробленні санітарно-гігієнічних норм та рекомендацій щодо озеленення громадських, виробничих та житлових приміщень для поліпшення якості внутрішнього повітря та зниження ризиків для здоров'я. Розроблення підходу до оцінювання стану рослин в інтер'єрах дозволяє створювати регресійні математичні моделі для прогнозування їхньої ефективності фіторемедіації внутрішнього повітря та забезпеченні комфортного і безпечного середовища приміщень.

Результати роботи впроваджено в адміністративних приміщеннях ФГ «Енергія-1», у діяльності «ТОВ Столичний Будсоюз» та в навчальному процесі Київського національного університету будівництва і архітектури.

Особистий внесок здобувача полягає у виконанні комплексного дослідження біофільтраційних елементів задля створення безпечного та комфортного середовища приміщень. Зокрема, проаналізовано стан проблеми, виконано експериментальні дослідження рослинних елементів у приміщеннях різного призначення, побудовано математичні моделі розвитку рослин та розроблено рекомендацій щодо впровадження біофільтраційних елементів у приміщення різного призначення.

Особистий внесок у наукові праці зі співавторами наведено в додатку А.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення і результати дисертаційної роботи були представлені та обговорені на міжнародних конференціях: 5th International scientific and practical conference Energy. Resources. Ecology (Kyiv 2024), International scientific and practical conference «Green Construction» (Київ, 2024, 2025),

Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих учених та здобувачів вищої освіти «Актуальні питання суспільства у сферах екологічної та цивільної безпеки, енергозбереження, менеджменту та економіки» (Запоріжжя 2024), VIII міжнародний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, 2024).

Публікації. За темою дисертації опубліковано вісім наукових робіт, зокрема дві статті в журналах кuartилію Q1 і Q3, одна стаття в наукових фахових виданнях категорії Б та п'ять тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів та висновків до них, загальних висновків, списку використаних джерел з 149 найменувань, двох додатків; містить 52 зображення і дев'ять таблиць. Загальний обсяг роботи становить 154 сторінки основного тексту.

РОЗДІЛ 1. СТАНОВЛЕННЯ ПОНЯТТЯ «СИНДРОМУ ХВОРОЇ БУДІВЛІ» ТА ШЛЯХИ ЙОГО ПОДОЛАННЯ

У сучасному світі люди проводять у середньому 80%-90% свого часу в приміщенні, а саме школах, квартирах, офісах, спортивних залах, торгівельних та розважальних центрах тощо. Отже, ризики для здоров'я можуть бути більшими через забруднене повітря в приміщенні, ніж через забруднене зовнішнє повітря [1-6].

1.1. 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 алергенних хімічних речовин, а також інфекційними ускладненнями, такими як синусит [8]. Риніт, кон'юнктивіт і ларингофарингіт можуть бути викликані певними подразненнями в приміщеннях [7]. Спалахи інфекційних захворювань, пов'язаних із будинками, таких як хвороба легіонерів, вірусні інфекції та туберкульоз, добре відомі. Деякі шкірні захворювання, включаючи алергічний та дратівливий дерматит, кропив'янку, також пов'язані з певними впливами в приміщеннях, включаючи алергени та волокнисте скло [9].

Більш широке використання синтетичних матеріалів у будівництві будівель, 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 підраховали, 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, щоб свідчили про конкретну хворобу, немає [12].

Агентство з охорони навколишнього середовища (EPA) визначило «синдром хворої будівлі (SBS) як ситуацію, в 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» (SBS) позначає категорію різних симптомів, які відчуються переважно людьми, які працюють у будівлях, що кондиціонуються» [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 2 групи порушень стану здоров'я людини, обумовлених впливом внутрішньо-житлового середовища. Перша група має назву «захворювання, пов'язані зі спорудами» (BRI, Building Related Illness) [16]. Вона включає порушення стану здоров'я, що пов'язані з певними факторами у середині 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.

1.2. Забруднювачі повітря приміщень

По темам 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 силою посилань 288. Походження здається набагато глобальнішим, охоплюючи Європу, Азію та Америку [18].

У повітрі приміщень існує безліч потенційно важливих впливів. Найпоширенішими джерелами цих забруднюючих речовин є матеріали для ремонту та реконструкції, такі як 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 матеріали, такі як килимові покриття та стельові плити, створюють сприятливе середовище для проліферації мікроорганізмів, зокрема пліснявих грибів та бактерій. Окрім того, пористі матеріали, такі як килими та оббивні тканини, можуть виступати не лише первинними джерелами забруднення, але й виконувати функцію вторинних резервуарів. Вони здатні адсорбувати різноманітні забруднюючі речовини, включаючи леткі органічні сполуки (ЛОС) та тверді частки, з подальшою їхньою реемісією в повітря. Фізичні параметри мікроклімату, такі як температура, відносна вологість, рівень шуму та інтенсивність освітлення, також є важливими детермінантами якості внутрішнього повітря та можуть суттєво впливати на формування СХП [19].

Системи HVAC (опалення, вентиляції та кондиціювання повітря) повинні забезпечувати надходження свіжого зовнішнього повітря, змішування його з рециркульованим повітрям, кондиціювання (тобто нагрівання,

охолодження або зволоження) та подальшу циркуляцію отриманого повітря. Для забезпечення належної якості повітря така система має подавати достатній об'єм свіжого 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 систем HVAC, навіть тих, що були спроектовані відповідно до рекомендованих стандартів. Наприклад, HVAC покладаються на чисте свіже повітря зовні. Якщо повітрязбірники розташовані поруч із навантажувальною платформою або іншим джерелом забруднюючих речовин, забруднене повітря може потрапити до будівлі. Проблеми можуть виникнути при подачі, нагріванні та охолодженні свіжого повітря, а також при видаленні забрудненого повітря. Хоча загальна вентиляція може здаватися адекватною, вентиляція в різних частинах будівлі може бути нерівномірною, або свіже повітря з подачі може бути закорочені на зворотні повітроводи, минаючи зону дихання мешканців. Крім того, сама система вентиляції може бути джерелом забруднюючих речовин у повітрі. Негерметичні скловолокно та інші ізоляційні матеріали, що вистилають вентиляційні канали, можуть виділяти тверді частинки в повітря. Такий матеріал може стати вологим, створюючи ідеальне і часто приховане місце для зростання мікроорганізмів [21].

Тривалість роботи в постраждалій будівлі є важливим фактором — менеджери (які можуть не працювати на одному місці довгий час) можуть немати синдромів хворої будівлі, тоді як службовці (що залишаються на одному місці) мають їх. Психологічні фактори, такі як незадоволеність роботою, стрес та низький статус на роботі також пов'язані з підвищеним ризиком SBS. Індивідуальні фактори ризику господаря, такі як наявність

алергії, гіперреактивність дихальних шляхів та астма в анамнезі, проблеми зі шкірою або інші вже існуючі захворювання. Також відмічено, що жінки схильні до більш високого ризику, ніж чоловіки.

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

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 може мати негативні наслідки за рахунок збільшення концентрації забруднюючих речовин (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 рекуперацією тепла (MVHR) та фільтрації повітря, якщо таке рішення здійсненне 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 перегріву будівлі відносяться використання зелених конструкцій, застосування оздоблювальних матеріалів з низьким альбедо, використання енергоефективних склопакетів, якісна ізоляція, 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 (СХБ). Японськими вченими було проведено загальнонаціональне онлайн-опитування за участю 4996 осіб. Чинники ризику СХБ було вивчено з допомогою логістичного регресійного аналізу. Основними факторами ризику СХБ були жіноча стать та молодий вік. Інші фактори ризику включали наявність в анамнезі алергії та психічних захворювань, особливі житлові умови для внутрішнього середовища Жінки, молоді люди та люди з анамнезом захворювань, таких як алергія та психічні захворювання, мали підвищений ризик SBS, що вказує на те, що таким людям необхідно звертати увагу на вплив хімічних речовин. Результати дослідження вказують на можливість запобігання SBS шляхом ретельного вибору внутрішнього середовища та способу життя [24].

1.3. Хвороби, спричинені забрудненням внутрішнього повітря

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

Поширені симптоми при СХБ [7]:

1. Роздратування слизових оболонок - роздратування очей, роздратування горла, кашель.
2. Нейротоксичні ефекти - головний біль, втома, відсутність концентрації.
3. Респіраторні симптоми - задишка, кашель, хрипи.
4. Шкірні симптоми - висипання, свербіж, сухість.
5. Хемосенсорні зміни - підвищене чи ненормальне сприйняття запахів.

6. Порушення зору.

У дослідженні [28] оцінюються симптоми синдрому хворої будівлі (SBS) та параметри якості повітря у приміщенні (IAQ) серед персоналу лікарняних відділень. Респонденти висловили стурбованість щодо умов у приміщеннях, включаючи 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 IAQ для покращення благополуччя пацієнтів та працівників охорони здоров'я.

Дослідження [29] показали, що астма та риніт у китайських дітей пов'язані з неякісним повітрям. Були досліджені китайські діти (3–6 років; $n = 39\,782$) 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 крупних 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.

1.4. Забруднення повітря леткими органічними сполуками та хімічними речовинами

CO, NO₂, SO₂, PM 2.5, O₃, а також інші леткі органічні сполуки, як-от: бензол, толуол, етилбензол і ксилол, входять до забруднювачів повітря в приміщеннях. Ці забруднювачі можуть перебувати у набагато більш високих

концентраціях у приміщеннях, особливо коли у будівлі немає кондиціонера. Розглянуті дослідження були проведені в різних частинах світу, включаючи домогосподарства з низьким доходом у Європі [33.] та недавні дослідження Агентства з охорони навколишнього середовища США (EPA) у школах США [34].

Можна поставити питання, чому CO₂ розглядається і вивчається як забрудник повітря в приміщенні, хоча сам по собі він навряд чи розглядається як проблема для здоров'я. Хоча рівень CO₂ у приміщенні 600 ppm забезпечує адекватну якість повітря, 1000 ppm вказує на погану якість повітря [35] показує, що навіть при низьких та помірних рівнях CO₂ (1000 та 2500 ppm) відбувається значне зниження ефективності прийняття рішень. Крім того, рівень CO₂ у приміщенні можна розглядати як розумний індикатор ефективності системи кондиціювання повітря. Іншими словами, високі концентрації CO₂ можуть бути пов'язані з вищими концентраціями інших забруднюючих речовин у приміщенні, які є результатом поганої вентиляції [36].

При дослідженні рівня концентрації бензолу, толуолу та ксилолу у нещодавно відремонтованих будинках міських та приміських районах Гуанчжоу, Китай, було встановлено підвищення їх концентрацій у повітрі порівняно зі старими будинками. Середній приріст ризику раку протягом життя, викликаний вдиханням бензолу в недавно відремонтованих будинках в Гуанчжоу, склав $6,8 \times 10^{-6}$, 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 (PM) через свою летючість, деякі з них присутні в повітрі та пилу, що осів. Це призводить до їх широкого поширення в приміщеннях. У 2019 році Китай став одним із найбільших споживачів пластифікаторів у світі [38].

Якщо напочатку вивчення СХБ використовувались здебільшого методи обстеження та анкетування, з часом з'явилися інші методи вивчення негативних факторів та симптомів СХБ. 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 СХБ: соціально-демографічні дані, привички у відношенні та образі життя, інформація, пов'язана з роботою, інформація про історію хвороби, ергономічні параметри, психологічні фактори, забруднення навколишнього середовища (викиди летучих органічних сполук (ЛОС)) і бактеріальні забруднення. Результати показали, що поширеність симптомів СХБ склала 74,4% і 68,5% у жінок і чоловіків відповідно. Більш того, був виявлений значущий зв'язок між формою СХБ і поточним захворюванням, тривалістю роботи і особливо психологічними факторами. Найбільш високі концентрації летучих органічних сполук були пов'язані з бензолом та толуолом. Найбільш розповсюдженими представниками патогенної мікрофлори були *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* та *Klebsiella pneumoniae*. Таким чином, із-за поширеності СХБ серед офісних працівників, використання коригуючих і контрольних заходів у довгостроковій перспективі має високе значення [13].

З розвитком штучного інтелекту активно почали використовуватися моделі прогнозування якості повітря [39].

1.5. Роль рослин у поглинанні та видаленні забруднюючих речовин у приміщеннях

З'являється все більше доказів того, що різні види рослин (наприклад, *Ficus benjamina*, *Chlorophytum comosum*, *Dracaena*) або їх частини можуть надійно знижувати концентрацію численних забруднюючих речовин у мікросередовищі всередині приміщень та сприяти благополуччю людини [40].

Однак ефективність видалення забруднюючих речовин з повітря в приміщенні залежить від виду рослини, різних характеристик рослини, таких

як розмір листя, товщина, площа, фотосинтетична активність, інтенсивність світла та частина рослини, залучена до процесу, а саме, коріння, листя, віск, кутикула та продихи. Для поліпшення внутрішнього середовища приміщення показники якості повітря в приміщенні є суттєвими та обов'язковими положеннями у відповідних стандартах, і можуть бути запропоновані деякі відповідні технології, використовуючи фільтрацію повітря в устаткуванні для кондиціонування та опалення, застосовуючи природну або механічну вентиляцію, вирощуючи зелені рослини тощо. Серед цих технологій вирощування зелених рослин розглядалося як економічний, екологічно чистий, високопотенційний та найефективніший метод [41, 42]. 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.

Наприклад, групою вчених було вивчено вплив рослин на вологість повітря та температуру. Результати показують, що введення 12 рослин фікуса або 6 рослин епіпремнуму призвело до невеликого, але значущого збільшення вмісту води в офісі, що природно провітрюється (28 м³) протягом серії тестових днів навесні і взимку відповідно в порівнянні з днями без рослин. *Epipremnum* (вид, який енергійно транспірує) мав найвищу швидкість евапотранспірації і найбільший потенціал зволоження для кімнатних середовищ.

Sansevieria (сукулентна рослина, яка слабо транспірує) мала найнижчу швидкість евапотранспірації, яка була схожа на голий субстрат. Ця рослина має малий вплив на рівень вологості в кімнатних середовищах. Таким чином, *Sansevieria* буде хорошим вибором для середовищ, де потрібен низький внесок води або є побоювання щодо «надмірного зволоження» або цвілі [43].

Використання лабораторного фітотрону в приміщенні показало ефективність видалення формальдегіду із повітря приміщень. Найбільша активність спостерігалася у *Chlorophytum elatum* var. *vittatum* [44]. Цю

рослину, разом з *Scindapsus aureus* та *Syngonium podophyllum* ми рекомендуємо також використовувати для створення зелених стін у приміщеннях.

NASA провело ряд експериментів, які довели, що зелені рослини можуть ефективно видаляти леткі органічні речовини із повітря [45].

Процес поглинання забруднювачів рослинами прийнято називати фіторемедіацією. Фіторемедіація - це метод біоремедіації, що використовує рослини та пов'язані з ними мікроорганізми для видалення, перенесення, стабілізації або знищення забруднюючих речовин [46]. Процес відбувається завдяки трьом фізіологічним механізмам рослин: фотосинтез, дихання, транспірація (у зв'язку з тим, що рослини ростуть в ґрунті, враховуються процеси випаровування вологи та бактеріальне розкладання речовин ризосферою).

Для фіторемедіації велике значення мають фенотипові властивості рослин та екологічні параметри мікроклімату (освітленість, температура повітря, вологість). Ірга та ін. [47] 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 [48-50].

Фотосинтез є основним процесом, відповідальним за зниження кількості CO₂ у приміщенні. Рослини поглинають CO₂ і виділяють O₂ до навколишнього середовища. Вони використовують CO₂ як джерело вуглецю для синтезу органічних сполук, використовуючи сонячне світло та воду як джерело енергії. Отже, швидкість фотосинтезу залежить від екологічних умов, а саме: доступність сонячного світла, кількість CO₂ і температури [51,52]. Швидкість фотосинтезу збільшується із збільшенням концентрації CO₂ при інтенсивному освітленні, що призводить до більшого виділення кисню.

Фуджі та ін. [53] повідомили про збільшення ефективності видалення CO₂ зі збільшенням освітленості. Крім того, Берчетт та ін. [54] 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 незеленими частинами рослин і мікроорганізмами в горщиках. Тому для кімнатних рослин потрібна підвищена інтенсивність світла зі зменшеною кількістю мікроорганізмів у ґрунтовій суміші.

Але, як показали дослідження за участі автора [55], 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.

При вивченні впливу фітодизайну на мікроклімат приміщень та людину (когнітивні здібності, психоемоційний стан), індійські вчені прийшли до висновку, що група людей, яка знаходилася у приміщенні з рослинами, відчувала себе прохолодніше (0,4 балів за семибальною шкалою температурних відчуттів ASHRAE) і менш сухою, ніж група людей у приміщенні без рослин, навіть коли теплові умови та швидкість повітря в обох групах були ідентичні. Крім того зазначалося, що рослини значно покращують психоемоційний стан та візуальний комфорт людей та знижують негативний вплив. Також спостерігаються фізіологічні покращення, наприклад полегшення дихання [56].

Проблемі зменшення впливу негативних факторів на людину всередині приміщення присвячені дослідження українських вчених. Для підвищення безпеки в місцях загального користування багатоповерхових будівель (ліфтові холи, загальні коридори) пропонується реновація внутрішніх приміщень. Такі приміщення, як правило, не мають постійної вентиляції, фітодизайну.

Для вирішення цієї проблеми, дослідники розробили асортимент фітонцидних рослин з 11 видів: *Aspidistra elatior*, *Aglaonema "Silver queen"*,

Aglaonema "Maria", Chlorophytum comosum, Chlorophytum capense, Dracena marginata, Monstera deliciosa, Philodendron scandena. Для нормального росту та розвитку рослин за відсутності природного освітлення запропоновані три варіанти додаткового ефективного підсвічування [57].

Ткаченко Т. та Мілейковський В. [58] вивчали можливості покращення якості повітря у приміщеннях з використанням найбільш природного методу – кімнатних фітонцидних рослин. Використано метод седиментації Р. Коха. Правило В. Л. Омелянського розраховано за загальним життєздатним числом. Фітонцидну активність оцінювали шляхом випробування листових дисків у чашках Петрі з рівномірно засіяними мікробами.

Дослідження в середній школі показали дуже високу загальну життєздатну кількість після досліджень – до 6000 КУО/см³. Випробування листових дисків дозволили ранжувати за фітонцидною активністю кімнатні рослини, що найчастіше використовуються.

Найбільш активними великомірними рослинами є *Citrus limon* та *Ficus benjamina*. З дрібномірних рослин рекомендовані *Azalea* та *Fuchsia*. Найменшу фітонцидну активність мають *Amaryllis* та *Phoenix dactylifera*. Остаточні дослідження повітря у приміщеннях показали можливість зниження загальної чисельності життєздатних мікроорганізмів у приміщеннях середньої школи у 2,5-3,5 рази.

Використання рослинності як інструменту для покращення загального внутрішнього середовища є галуззю, яка потребує додаткових досліджень.

Наприклад, відмічається ефективність використання не окремих рослин, а зелених конструкцій: зелених стін. Зелені стіни не тільки очищують повітря від забруднювачів, а й є системами щодо регулювання кондиціонування повітря та вентиляції, що сприяє підвищенню енергоефективності [59].

Для енергоефективного забезпечення параметрів мікроклімату в приміщенні необхідно подавати кількість зовнішнього повітря за потребою в даний момент часу, тобто використовувати систему вентиляції та кондиціонування повітря зі змінною витратою.

Розроблено алгоритм управління VAV-системою вентиляції та кондиціонування повітря. Він враховує динаміку зміни забрудненості (CO_2), температури та вологості повітря в приміщенні та інтегрованою живою стіною (фітокондиціонування, біофільтрація).

Щоб побудувати оптимальну систему, проведено аналіз рослин, щоб врахувати деякі вимоги, такі як умови освітлення, кліматичні умови та поживне середовище [60]. У табл. 1.1 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.

Крім того, необхідно повністю прояснити здатність кімнатних рослин до видалення, щоб встановити та зрозуміти фактичний механізм видалення забруднюючих речовин. Більш того, здатність видаляти забруднюючі речовини в повітрі має бути кількісно оцінена на основі дослідницьких випробувань та реальних змодельованих механізмів.

Особливо в країнах з низьким та середнім рівнем доходу існує низка проблем та стресів у галузі охорони здоров'я. Перехід до озеленення приміщень та адаптація біофільного середовища можуть допомогти знизити навантаження на сектор охорони здоров'я, сприяти кращому громадському здоров'ю та гігієні праці.

1.6. Проблеми сучасної нормативної бази в Україні

Для боротьби з факторами СХБ необхідно класифікувати приміщення. До 16.05.2023 р. існував Державний класифікатор будівель та споруд ДК 018-2000 [74]. У 2023 р. був прийнятий новий Класифікатор будівель і споруд [75], де йдеться про класифікацію саме будівель, а не приміщень. Таким чином, класифікувати приміщення можна лише за наявними державними будівельними нормами, які стосуються відповідних будівель.

Таблиця 1.1

Список кімнатних рослин, що беруть участь у видаленні забруднюючих речовин із повітря

Забруднювач	Вид рослин	Залучена частина	Ступінь вилучення	Джерело
Формальдегід	<i>Chrysanthemum morifolium</i>	коріння	81-96 %	[61]
	<i>Chlorophytum comosum</i>		11 %	[62]
	<i>Ficus benjamina</i>		80 %	[63]
Бензол	<i>Chlorophytum comosum</i>	листя	95% за 7 днів	[64]
		пагони	88%	[65]
	<i>Asparagus densiflorus</i>	листя	2,61-5,54 мг/(год·м ³ ·м ²)	[66]
	<i>Dracaena sanderiana</i>	Віск та продихи	66-70 %/день	[67]
Кетони	<i>Epipremnum aureum</i>	листя	50-65%	[68]
Толуол	<i>Asparagus densifloru</i>	листя	5,81-9,63 мг/(м ³ м ² год)	[66]
	<i>Draceana</i>	листя	2,2-549 мг/(м ³ день)	[69]
	<i>Sensevieria Hyacinthoides</i>	віск	85%	[70]
	<i>Zamioculcas zamiifolia</i>	кутикула та продихи	95%	[69, 71]
Ксілен	<i>Draceana</i>	листя	90% за 5 днів	[69]
	<i>Zamioculcas zamiifolia</i>	листя	95% за 72 год.	[72]
Трихлоретилен	<i>Hemigraphis alternata, Hedera</i>	листя	5,79-11,8 мг/(м ³ ·м ² ·год)	[66]
	<i>Ficus elastica</i>	листя	9,8% за год.	[73]
Етилбензол	<i>Zamioculcas zamiifolia</i>	кутикула та продихи	95%	[71]
	<i>Sensevieria hyacinthoides</i>	віск	90%	[72]

Так у ДБН В2.2-3:2018 «Заклади освіти» [76] у розділі «Опалення та вентиляція» є класифікація приміщень, зокрема вестибюлі та рекреації. У ДБН В.2.2-25:2009 [77] є класифікація приміщень для відвідувачів, якими є вестибюль, обідня зала, банкетна зала тощо.

У ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. [78] є адміністративні будинки і приміщення (приміщення управління і конструкторських бюро, приміщення інформаційно-технічного призначення, кабінети охорони праці, навчальні приміщення),

побутові будинки і приміщення (санітарно-побутові, приміщення охорони здоров'я, приміщення підприємств харчування). По суті, ця класифікація також не відображає всіх різновидів існуючих офісних приміщень і потребує суттєвого редагування.

Таким чином, можна зробити висновок, що на сьогодні не існує класифікації приміщень з огляду на гігієну праці. Тобто, потрібно ініціювати внесення змін або створення відповідної класифікації, яка значно полегшить оцінювання безпеки перебування людей у приміщенні.

Згідно з Державними санітарними нормами та правилами «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [79] 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.

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

1) 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;

2) 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);

3) біологічні фактори:

- мікроорганізми - продуценти, живі клітини та спори мікроорганізмів, що містяться в бактеріальних препаратах, патогенні мікроорганізми;

4) 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 остається питання щодо класифікації деяких забруднювачів, наприклад, тютюнового диму та антропогенних, які є виділеннями від людини. Таким чином можна зазначити, що сучасна гігієнічна класифікація та класифікація діючих шкідливих факторів, яка наведена у неї, потребує розширення.

1.7. Висновки до розділу 1.

1. Проведений аналіз літературних джерел показав великий попит на дослідження забруднення повітря у закритому приміщенні. Наряду з технічними методами очищення повітря інтерес має природний механізм зі застосуванням фітодизайну для покращення здоров'я людини та гігієни праці. При цьому механізм газообміну у рослин вивчено недостатньо.
2. Недостатньо висвітлено вивчення біологічних типів забруднювачів повітря (мікрофлора) та хімічних домішок, як шкідливих (леткі органічні сполуки тощо) так і корисних (леткі фітоорганічні речовини – фітонциди, запашні та інші біологічно активні речовини).
3. Перспективним напрямком є вивчення синергічних впливів «зелених конструкцій» на поліпшення якості повітря приміщень та здоров'я людей.
4. На сьогодні не існує класифікації приміщень з огляду на гігієну праці. Тобто, потрібно ініціювати внесення змін або створення відповідної класифікації, яка значно полегшить оцінювання безпеки перебування людей у приміщенні.
5. Сучасна гігієнічна класифікація та класифікація впливових шкідливих факторів, яка наведена у неї, потребує розширення. Поряд з тим, немає чіткої класифікації забруднювачів повітря, а також універсального асортименту рослин для введення в інтер'єри. Недостатня активність досліджень з цієї тематики в Україні.
6. Таким чином, постала необхідність вирішення зазначених питань. Більшість з них буде розглянуто в наступних розділах цієї роботи.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ФАКТОРІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ПОЯВУ ТА ПЕРЕБІГ «СИНДРОМУ ХВОРОЇ БУДІВЛІ»

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

Як вже зазначалося у розділі 1, класифікація небезпечних факторів, які визначалися для «синдрому хворої будівлі», пройшла певний шлях еволюції. На початку 70-х років, коли тільки формувалася система понять, для «синдрому хворої будівлі» аналізувалася велика кількість різних факторів та параметрів виробничого середовища: температура повітря та поверхонь, відносна вологість повітря, параметри вентиляції, шуму, вібрації, 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 тощо. 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 [79].

Проблема привернула широку увагу, це призвело до її ретельного вивчення. З часом до досліджень підключилися 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, інваліди 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 новий 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, перегрівають 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 4 критерії забруднення, а саме: твердими частинками, біологічне забруднення (як-от: пилок, грибки, пліснява, пилові кліщі тощо), фізичне забруднення, викликане такими агентами, як температура, світло і електромагнітні поля, і хімічне забруднення, яке включає леткі органічні сполуки на додаток до радону [77].

Саманех Бандехалі та ін. [59] поділяють забруднювачі повітря внутрі 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 [82] наведена у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Класифікація летких органічних сполук ВООЗ [82]

Категорія	Абревіатура	Діапазон температур кипіння, °C
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

Але ця класифікація стосується тільки одного типу забруднювачів, та не може бути вичерпною.

Пандемія COVID-19 вивела проблему забруднення внутрішнього середовища приміщень на глобальний міжнародний рівень.

Незважаючи на це, на сьогодні немає чітко удосконаленої класифікації негативних факторів «синдрому хворої будівлі». Наприклад, на сайті комісії по безпеці споживчих товарів США є «Керівництво з якості повітря в приміщенні» [83] та класифікація основних забруднювачів повітря в приміщенні. В неї виділяються наступні 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: вироби 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 вироби 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, як вже зазначалося у розділі 1, на сьогодні взагалі не існує чіткої класифікації негативних факторів СХБ. Кліматичні фактори не виділені окремо, чітко не зазначені забруднювальні фактори зовнішнього середовища, хоча скрізь підкреслюється їхня значущість. Деякі негативні фактори внутрішнього середовища, як-от антропотоксини, тютюновий дим чітко не долучені до однієї групи факторів, а згадуються у декількох групах, що ускладнює їх визначення.

В наявній державній класифікації [84], розглянутій в розділі 1, кліматичні фактори (температура, відносна вологість повітря, освітленість, швидкість руху повітря) вважаються фізичними. Також незрозумілим лишається питання класифікації окремих забруднювачів, зокрема тютюнового диму та антропотоксинів, які є виділеннями від людини. Таким чином можна зазначити, що сучасна гігієнічна класифікація та класифікація впливових шкідливих факторів у ній потребують розширення й удосконалення.

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

Виходячи з цього, пропонується створення [85] класифікації небезпечних факторів СХБ (рис. 2.1). У запропонованій класифікації пропонується поділяти фактори впливу на зовнішні та внутрішні. До факторів зовнішнього 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 відеоекологічні фактори (агресивна забудова, депресивні ландшафти, нестача озеленення, світлове забруднення).

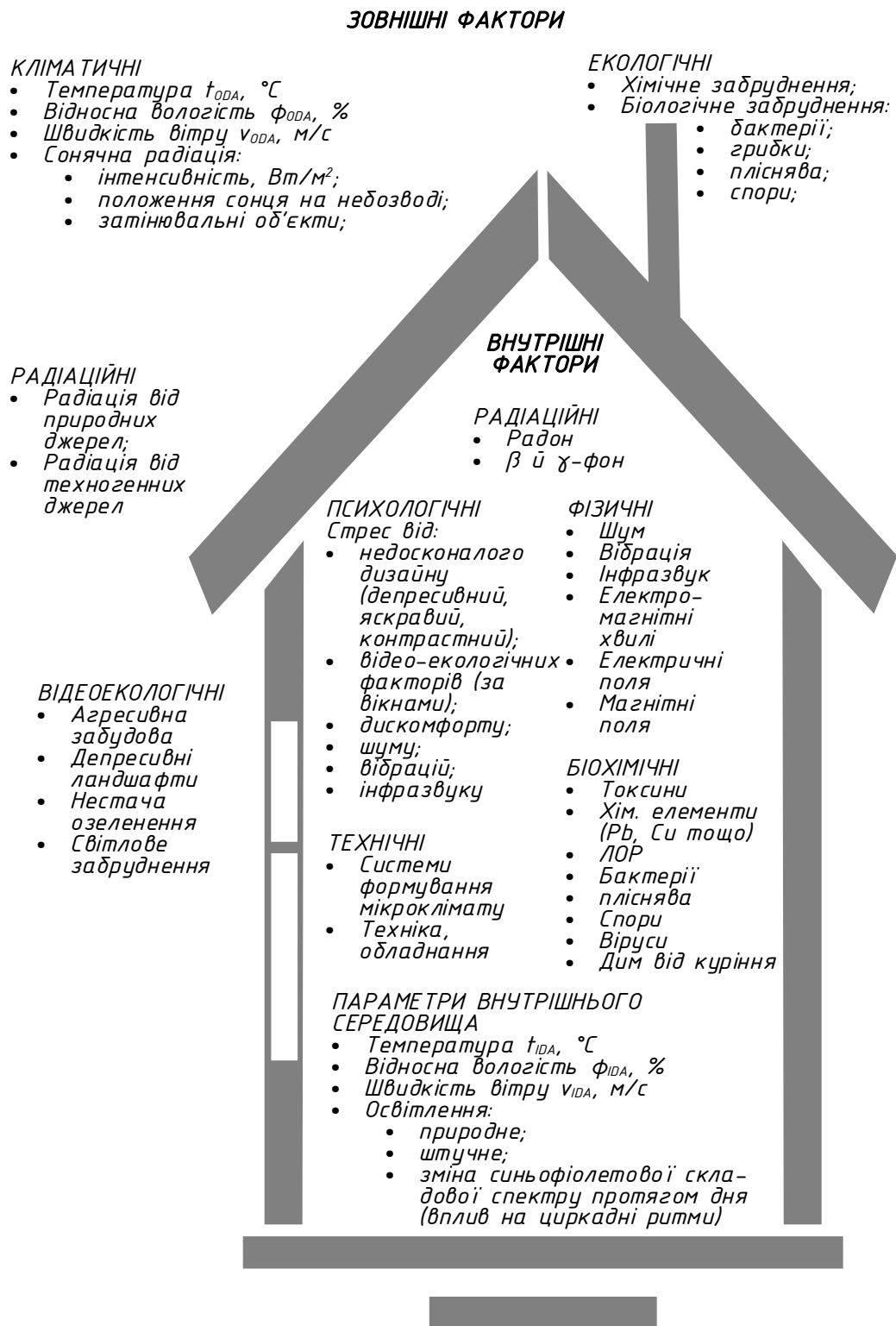


Рис. 2.1. Класифікація небезпечних факторів СХБ

Відеоекологія — новий науковий напрямок, що розвиває аспекти візуального сприйняття навколишнього середовища. Даний напрямок з'явився завдяки доктору біологічних наук, автору теорії автоматії саккад (1987р.)

Василію Філіну. Процеси урбанізації, раціоналізації та індустріалізації призвели до появи штучного агресивного візуального середовища з гомогенними полями: темно-сірий колір, прямі лінії та кути, міські будівлі в основному статичні та мають велику кількість площин, що негативно впливає на зорові процеси та призводить до психо-емоційного розладу людини.

В основі відеоекології полягає теорія саккад. Саккадою (в перекл. з франц. «сильний поштовх, ривок») називається швидкий рух ока, який здійснюється мимовільно, тобто в автоматичному режимі. Особливу неприємність для людини створюють гомогенні та «агресивні» поля.

При спогляданні гомогенних агресивних полів виникають саккади 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 [86]. Тому сьогодні відеоекологічний аспект є дуже важливим для здоров'я людини.

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

Фактори внутрішнього середовища ми 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 відеоекологічних факторів, дискомфорту, шуму, вібрації, інфразвуку) та біохімічні (токсини, хімічні елементи, ЛОР, бактерії, пліснява, спори, віруси, дим від куріння).

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 [87]. Відхилення від цих меж може мати негативні наслідки:

- тривале перебування в умовах підвищеної внутрішньої температури 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 [88];
- низька внутрішня температура призводить до зниження імунітету та 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 [89];
- 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 [90].

- 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 [91];
- 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 [92];
- 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 [93].

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 [93]. 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 [91].

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 [94].

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 благополуччя 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[95]. 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 [96].

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 [97]. 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 [98]. 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 [99].

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 та психологічних порушень у людини, зокрема погіршення когнітивних функцій, підвищення рівня стресу, порушення сну та зростання ризику серцево-судинних захворювань [100]. У виробничих умовах шум є доведеним фактором ризику травматизму через зниження уваги та ускладнення комунікації, що може призводити до нещасних випадків [101]. 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 [102].

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, 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 [103, 104].

В аспекті впливу на людину, вібрація є доведеним фактором ризику для здоров'я та добробуту [105]. 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 [106]. 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 [107]. 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, 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 [107]. 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 [109]. 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 (ЕМХ) 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 ЕМХ на цивільну безпеку є їхній потенційний вплив на здоров'я людини та функціонування електронних систем. Щодо здоров'я, іонізуюче випромінювання (високочастотні ЕМХ, такі як рентгенівське та гамма-випромінювання) є беззаперечно небезпечним, оскільки може пошкоджувати ДНК та спричиняти рак [110]. Проте вплив неіонізуючого випромінювання (низькочастотні ЕМХ 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 ЕМХ у межах встановлених норм та серйозними захворюваннями, існують побоювання щодо можливих довгострокових ефектів, особливо у дітей та осіб з підвищеною чутливістю [111].

Іншим важливим аспектом є вплив ЕМХ на функціонування електронних систем. Електромагнітні імпульси (ЕМІ), 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 [112]. 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 ЕМІ 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 (ЕСР). Хоча більшість ЕСР є безболісними для людини, 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 [113,114]. 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 мінімізації 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 електрощитів або електроприладів) викликає певне занепокоєння щодо можливих довгострокових наслідків для здоров'я, хоча наукові докази прямого шкідливого впливу наразі є недостатніми та суперечливими [115]. 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 і 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 [116]. Проте, окремі дослідження вказують на можливий вплив на біологічні процеси, такі як вироблення мелатоніну та функція нервової системи, особливо при тривалому та інтенсивному впливі [117].

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 [118]. 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 [119, 120].

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 та 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 оптимізації температури використовуються системи опалення та кондиціонування повітря.

Для покращення відносної вологості застосовуються зволожувачі або осушувачі; для освітленості – світлозахисні засоби та внутрішнє енергоефективне освітлення. Для боротьби з біохімічними факторами використовуються побутові фільтри. До ефективних природних біотехнічних фільтрів відносяться рослини.

Дії рослин спрямовані на покращення не одного фактору внутрішнього середовища, а на весь комплекс факторів (рис. 2.2). Рослини покращують психо-емоційний комфорт, підвищують вологість повітря, поглинають шкідливі речовини та секвеструють CO₂, 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.

Однак, механізм впливу фітонцидних властивостей рослин на патогенну мікрофлору повітря приміщень ще недостатньо вивчений, відсутній асортимент перспективних фітонцидних рослин для різних типів приміщень.

Отже, вивченню цих питань присвячений наступний розділ.

2.3. Висновки до розділу 2.

1. 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).



Рис. 2.2. Властивості природних біотехнічних фільтрів у приміщенні

2. 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 відеоекологічних факторів, дискомфорту, шуму, вібрації, інфразвуку) та біохімічні (токсини, хімічні елементи, ЛОР, бактерії, пліснява, спори, віруси, дим від куріння).

3. До ефективних природних біотехнічних фільтрів відносяться рослини, дії яких спрямовані на покращення не одного фактору внутрішнього середовища, а на весь комплекс факторів.
4. 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.

РОЗДІЛ 3. БІОХІМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИМІЩЕНЬ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Однією з проблем внутрішнього середовища приміщень є наявність паталогічної мікрофлори. Серйозну небезпеку становлять грибки та пліснява, наприклад *Aspergillus* (*A. niger*, *A. fumigatus*), *Penicillium*. Грибки виділяють сильні канцерогени – мікотоксини. Також при зниженому імунітеті дихальні шляхи та шкіряні покриви можуть уражатися бактеріями, серед яких особливо небезпечний *Staphylococcus aureus*. Тому особливо важливим завданням є підтримання допустимого мікробного числа.

3.1. Вплив різних факторів на мікробне число в повітрі будівель

Дослідження мікроорганізмів у повітрі приміщень проводяться постійно, з певною активізацією, пов'язаною з COVID-19. У роботі [121] порівняно вимірний та відчутний індекс якості внутрішнього повітря у школах. Кількість мікроорганізмів більша в школах, де учні відчують проблеми з якістю повітря.

У роботі [122] досліджено мікробне забруднення залежно від умов у приміщеннях шкіл. У дослідженні брали участь дві середні та одна початкова школа, а також дитячий садок. Дитячий садок є найбільш забрудненим. Чоловічі туалети мають більше мікробів. Мікробіом відрізняється залежно від рівня школи та статі.

У роботі [123] досліджено мікробіом у гуртожитку курсантів ВПС США. Спільне проживання спричинило схожість мікробіому шкіри. Існує кореляція між мікробіомами на поверхнях і курсантами, які з ними взаємодіють. Десквамація є сильнішою причиною поширення бактерій, ніж прямий контакт.

Mekdes Mekonen Belay та ін. [124] вивчали мікробне забруднення в лікарні на південному заході Ефіопії. Палати мали проміжний рівень мікробного числа, який можна покращити для кращого лікування пацієнтів.

Gebre Kayta та ін. [125] досліджували інші палати лікарні Arba Minch General Hospital на півдні Ефіопії. Автори використовували метод пасивної седиментації та розраховували мікробне число за формулою з [126], але не посилаючись на те, що ця формула належить українському вченому-мікробіологу Василю Омелянському, КУО/м³:

$$N = \frac{5 \cdot 10^4 \cdot a}{b \cdot t}, \quad (3.1)$$

де a – кількість колоній, що осіли в чашці Петрі; b – площа поверхні чашки Петрі; t - час експонування, хв. Нюїуі Тап та ін. [127] показали, що хірургічні процедури значно підвищують мікробне число в операційних з 0-7 до 48-81 КУО.

Дуже специфічне дослідження провели Нюї Гуо та ін. [128]. Автори виявили, що одним із джерел мікробного забруднення в клініках є тонометри. Коли повітря випускається, воно містить значну кількість мікробів. Автори пропонують ретельну дезінфекцію тонометрів 75 % спиртом.

Нобуюкі Танака [129] досліджував мікроби в повітрі житлового будинку в Токіо, реєструючи поведінку мешканців. Мікробне число є більшим влітку порівняно з зимою. Воно зростає під час фізичної активності і швидко зменшується через 1/3-1/2 години після її завершення.

Відсутність кореляції мікробного числа з РМ_{2,5} свідчить про поширення мікробів на більших частинках. Осадження частинок відбувається за рахунок гравітації. 1/6-1/3 години вентиляції зменшує мікробне число, що свідчить про важливість роботи вентиляції.

Інша стратегія санації повітря - це впровадження кімнатних рослин [130] на зелених стінах, озеленення підлоги або інші форми озеленення в приміщенні. Цю можливість відкрив Борис Токін у 1940-х роках. Він створює вчення про фітонциди.

Після цього вчення профанувалося, особливо в нерецензованих публікаціях на кшталт "фітонциди можуть знижувати кров'яний тиск". Відбулася підміна поняття фітонцидів на леткі фітоорганічні сполуки. Таким чином, термін "фітонциди" зараз розглядається як застарілий.

Якщо розглянути асортимент фітонцидних рослин, то багато пахучих рослин не є фітонцидними. Таким чином, існує щонайменше два різних класи летких фітоорганічних сполук - пахучі та фітонциди. Тому ці терміни не можна змішувати. Оскільки ми не знаємо складу фітонцидів, їхню активність слід вимірювати опосередковано.

У Донбаській національній академії будівництва і архітектури (ДОННАБА) 2007-2013 ранжування рослин за фітонцидними властивостями було виконано Тетяною Ткаченко з використанням методу листкових дисків. Результати не були оброблені й опублікований відразу через початок війни. Метод використовує попередньо рівномірно засіяні чашки Петрі.

З досліджуваних рослин над осадженим шаром організмів слід покласти диски діаметром 1 см. Після цього чашки витримують у термостаті протягом 3 днів.

Фітонциди спричиняють появу зон лізису (рис. 3.1) завширшки δ , мм. Результати були оброблені та опубліковані (рис. 3.2) лише частково у 2020 році [131].

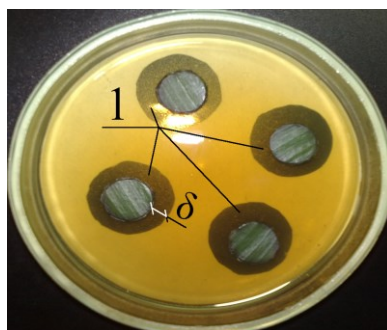


Рис. 3.1. Зони лізису: 1 – лізис

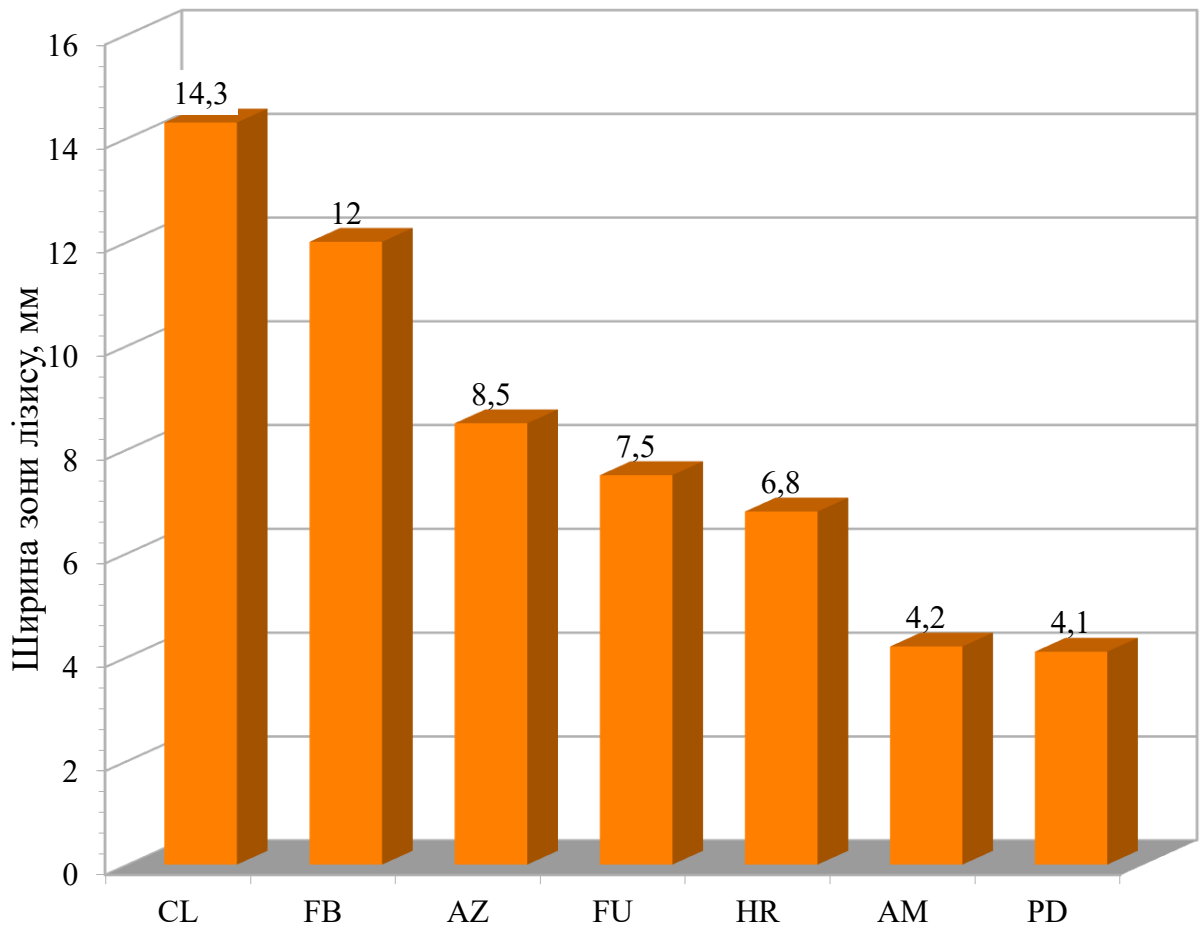


Рис. 3.2. Рейтинг рослин [131]: CL - *Citrus limon*; FB - *Ficus benjamina*; AZ – *Azalea*; FU – *Fuchsia*; HR – *Hibiscus rosa-sinensis*; AM – *Amaryllis*; PD – *Phoenix dactylifera*

3.2. 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. 3.3-3.5), 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.

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



Рис. 3.3. Зимовий сад Київського національного університету будівництва і архітектури, вид на північний схід

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

Однією з проблем зимового саду є *Diaspididae*, яка в тій чи іншій мірі вразила всі екзотичні рослини. Цей шкідник покриває себе восковим щитком, що захищає від усіх спреїв.



Рис. 3.4. Зимовий сад Київського національного університету
будівництва і архітектури, вид на північний захід

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.

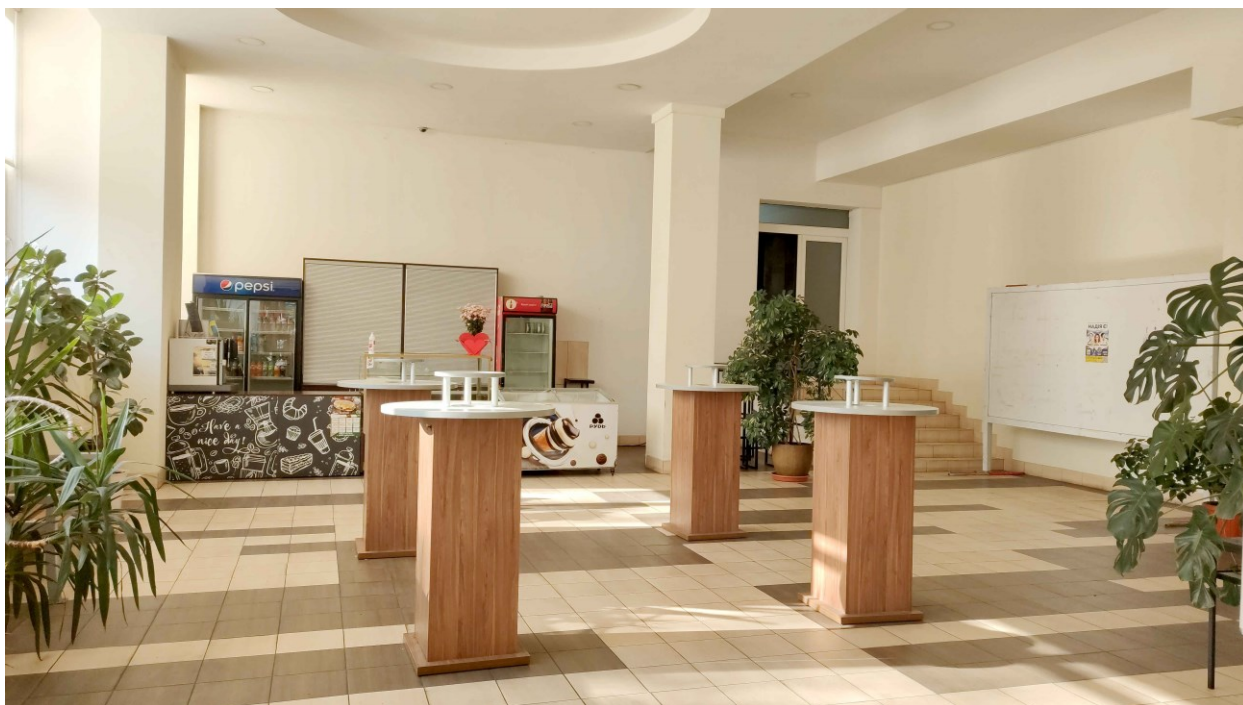


Рис. 3.5. Зимовий сад Київського національного університету будівництва і архітектури: а – вид на північний схід; б – вид на північний захід; в – вид на південний захід

Досліджено фітонцидну ефективність рослин зимового саду. Для цього в лабораторії екобіології КНУБА чашки Петрі заповнили живильним середовищем Агар та автоклавували. 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. 3.6-3.9). Інші чотири чашки були встановлені посередині ділянки, вільної від рослин.

Посуд відкривали на $t = 10$ хв, а потім закривали. Після цього їх помічали та ставили в термостат в лабораторії при 37°C на 18 год і 24 год при кімнатній температурі. Наприкінці підраховували кількість колоній. Вона була усереднена за кожною групою з чотирьох чашок, розташованих на однаковій відстані навколо однієї і тієї ж рослини і на неозелененій ділянці.

Як видно з рис. 3.10, мікробне число на ділянці, вільній від рослин, є значним, але не критичним. Це можна пояснити наявністю кафетерію та прийомом їжі.

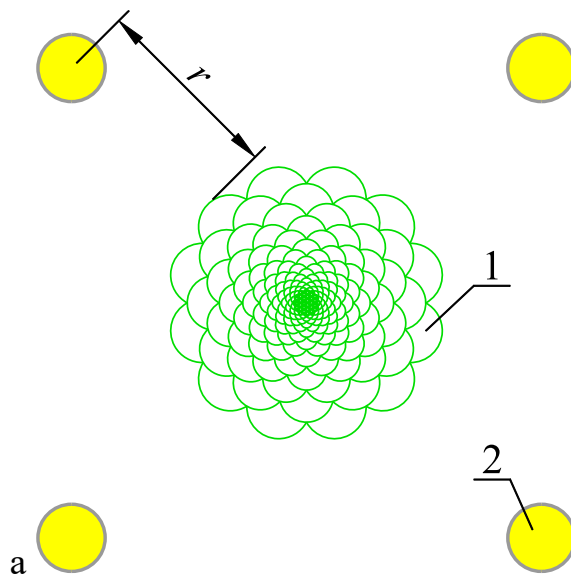


Рис. 3.6. Схема розміщення чашок Петрі



Рис. 3.7. Розміщення чашок Петрі навколо *Ficus benjamina* L.

Якщо дослідження провести пізніше, результат буде більш значим через несприятливі погодні умови з більшою кількістю респіраторних інфекцій.



Рис. 3.8. Розміщення чашок Петрі навколо *Ficus elastica* L.

Але 08 жовтня 2024 року (Всесвітній день екологічного маркування) у зимовому саду заснували дуже важливу виставку про екологічне маркування, заблокувавши необхідний доступ до рослин [132].

Кількість мікробів навколо рослин значно менша, ніж на ділянці без рослин (рис. 3.10). Але це залежить від фітонцидної активності рослин. Отримані результати узгоджуються з результатами, отриманими в ДОННАБА, які після повного оброблення автором представлені на рис. 3.11.

Всі рослини в зимовому саду є фітонцидними. Таким чином, рослинний асортимент можна вважати вдалим.



Рис. 3.9. Розміщення чашок Петрі навколо *Hibiscus rosa sinensis*

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.

Як показано в [133], нам потрібно 310 рослин, щоб повністю покрити площу фітонцидами, що є надмірною кількістю. Пріоритетом має бути покриття зон, де люди проводять більше 15 хвилин, 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 прийому їжі.

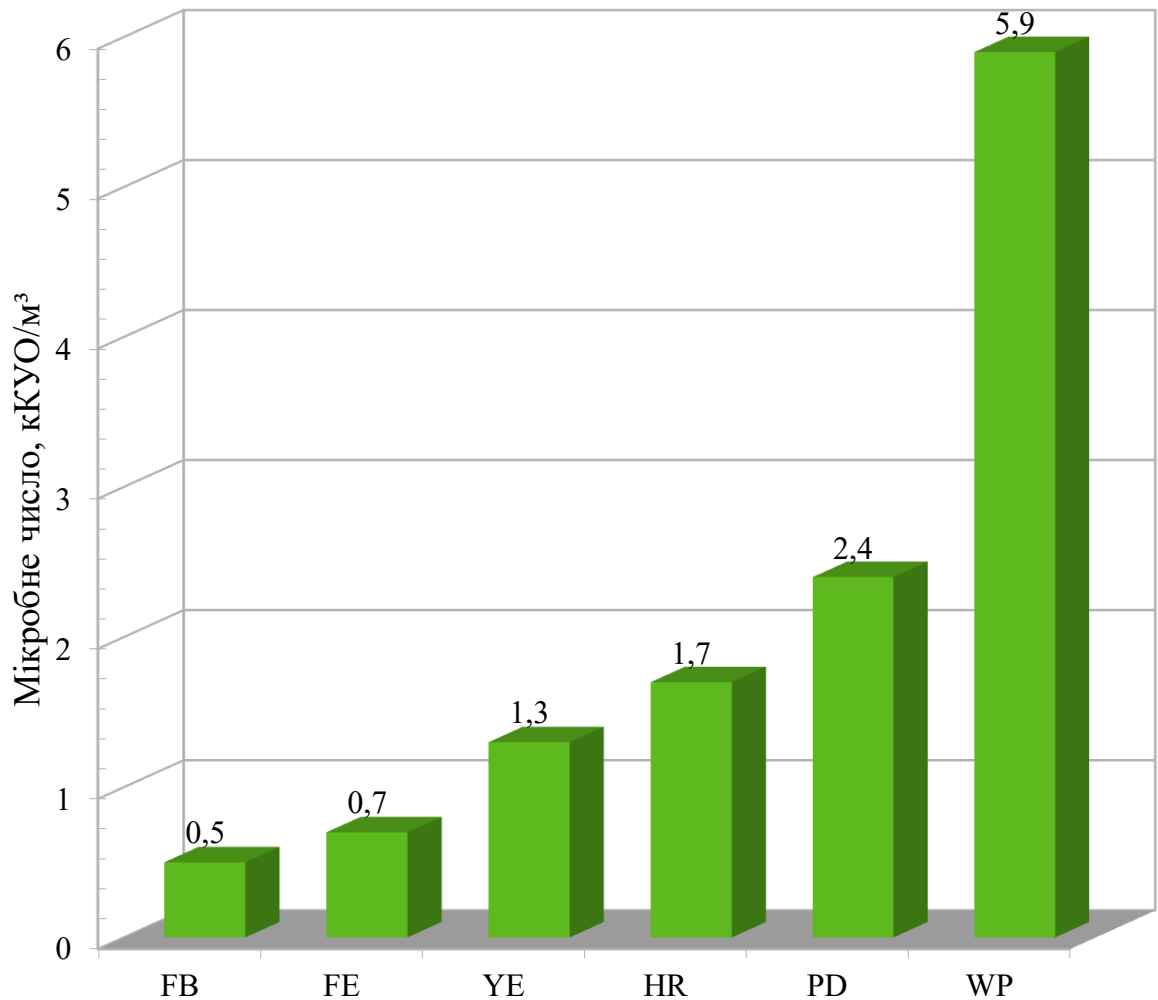


Рис. 3.10. Мікробне число навколо рослин: WP - референтна ділянка без рослин; FB - *Ficus benjamina* ; FE - *Ficus elastica*; YE - *Yucca elephantipes*; HR - *Hibiscus rosa-sinensis*; PD - *Phoenix dactylifera*

Одним з перспективних місць для озеленення є стіни, які можна використовувати для витких рослин, таких як фітонцидний рід *Scindapsus*. Іншим варіантом є формування внутрішньої зеленої стіни з використанням різних видів рослин. Прикладом такої стіни є ресторан «Oxota na Ovets».

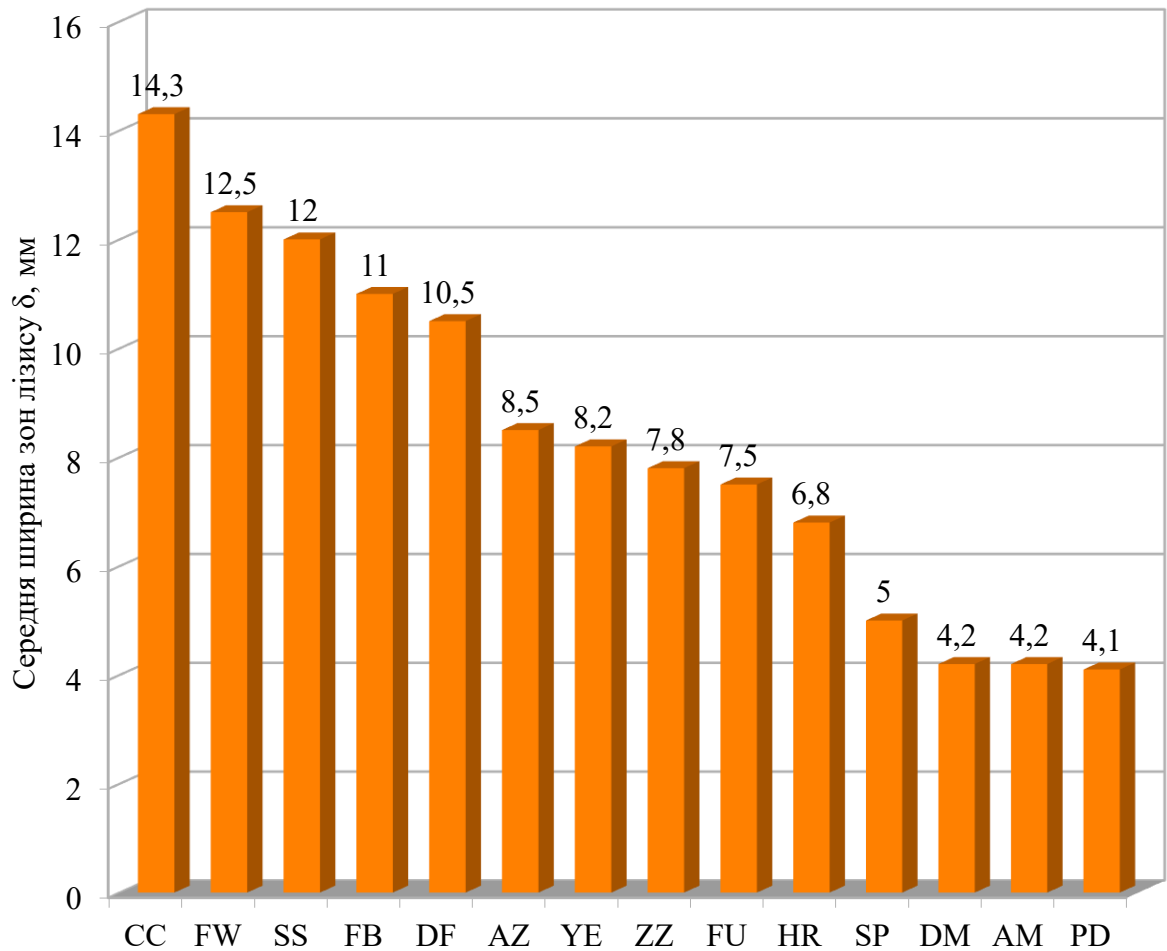


Рис. 3.11. Рейтинг рослин: CC - *Chlorophytum comosum*; FW - *Ficus benjamina* Wiandi; SS - *Sansevieria* ; FB - *Ficus benjamina* ; DF - *Dracaena Fragrans*; AZ – *Azalea* ; YE - *Yucca elephantipes* ; ZZ - *Zamioculcas zamiifolia* ; FU - *Fuchsia*; HR - *Hibiscus rosa-sinensis* ; SP - *Spathiphyllum* ; DM - *Dracaena Marginata* Lam; AM - *Amaryllis*; PD – *Phoenix Dactylifera*

3.3. Дослідження впливу зеленої стіни на внутрішнє повітряне середовище ресторану

Поєднання рослин з будівельними конструкціями (зелені конструкції) призводить до появи низки додаткових позитивних ефектів, зокрема зниження енергопотреби та пом'якшення ефекту міського теплового острова завдяки додатковій теплоізоляції та охолоджувальному ефекту через випарне

охолодження, спричинене евапотранспірацією; підвищення довговічності конструкцій; підтримання біорізноманіття; створення естетичного середовища, максимально близького до природного, яке забезпечує психічне здоров'я, заспокоєння, екорегуляцію та пасивну реабілітацію; заохочення пасивної екологічної освіти [134].

Впровадження великої кількості рослин в інтер'єр дозволяє досягти максимального ефекту, але пов'язано зі складнощами щодо освітлення. Якщо приміщення має достатню площу застління, обернену не на північ, північний захід або північний схід, то проблема легко вирішується розміщенням рослин в зоні значної освітленості.

У разі відсутності подібного застління задача вимагає нетривіального розв'язання. Адже енергоефективне фітоосвітлення має рожевий спектр, який викликає подразнення нервової системи людини та створює дискомфорт. Наприклад, нічне фітоосвітлення призводить до виділення рослинами кисню вночі та диханню рослин удень, що може при значній біомасі погіршити стан внутрішнього повітря.

Одним з практичних рішень є використання акцентного освітлення на зелену стіну, яке після відбиття розсіюється приміщенням. У такому разі можна досягти освітленості в зоні рослин порядку 1000-2500 лк. Цього, звичайно, недостатньо для суттєвого оксигенування повітря, але дозволяє мінімізувати вторинне забруднення повітря вуглекислим газом до несуттєвого значення. Збільшення освітленості до порядку 7000 лк може створити дискомфорт через значний контраст між зеленою стіною та іншими поверхнями приміщення.

Такий принцип закладено в дизайні київського ресторану «Oxota na Ovets» (рис. 3.12) на Подолі в м. Києві. Зелена стіна в торці освітлена згори метал-галогенними лампами з розрахунку порядку 2000 лк згори і 1000 лк знизу. Обідня зала додатково освітлена лише декоративними лампами, що створює в ній слабке освітлення.



Рис. 3.12. Інтер'єр ресторану «Охота на Овєтс»

Зелена стіна має такі види рослин:

- *Monstera deliciosa* Liebm;
- *Nephrolepis exaltata* (L.) Schott;
- *Spathiphyllum Diamond* Variegata;
- *Philodendron Scandens* Brazil;

Вимірювання вмісту вуглекислого газу здійснено газоаналізатором D91, похибка каналу вуглекислого газу якого не перевищує $\Delta_{cuc} = 40$ ppm.

Оброблення результатів здійснено автоматизовано системою електронних таблиць LibreOffice Calc за стандартним алгоритмом. У ході проведення вимірювань значення x фіксують кілька разів. Усі отримані результати заносяться до електронної таблиці. На ці дані за потреби одразу накладаються поправки згідно з інформацією, зазначеною в технічній документації. Це дозволяє сформувати сукупність емпіричних значень. Для набору з n результатів $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ математичне сподівання, яке наближено відображає істинне значення, визначається за формулою [135]

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.1)$$

Відхилення конкретного результату вимірювання від середнього значення (математичного сподівання) розраховується як [135]

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}. \quad (3.2)$$

Оцінити дисперсію та середньоквадратичним відхилення можна таким чином [135]

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x^2}{n}. \quad (3.3)$$

$$s = (s^2)^{1/2}. \quad (3.4)$$

Далі здійснюється процедура цензурування — видалення аномальних значень [135]. Для цього обчислюється критерій U , що визначає ступінь відхилення значення з найбільшим відхиленням:

$$U = \frac{\max(|\Delta x|)}{s}. \quad (3.5)$$

Якщо це відхилення перевищує критичне значення, визначене за u -розподілом, то вимір може бути визнано грубою помилкою, якщо можна виявити її причини.

Випадкову похибку обчислюють за формулою відповідно до потрібної надійності α :

$$\Delta_{\text{вип}} = \frac{s \cdot t_{n-1, \frac{1-\alpha}{2}}}{\sqrt{n-1}}. \tag{3.6}$$

Загальна похибка з урахуванням систематичної компоненти $\Delta_{\text{сис}}$:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\left(\Delta_{\text{сис}} \cdot \frac{t_{\infty, \frac{1-\alpha}{2}}}{3}\right)^2 + \Delta_{\text{вип}}^2}. \tag{3.7}$$

У зовнішньому повітрі на момент досліджень виміряне значення вмісту становило 410 ppm (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Результати вимірювань мольної частки вуглекислого газу в повітрі приміщення та ззовні

Точка вимірювання	Рисунок	Мольна частка CO ₂ , ppm	Абсолютна похибка, ppm	Відносна похибка, %
Зовнішнє повітря		409,75	26,68	6,51
Внутрішнє повітря		622,03	26,68	4,29

Таблиця 3.2

Результати вимірювань мольної частки вуглекислого газу між рослинами

Точка вимірювання	Рисунок	Мольна частка CO_2 , ppm	Абсолютна похибка, ppm	Відносна похибка, %
Під зеленою стіною		738,93	26,68	3,61
Серед рослин:				
Точка 1		810,29	26,68	3,29
Точка 2		744,75	26,68	3,58

Як видно з табл. 3.1 і 3.2, рослинам не вистачає даної освітленості для окиснення повітря, а дихання переважає над фотосинтезом. Це відповідає даним експериментальних досліджень [136], проведених за участі автора в лабораторії тепломасообміну в зелених конструкціях (рис. 3.13) для *Chlorophytum comosum*.

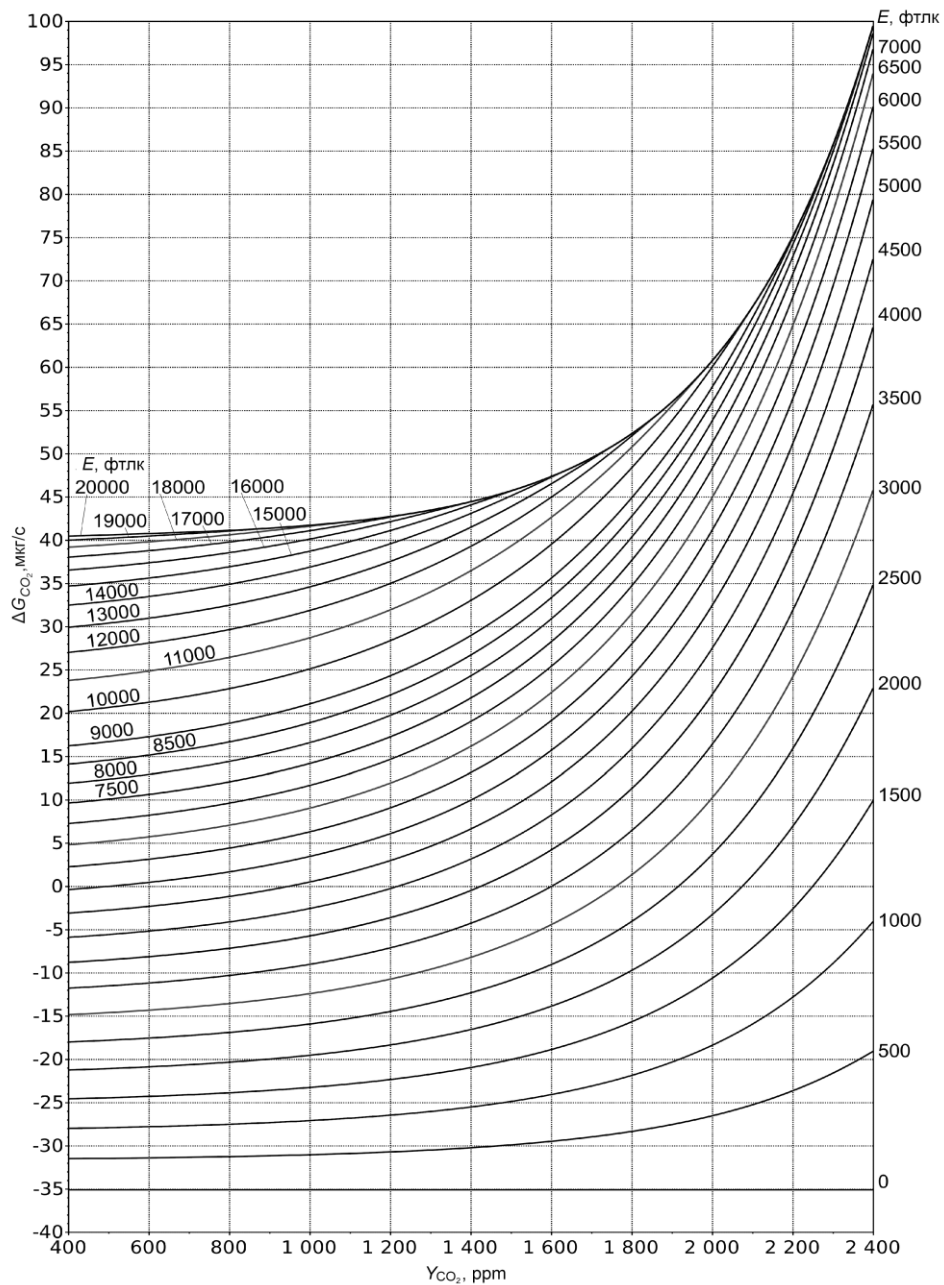


Рис. 3.13. Номограма [136] залежності поглинання вуглекислого газу ΔG_{CO_2} , мкг/с від мольної частки вуглекислого газу в повітрі Y_{CO_2} , ppm, та освітленості E , фтлк (відповідає люксу на сонячному спектрі, зважена за кривою ефективності фотосинтезу)

Для балансу між виділенням і поглинанням кисню потрібно не менше ніж 5200...5400 лк освітленості зі спектром, близьким до сонячного. Проте, вивільнення вуглекислого газу не призводить до перевищення допустимої мольної частки в повітрі 1000 ppm.

Результати мікробіологічних досліджень методом пасивної седиментації (рис. 3.14) свідчать, що мікробне число в приміщенні є допустимим і зменшується біля зеленої стіни. В області серед рослин воно значно нижче, а особливо низьке значення спостерігається між рослинами.

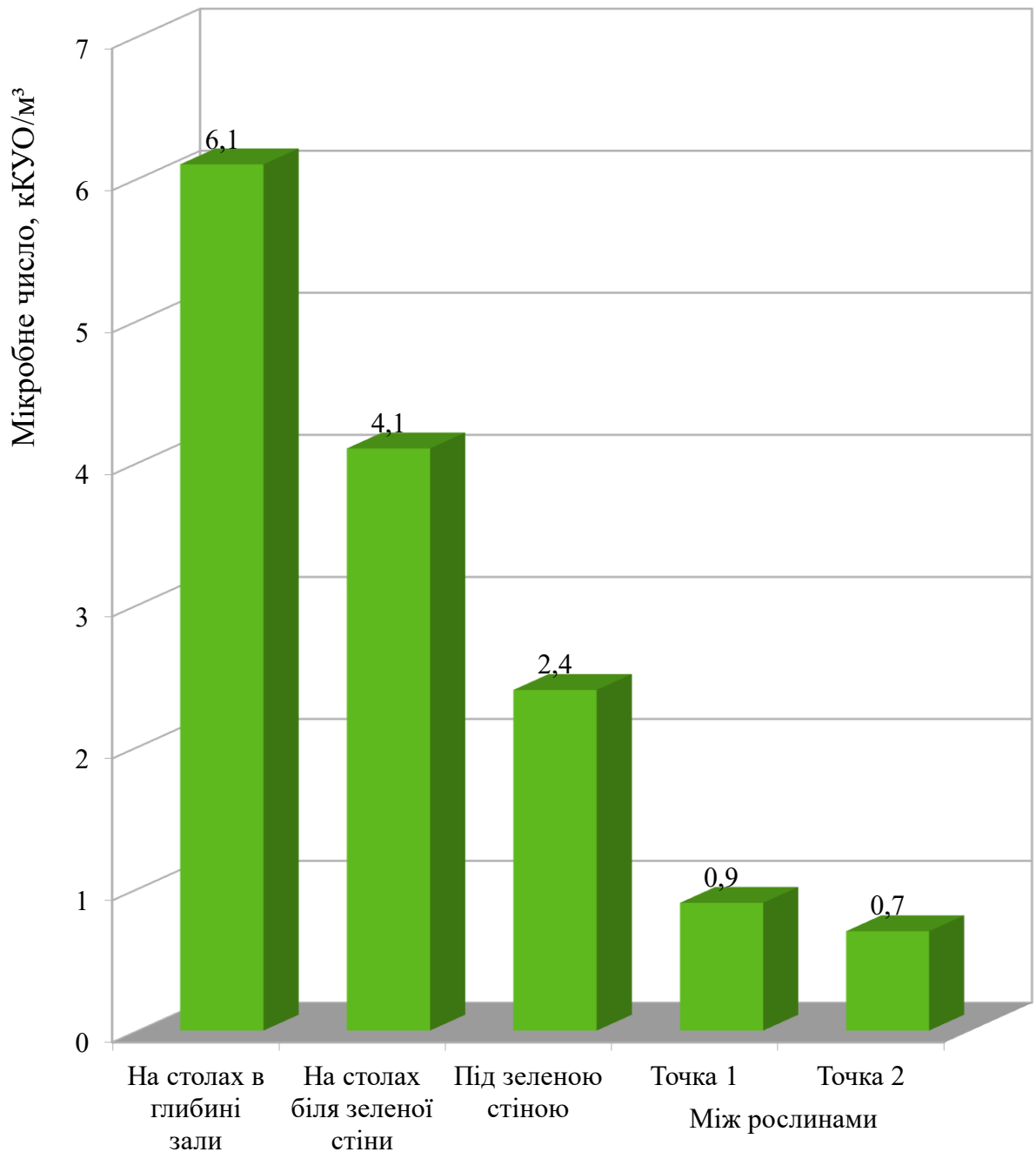


Рис. 3.14. Мікробне число в ресторані

Зазвичай, в обідніх залах мікробне число вище через постійне активне споживання їжі. Однак, велике насичення стіни фітонцидними рослинами сприяє зниженню цього числа. Таким чином, зелені стіни рекомендовано для закладів харчування задля зменшення бактеріального забруднення повітря.

Також перспективним є застосування фітонцидного озеленення в офісних приміщеннях, де мікробне число в повітрі зростає, особливо в офісах відкритого простору зі щільним розміщенням робочих місць.

3.4. Дослідження впливу внутрішнього озеленення на внутрішнє повітряне середовище офісної будівлі

Дослідження офісної будівлі виконано у коворкінгах у Печерському районі м. Києва. Через категоричну заборону адміністрації фотографувати інтер'єри та обладнання, дозволено було лише отримати три світлини рослин (рис. 3.15, рис. 3.16).

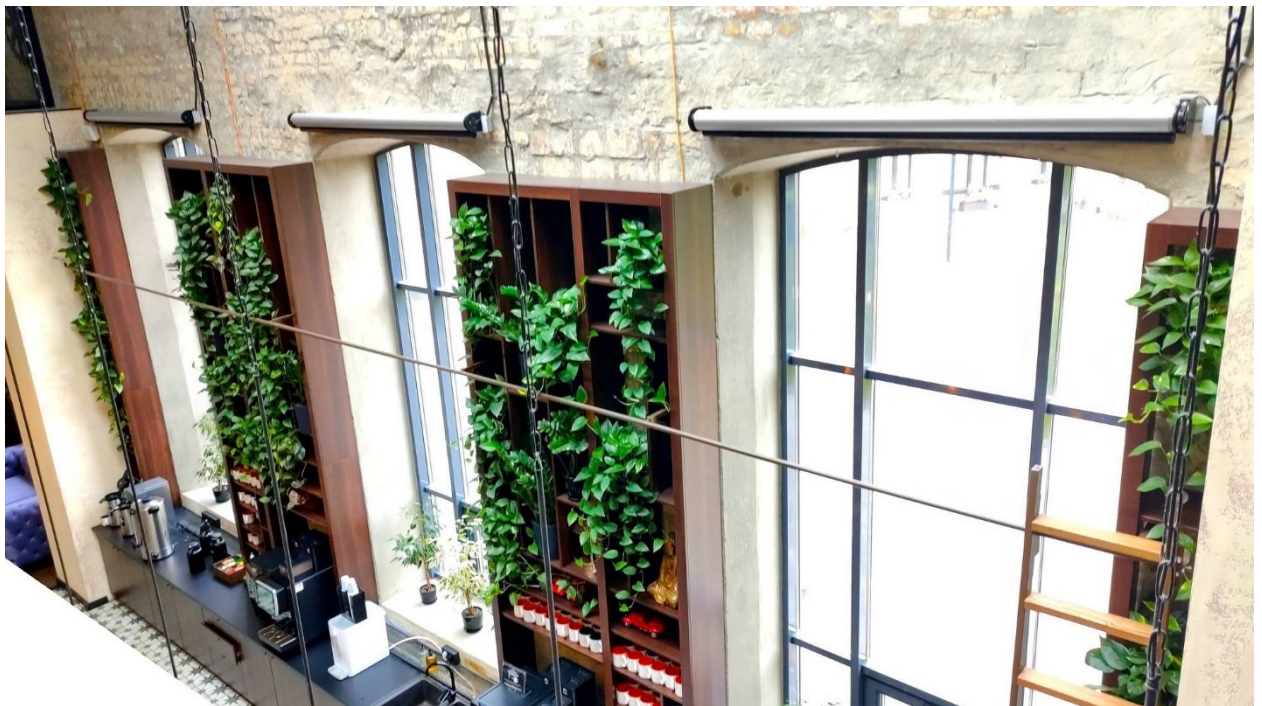


Рис. 3.15. Інтер'єр коворкінгу – вид на перший поверх

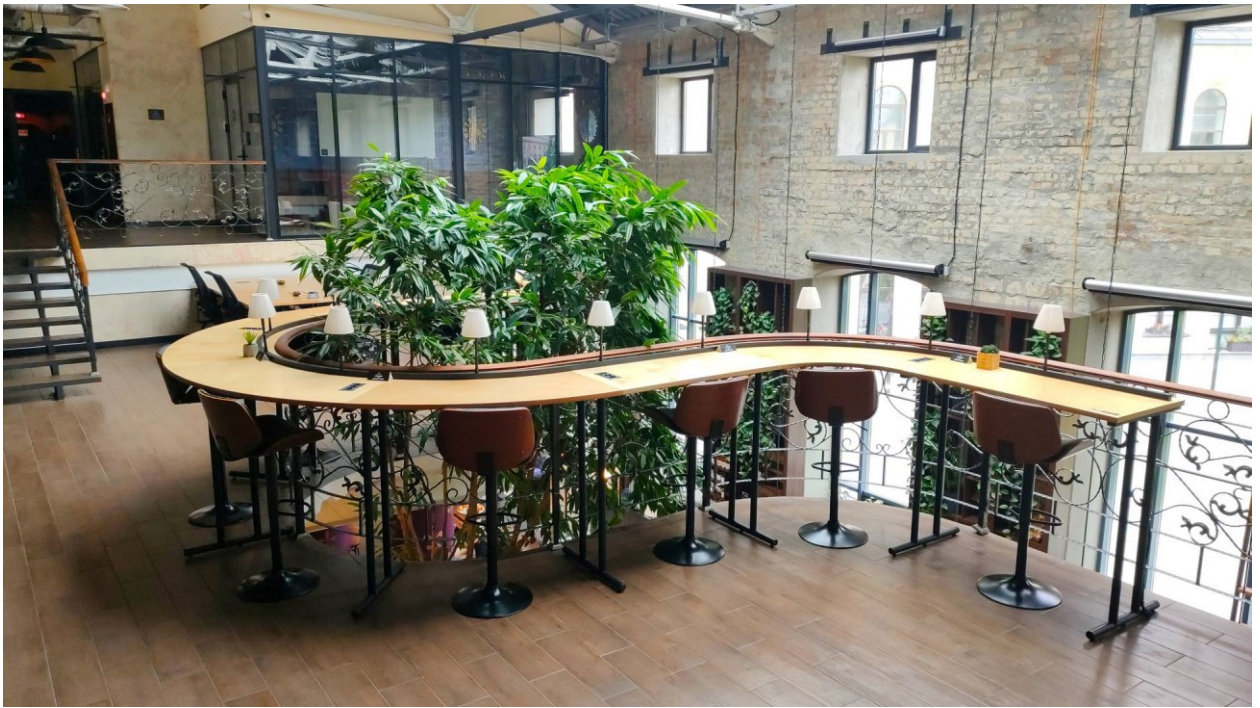


Рис. 3.16. Інтер'єр коворкінгу – другий поверх

Повітрообмін організовано шляхом подавання повітря з верхньої зони вертикально вниз, видалення повітря з верхньої зони. Це призводить до часткового повернення відпрацьованого повітря в робочу зону разом з біологічними та хімічними забрудниками [137]. Рослини *Philodendron Scandens Brazil* та *Ficus binnendykii* 'Alii King' зберігають декоративність, але

через нестачу світла мають слабкий приріст, а значить, більше виділення вуглекислого газу.

Однак, мікробіологічні дослідження (рис. 3.17) показали, що рослини знижують мікробне число попри не найбільш сприятливі умови. При збільшенні освітленості та кількості рослин можна було б очікувати понад двократне зменшення мікробного числа порівняно з референтним приміщенням, як у зимовому саду Київського національного університету будівництва і архітектури [138].

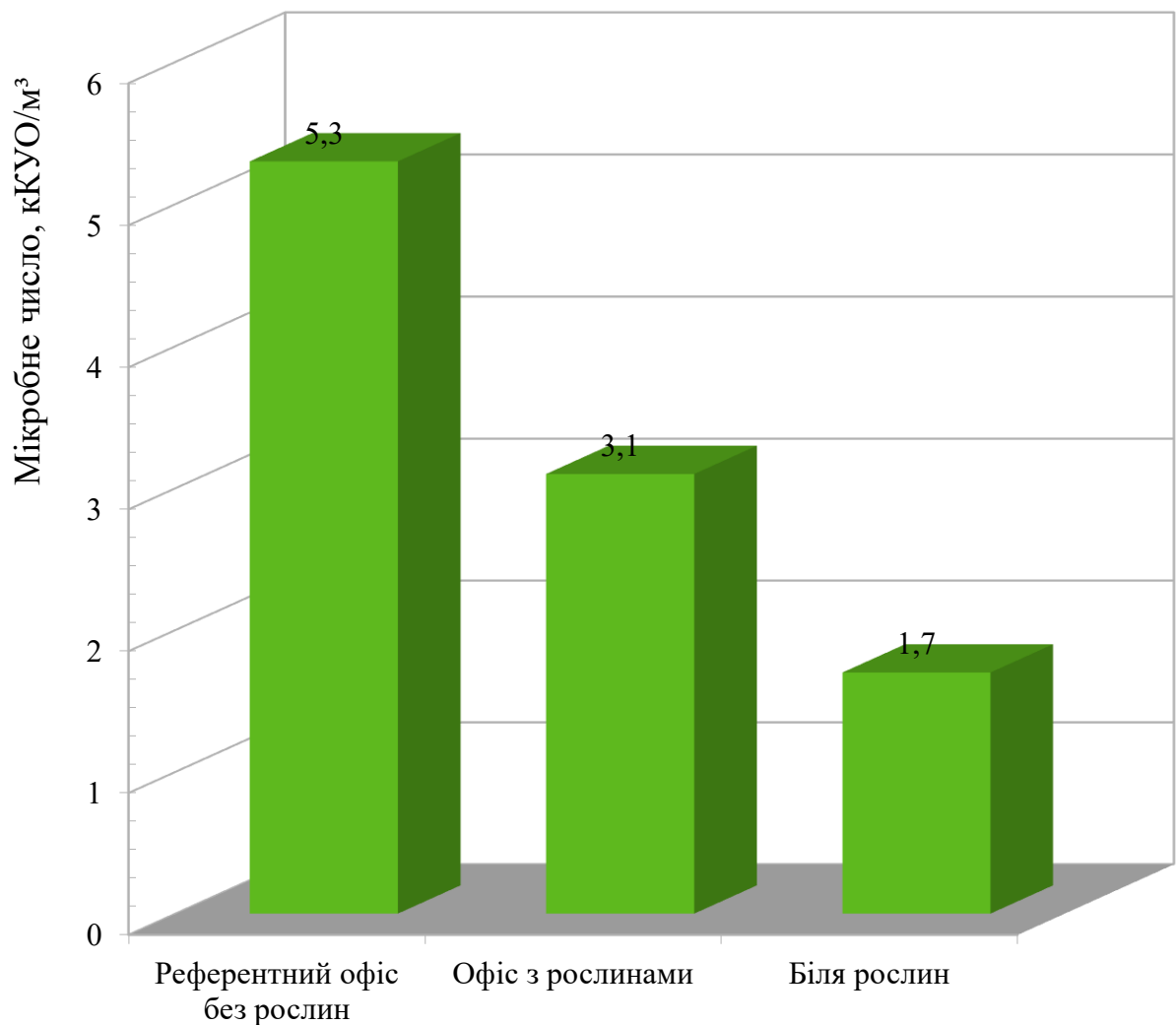


Рис. 3.17. Результати мікробіологічних досліджень у коворкінгах

Оскільки фітонциди мають хімічну природу, їхня концентрація має залежати від кратності повітрообміну [139]. З одного боку, збільшення кратності має зменшувати концентрацію фітонцидів, але з іншого призводить до видалення мікроорганізмів разом з забрудненим повітрям.

3.5. Дослідження впливу внутрішнього озеленення на внутрішнє повітряне середовище медичного закладу

Аналогічне дослідження проведено в широкопрофільному медичному закладі того ж району. Заклад має два невеликі зимові сади, щільно насичені рослинами.

Перший (рис. 3.18) має по два *Hibiscus rosa-sinensis*, *Ficus elastica*, *Chlorophytum comosum*, а також одну *Monstera deliciosa*, листя якої не розрізне. Ймовірно, не дотримано вологісний режим. Стан інших рослин добрий. *Hibiscus rosa-sinensis* (рис. 3.19) має квіти правильної форми (рис. 3.20).



Рис. 3.18. Перший зимовий сад медичного закладу



Рис. 3.19. Перший зимовий сад: *Hibiscus rosa-sinensis*

Другий зимовий сад (рис. 3.21) має три дорослих і три молодих екземпляри *Hibiscus rosa-sinensis*, молоді *Yucca elephantipes* і *Dracaena marginata*, дорослий *Ficus benjamina*, а також *Chlorophytum comosum* і *Monstera deliciosa*, нижні листки якої розрізні.

Обидва зимові сади мають сидіння для людей з обох боків, причому вони розміщені позаду від рослин, якщо дивитися з них у вікна. Але рослини розташовані відносно близько до торців цих сидінь, що дозволяє отримати значний фітонцидний ефект.



Рис. 3.20. Цвітіння *Hibiscus rosa-sinensis*

В основному рослини мають правильний зовнішній вигляд (рис. 3.21). Але *Dracaena marginata* має пожовклі частини листя (рис. 3.22). *Monstera deliciosa* теж має пожовклі кінці листя, що свідчить про невідповідний вологісний режим (рис. 3.23).

Таким чином, при виборі рослин слід обов'язково зважати на особливості догляду. Наприклад, *Monstera deliciosa* вимагає щоденного обприскування та регулярного протирання листя.

При залученні відносно вибагливих рослин до зимових садів слід подбати про встановлення обов'язків персоналу (наприклад, прибиральницям) щодо відповідних маніпуляцій з рослинами, а також про контроль за фактичним виконанням таких обов'язків. Це призводить до певних експлуатаційних витрат для підтримання подібних рослин у належному стані.



Рис. 3.21. Другий зимовий сад медичного закладу

Тримати або періодично наймати спеціальний персонал економічно доцільно лише за наявності значних озелених площ (інтенсивного зеленого покриття типу «сад на даху» або «сади на терасах» чи прибудинкової паркової зони). У більшості випадків доцільно відмовитися від рослин з особливими вимогами до догляду на користь невибагливих.

Також погіршує сприйняття рослин те, що огляд їх можливий лише проти світла, оскільки зона між вікнами та рослинами заблокована для людей. Для отримання прийнятних для аналізу стану рослин, зображення на рис. 3.18 і 3.21 було отримано високоякісним фотоапаратом з попереднім очищенням об'єктивів від забруднень. Перед аналізом було значно підсилено яскравість і барвистість. Відвідувачі сприймають рослини, як це показано на рис. 3.24.

Щоб покращити терапевтичний ефект для ментального здоров'я та екорегуляції (боротьби зі стресом взаємодією з природним середовищем) варто перепланувати розташування рослин для можливості знаходження людей між ними та вікнами.



Рис. 3.22. Другий зимовий сад: *Dracaena marginata*

Наприклад, кількість рослин у невеликому зимовому саду можна було б зменшити з забезпеченням вільних проходів між ними. Також варто було б перемістити сидіння ближче до вікон. Зайві ж рослини можна було б розмістити на різних поверхах у торцях коридорів, де є вікна.



Рис. 3.23. Другий зимовий сад: *Monstera deliciosa*

Безпосередньо біля вікон варто розміщувати лише світлолюбні рослини, які мають достатньо прозоре на просвіт листя та квіти, які проти світла сприймається як такі, що світяться. На рис. 3.24 так сяє *Hibiscus rosa-sinensis* на задньому плані.



Рис. 3.24. Низька естетична якість сприйняття першого зимового саду відвідувачами проти світла

Рослини, розміщені на відстані від вікон, що перешкоджає прямому опромінюванню сонячної радіації, сприймаються як чорні об'єкти. Замість терапевтичного ефекту для ментального здоров'я це породжує негативні асоціації і ще більше посилює стрес. Тому, особливо в медичних закладах, слід дуже уважно ставитися до фітодизайну.

Фітонцидний ефект рослин значно виражений (рис. 3.25). Медичні заклади, особливо під час нестабільної погоди, відвідує достатньо багато людей, хворих на гострі респіраторні вірусні інфекції, що розповсюджуються повітряно-крапельним шляхом. Саме це пояснює підвищене мікробне число в повітрі референтного приміщення – суміжного коридору.

Седиментацію виконано в районі сидінь зимового саду біля рослин під час наявності відвідувачів. Референтні значення мікробного числа отримано у коридорі, прилеглому до зимових садів. Бачимо, що рослини практично удвічі знижують мікробне число в районі сидінь.

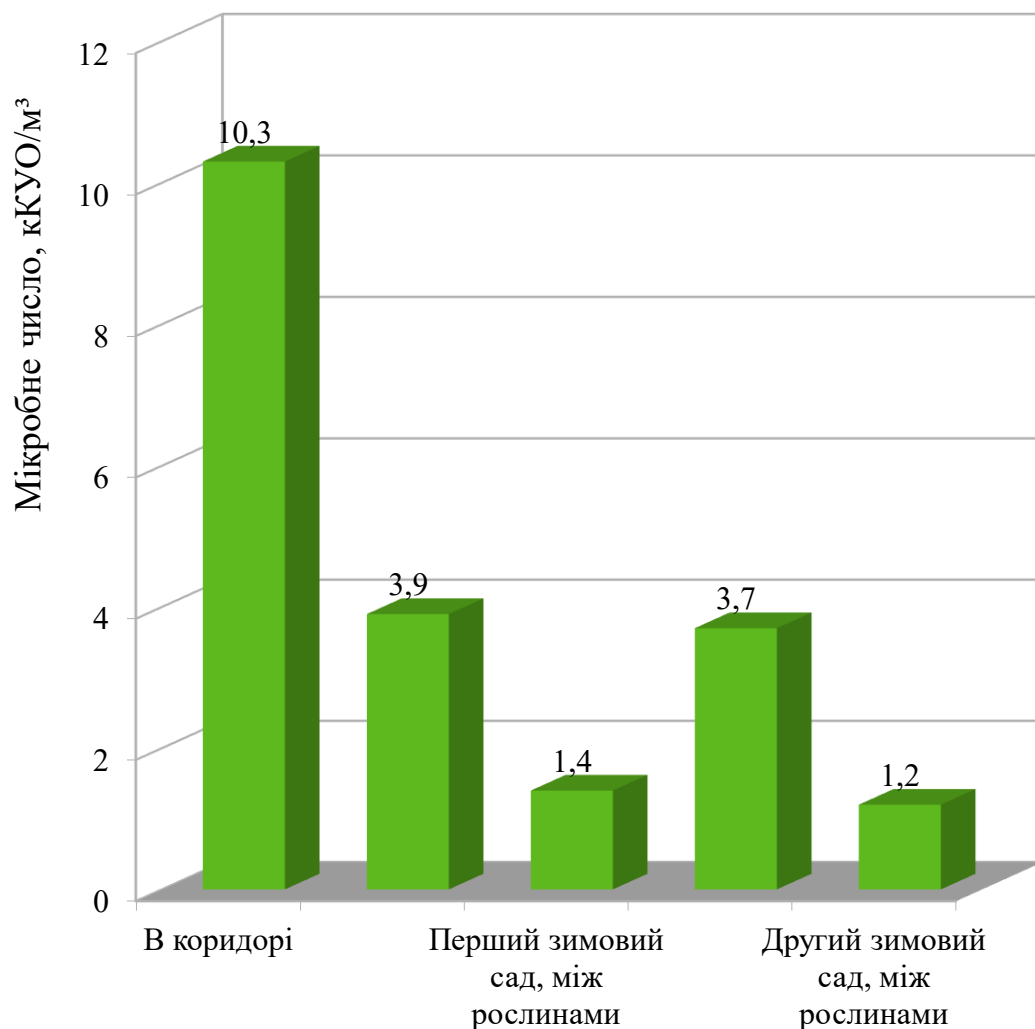


Рис. 3.25. Мікробне число в зимових садах медичного закладу

3.6. Дослідження впливу внутрішнього озеленення на внутрішнє повітряне середовище торгово-розважального центру

Одним з характерних об'єктів будівництва, де спостерігається масове скупчення людей, є торгово-розважальні центри. При створенні сучасних центрів значну увагу приділяють озелененню задля покращення естетичних якостей та залучення відвідувачів. Прикладом максимального використання різних форм озеленення можна вважати завод Людвіка Норбліна в Варшаві,

який у ХХІ столітті було перетворено на торгово-розважальний центр (рис. 3.26).



а

б

Рис. 3.26. Озеленення заводу Людвіка Норбліна, Варшава, Польща:

а – діжкове; б – зелена стіна та діжки

Україна також має інтенсивно озеленені торгово-розважальні комплекси, зокрема «Республіка» в м. Києві (рис. 3.27...3.29). Озеленення представлено великомірними деревами, чагарниками та травою, зокрема:

- *Ficus binnendijkii* «Alii»
- *Strelizia reginae*
- *Philodendron radiatum*
- *Nephrolepis exaltata*
- *Asplenium parvati*



Рис. 3.27. Озеленення торгово-розважального комплексу «Республіка»:
вид на ескалатор

- *Ficus binnendijkii* «Alii»
- *Ficus benjamina*
- *Strelizia reginae*
- *Schefflera arboricola*

Таким чином, даний комплекс сприяє підтриманню рослинного біорізноманіття, що є значною перевагою для довкілля. Композиції суміщені з лавками для сидіння, що дозволяє досягнути максимального фітонцидного ефекту завдяки перебуванню людини безпосередньо біля фітонцидних рослин.



Рис. 3.28. Озеленення торгово-розважального комплексу «Республіка»:
вид на майданчик для заходів

Столики для харчування (рис. 3.28) розміщено якомога ближче до рослин, що дозволяє мінімізувати характерне для таких місць підвищення вмісту грибків. Також озеленення вдало відокремлює цю зону від інших і слугує природним бар'єром для розповсюдження мікроорганізмів.

Як бачимо, дане місце користується популярністю. Люди використовують його не лише для відпочинку чи очікування, але і для роботи на комп'ютері (рис. 3.28). Адже середовище, близьке до природного, сприяє одночасно підвищенню продуктивності праці та ефективності відпочинку.



Рис. 3.29. Озеленення торгово-розважального комплексу «Республіка»:
вид на другий поверх

Рослинність має частково поглинати звук від заходів. Але для підвищення ефективності боротьби з шумом доцільно було б висадити більше щільних і відносно високих чагарників довкола майданчика для заходів.

Взагалі, впровадження дерев, висота яких відповідає висоті дерев у природі, є унікальною особливістю даного місця. Це створює відчуття повного занурення в природне середовище – і таке рішення присутнє на обмеженій кількості об'єктів у світі.

Мікробіологічні дослідження підтвердили доцільність даного фітодизайну. Референтні точки обрано в найвіддаленіших від озеленення місцях для проходу людей. Точки для пасивної седиментації було обрано рівномірно на сидіннях та на рослинній композиції.

Результати досліджень (рис. 3.30) свідчать про ефективність даних заходів проти розповсюдження мікроорганізмів та для підтримання безпеки масового перебування людей у торгово-розважальному комплексі.

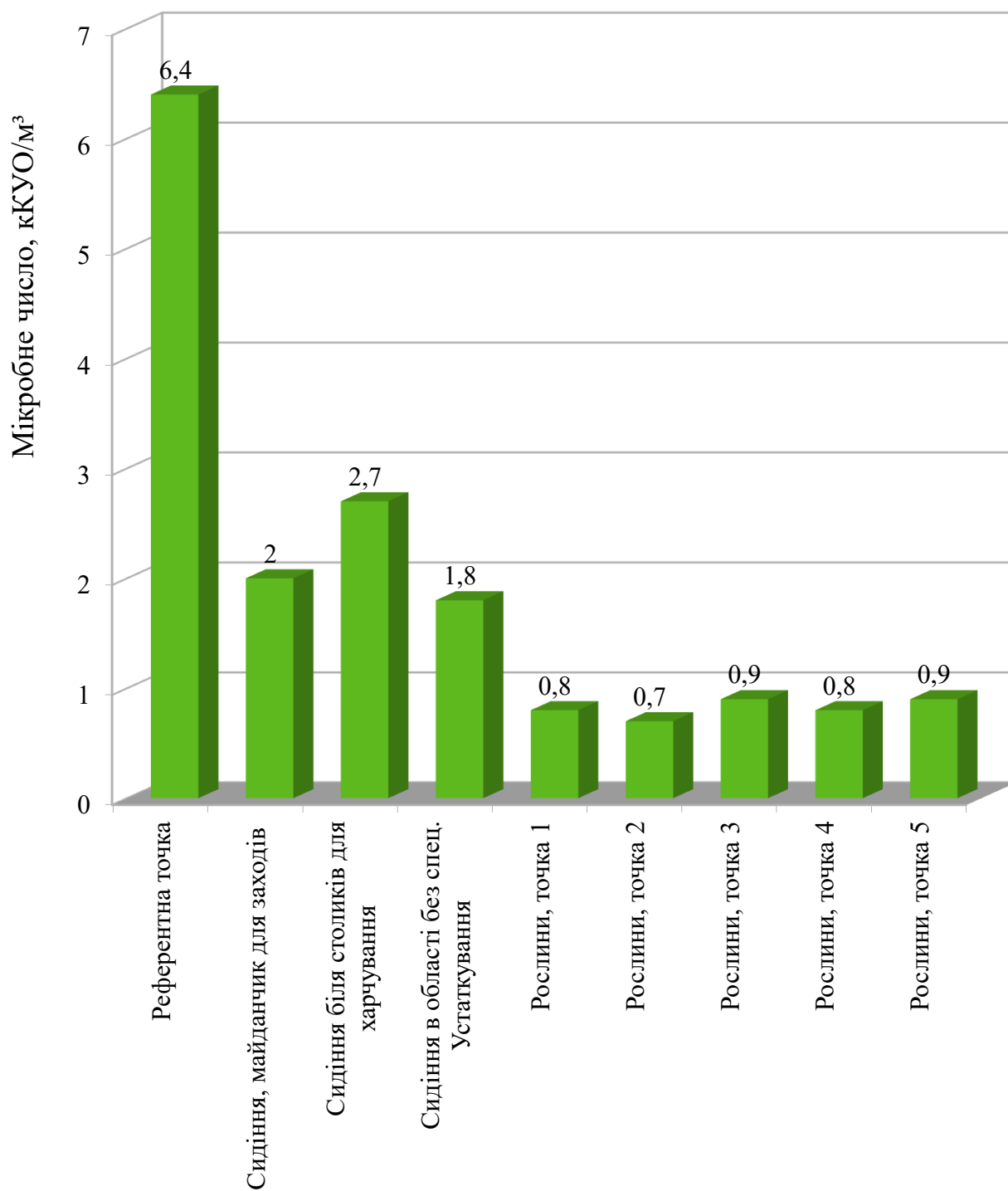


Рис. 3.30. Мікробне число в торгово-розважальному комплексі

Деяке підвищення мікробного числа біля столиків для харчування порівняно з іншими сидіннями показує закономірне посилення розмноження мікроорганізмів на органічних залишках (крихти). Але порівняно з референтним значенням і тут спостерігається помітне зниження мікробного числа.

Таким чином, на прикладі п'яти різних типів приміщень показано доцільність впровадження рослин для зниження біологічної загрози здоров'ю людей, що перебувають у приміщеннях. Значне зниження мікробного числа через виділення фітонцидів рослинами є важливим компонентом фіторе mediaції повітря.

Основною умовою ефективної фіторе mediaції є забезпечення потреб розвитку рослин. Як показали результати досліджень, це накладає вимоги на дизайн приміщень можуть вимагати додаткових витрат на догляд за рослинністю.

Однак, отримані додаткові переваги – створення комфортного візуального середовища, можливості екорегуляції, тобто боротьби зі стресом шляхом взаємодії з природною, підвищення продуктивності праці та відкочинку, підвищення привабливості об'єкта – надає вищої цінності розглянутому підходу і компенсують певні дизайнерські обмеження.

У зв'язку з цим виникає потреба кількісного оцінювання передбачуваної якості рослин в різних умовах внутрішнього середовища – освітленість, температура та відносна вологість повітря. Це вимагає побудови математичних моделей розвитку рослин, на що буде спрямовано наступний розділ.

3.7. Висновки до розділу 3

1. На прикладі п'яти різних типів приміщень показано доцільність введення в інтер'єр рослин задля очищення повітря від патогенної мікрофлори під дією фітонцидів. Головною умовою є правильний підбір асортименту фітонцидних рослин та створення ним відповідних умов.

2. Проведені дослідження за методом листкових дисків та ранжування рослин за фітонцидною активністю дозволило розробити рекомендації щодо асортименту фітонцидних рослин, що дозволяє досягти максимального ефекту. Показано, що в розглянутих приміщеннях весь асортимент рослин є фітонцидним, однак у зимовому саду Київського національного університету будівництва і архітектури рекомендовано введення додаткових рослин для забезпечення ефекту у всій площі.
3. Показано, що для забезпечення ефекту покращення ментального здоров'я необхідно приділяти особливу увагу правильному розміщенню рослин відносно відвідувачів і вікон. Зокрема, огляд проти світла рослин, розміщених на значній відстані від вікон, призводить до небажаного ефекту чорного листа.
4. Особливості газообміну в рослинах диктують вимоги до фітодизайну з огляду на світловий режим. У разі нестачі природного освітлення ефективність продемонстрував дизайн приміщення з акцентним світлом на зелену стіну, що дозволяє підвищити освітленість рослин без дискомфорту. Нічне фітоосвітлення рослин не рекомендовано через посилення продукування вуглекислого газу протягом робочого дня.
5. Для передбачення стану рослин у різних умовах задля обґрунтування дизайнерських рішень на кожному об'єкті необхідно створювати математичні моделі якості рослин залежно від параметрів внутрішнього середовища – освітленості, температури та відносної вологості повітря.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЯКОСТІ КІМНАТНИХ РОСЛИН ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА В ПРИМІЩЕННЯХ

4.1. Основні підходи до визначення якості рослин

У контексті сучасних викликів, пов'язаних із забрудненням повітря у закритих приміщеннях, особливу увагу привертає здатність рослин до природного очищення повітря. Рослини можуть поглинати шкідливі речовини, акумулювати їх у власних тканинах або розкладати завдяки процесам біодеградації, що активуються під дією світла [140]. Ці властивості лягли в основу методу фіторемедіації — застосування живих рослин та асоційованої з ними мікрофлори для видалення, знешкодження або утримання забрудників довкілля [141; 142].

Першими систематичними дослідженнями у цій галузі займалося космічне агентство NASA, яке вивчало фіторемедіацію в умовах закритих середовищ, зокрема на борту космічних кораблів [143]. Результатом стало формування першого переліку рослин, ефективних для очищення повітря. У дослідженнях Вулвертона [144] було підібрано конкретні види рослин для видалення певних типів забрудників.

Крім того, значну увагу приділено використанню летких фітоорганічних сполук — фітонцидів, які мають здатність пригнічувати або знищувати патогенні мікроорганізми у повітрі. Це відкриває нові перспективи для підвищення біологічної безпеки внутрішнього середовища за допомогою доцільно підбраного асортименту фітонцидних рослин [145; 146].

Таким чином, фіторемедіація є екологічно чистим та економічно доцільним методом покращення якості повітря, що має значний потенціал для житлових, офісних та спеціалізованих приміщеннях. А отже виникає необхідність розроблення підходу до створення математичних моделей якості кімнатних рослин для внутрішнього фіторемедіаційного озеленення.

У рамках дослідження проаналізовано дані спостережень за кімнатними рослинами, що утримувалися в різноманітних умовах внутрішнього середовища. Для здійснення об'єктивного бального оцінювання їхнього стану необхідна відповідна система критеріїв.

На сьогодні для оцінки інтродукції оранжерейних видів існує лише шість шкал, розроблених Іриною Горницькою [147]. Проте вони враховують чинники, що не мають ключового значення у контексті фіторе mediaції, зокрема репродуктивну здатність. Усі шкали мають градування від нуля до п'яти, де нуль відповідає повній невідповідності, а п'ять – абсолютній відповідності.

4.2. Розроблення методу оцінювання та прогнозування стану рослин

Через відсутність спеціалізованих шкал запропоновано скористатися шкалами [147], але вилучити другорядні для кімнатних умов параметри. Шкалу «стан в інтер'єрах» слід деталізувати на три основні показники (табл. 4.1, 4.2).

Таблиця 4.1

Порівняння шкал Ірини Горницької та запропонованих шкал

Шкала S	Ваговий коефіцієнт	
	Шкали Ірини Горницької	Запропоновані шкали для внутрішнього озеленення
Генеративний (репродуктивний) розвиток	10	Для внутрішнього озеленення не принципово
Природне вегетативне розмноження	5	
Зростання в умовах оранжерей	3	
Стан в інтер'єрах	2	7
Декоративність	Є складовими показника «Стан в інтер'єрах»	6
Стійкість до шкідників		7

Таблиця 4.2

Принципи виставлення балів за запропонованими шкалами

Бал	Шкала		
	Стан в інтер'єрах	Декоративність	Стійкість до шкідників
	Ваговий коефіцієнт		
	7	6	7
5	Інтенсивне зростання, опадання листя відповідає нормі, немає пошкоджень	Добре розвинені листя (та квіти або суцвіття для квітучих) з типовим забарвленням. Оригінальна для даного виду форма стебла.	Рослина здатна чинити опір усім наявним у даній місцевості шкідникам
4	Зростання уповільнено, опадання листя відповідає нормі, немає пошкоджень	Те ж, але в певні періоди життя листя та квіти (для квітучих) втрачають декоративні якості	Рослина здатна чинити опір більшості місцевих шкідників, але потребує оброблення пестицидами раз-два на рік.
3	Зростання уповільнено, посилене опадання листя, але немає пошкоджень стовбурих покривів	Більшість листя, квітів (для квітучих) і пагонів не вирізняються оригінальністю або квітуча рослина не квітне, проте за іншими ознаками відповідає оцінці «4».	Рослина здатна чинити опір окремим місцевим шкідникам і потребує постійного оброблення пестицидами
2	Зростання пригнічено, інтенсивне опадання листя, стовбур, пагони та листя пошкоджуються	Рослини не привабливі, усе листя та стовбур не відповідають типовій формі та забарвленню.	Рослина навіть за умови постійного оброблення пестицидами може вражатися окремими шкідниками
1	Рослина інтенсивно втрачає листя та засихає	Рослини не привабливі, ослаблені, втрачають листя.	Рослина не має стійкості до шкідників і постійно вражена ними

Пропонуємо використовувати такі шкали (Табл. 4.2):

- «стан в інтер'єрах» – важливий показник, що визначає здоров'я та розвиток рослин, а значить, їхню спроможність впливати на якість повітря;

- декоративність – важливий показник, що визначає вплив рослин на емоційний стан людей та можливість екорегуляції, тобто техніки подолання стресу взаємодією з природними об'єктами;
- «стійкість до шкідників» – важливий показник, що визначає можливість зменшити використання пестицидів, що погіршують якість внутрішнього повітряного середовища.

Важливість цих показників приблизно однакова, але для фіторе mediaції «декоративності» можна присвоїти мінімально можливе відставання вагового коефіцієнта (табл. 4.2).

Побудова математичної моделі якості кімнатних рослин для забезпечення безпечного повітряного середовища в приміщеннях є важливим етапом у дослідженнях, пов'язаних із фіторе mediaцією. Така модель дозволяє не лише кількісно оцінювати вплив параметрів мікроклімату, а й здійснювати прогнозування життєздатності та декоративності рослин в конкретних умовах.

Оцінка стану рослин у різних умовах середовища є важливим етапом для розробки ефективних заходів з озеленення, зокрема в контексті цивільної безпеки. Розрахунок загальної оцінки стану рослин проводиться за допомогою комплексного показника B , що базується на значеннях за шкалами та відповідних вагових коефіцієнтах. Така оцінка дозволяє систематизувати вплив факторів навколишнього середовища на рослини, включаючи температуру, вологість і освітленість, що важливо для адаптації рослин до змінюваних умов.

Розрахунок загальної оцінки виконують за формулою:

$$B = \sum(S_i \cdot K_i), \quad (4.1)$$

де S_i – значення за i -ю шкалою,

а K_i – відповідний ваговий коефіцієнт.

Протягом тривалого часу необхідно проводити спостереження за рослинами, що ростуть у різних умовах середовища. Це дозволяє отримати дані про їхній стан, які записуються в балах на спеціальних шкалах. Оцінка здійснюється за кількома параметрами, такими як температура, вологість і освітленість.

Для кожного з цих параметрів фіксуються відповідні значення, які на основі спостережень та досліджень дозволяють сформувати об'єктивну картину стану рослин. Цей процес дозволяє зрозуміти, як різні фактори впливають на здоров'я і розвиток рослин у мінливих умовах середовища.

Зібрані дані за певний період часу підлягають усередненню, що забезпечує точність результатів і зменшує можливі похибки, пов'язані з випадковими змінами або помилками в окремих вимірюваннях. Усереднені бали округлюються до точності до 0,1, щоб отримати стабільні результати для подальших розрахунків. Цей етап є критично важливим для забезпечення узгодженості даних і формування надійної бази для обчислення комплексного показника стану рослин.

Після усереднення значень бали підставляються в математичну модель, яка дозволяє обчислити комплексний показник B . Цей показник є інтегрованим індексом, що враховує різноманітні фактори впливу. Для точнішої оцінки стану рослин цей показник апроксимують за допомогою регресивних моделей, які враховують температурні коливання, рівень вологості та освітленості. Така апроксимація дозволяє отримати більш точну картину впливу цих факторів на рослини, що є необхідним для подальших досліджень і практичних застосувань у сфері озеленення.

Апроксимація даних є ключовим етапом у процесі обробки результатів експериментальних спостережень, що дозволяє зменшити вплив випадкових коливань і отримати більш стабільні та точні оцінки. Для виконання апроксимації та моделювання результатів доцільно використовувати електронні таблиці або спеціалізовані програмні комплекси, які автоматизують обчислювальні процеси та знижують ймовірність систематичних помилок. У

даному дослідженні було використано програмне забезпечення SciLab V 2025.0.0 – Rev 1, яке є потужним інструментом для аналізу, обробки даних та виконання регресійних розрахунків.

Значною перевагою використання SciLab є наявність спеціалізованої авторської бібліотеки *Decimal*. Вона дозволяє не лише апроксимувати дані за допомогою точних чисельних методів, але й автоматично заокруглювати коефіцієнти в десятковій системі числення для досягнення заданої точності. Таке рішення суттєво спрощує процес обробки даних, адже забезпечує високу точність результатів при мінімальних витратах часу на виконання обчислень. Завдяки бібліотеці *Decimal*, система здатна оптимізувати значення, мінімізуючи помилки, пов'язані з чисельними операціями.

У даній роботі задано допустиме значення цього зростання на рівні 0,01, що забезпечує похибку в оцінці не більше ніж на $0,011/2 = 0,1$ бала. Такий підхід дозволяє гарантувати стабільність та точність отриманих результатів, що є необхідним для наукових досліджень та подальшого застосування отриманих даних в практиці, зокрема для планування заходів у галузі цивільної безпеки.

Методика побудови регресійної моделі передбачає використання багатофакторної регресії для визначення залежності комплексного показника B (стану рослин) від трьох основних факторів: температури (t), відносної вологості (ϕ) та освітленості (E), а також їхніх взаємодій. Задана модель ураховує основні впливи кожного з факторів та їхньої взаємодії, що дозволяє враховувати не лише прямий вплив окремих змінних, а й їхній комплексний ефект на рослини.

На підставі результатів спостережень (рис. 4.1-4.8) створено регресивні моделі для різних характерних видів кімнатних рослин у формі (4.1):

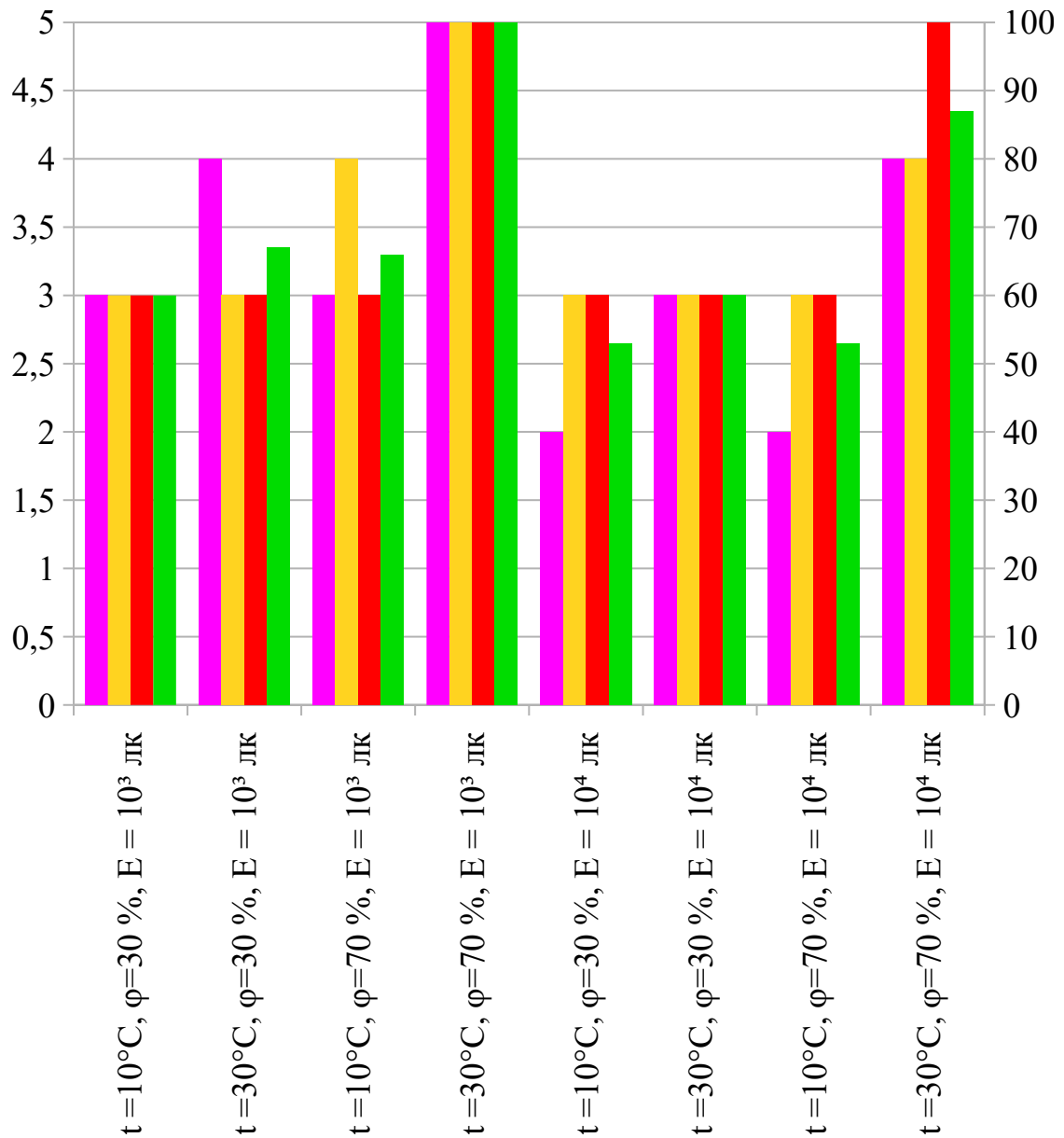


Рис. 4.1. Результати спостережень за рослиною *Monstera deliciosa*: рожевий колір – стан в інтер'єрах за п'ятибальною шкалою; жовтий колір – декоративність за п'ятибальною шкалою; червоний колір – стійкість до шкідників за п'ятибальною шкалою; зелений колір – загальна оцінка за стобальною шкалою

$$B = A + A_t \cdot t + A_{\varphi} \cdot \varphi + A_E \cdot (E/100) + A_{t\varphi} \cdot t \cdot \varphi + A_{\varphi E} \cdot \varphi \cdot (E/100) + A_{tE} \cdot t \cdot (E/100) + A_{t\varphi E} \cdot t \cdot \varphi \cdot (E/100), \quad (4.2)$$

де A, A_i, A_{ij}, A_{ijk} – коефіцієнти регресії (табл.4.3);
 t – температура, $^{\circ}\text{C}$;

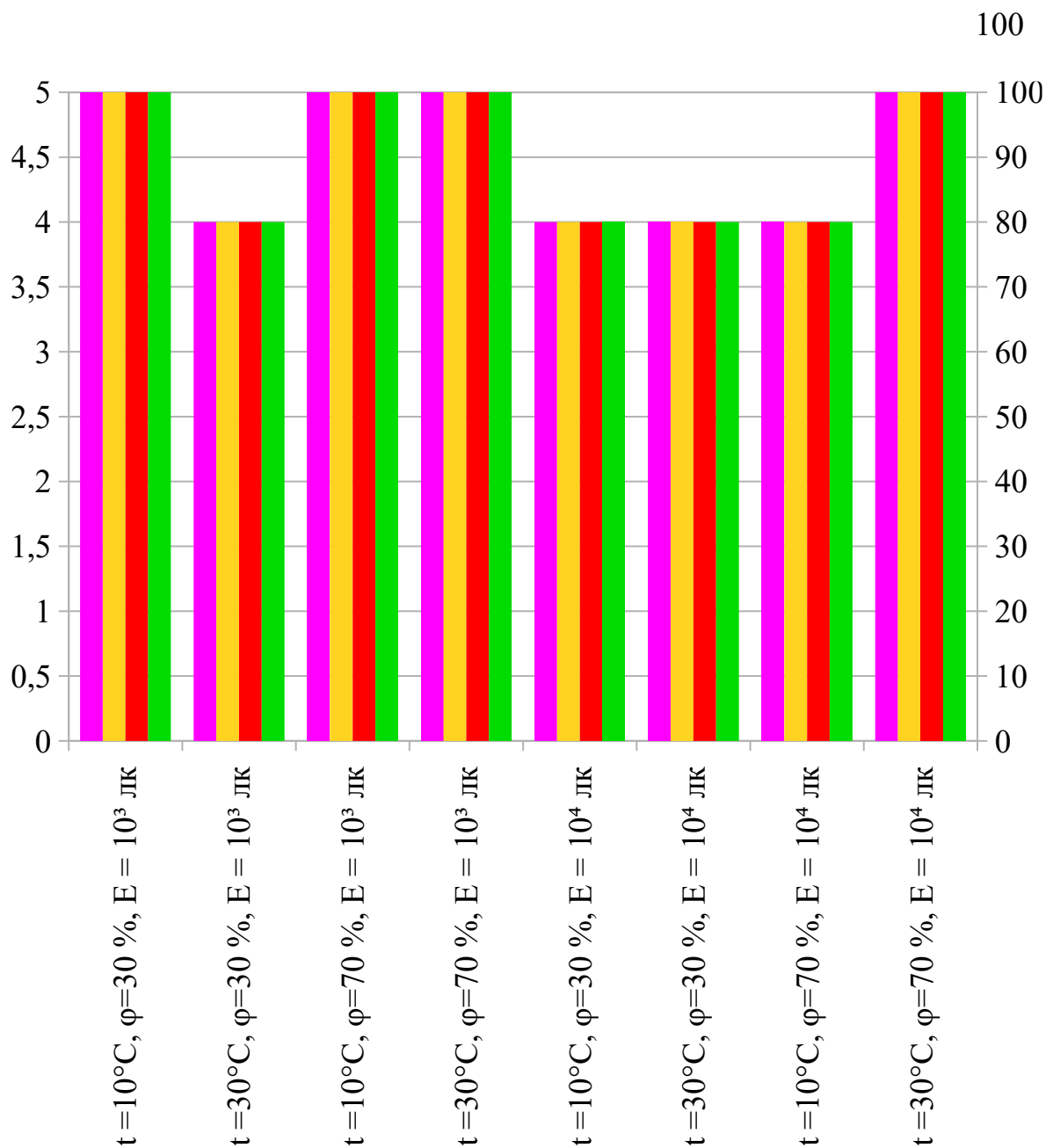


Рис. 4.2. Результати спостережень за рослиною *Schéfflera*: позначення див.

рис. 4.1

ϕ – відносна вологість повітря, %;

E – освітленість, лк.

Отримані регресивні моделі дають змогу прогнозувати стан рослин в умовах конкретного приміщення, враховуючи вплив змінних факторів внутрішнього середовища. Ці моделі, побудовані на основі спостережень. Моделі дозволяють визначити взаємозв'язки між параметрами середовища та станом рослин.

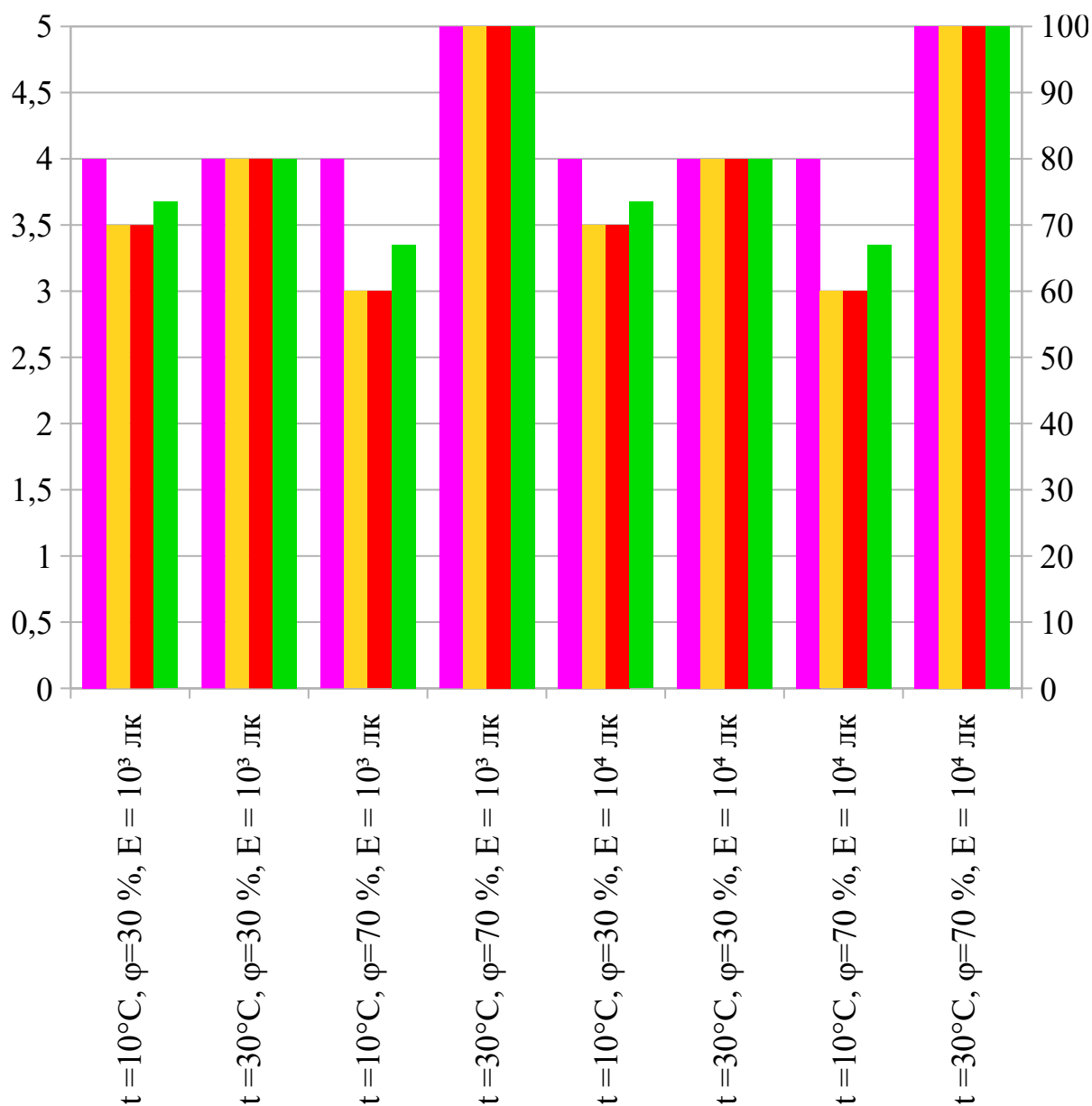


Рис. 4.3. Результати спостережень за рослиною *Dracaena marginata*:

позначення див. рис. 4.1

Це важливо для управління умовами зростання та розвитку рослин в інтер'єрах. Відповідно до розрахункових значень температури, відносної вологості та освітленості можна отримати прогностні показники стану рослин.

Коефіцієнти моделі показують за модулем впливовість кожного фактору та їхньої взаємодії (при добутку). Якщо коефіцієнти при певному факторі та всіх його взаємодіях з ним мають однаковий знак плюс, то однозначно цей фактор сприяє кращому стану рослин. Якщо ж коефіцієнти мають знак мінус, то зростання фактору погіршує розвиток рослин.

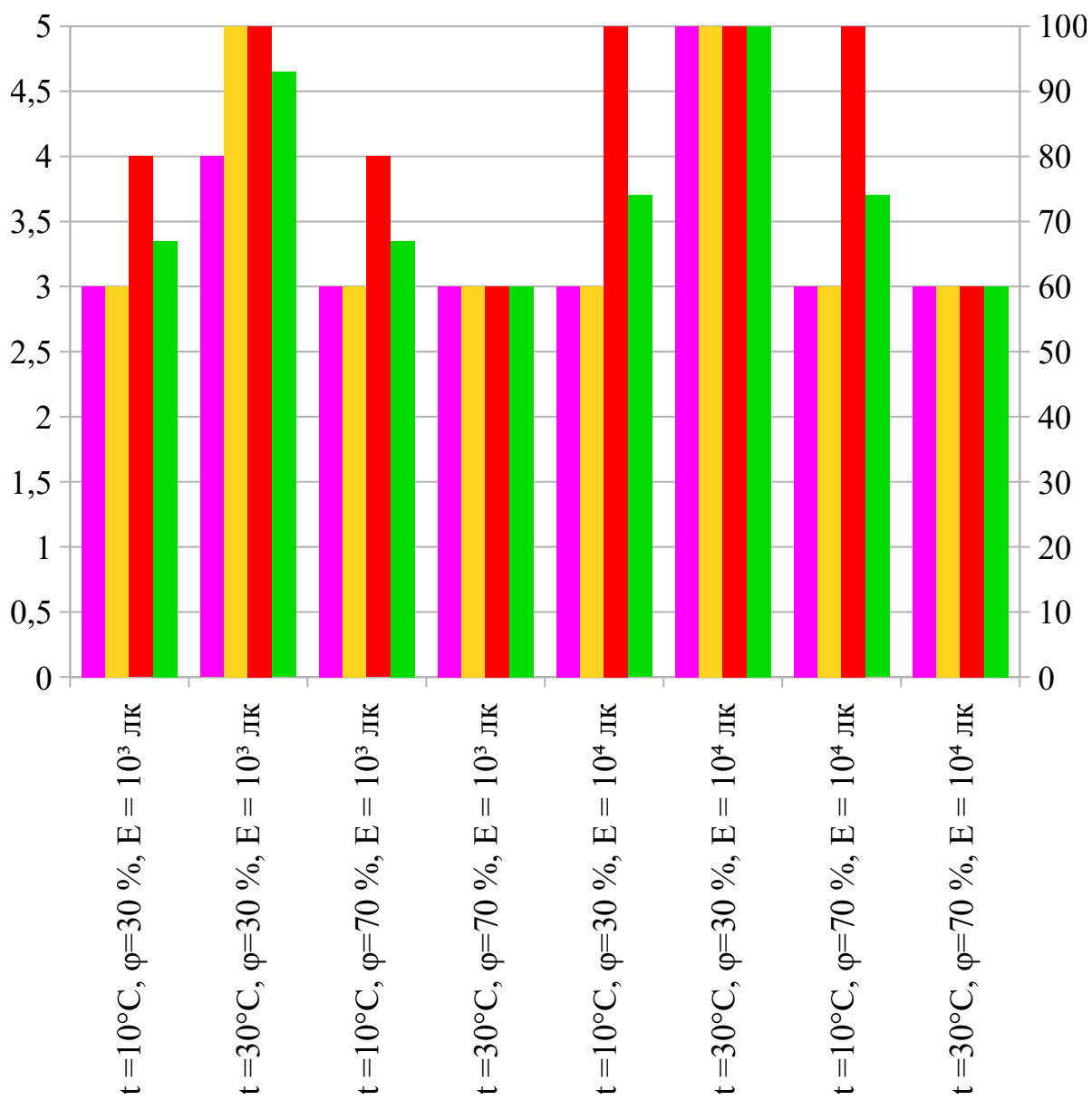


Рис. 4.4. Результати спостережень за рослиною *Yucca elephantipes*:
позначення див. рис. 4.1

Якщо ж коефіцієнти мають різний знак, то вплив фактору є багатограним. Щоб визначити його комплексний вплив достатньо згрупувати всі члени, що його містять, і винести його за дужки. Знак виразу в дужках при певних значеннях інших факторів буде показувати, чи в таких умовах даний фактор покращує чи погіршує розвиток рослин. Відсутність коефіцієнта означає незначущість даного фактору чи взаємодії.

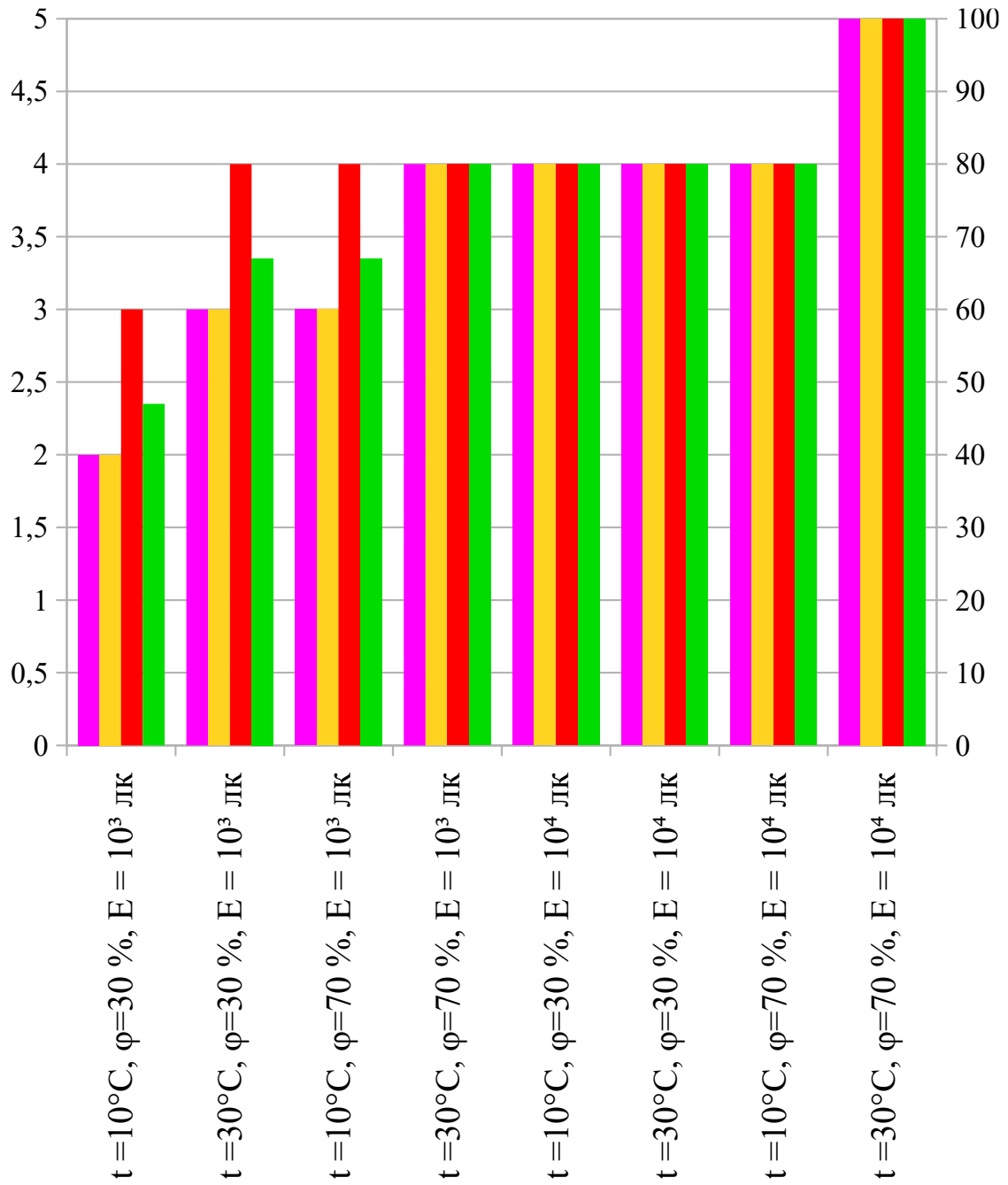


Рис. 4.5. Результати спостережень за рослиною *Ficus elastica*:
позначення див. рис. 4.1

Наприклад, коефіцієнт A_{φ} у виду *Schefflera* від'ємний, а всі взаємодії ним незначущі. Тобто підвищення відносної вологості повітря не буде корисним для даної рослини.

При освітленості маємо два коефіцієнти – $A_E = -0,333$ та $A_{tE} = 0,0111$. З рівняння (4.2) виписуємо лише відповідні два члени.

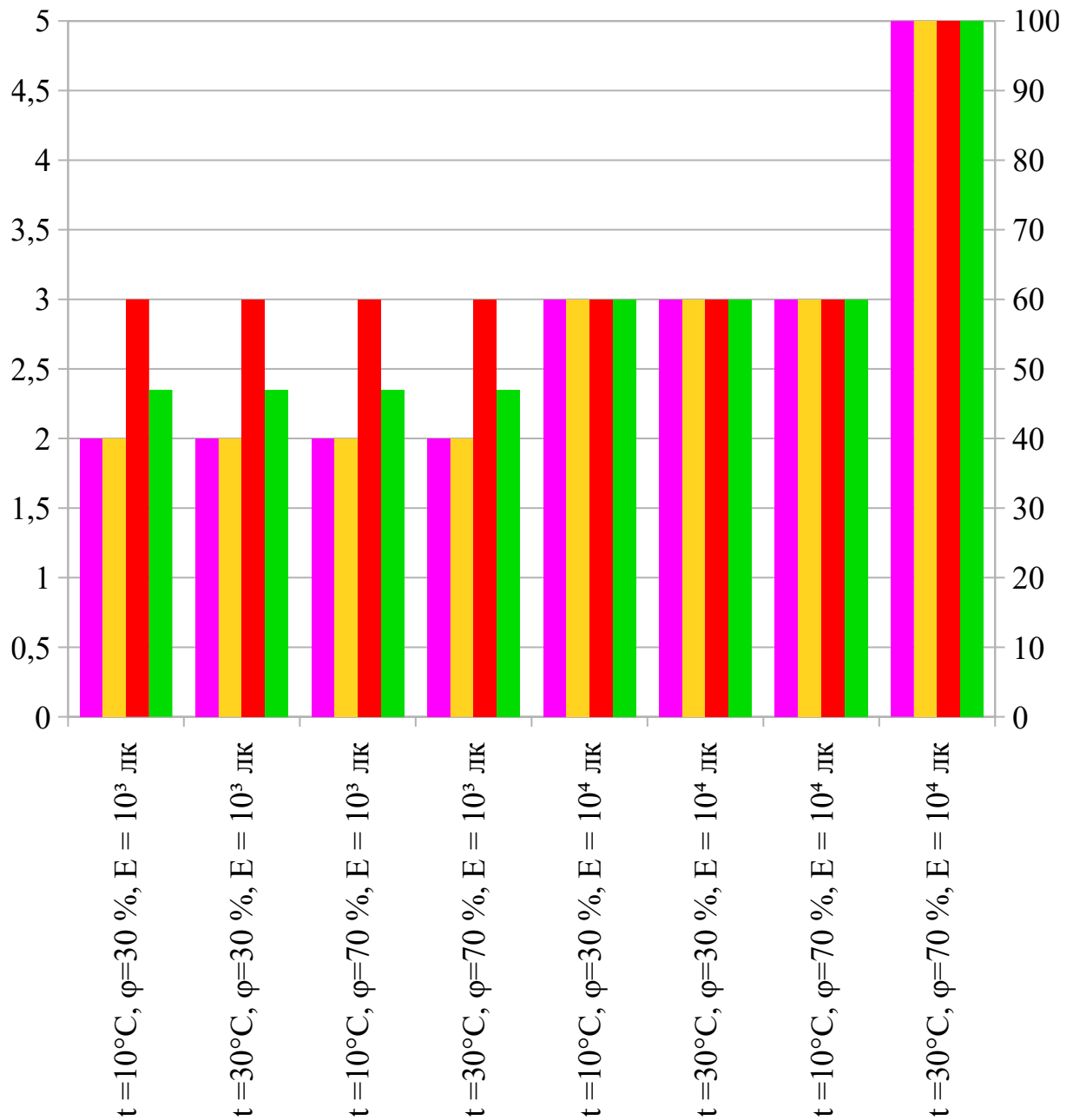


Рис. 4.6. Результати спостережень за рослиною *Ficus Benjamina*:
позначення див. рис. 4.1

Після винесення за дужки маємо $(0,0111 \cdot t - 0,333) \cdot E$. Отримуємо, що при температурі до 30°C яскраве освітлення погіршуватиме якість рослин. А при більшій температурі коректність рівняння не гарантується, адже спостереження за кімнатними рослинами в таких умовах не здійснювалося.

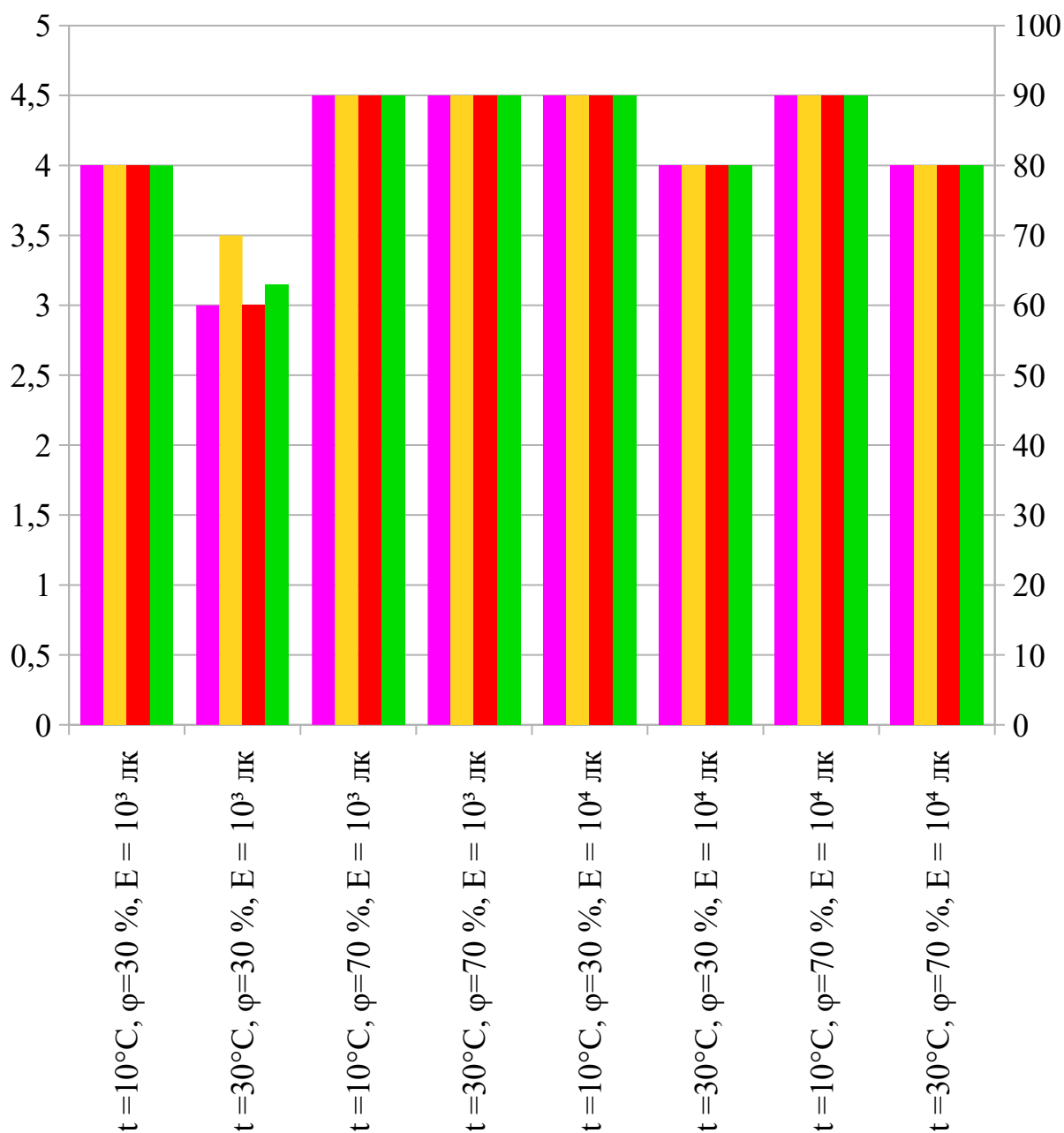


Рис. 4.7. Результати спостережень за рослинами *Philodendron* та

Aglaonema: рожевий колір – стан в інтер'єрах за п'ятибальною шкалою; жовтий колір – декоративність за п'ятибальною шкалою; червоний колір – стійкість до шкідників за п'ятибальною шкалою; зелений колір – загальна оцінка за стобальною шкалою

Розглянемо вплив температури. Аналогічно групуємо члени $(0,0111 \cdot t - 0,333) \cdot t$. Отримуємо, що при температурі до 30°C яскраве освітлення погіршуватиме якість рослин.

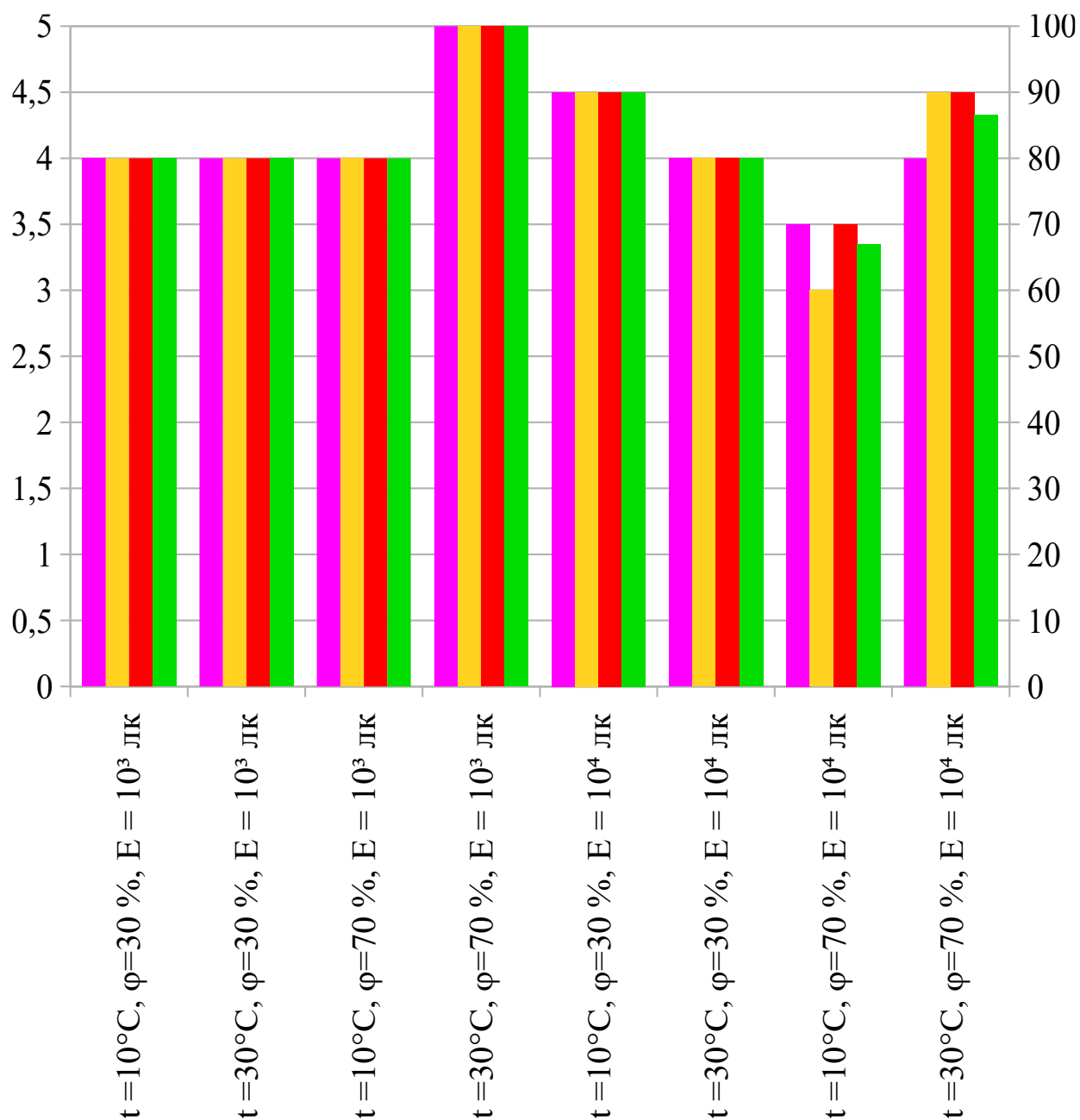


Рис. 4.8. Результати спостережень за рослиною *Chlorophytum comosum*: рожевий колір – стан в інтер'єрах за п'ятибальною шкалою; жовтий колір – декоративність за п'ятибальною шкалою; червоний колір – стійкість до шкідників за п'ятибальною шкалою; зелений колір – загальна оцінка за стобальною шкалою

А при більшій температурі коректність рівняння не гарантується, адже спостереження за кімнатними рослинами в таких умовах не здійснювалося.

Аналогічно можна дослідити напрямок впливу кожного фактору на кожну рослину (табл. 4.4)

Таблиця 4.3

Коефіцієнти математичної моделі стану рослин

Рослина	A	A_t	A_ϕ	A_E	$A_{t\phi}$	$A_{\phi E}$	A_{tE}	$A_{t\phi E}$
<i>Monstera deliciosa</i>	62.4	-0.663	-0.17	-0.028	0.03374	-0.00167	—	—
<i>Schefflera</i>	120.8	-1.86	-0.25	-0.333	0.025	—	0.0111	—
<i>Dracaena marginata</i>	85.1	-0.67	-0.494	—	0.03313	—	—	—
<i>Yucca elephantipes</i>	41.15	2.508	0.403	0.049	-0.0403	0.00097	0.0029	-0.000097
<i>Ficus elastica</i>	11.8	1.486	0.681	0.757	-0.0125	-0.00931	-0.02236	0.000375
<i>Ficus Benjamina</i>	43.9	0.168	0.0557	0.311	-0.0056	-0.00556	-0.01667	0.000556
<i>Philodendron, Aglaonema</i>	86.5	-1.597	0.042	0.0844	0.0236	-0.00042	0.011	-0.000236
<i>Chlorophytum comosum</i>	83.5	-0.656	-0.173	0.398	0.0237	-0.00771	-0.0095	0.000132

Примітки:

1. Діапазон температури $t = 10...30$ °C, відносної вологості повітря $\phi = 30...70$ % та денної освітленості $E = 1000...10000$ лк при сонячному спектрі
2. Якщо результат перевищує 100, приймаємо 100, а при результаті менше одиниці приймаємо одиницю.

Результати дають змогу приймати обґрунтовані рішення щодо вибору рослин. Крім того, ці моделі дозволяють не лише оцінювати поточний стан рослин, але й передбачати можливі зміни в їх розвитку при варіаціях параметрів середовища.

Таким чином, використання моделей не лише оптимізує процеси озеленення, але й сприяє загальному підвищенню рівня безпеки та комфорту в приміщеннях.

Таблиця 4.4

Коефіцієнти математичної моделі стану рослин

Рослина	Вплив фактора		
	Температури t , °C	Відносної вологості ϕ , %	Освітленості E , лк
<i>Monstera deliciosa</i>	+	+	–
<i>Schefflera</i>	±	+	–
<i>Dracaena marginata</i>	+	±	×
<i>Yucca elephantipes</i>	±	–	+
<i>Ficus elastica</i>	+	+	+
<i>Ficus Benjamina</i>	+	+	+
<i>Philodendron, Aglaonema</i>	–	+	±
<i>Chlorophytum comosum</i>	±	±	±

Примітки:

- «+» – зростає;
«–» – спадає;
«±» – залежно від інших факторів;
«×» – слабка залежність
- Діапазон температури $t = 10...30$ °C, відносної вологості повітря $\phi = 30...70$ % та денної освітленості $E = 1000...10000$ лк при сонячному спектрі.

Розглянемо застосування отриманих залежностей на прикладі зимового саду Київського національного університету будівництва і архітектури.

Зимовий сад КНУБА є другим вестибюлем та має вхід із двору. Асортимент складається з великомірних кімнатних рослин.

У 2021 році було проведено обстеження рослин у зимовому саду Київського національного університету будівництва і архітектури [148], що дозволило виявити низку проблем, пов'язаних із доглядом та станом рослин. Зокрема, було зафіксовано, що через недоліки в догляді за рослинами листя *Dracaena fragrans* пожовкло, що є ознакою стресу або невідповідних умов. Це могло бути зумовлено неправильним поливанням, температурними коливаннями або порушенням режиму освітленості, що потребує коригування згідно з фізіологічними вимогами цієї рослини.

Додатково, більшість рослин були уражені шкідниками, зокрема представниками родини *Tetranychidae* (кліщі), що суттєво знижує їх життєздатність та декоративні якості.

На сьогодні, через відсутність належного догляду та боротьби зі шкідниками, значна частина рослин відпала, наприклад *Dracaena fragrans*. Це свідчить про недостатню ефективність існуючих заходів щодо збереження рослин та необхідність удосконалення підходів до їхнього догляду.

Окрім того, більшість рослин у зимовому саду уражені паразитами з родини *Diaspididae* (щитівки), що також негативно впливає на їх здоров'я та може стати джерелом подальшого розповсюдження шкідників.

Важливою проблемою є неправильне розміщення рослин у зимовому саду, яке здійснювалося хаотично, без врахування фізіологічних потреб кожного виду.

Невідповідність умов середовища природним вимогам рослин призводить до зниження їх потенціалу для формування здорового мікроклімату та безпечного середовища. Оскільки рослини виконують важливу роль у покращенні якості повітря та загального стану мікроклімату в приміщенні, неправильне їх розміщення та недостатня увага до умов їхнього розвитку зменшують ефективність внутрішнього озеленення та не забезпечують належну функцію створення безпечного та комфортного середовища для людей.

Зимовий сад виконує кілька функцій, зокрема:

- кафетерію;
- зали відпочинку чи роботи в середовищі, близькому до природного;
- музичного салону;
- зали слави почесних професорів;
- зали пам'яті загиблих у російсько-українській війні
- місця проведення заходів.

Заміри параметрів повітряного середовища в зимовому саду показали, що температура повітря (виміряно газоаналізатором D91, похибка до ± 1 °C, роздільна здатність ± 1 °C) коливається в межах 19 °C у холодний і перехідний періоди року, 27 °C у теплий період та до 35 °C у теплий період року, особливо при роботі приймальної комісії (до 150 членів комісії та абітурієнтів) за відсутності кондиціонування повітря.

Відносна вологість повітря (виміряно газоаналізатором D91, похибка до ± 5 %, роздільна здатність 1 %) коливається навколо 40 % у холодний і перехідний періоди року та становить біля 50% у теплий. Вона досягає 60 % при масовому перебуванні людей (літня вступна кампанія).

Освітленість (виміряно люксометром Ю-116, похибка ± 10 % виміряної величини) біля простінків становить 600...800 лк, а біля вікон – 1600...2800 лк.

За формулою (4.2) та табл. 4.3 визначаємо прогнозний стан рослин (табл. 4.5). У цій же таблиці наведено відповідні рекомендації щодо залучення рослин до зимового саду. Виконання зазначених рекомендацій дозволить значно покращити гігієнічні умови в приміщенні.

Для максимального ефекту багатофункціональні приміщення необхідно зонувати, а рослини здатні створити не лише візуальні природні бар'єри, але й створити перешкоди для розповсюдження шкідливих факторів між зонами. Зокрема, зона харчування характеризується підвищеним бактеріальним навантаженням, особливо завдяки смітникам, убудованим до столів, де певний час залишки їжі лишаються без дезінфекції.

Таблиця 4.5

Результати оцінювання та рекомендації щодо асортименту рослин

Рослина	Результати розрахунку біля простінків (верхній рядок, 700 лк) та вікон (нижній рядок, 2200 лк) для періоду:			Висновки та рекомендації
	холодного	теплого	робота приймальної комісії	
<i>Monstera deliciosa</i>	68 67	81 79	99 97	Застосування можливе, очікується, що протягом холодного періоду року втрачатиме декоративні якості та погіршуватиме фітонцидну активність
<i>Schéfflera</i>	94 92	92 91	94 94	Рекомендована до використання
<i>Dracaena marginata</i>	78 78	87 87	100 100	Рекомендована до введення в інтер'єр з незначним погіршенням декоративних якостей та фітонцидної активності протягом холодного періоду року
<i>Yucca elephantipes</i>	75 76	75 76	69 69	Буде мати посередні декоративні якості та фітонцидні властивості
<i>Ficus elastica</i>	59 63	70 73	80 83	Буде мати посередні декоративні якості та фітонцидні властивості, особливо протягом зимового періоду
<i>Ficus Benjamina</i>	46 49	46 51	45 54	Застосування допустиме, але з суворим дотриманням умов догляду
<i>Philodendron, Aglaonema</i>	76 78	78 78	82 82	Рекомендована до введення в інтер'єр з незначним погіршенням декоративних якостей та фітонцидної активності
<i>Chlorophytum comosum</i>	82 82	89 88	99 97	Рекомендований до введення в інтер'єр з незначним погіршенням декоративних якостей та фітонцидної активності протягом холодного періоду року

Розмови та звук від холодильників і кавової машини постійно заважає функціонуванню зони музичного салону. Музика ж, навпаки, може заважати переговорам на столах кафетерію. Таким чином, зонування подібних приміщень є важливим завданням – предметом наступного розділу.

4.3. Висновки до розділу 4

1. Розроблений підхід до оцінювання стану рослин в інтер'єрах дозволяє отримувати регресійні математичні моделі якості рослин для фіторе mediaції внутрішнього повітряного середовища та створення комфортного та безпечного мікроклімату приміщень.
2. Проведені спостереження за рослинами та показниками внутрішнього середовища зимового саду Київського національного університету будівництва і архітектури дозволили запропонувати рекомендації щодо введення рослин в інтер'єр цього приміщення. Зокрема, *Schéfflera*, *Dracaena marginata* та *Chlorophytum comosum* показали найкращі бали в даному інтер'єрі, а *Yucca elephantipes*, *Ficus Benjamina* та *Ficus elastica* мають посередні показники і можуть бути застосовані лише при суворому дотриманні агротехнічних вимог щодо вирощування.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ ФІТОДИЗАЙНУ ДЛЯ БІОФІЛЬТРАЦІЇ ПОВІТРЯ В НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ

5.1. Тривимірні моделі планування зимового саду та прилеглої до нього зони фойє

Аналіз даних таблиці 4.5 дозволив сформувати асортимент рослин, які мають високий адаптаційний потенціал (80 та більше балів до мікрокліматичних умов приміщення зимового саду КНУБА: *Monstera deliciosa*, *Schefflera*, *Dracena marginata*, *Ficus elastica*, *Philodendron*, *Aglaonema*, *Chlorophytum comosum*.

Було створено тривимірні моделі зимового саду КНУБА без рослин, виходячи з поточного зонування зимового саду (рис. 5.1, 5.2).



Рис. 5.1. Тривимірна модель зимового саду. Вид на ост-зюйд-ост

Також було побудовано зону фойє, яка є протилежною до зимового саду (центральный вхід), де через низький рівень освітленості (300-700 лк) немає рослин (рис.5.3 та 5.4).



Рис. 5.2. Тривимірна модель зимового саду: вид на південь



Рис. 5.3. Тривимірна модель фойє: вид на південний захід

Загальний вигляд зимового саду з прилеглою до неї зоною фойє (рис. 5.5) показано згори у розрізі. Світлопрозорі огороження фойє спрямовано на північний захід, що й обумовлює низьку освітленість протягом усього дня.



Рис. 5.4. Тривимірна модель фойє: вид на південь

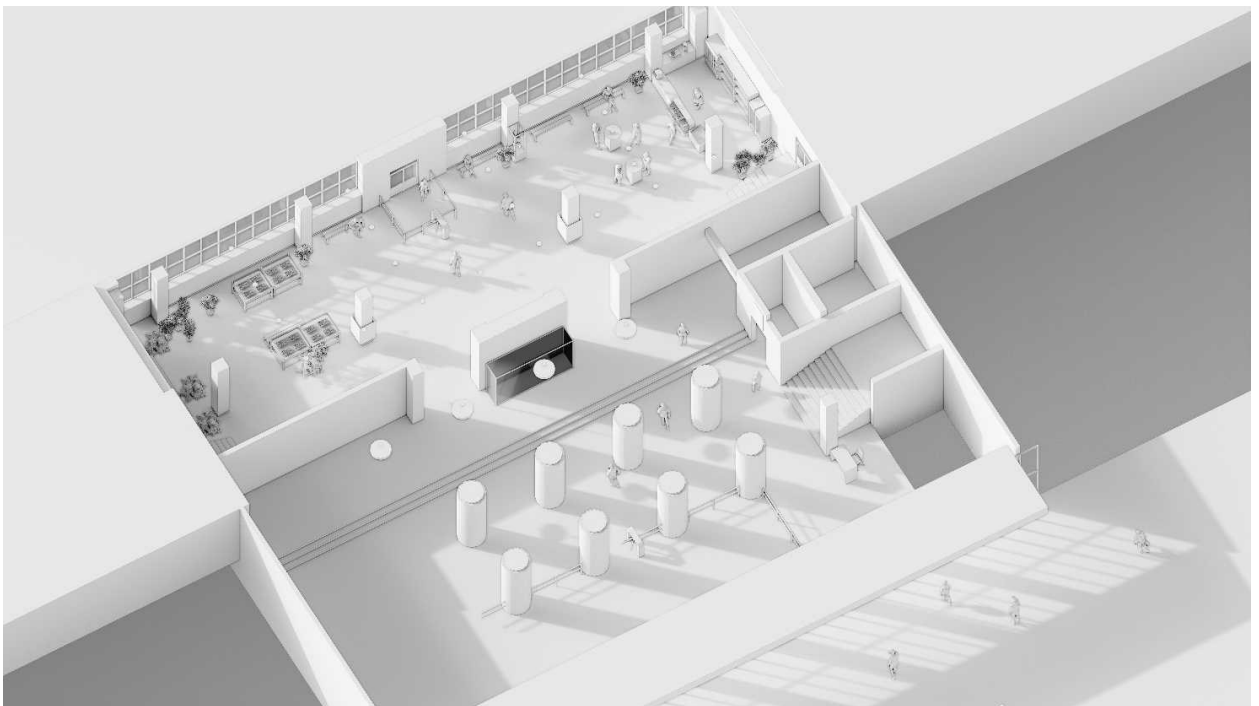


Рис. 5.5. Тривимірна модель зимового саду та фойє: вид згори

У вечірні години перед заходом сонце не освітлює цю частину через затінення сусідньою забудовою. Ця частина опромінюється лише дифузною сонячною радіацією та відбитим сонячним промінням від будинків.

Тривимірне моделювання зони фойє було зроблене з метою озеленення цієї зони тривалими рослинами.

5.2. Пропонований фітодизайн зимового саду

Аналіз даних таблиці 4.5 дозволив сформувати асортимент рослин, які мають високий адаптаційний потенціал (80 та більше балів до мікрокліматичних умов приміщення зимового саду КНУБА: *Monstera deliciosa*, *Scefflera*, *Dracena marginata*, *Ficus elastica*, *Philodendron*, *Aglonema*, *Chlorophytum comosum*.

Зростання кількості колоній грибків у повітрі приміщень пов'язано з органічними залишками [149] при вживанні їжі, особливо за наявності відкритих смітників. Грибки впливають на людей і викликають:

- мікози при ослабленні імунітету через різні причини;
- алергічні реакції до небезпечних для життя (астматичний статус);
- рак у перспективі через сильні канцерогени – мікотоксини.

Грибки також негативно впливають на огорожувальні конструкції, меблі та обладнання.

Для зменшення числа грибків кафетерій було вирішено відокремити від загальної зони зимового саду рослинами в поєднанні з різними елементами дизайну (рис.5.6-5.9). В зоні стелі, яка знаходиться над стойкою буфету, запропоновані конструкції з ампельними рослинами *Philodendron scandens* та *Chlorophytum comosum*. Ці рослини виявили високий бал адаптації до внутрішніх умов, володіють фітонцидними властивостями та невибагливі в догляді. Крім того, вони легко переносять обрізку пагонів.

Збоку від зони сходів на підлозі (рис.5.7-5.9) пропонується вазони з композиціями з таких рослин як *Monstera deliciosa*, *Scefflera*, *Dracena marginata*, *Ficus elastica*, *Aglonema*, а зверху будуть знаходитися підвісні конструкції з а рослинами. З часом ампельні рослини будуть розростатися до низу та створювати ажурну живу зелену стіну, яка буде відокремлювати зону буфету від іншого простору.



Рис. 5.6. Пропонований фітодизайн зимового саду. Вид на ост-зюйд-ост



Рис. 5.7. Пропонований фітодизайн зимового саду. Вид на південний захід

Композиції на підлозі в прямокутних вазонах – дуже зручна форма для зонування:

- їх не так легко зсунути та пошкодити, тому зона прийняття їжі буде завжди відокремлена;



Рис. 5.8 Пропонований фітодизайн зимового саду. Вид на північний схід



Рис. 5.9. Пропонований фітодизайн зимового саду. Вид на захід

- по-друге, композиція з великомірних рослин виглядає більш естетично та насичено, створює кращий психоемоційний стан;
- більш інтенсивно знижується шумове навантаження, адже композиція виконує роль живої щільної огорожі



Рис. 5.10. Пропонований фітодизайн зимового саду. Вид на північний захід

- догляд за композицією рослин простіший у порівнянні з окремими великомірними рослинами.

Окремо запропоновано дизайн озеленення колон, наявних у зимовому саду. Гладкий мармур, яким облицьовано колони, непридатний для кріплення ліан. Для фіксування пагонів рослин на колони пропонуються такі варіанти:

- застосувати звисання ампельних рослини, але це призведе до потреби поливання рослин на висоті або розведення системи автоматичного поливання на стелі
- оббити колони декоративною кованою сіткою, яка буде поступово заростати рослинами
- оббити колону сіткою зеленого кольору, якою пустити одразу велику кількість рослин, щоб її повністю закрити, при цьому ефективно використати великомірні рослини видів *Monstera deliciosa*, *Shefflera*, *Philodendron* тощо

- оббити колону сіткою зеленого кольору, яку лишити частково відкритою до заростання (рис. 5.11), при цьому також ефективно використати великомірні рослини видів *Monstera deliciosa*, *Shefflera*, *Philodendron* тощо
- поступово підв'язувати рослини до колони по мірі зростання.



Рис. 5.11. Приклад озеленення колон з зеленою сіткою – бібліотека
Варшавської політехніки

Загалом для озеленення колон пропонуються такі рослини як *Philodendron scandens*, *Epipremnum aureum*, *Epipremnum pinnatum*, *Philodendron scandens*.

На центральній стіні від входу (рис. 5.11) пропонується зробити живу зелену стіну. Як вже було зазначено у розділі 1, зелені стіни значно збільшують площу озелених поверхонь, кількість поглинання поллютантів та CO₂, а також

патогенної мікрофлори. До того ж значно покращується сприйняття інтер'єру та мікрокліматичні параметри, як-от: відносна вологість повітря і знижується радіаційна температура.

Для цього не обов'язково встановлювати складні конструкції. Наприклад, можна закріпити лотки з ґрунтом або горщиками (рис. 5.12)



Рис. 5.12. Приклад озеленення стіни – кав'ярня в м. Києві

Також можна використовувати повстяні або пластикові кишенькові системи зелених стін (рис. 3.12).

Для асортименту рослин живої стіни пропонується створити з наступних видів рослин: *Philodendron scandens*, *Epipremnum aureum*, *Epipremnum pinnatum*, *Philodendron scandens*, *Monstera deliciosa*, *Aglaonema*, *Chlorophytum comosum*, *Anthurium andraeanum*.

Найбільш проблематичними для озеленення частинами є зона безпосередньо біля вікон зимового саду та фойє. У першому випадку кількість сонячної радіації перевищує потреби рослин, а в другому спостерігається нестача освітлення. Тому пропонується відсунути *Yucca elephantipes* на 1,5 м від вікон. Це покращить їхнє сприйняття з лавок без зменшення фітонцидного впливу.

Для покращення мікроклімату та умов рослинам пропонується:

- вжити заходів сонцезахисту вікон зимового саду, наприклад, жалюзі суміщеними з фотовольтаїчними елементами;
- зменшити поглинання сонячної радіації покриттям;
- застосування світловідбивального покриття блискучим матеріалом або світлим щебнем;
- встановлення фотовольтаїчних панелей;
- влаштування діжково-кадкового арборетуму з сукулентами, що забираються на зиму, при цьому взимку зберігається пасивне опалення зимового саду.

У фойє потрібні рослини, що є максимально тіньовитривалими:

- *Zamiaculcas zamiifolia*;
- *Aspidistra elatior*;
- *Philodendron scandens* на опорах.

Їх слід розміщувати ближче до світлопрозорих огорожень. Можна запропонувати направлене акцентне штучне освітлення рослин за рахунок загального освітлення фойє. Відбите від рослин світло буде розповсюджуватися в об'ємі, як це було зроблено на рис. 3.12

5.3. Висновки до розділу 5

1. Запропонований фітодизайн зимового саду Київського національного університету будівництва і архітектури дозволяє зменшити основні шкідливі фактори, зокрема мікробне забруднення та шум. Рослини підібрано за математичними моделями за очікуваним показником не нижче 80.
2. Зонування простору зимового саду рослинами дозволяє створити бар'єри для розповсюдження шкідливих факторів як-от мікробне забруднення повітря та шум.
3. Рекомендовано покращити мікроклімат зимового саду та умови зростання рослин шляхом сонцезахисту вікон та зменшення поглинання теплоти рослинами

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У роботі розв'язано актуальну та важливу науково-практичну задачу розроблення ефективних біофільтраційних технологій для створення здорових і безпечних умов у приміщеннях різного призначення.
2. Проведений аналіз літературних джерел показав великий попит на дослідження забруднення повітря у закритих приміщеннях, зокрема природний механізм зі застосуванням фітодизайну для покращення здоров'я людини та гігієни праці. При цьому механізм газообміну у рослин вивчено недостатньо. На сьогодні немає класифікації приміщень з огляду на гігієну праці. Тобто, потрібно ініціювати внесення змін або створення відповідної класифікації, яка значно полегшить оцінювання безпеки перебування людей у приміщенні. Також немає чіткої класифікації забруднювачів повітря, а також універсального асортименту рослин для введення в інтер'єри.
3. Запропонована класифікація шкідливих факторів, що призводить до синдрому хворого будинку (СХБ), поділяє їх 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 відеоекологічні фактори (агресивна забудова, депресивні ландшафти, нестача озеленення, світлове забруднення). Внутрішні фактори запропоновано 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 відеоекологічних факторів, дискомфорту, шуму, вібрації, інфразвуку) та біохімічні (токсини,

хімічні елементи, леткі органічні речовини, бактерії, пліснява, спори, віруси, дим від куріння).

4. На прикладі п'яти різних типів приміщень показано доцільність введення в інтер'єр рослин задля очищення повітря від патогенної мікрофлори під дією фітонцидів. Головною умовою є правильний підбір асортименту фітонцидних рослин та створення ним відповідних умов. Показано, що в розглянутих приміщеннях весь асортимент рослин є фітонцидним, однак у зимовому саду Київського національного університету будівництва і архітектури рекомендовано введення додаткових рослин для забезпечення ефекту у всій площі. Показано здатність рослин знижувати мікробне число в приміщеннях в 1,5...11,8 разів. Оброблення результатів досліджень фітонцидних властивостей рослин методом листкових дисків дозволив ранжувати рослини за фітонцидною активністю від *Chlorophytum comosum* (ширина зон лізису від дисків 14,3 мм) до *Phoenix dactylifera* (4,1 мм). Показано, що для забезпечення ефекту покращення ментального здоров'я необхідно приділяти особливу увагу правильному розміщенню рослин відносно відвідувачів і вікон.
5. Розроблений підхід до оцінювання стану рослин в інтер'єрах дозволяє отримувати регресійні математичні моделі якості рослин для фіторемедіації внутрішнього повітряного середовища та створення комфортного та безпечного мікроклімату приміщень. Запропоновано підхід до оцінювання стану рослин в приміщеннях за 100-бальним показником якості відповідно до оцінки за трьома шкалами від 1 до 5 балів з відповідними коефіцієнтами вагомості. За результатами спостереження в різних умовах складено регресійні математичні моделі для діапазону температури 10...30 °C, відносної вологості 30...70 % і освітленості 1000...10000 лк сонячного спектру. Це дозволяє прогнозувати стан рослин у різних зонах приміщень задля правильного підбирання асортименту рослин в різних зонах приміщень. Вплив усіх факторів та їхніх взаємодій

може бути як позитивним, так і негативним, коефіцієнти регресії змінюються в широких межах від мінус 1,86 до плюс 2,508.

6. На основі проведеного аналізу запропоновано фітодизайн зимового саду Київського національного університету будівництва і архітектури задля боротьби з основними шкідливими факторами, серед яких мікробне забруднення та шум. Рослини підібрано за математичними моделями за очікуваним показником не нижче 80: *Monstera deliciosa*, *Schefflera*, *Dracena marginata*, *Ficus elastica*, *Philodendron*, *Aglaonema*, *Chlorophytum comosum*. При цьому досягнуто зонування простору зимового саду з утворенням бар'єрів для розповсюдження шкідливих факторів як-от мікробне забруднення повітря та шум. В умовах недостатньої освітленості фойє рекомендуються такі рослини: *Zamiaculcas zamiifolia*, *Aspidistra elatior*, *Philodendron scandens*.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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.msdmanuals.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. Flayyih H. Q., Waleed J., Ibrahim A. M. Indoor Air Quality Prediction in Sick Building Using Machine and Deep Learning: Comparative Analysis. *Diyala Journal of Engineering Sciences*. 2025. P. 203–218.
URL: <https://doi.org/10.24237/djes.2025.18112> (date of access: 03.05.2025).
 40. 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>.
 41. 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>.
 42. 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>.
 43. Berger J., Essah E., Blanusa T. The impact of plants on the humidity of naturally-ventilated office indoor environments. *Journal of Building Engineering*. 2024. Vol. 86. P. 108814.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108814>.
 44. 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>.
 45. 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>.
 46. 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>.

47. 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>.
48. 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.
49. Effects of plant leaf surface and different pollution levels on PM_{2.5} 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>.
50. 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>.
51. 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>.
52. 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).
53. Effects on air pollutant removal by plant absorption and adsorption / S. Fujii et al. *Building and Environment*. 2005. Vol. 40. P. 105–112. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.04.015>.
54. Indoor-Plant Technology for Health and Environmental Sustainability / M. Burchett et al. Sydney, Australia : Horticulture Australia, 2011.
55. Gas Exchange Research on Plant Layers of Green Structures and Indoor Greening for Sustainable Construction / T. Tkachenko et al. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, no. 8. P. 3467. URL: <https://doi.org/10.3390/su17083467>.

56. Building and Environment / M. Budaniya et al. *Building and Environment*. 2025. Vol. 274. P. 112785.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112785>.
57. Improvement of the safety of multi-floor housing / T. Tkachenko et al. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. P. 012064.
URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012064>.
58. Tkachenko T., Mileikovskiy V. Increasing indoor air quality by a natural sanitizing interior. *E3S Web of Conferences*. 2020. P. 02015.
URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021102015>.
59. Current State of Indoor Air Phytoremediation Using Potted Plants and Green Walls / S. Bandehali et al. *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, no. 4. P. 473.
URL: <https://doi.org/10.3390/atmos12040473>.
60. Москвітін А., Приймаченко О., Бистров Д. Використання нечіткої логіки для управління vav- системою кондиціонування повітря в поєднанні з зеленою стіною. *Просторовий розвиток*. 2024. № 10. С. 389–406. URL: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.10.389-406>.
61. 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>.
62. 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>.
63. 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>.
64. 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.
65. 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>.
 66. 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>.
 67. Treesubuntorn 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>.
 68. 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>.
 69. 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>.
 70. 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>.
 71. 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>.

72. 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>.
73. Studies on the decontamination of air by plants / J. J. Cornejo et al. *Ecotoxicology*. 1999. Vol. 8. P. 311–320. URL: <https://doi.org/10.1023/A:1008937417598>.
74. Державний класифікатор будівель та споруд ДК 018-2000. Київ: Держстандарт України, 2000. 35 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va507565-00#Text>.
75. Класифікатор будівель і споруд НК 018:2023. Київ: Мінрегіон України, 2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v3573930-23#Text>.
76. ДБН В.2.2-3:2018. "Заклади освіти". Чинний від 2018-04-25. Вид. офіц. Київ, 2018. 63 с. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199639927805445716?doc_type=2 (дата звернення: 05.04.2025).
77. 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).
78. ДБН В.2.2-28:2010. "Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення". На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01. Вид. офіц. Публічне акціонерне товариство "український зональний науково-дослідний і проектний інститут по цивільному будівництву" : Мінрегіонбуд України, 2011. 52 с. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3080029223885211423 (дата звернення: 09.04.2025).
79. 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).
80. Цюрюпа Ю., Негрій Т. Вплив біологічних факторів на мікроклімат виробничого приміщення. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. : Зб. матеріалів VIII міжнар. конгр., м. Львів, 16–18 жовт. 2024 р. Київ, 2024. С. 234. URL: <https://doi.org/10.56287/8285-40-1>.
 81. Phytoremediation of volatile organic compounds by indoor plants: a review / K. J. Kim et al. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 2018. Vol. 59. P. 143–157. URL: <https://doi.org/10.1007/s13580-018-0032-0>.
 82. Organization W. H. Indoor Air Quality: Organic Pollutants. Copenhagen, Denmark : World Health Organization Regional Office for Europe, 1989.
 83. The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality. *U.S. Consumer Product Safety Commission*. URL: <https://www.cpsc.gov/Safety-Education/Safety-Guides/Home/The-Inside-Story-A-Guide-to-Indoor-Air-Quality> (date of access: 03.05.2025).
 84. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища, тяжкості і напруженості трудового процесу) : Інші Органів влади СРСР від 12.08.1986 № 4137-86 : станом на 30 трав. 2014 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86#Text> (дата звернення: 03.05.2025).
 85. Tsiuriupa Y., Bubon S. Development of a classification of factors that determine the occurrence and course of "sick building syndrome". *Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference "Green Construction"*. Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture. 2025, Київ, 2025. С. 249-251. URL: https://www.researchgate.net/publication/391850107_Proceedings_of_the_I

V International Scientific and Practical Conference Green Construction Kyiv 13-14 May 2025 (access date: 18.05.2025)

86. Відеоекологія. 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).
87. ASHRAE Standard 55:2017, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE, 2017.
88. 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.
89. Duong H., Patel G. Hypothermia. *StatPearls [Internet]*.
URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545239/>.
90. Hancock P., Vasmatzidis 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>.
91. 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>.
92. 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>.
93. 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>.
94. 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>.

95. 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).
96. 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).
97. 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>.
98. 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>.
99. 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>.
100. 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).
101. 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>.
102. 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).
103. 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).
104. 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).
105. 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).
106. Cristea A. F., Bălcău M. C., Haragăș 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>.
107. 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>.
108. 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.
109. 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

110. 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).
111. 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).
112. 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).
113. 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).
114. Smallwood J. M. ESD Control Program Handbook. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2020. 544 p.
115. 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).
116. Zannella S. Biological effects of magnetic fields. 1998. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:16793055>.
117. 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>.
118. Hamouda S., Amneenah N. Electromagnetic Interference Impacts on Electronic Systems and Regulations. 2024. Vol. 1. P. 124–127.
119. Effect of strong pulsed electromagnetic field on metal's solidified structure / B. T. Zi et al. 2000. Vol. 49. P. 1013–1014.
120. Wik M., Radasky W. Intentional Electromagnetic Interference (IEMI)–Background and Status of the Standardization Work in the International Electrotechnical Commission (IEC).

121. Vornanen-Winqvist C., Järvi K., Andersson M. A., Duchaine C., Létourneau V., Kedves O., Kredics L., Mikkola R., Kurnitski J., Salonen H. (2020) Exposure to indoor air contaminants in school buildings with and without reported indoor air quality problems. *Environment International*, Vol. 141, p. 105781. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105781>
122. Seong D., Norman R.S., Hoque S. (2019) Influence of indoor conditions on microbial diversity and quantity in schools. *E3S Web of Conferences*, Vol. 111, p. 01035. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911101035>
123. Sharma A., Richardson M., Cralle L., Stamper C. E., Maestre J.P., Stearns-Yoder K.A., Postolache T.T., Bates K.L., Kinney K.A., Brenner L.A., Lowry C.A., Gilbert J.A., Hoisington A.J. (2019) Longitudinal homogenization of the microbiome between both occupants and the built environment in a cohort of United States Air Force Cadets. *Microbiome*, Vol. 7, p. 70. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0686-6>
124. Belay M.M., Ambelu A., Mekonen S., Karbana G., Yemane B. (2024) Investigating Microbial Contamination of Indoor Air, Environmental Surfaces, and Medical Equipment in a Southwestern Ethiopia Hospital. *Environmental Health Insights*, Vol. 18. <https://doi.org/10.1177/11786302241266052>
125. Kayta G., Manilal A., Tadesse D., Siraj M. (2022) Indoor air microbial load, antibiotic susceptibility profiles of bacteria, and associated factors in different wards of Arba Minch General Hospital, southern Ethiopia. *Plos One*, Vol. 17, No. 7, p. e0271022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271022>
126. Borrego S., Guiamet P., de Saravia S.G., Batistini P., Garcia M., Lavin P., Perdomo I. (2010) The quality of air at archives and the biodeterioration of photographs. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 64, Iss. 2, pp. 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.12.005>
127. Tana H., Leea C. T., Othmanb M.H.D., Zubirc M.A., Nyakumad B.B., Chonge W.T., Fanf Y.V., Wong K.Y. (2023) Evaluation of Microbial Contamination for Pre- and PostSurgical Procedures in Hospital Operating

- Rooms: A Systematic Onsite Sampling. Chemical engineering transactions. Vol. 106., pp. 601-606. <https://doi.org/10.3303/CET23106101>
128. Guo H., Li W., Huang Y, Li X., Li Z., Zhou H., Sun E., Li L., Li J. (2020) Increased microbial loading in aerosols produced by non-contact air-puff tonometer and relative suggestions for the prevention of coronavirus disease 2019 (COVID-19). Plos One, Vol. 15, No. 10, p. e0240421. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240421>
 129. Tanaka N. (2021) Real-time Monitoring of Bioaerosol in a Residential Property in Central Tokyo. Asian Journal of Atmospheric Environment. Vol. 15, p. 2021055 <https://doi.org/10.5572/ajae.2021.055>
 130. Tkachenko T., Mileikovskyi V., Dziubenko V., Tkachenko O. (2020) Improvement of the safety of multifloor housing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 907, p. 012064. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012064>
 131. Tkachenko T., Mileikovskyi V. (2020) Increasing indoor air quality by a natural sanitizing interior. E3S Web of Conferences. Vol. 211. p. 02015 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021102015>
 132. Yak vidznachialy Vsesvitnii den ekolohichnoho markuvannia v KNUBA, available at <https://livingplanet.org.ua/novuny/yak-vidznachali-vsesvitnij-den-ekologichnogo-markuvannya-v-knuba> (Published 10 October 2024)
 133. Tkachenko T., Prokopenko I. (2021) Improvement of the indoor air environment using phytodesign by phytoncidal plants [Ozdorovlennia povitrianooho seredovyscha zakrytykh prymishchen za dopomohoiu fitodyzainu fitontsydnymy roslynamy]. Ventyliatsiia, osvittennia ta teplohazopostachannia, Vol. 37, pp. 54-61. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2021.37.54-61>
 134. Tkachenko T., Lis A., Tsiuriupa Yu. et al. Planning of green roofs for the best thermotechnical effect / Scientific Review Engineering and Environmental Sciences (SREES). 2025. Vol. 34, no. 1. P. 42–54. URL: <https://doi.org/10.22630/srees.9954>

135. Мілейковський В. О. Експериментальні аеродинамічні дослідження вентиляційних систем. Київ: Юстон, 2021. 216 с.
136. Tkachenko, T., Shkuratov, O., Fazil oğlu Qasimov, A., Mileikovskiy, V., Moskvitina, A., Konovaliuk, V., Kravchenko, M., Trach, Y., Pryshchepa, A., Trach, R., Hnes, O., Tsiuriupa, Y., & Piechowicz, K. (2025). Gas Exchange Research on Plant Layers of Green Structures and Indoor Greening for Sustainable Construction. *Sustainability*, 17(8), 3467. <https://doi.org/10.3390/su17083467>
137. Корбут В., Ткаченко Т., Мілейковський В., Вахула В., Цюрюпа Ю. Оцінювання ефективності організації повітрообміну для формування біобезпечного та комфортного середовища приміщень з масовим перебуванням людей/ В. Корбут та ін. Енергія. Ресурси. Екологія: Робоча програма та тези доп. V-ї Міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 27–29 листоп. 2024 р. Київ, 2024. С. 71–72. URL: <https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/ere-2024-ua.pdf> (дата звернення: 04.05.2025)
138. Цюрюпа Ю. В., Ткаченко Т. М. Вплив біологічних факторів на повітряне середовище приміщень різного призначення. «Актуальні питання суспільства у сферах екологічної та цивільної безпеки, енергозбереження, менеджменту та економіки»: Матеріали Всеукр. науково-практ. конф. за участю молодих уч. та здобувачів вищ. освіти, м. Запоріжжя. Запоріжжя, 2024. С. 170–173. URL: https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/2024/aktualni-pytannya/zbirnyk_24.pdf (дата звернення: 04.05.2025)
139. The research method for indoor air sanitation dependent on the ventilation / Y. Tsiuriupa et al. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction». Київ, 2024. Р. 375–377. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf (date of access: 04.05.2025).

140. Lee H., Jun Z., Zahra Z. Phytoremediation: The sustainable strategy for improving indoor and outdoor air quality // *Environments*. 2021. Vol. 8, № 11. P. 118. DOI: <https://doi.org/10.3390/environments8110118>.
141. Gawronski S. W., Gawronska H., Lomnicki S., Sæbo A., Vangronsveld J. Plants in air phytoremediation // *Advances in Botanical Research*. 2017. Vol. 83. P. 319–346. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2016.12.008>.
142. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.203>.
143. Bandehali S., Miri T., Onyeaka H., Kumar P. Current state of indoor air phytoremediation using potted plants and green walls // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, № 4. P. 473. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12040473>.
144. 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, № 2. P. 224–228. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02858837>.
145. Tkachenko T., Mileikovskyi V. Increasing indoor air quality by a natural sanitizing interior // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 211. Art. 02015. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021102015>.
146. Tkachenko T., Mileikovskyi V., Dziubenko V., Tkachenko O. Improvement of the safety of multi-floor housing // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 907, № 1. Art. 012064. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012064>.
147. Горницкая И. Об интродукционной оценке некоторых тропических и субтропических растений в коллекции Донецкого ботанического сада АН УССР // *Интродукция и акклиматизация растений*. 1986. Вып. 5. С. 37–42.
148. Ткаченко Т. М., Прокопенко І. А. Оздоровлення повітряного середовища закритих приміщень за допомогою фітодизайну фітонцидними

рослинами. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2021.

Т. 37. С. 54–61. URL: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2021.37.54-61>.

149. Samson R.A., Houbraeken J., Thrane U., Frisvad J.C., Andersen B. Food and Indoor Fungi. Second Edition. Utrecht: Westerdijk Fungal Biodiversity Institute, 2019. 481 p.

ДОДАТОК А.
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації

а) статті у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus:

1. Gas Exchange Research on Plant Layers of Green Structures and Indoor Greening for Sustainable Construction / T. Tkachenko et al. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, no. 8. P. 3467. URL: <https://doi.org/10.3390/su17083467> (дата звернення: 15.04.2025) **(SCOPUS, Q1)**

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні особливостей впливу освітленості на газообмін в рослинах, зокрема критичного значення освітленості, вище якого приросту фотосинтетичної активності не відбувається

2. Tkachenko T., Lis A., Tsiuriupa Yu. et al. Planning of green roofs for the best thermotechnical effect. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences (SREES)*. 2025. Vol. 34, no. 1. P. 42–54. URL: <https://doi.org/10.22630/srees.9954> **(SCOPUS, Q3)**

Особистий внесок здобувача полягає в проведенні аналізу позитивних ефектів від зелених конструкцій.

б) статті в наукових виданнях, внесених до переліку наукових фахових видань України категорії «Б» :

3. 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>.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

4. Korbut V., Tkachenko T., Mileikovskiy V., Vakhula V., Tsiuriupa Yu. Evaluation of the effectiveness of air exchange for the formation of a bio-safe and comfortable environment of premises with a massive presence of people. *Energy. Resources. Ecology: Program and abstracts of reports of the 5th international scientific and practical conference*, Kyiv, 27–29 November 2024. Kyiv, 2024. P. 68–69. URL: <https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2025/02/ere-2024-eng-1.pdf> (дата звернення: 04.05.2025).

Особистий внесок здобувача полягає в розробленні рекомендацій щодо використання рослин для зменшення забруднення повітря при змішувальній вентиляції

5. The research method for indoor air sanitation dependent on the ventilation / Y. Tsiuriupa et al. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction»*. Київ, 2024. P. 375–377. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf (date of access: 04.05.2025).

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі напрямків досліджень фітонцидної активності рослин та впливу кратності повітрообміну на фітонцидну активність

6. Цюрюпа Ю. В., Ткаченко Т. М. Вплив біологічних факторів на повітряне середовище приміщень різного призначення. *«Актуальні питання суспільства у сферах екологічної та цивільної безпеки, енергозбереження, менеджменту та економіки»*: Матеріали Всеукр. науково-практ. конф. за

участю молодих уч. та здобувачів вищ. освіти:, м. Запоріжжя. Запоріжжя, 2024. С. 170–173. URL: https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/2024/aktualni-pytannya/zbirnyk_24.pdf (дата звернення: 04.05.2025).

Особистий внесок здобувача полягає в дослідженні впливу фітонцидних рослин на мікробне число в зимовому саду Київського національного університету будівництва і архітектури

7. Цюрюпа Ю., Негрій Т. Вплив біологічних факторів на мікроклімат виробничого приміщення. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування.* : 3б. матеріалів VIII міжнар. конгр., м. Львів, 16–18 жовт. 2024 р. Київ, 2024. С. 234. URL: <https://doi.org/10.56287/8285-40-1>.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі відомих способів класифікації шкідливих факторів та можливостей застосування рослин для зменшення шкідливого впливу біологічних факторів.

8. Tsiuriupa Y., Bubon S. Development of a classification of factors that determine the occurrence and course of "sick building syndrome". *Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference "Green Construction"*. Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture. 2025, Київ, 2025. С. 249-251. URL:

https://www.researchgate.net/publication/391850107_Proceedings_of_the_IV_International_Scientific_and_Practical_Conference_Green_Construction_Kyiv_13-14_May_2025.

Особистий внесок здобувача полягає в розробленні класифікації визначальних факторів синдрому хворого будинку.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення і результати дисертаційної роботи були представлені та обговорені на міжнародних конференціях: 5th International scientific and

practical conference Energy. Resources. Ecology (Kyiv 2024), International scientific and practical conference «Green Construction» (Київ, 2024, 2025), Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих учених та здобувачів вищої освіти «Актуальні питання суспільства у сферах екологічної та цивільної безпеки, енергозбереження, менеджменту та економіки» (Запоріжжя 2024), VIII міжнародний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, 2024).

ДОДАТОК Б.
АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ



МОН
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

просп. Повітряних Сил, 31,
м. Київ, 03037
тел. (044)241-55-80,
e-mail: knuba@knuba.edu.ua,
web: <http://www.knuba.edu.ua>
код ЄДРПОУ 02070909

А К Т

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Цюрюпи Юрія Володимировича

“Дослідження та математичне моделювання біофільтраційних елементів для створення безпечного та комфортного середовища приміщень”

Даний акт складений про те, що методичні розробки дисертаційної роботи Цюрюпи Юрія Володимировича за темою “Дослідження та математичне моделювання біофільтраційних елементів для створення безпечного та комфортного середовища приміщень” впроваджено в навчальний процес при підготовці студентів спеціальностей 101 «Екологія», 183 «Технології захисту навколишнього середовища», 191 «Архітектура та містобудування», 192 «Будівництво та цивільна інженерія» та 263 «Цивільна безпека», зокрема при викладанні дисциплін «Основи охорони праці», «Інженерне забезпечення будівель і споруд», «Біотехнології», «Охорона праці в галузі», «Організація безпечної експлуатації будівель та споруд», «Екологія та безпека життєдіяльності», «Спеціальний курс за науковою спеціальністю» тощо.

Даний акт не є підставою для будь-яких матеріальних зобов'язань, зокрема одержання премій та інших винагород.

Проректор з навчально-методичної роботи



Андрій ШПАКОВ

Д О В І Д К А

про передавання результатів дисертаційного дослідження

Цюрюпи Юрія Володимировича

**«Дослідження та математичне моделювання біофільтраційних
елементів для створення безпечного та комфортного середовища
приміщень»**

на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Цю довідку видано про те, що науково-технічні результати дисертаційного дослідження Цюрюпи Юрія Володимировича «Дослідження та математичне моделювання біофільтраційних елементів для створення безпечного та комфортного середовища приміщень» було передано для впровадження в дизайні адміністративної будівлі ФГ «Енергія-1» у Бориспільському районі Київської області.

Результати досліджень дозволять створити безпечні умови в офісних приміщеннях і вестибюлі будівлі задля підвищення безпеки перебування людей, особливо в періоди щорічних епідемій респіраторних захворювань. Це дозволить безпечно проводити переговори та зібрання, а також влаштовувати рекламні акції для просування органічної сільськогосподарської продукції.

Голова ФГ «Енергія-1»



Петро ЛІВИЙ

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "СТОЛИЧНИЙ БУДСОЮЗ"

01104, м. Київ, вул. Болсуновська, буд. 13-15

код ЄДРПОУ: 39770371

Ректору Київського національного
університету будівництва і архітектури,
д.е.н., професору

Олексію ДНІПРОВУ

ЛИСТ ПІДТРИМАННЯ

результатів дисертаційного дослідження

Цюрюпи Юрія Володимировича

**«Дослідження та математичне моделювання біофільтраційних елементів для створення
безпечного та комфортного середовища приміщень»**

на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Вельмишановний Олексію Сергійовичу!

Повідомляємо, що науково-технічні результати дисертаційного дослідження Цюрюпи Юрія Володимировича «Дослідження та математичне моделювання біофільтраційних елементів для створення безпечного та комфортного середовища приміщень» були передані та розглянуті задля подальшого впровадження в діяльність ТОВ «Столичний будсоюз».

Ці результати дозволяють підтримувати безпечні умови в приміщеннях різного призначення, особливо з масовим перебуванням людей. Перевагою використання природних механізмів захисту від розповсюдження інфекційних захворювань є відсутність шкоди довкіллю.

Також упровадження результатів роботи дозволить у майбутньому підвищити оцінку наших об'єктів за СОУ ОЕМ 08.002.41.032 після його прийняття, адже дозволяє інтегрувати озеленення в проекти задля вирішення технічних задач за п. 7.3.9 в зазначеного стандарту.

Генеральний директор



Олександр МИРОНЕНКО