

Київський національний університет будівництва і архітектури

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБІВ ГРАФІЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ СКЛАДОВИХ КОМФОРТУ

У статті здійснено комплексний аналіз методів графічної візуалізації складових комфорту в архітектурному середовищі з позицій прикладної геометрії. Показано, що графіка виступає не лише засобом ілюстрації, а й універсальним інструментом системного аналізу, комунікації та креативного проєктування. Спираючись на класифікацію за функціями графіки, запропоновану в наукових працях (зокрема, В. Плоского), у дослідженні здійснено її адаптацію до проблематики архітектурного середовища та комфорту. На цій основі виділено три групи методів — зображувальні, активні та креативні, які виконують різні ролі у процесі аналізу й проєктування.

Зображувальні методи (планувальні схеми, картосхеми, діаграми Венна, органограми, піктографіка) фіксують стан системи «як вона є» та наочно демонструють просторову структуру і взаємозв'язки між її елементами. Активні методи (номограми, матриці відповідності, теплові карти, радарні діаграми, діаграми Ішікави, дерева рішень) дають змогу простежити динаміку змін, виявити взаємозалежності параметрів та визначити інтегральні індекси комфорту. Креативні методи (діаграми Санкей, морфологічні карти, мапи сценаріїв, патернові карти, гібридні підходи) орієнтовані на генерацію нових рішень і сценаріїв, відкриваючи простір для інноваційного мислення в архітектурному проєктуванні.

Особливу увагу приділено перспективам розвитку мега-гібридних інтерактивних номограм, які поєднують багатовимірні шкали з можливістю сценарного моделювання. На відміну від класичних, такі номограми відображають не лише окремі параметри, а й їхню взаємозалежність (температура, вологість, світло, шум, якість повітря, приватність, комунікація, естетика тощо), автоматично формуючи точку загального комфорту у відсотковому вираженні. У поєднанні з інтерактивними панелями візуалізації вони стають ефективним інструментом адаптивного проєктування середовищ, здатних гнучко реагувати на різні потреби користувачів.

На основі проведеного аналізу зроблено висновок, що саме розвиток гібридних і динамічних методів візуалізації, зокрема мега-гібридних

інтерактивних номограм, є перспективним напрямом подальших наукових досліджень у сфері архітектури та прикладної геометрії. Запропонований підхід відкриває нові можливості для інтеграції багатовимірних даних, їх інтерпретації та практичного використання у створенні комфортного середовища, яке одночасно відповідає фізичним, психологічним, соціальним та емоційним вимогам людини.

Ключові слова: комфорт; архітектурне середовище; прикладна геометрія; візуалізація; графічні методи; номограми; мега-гібридні номограми.

Вступ. Проектування комфортного архітектурного середовища в сучасних умовах вимагає врахування складної взаємодії фізичних, психологічних, емоційних та соціальних чинників [1]. Ці параметри мають системний характер і перебувають у динамічних взаємозв'язках, що ускладнює їх комплексний аналіз. Традиційні підходи до оцінки комфорту часто фокусуються на окремих показниках – наприклад, температурі, освітленості чи акустичних параметрах – залишаючи поза увагою інтеграційні механізми та вплив рішень на користувача в цілому.

Складність завдання посилюється необхідністю ефективної комунікації між архітекторами, інженерами, дизайнерами та замовниками. Без наочних інструментів представлення даних багатоаспектна інформація про комфорт ризикує бути сприйнятою фрагментарно, що знижує якість прийнятих рішень. У цьому контексті графічні методи подання системи проектування – від блок-схем і діаграм до багатошкальних номограм і динамічних моделей – набувають ключового значення. Вони дозволяють не лише структурувати складні взаємозв'язки, але й виявляти потенційні конфлікти та зони синергії між різними рішеннями.

Водночас у науковій та професійній літературі відсутня усталена методологія, яка б інтегрувала системний підхід та інструменти графічної візуалізації саме для завдань формування комфортного середовища. Це створює потребу в розробці узгодженої моделі, яка поєднувала б теоретичні засади системного аналізу, сучасні можливості цифрових інструментів і практичні вимоги до архітектурного проектування.

Питання графічного подання системи проектування комфортного середовища тісно пов'язане із загальною теорією систем, яку у фундаментальних працях розвинув Дж. Клір [2]. У його підході архітектурне середовище розглядається як цілісна система взаємопов'язаних елементів, де кожен компонент впливає на досягнення загальної мети – забезпечення багатовимірного комфорту. Така методологія передбачає мислення в термінах взаємодій та ієрархій, що обумовлює потребу у візуальних інструментах, здатних показати не окремі параметри, а систему в цілому.

Історичним підґрунтям для подібних інструментів є номографія, започаткована М. д'Оканем [3]. Вона дозволяла відображати складні функціональні залежності у вигляді графічних обчислювальних схем. У контексті архітектурного проектування цей підхід трансформується у багатоскальні номограми, що дають змогу інтегрально оцінювати взаємодію факторів комфорту – від освітлення й акустики до теплових та соціальних параметрів – і швидко порівнювати різні проєктні сценарії.

Важливим методологічним внеском у розвиток візуалізації стала концепція візуальних змінних Ж. Бертена. Він довів, що форма, розмір, колір, тон, текстура, орієнтація та положення можуть системно структурувати дані та робити їх читабельними як для фахівців, так і для користувачів. Ця ідея лягла в основу інформаційного дизайну, що використовується для побудови матриць, діаграм і карт, здатних відобразити багатовимірну природу комфорту.

Подальший розвиток цієї логіки простежується в роботах К. Александера [4], автора «Мови шаблонів». Його підхід розглядає архітектурні рішення як мережу взаємопов'язаних патернів, що відповідають на конкретні людські потреби. Для задач комфорту це означає можливість побудови графових моделей, у яких вузлами виступають окремі параметри (наприклад, інсоляція, приватність, акустика), а ребрами – залежності або конфлікти між ними. Це дозволяє виявляти точки напруження та зони синергії між різними рішеннями.

Дослідження Б. Лоусона [5] підкреслюють, що візуалізація у проектуванні – це не лише форма презентації, а інструмент мислення. Діаграми допомагають висувати гіпотези, тестувати їх і поєднувати якісні судження з кількісними вимірюваннями, що особливо важливо у процесі ухвалення рішень, пов'язаних із балансом фізичного, психологічного та соціального комфорту.

Ідеї Дж. Форрестера [6] у галузі системної динаміки надають інструментарій для моделювання поведінки середовища в часі. Завдяки моделюванню зворотних зв'язків можна прогнозувати, як система реагуватиме на зміни умов – наприклад, підвищення рівня шуму, зміну освітленості чи температури – та адаптувати її під потреби користувачів. Це переводить поняття комфорту з фіксованого показника у динамічний профіль, ближчий до реального досвіду людини.

Сучасні інструменти, зокрема BIM-середовища та параметричні платформи (Rhino+Grasshopper, Revit+Dynamo), об'єднують блок-схеми, ієрархічні структури, графові моделі та симуляції в єдиному робочому просторі. Така інтеграція дозволяє одночасно планувати процеси, структурувати дані, моделювати взаємозв'язки, відстежувати динаміку та отримувати інтегральну оцінку впливу рішень на комфорт.

Загалом література та практика підтверджують, що графічні інструменти у системному підході виступають не просто візуалізацією, а інтелектуальними засобами пізнання і керування складними процесами. У

контексті проектування комфортного середовища вони дають змогу робити прозорими взаємозв'язки між рішеннями, прогнозувати їхні наслідки та забезпечувати персоналізований підхід до формування простору.

Мета і методи дослідження. Метою цього дослідження є розробка та обґрунтування методичного підходу до використання графічних інструментів для представлення системи проектування комфортного архітектурного середовища, що враховує багатовимірний характер комфорту та взаємозв'язок його складових.

У дослідженні використано системний підхід, теоретико-аналітичний та порівняльний методи для узагальнення існуючих наукових підходів і візуалізаційних практик. Для представлення багатовимірних характеристик комфорту застосовано структурно-функціональне моделювання та графоаналітичні методи (схеми, діаграми, номограми, карти), що дозволило класифікувати засоби візуалізації за зображувальною, активною та креативною функціями.

Результати та пояснення до дослідження. Сучасний розвиток прикладної геометрії та графічних технологій визначається не лише вдосконаленням технічних засобів побудови зображень [7, 8], але й методологічним зсувом від ілюстративного розуміння графіки до трактування її як універсального інструменту пізнання, аналізу й синтезу [9]. У цьому контексті функціональність графіки набуває ключового значення, оскільки вона забезпечує інтеграцію різних інформаційних рівнів і перетворює візуальне представлення на активний компонент дослідницького та проєктного процесу.

У дослідженнях архітектурного середовища, орієнтованого на комфорт, графіка може виконувати три групи функцій:

Зображувальні функції. Вони реалізуються через створення схем, діаграм, карт та інших форм репрезентації даних. У випадку аналізу комфорту це можуть бути діаграми освітленості приміщень, карти розподілу температури чи акустичних характеристик. Зображувальна функція фіксує об'єктивні параметри середовища, роблячи їх доступними для сприйняття та порівняння.

Активні функції. Вони передбачають не лише демонстрацію результатів, а й їх аналітичну інтерпретацію. Завдяки графічним моделям можна простежити взаємозв'язки між фізичними параметрами та рівнем психологічного чи соціального комфорту, ідентифікувати критичні точки у структурі середовища, визначити шляхи оптимізації. Наприклад, діаграма, що поєднує дані про температуру й швидкість повітрообміну, дає змогу оцінити зони можливого дискомфорту та пов'язати їх із просторовими рішеннями.

Креативні функції. Вони спрямовані на генерацію нових рішень і сценаріїв розвитку середовища. Використання графіки у креативному аспекті дозволяє архітектору або досліднику створювати альтернативні варіанти організації простору, перевіряти моделі «що буде, якщо»,

інтегрувати різні типи даних (енергетичних, психологічних, соціальних) у єдину систему. У цьому сенсі графіка виступає не лише відображенням, а й каталізатором інноваційного пошуку (рис. 1.).

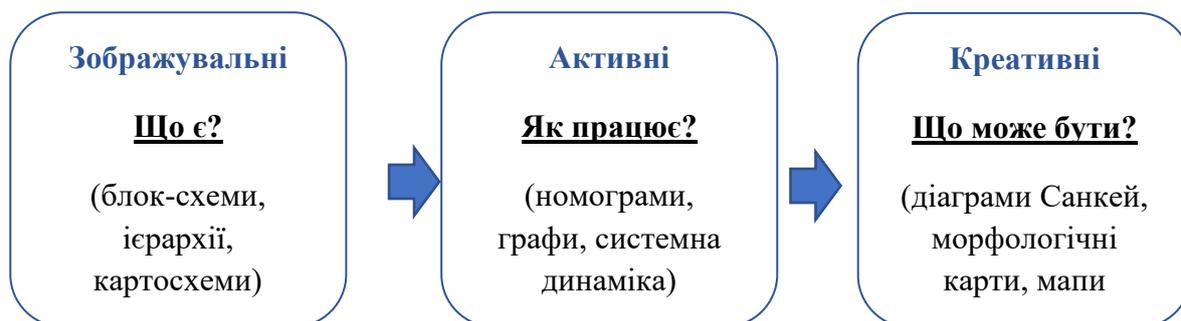


Рис. 1. Типи функцій графіки в контексті проектування середовища

Таким чином, функціональність графіки полягає у переході від пасивної фіксації даних до багатовимірної інтерпретації та системного аналізу складових комфорту. Вона дозволяє здійснювати перехід від розрізнених показників до інтегральних моделей, що враховують фізичний, психологічний, соціальний та емоційний виміри взаємодії людини із середовищем. Застосування функціонального підходу забезпечує створення більш гнучких і наочних інструментів, здатних відобразити складність і багатошаровість феномена комфорту в архітектурному просторі.

Проведений аналіз різних типів графічних методів дав змогу виокремити їх функціональне призначення та визначити роль у процесі дослідження й проектування архітектурного середовища. Зважаючи на специфіку завдань, кожен метод виконує переважно зображувальну, активну або креативну функцію. Для узагальнення результатів класифікації та наочності подальшого зіставлення методів було сформовано зведену таблицю (табл. 1).

Таблиця 1

Класифікація методів візуалізації складових комфорту за функціями графіки

Функція графіки	Методи візуалізації	Характеристика застосування у дослідженні комфорту
Зображувальні	Блок-схеми	Фіксують послідовність дій або структуру процесів, забезпечують прозорість алгоритмів управління середовищем.
	Ієрархічні моделі	Відображають структуру та підпорядкування складових комфорту, допомагають впорядкувати інформацію за рівнями й пріоритетами.
	Планувальні схеми	Демонструють просторову організацію функціональних зон (тепло, світло, акустика).
	Картосхеми, зонування	Візуалізація просторових меж зон комфорту та дискомфорту.
	Діаграми Венна	Показують перетини між категоріями (наприклад, фізичний ↔ психологічний ↔ соціальний комфорт).

	Органограми, піктографіка	Спрощене відображення відносин або характеристик через символи та іконографіку.
Активні	Номограми	Дозволяють аналізувати залежності між параметрами та миттєво визначати точку комфорту при зміні вхідних даних.
	Мережеві графи	Відображають взаємозв'язки між складовими системи, дозволяють простежити вплив одного фактору на інші.
	Системна динаміка	Моделює зміни параметрів комфорту у часі, враховуючи петлі зворотних зв'язків.
	Матриці відповідності	Дають змогу простежити силу й напрямок кореляцій між показниками середовища.
	Теплові карти	Візуалізують просторовий розподіл параметрів (температури, шуму, світла).
	Радарні діаграми	Відображають баланс кількох вимірів комфорту у порівняльному вигляді.
	Діаграми причинно-наслідкових зв'язків (Ішікави)	Виявляють фактори, що призводять до дискомфорту, і структурують їх за категоріями.
Дерева рішень	Дозволяють аналізувати альтернативні комбінації параметрів і наслідки вибору.	
Креативні	Діаграми Санкей	Відображають потоки ресурсів та їх трансформацію у складові комфорту, дозволяють проектувати сценарії розвитку середовища.
	Морфологічні карти	Генерація нових комбінацій параметрів для пошуку альтернативних архітектурних рішень.
	Мапи сценаріїв	Візуалізація можливих сценаріїв зміни середовища залежно від зовнішніх умов.
	Патернові карти	Поєднання архітектурних рішень у вигляді мережі патернів для створення нових моделей простору.
	Інтерактивні діаграми	Дають змогу користувачу змінювати параметри й отримувати нові варіанти точки комфорту.
	Гібридні методи (наприклад, Sankey + паралельні координати)	Поєднують кілька підходів, створюючи нові типи моделей для комплексного аналізу й проектування.

Нижче описано основні типи графічного подання, кожен з яких відповідає певному типу інформаційного та функціонального навантаження у системі проектування.

1. Зображувальні методи. До зображувальних методів відносяться ті способи графічного представлення, які забезпечують фіксацію та впорядкування інформації про просторову та структурну організацію середовища. Вони не стільки аналізують чи прогнозують зміни, скільки надають можливість чітко і наочно показати стан системи «як вона є».

1.1. Блок-схеми

Блок-схема – це графічне зображення алгоритму або процесу, яке складається з послідовності кроків, з'єднаних лініями чи стрілками, і використовується для візуалізації логіки прийняття рішень. У сфері архітектурного проектування комфортного середовища блок-схеми

допомагають систематизувати процеси, що включають кілька взаємопов'язаних факторів – від фізичного мікроклімату до психологічних аспектів користування простором. Такий підхід забезпечує прозорість і узгодженість дій між проєктантами, інженерами та замовниками.

Блок-схеми є ефективним інструментом для опису алгоритмів управління мікрокліматом у будівлях, коли потрібно врахувати баланс між енергоефективністю та комфортом. Наприклад, для зимового періоду вони можуть моделювати процес, за яким система автоматизації реагує на зміну температури зовнішнього повітря, коригує роботу опалення, вентиляції та сонцезахисту з урахуванням комфортних меж.

Приклад сценарію. Подана блок-схема ілюструє алгоритм прийняття рішень у системі автоматизованого регулювання параметрів внутрішнього середовища в холодний період року. На початковому етапі зчитуються показники внутрішньої температури та вологості, отримані з датчиків. Далі відбувається їх порівняння з межами комфортного діапазону відповідно до міжнародних стандартів (наприклад, ASHRAE 55) (рис. 2).

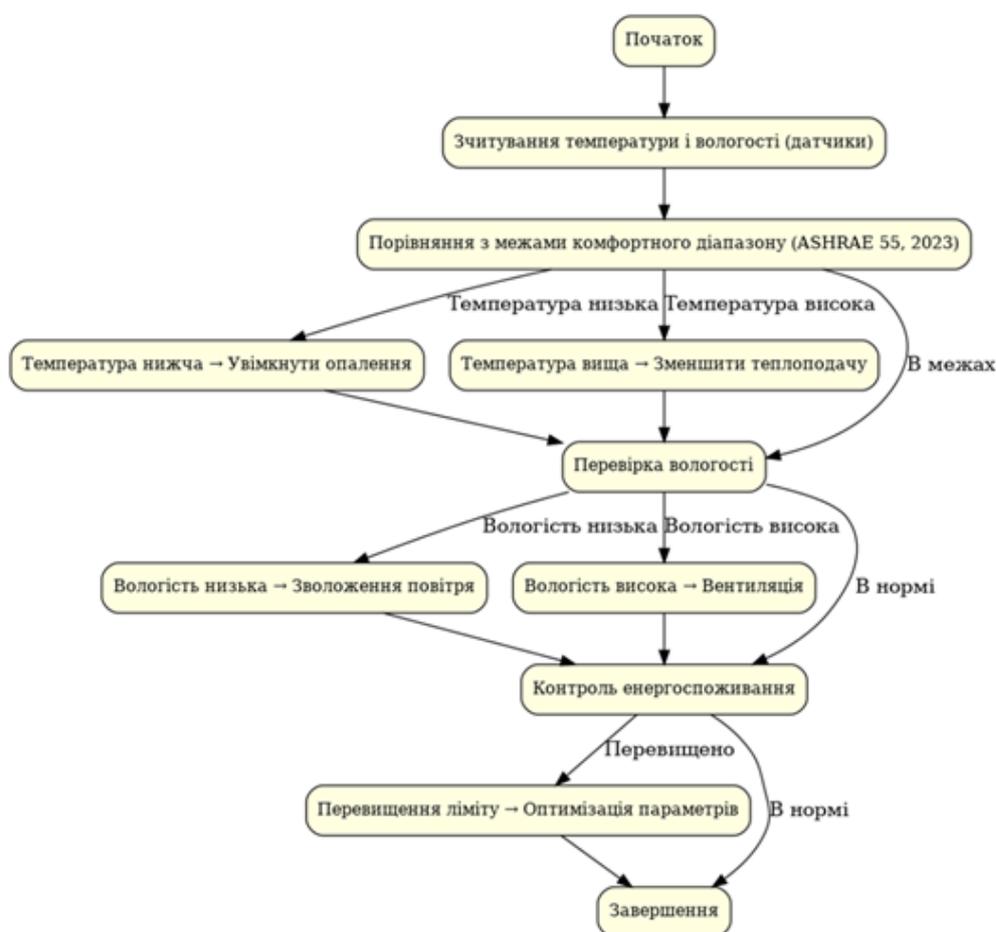


Рис. 2. Блок-схема: Алгоритм контролю мікроклімату взимку

Якщо температура нижча за встановлені межі, активується система опалення; якщо вища – зменшується теплоподача. Наступним кроком є перевірка рівня вологості: при низьких показниках вмикається зволоження

повітря, при високих – вентиляція. Після цього контролюється рівень енергоспоживання: у разі перевищення ліміту система автоматично оптимізує параметри у межах допустимого відхилення від комфорту, забезпечуючи баланс між енергоефективністю та якістю середовища.

Цей підхід дає змогу інтегрувати візуальну модель управління в процес проектування комфортного середовища та застосовувати її як інструмент прогнозування ефективності рішень на етапі концептуального проектування.

1.2. Ієрархічні структури

Ієрархічні структури – це графічні моделі, які відображають систему у вигляді багаторівневої організації елементів, де кожен рівень деталізує попередній. У контексті проектування комфортного середовища вони дають змогу розділити загальну мету на підцілі та конкретні параметри, що впливають на фізичний, психологічний, соціальний та емоційний комфорт.

Використання ієрархічних діаграм дозволяє:

1. структурувати складні багатокомпонентні системи;
2. визначати пріоритети у проектуванні;
3. візуалізувати взаємозалежність рівнів впливу;
4. полегшити комунікацію між архітекторами, інженерами та замовниками.

Для ілюстрації можливостей суб'єктно орієнтованого підходу наведено полегшений приклад формування ієрархії потреб у комфорті для конкретного профілю замовника, визначеного за моделлю Big Five [13, 14, 15]) (рис. 3).



Рис. 3. Ієрархічне дерево потреб у комфорті для профілю замовника за Big Five

Наприклад, високий рівень відкритості у замовника за профілем Big Five передбачає інтерес до нових ідей, готовність до експериментів із формами, матеріалами та сценаріями використання простору. Середня сумлінність зумовлює прагнення до функціональності без надмірної

деталізації, а висока екстраверсія – потребу у динамічних просторах, які сприяють соціальній взаємодії. Середня доброзичливість підтримує баланс між особистими та колективними інтересами, тоді як низький рівень нейротизму вказує на стійкість до стресів і спокійне сприйняття змін у середовищі. Цей приклад є спрощеною моделлю, яка демонструє, як індивідуальні психологічні особливості замовника можуть бути інтегровані в процес архітектурного проектування, визначаючи пріоритетність різних категорій комфорту.

Такі діаграми особливо корисні на етапі концептуального проектування, коли необхідно інтегрувати архітектурні рішення з інженерними системами та забезпечити баланс між енергоефективністю й багатовимірним комфортом.

1.3. Планувальні схеми

Планувальні схеми є одним із базових інструментів зображувальної графіки, що відображають просторову організацію функціональних зон архітектурного середовища. Їхнє основне призначення – показати, як у межах об'єкта розподіляються та взаємодіють ключові параметри комфорту: теплові, світлові та акустичні.

У контексті дослідження комфорту планувальні схеми дозволяють:

- відобразити просторову структуру – наприклад, розташування зон із різними мікрокліматичними умовами;
- показати взаємозв'язок між функціональними зонами – як розміщення джерел світла чи вентиляції впливає на сусідні приміщення;
- визначити критичні точки дискомфорту – ділянки з перегрівом, недостатньою освітленістю чи надмірним шумом;
- візуально порівняти різні варіанти планувальних рішень, оцінюючи їх вплив на інтегральний рівень комфорту.

Крім того, планувальні схеми сприяють кращому розумінню взаємодії між технічними та соціально-поведінковими аспектами використання простору. Вони дозволяють інтегрувати інженерні параметри (теплові потоки, розташування систем вентиляції чи штучного освітлення) з реальними сценаріями поведінки користувачів, підкреслюючи, що комфорт є результатом не лише технічних рішень, а й способу взаємодії людини з архітектурним середовищем.

Наприклад, на схемі можна виділити зони прямими сонячними променями в залежності від пори року та часу доби та виділити буферні приміщення. (рис. 4)

Таким чином, планувальні схеми забезпечують наочне уявлення про просторовий баланс параметрів комфорту, що є основою для прийняття рішень на етапі концептуального проектування. Вони виступають першою сходинкою у процесі системного аналізу, дозволяючи згодом застосовувати більш складні методи візуалізації.



Рис. 4. Планувальна схема пасивного використання сонячної енергії

1.3. Картосхеми та зонування

Картосхеми та методи зонування належать до зображувальних засобів графіки, що дозволяють візуалізувати просторові межі зон комфорту та дискомфорту в архітектурному середовищі. Їх головна функція – зробити видимим те, що інакше залишається прихованим: різні рівні освітленості, теплового режиму, акустики чи якості повітря у приміщенні або на території.

У практиці архітектурного проектування картосхеми дають змогу:

- показати географію простору – наприклад, розподіл природного світла протягом дня в різних приміщеннях;
- виділити зони підвищеного чи зниженого комфорту – ділянки з перегрівом, холодні кути, «темні зони», шумові коридори;
- визначити взаємодію між зонами – як зміна в одній ділянці впливає на сусідні простори (наприклад, шум із комунікаційного вузла поширюється на житлову кімнату);
- забезпечити просторове планування – визначити оптимальні місця для розташування робочих зон, зон відпочинку чи соціальної взаємодії (рис. 5.).

Метод зонування особливо ефективний на етапі концептуального проектування, коли необхідно прогнозувати якість середовища ще до впровадження інженерних розрахунків. Наприклад, поділ простору на «тихі зони» (для концентрації), «зони активної взаємодії» (для комунікації) та «буферні простори» (для акустичної чи теплової ізоляції) дає змогу сформуванню цілісної моделі комфорту.

Таким чином, картосхеми й зонування виступають зручним інструментом просторової діагностики, що забезпечує основу для подальших розрахунків, оптимізації та інтеграції різних складових комфорту в єдину систему.

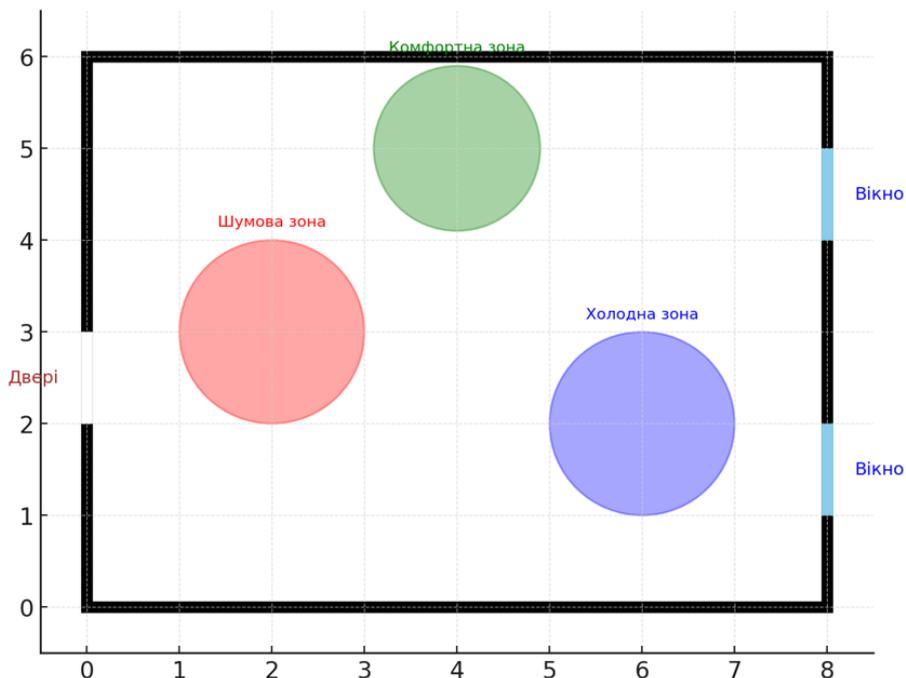


Рис. 5. Картошка зона комфорту та дискомфорту в умовному плані кімнати 6×8 м

1.4. Діаграми Венна

Діаграми Венна застосовуються для візуалізації зон перетину між різними категоріями та дозволяють наочно показати, як окремі складові комфорту взаємодіють між собою. У випадку дослідження архітектурного середовища це особливо цінно, адже комфорт завжди є багатовимірним феноменом, що формується на перетині фізичного, психологічного, соціального та емоційного вимірів (рис.6).



Перетин:

стан нейтральності й задоволеності ($PMV \approx 0$, відсутність блиску й надмірного шуму, суб'єктивне відчуття комфорту)

Рис.6. Діаграма Венна фізичний та психологічний комфорт

Завдяки діаграмам Венна можна:

- продемонструвати, які компоненти комфорту перекриваються та взаємодіють одне одного (наприклад, акустичний і психологічний комфорт);

- виявити зони конфлікту або дефіциту, де окремі складові не перетинаються (наприклад, соціальний комфорт у просторі може бути відсутній, попри сприятливі фізичні умови);
- створити інтегральне уявлення про баланс між різними видами комфорту.

Таким чином, діаграми Венна дозволяють структурувати складні взаємозв'язки у простій графічній формі, що полегшує розуміння інтегральної природи комфорту.

1.5. Органограми та піктографіка

Органограми та піктографіка є інструментами спрощеного графічного подання, що застосовуються для швидкої візуалізації відносин або характеристик середовища.

Органограми зазвичай демонструють структурні відносини між елементами системи. У контексті комфорту це можуть бути схеми, що відображають взаємозв'язок між різними рівнями управління середовищем: від технічних параметрів (вентиляція, освітлення, тепло) до їхнього впливу на користувачів. Вони надають цілісне уявлення про систему й дозволяють показати ієрархію факторів.

Піктографіка застосовується для створення візуальних символів та іконографіки, які спрощують подання інформації та роблять її зрозумілою навіть без складних пояснень. Наприклад, використання піктограм для позначення «шум», «світло», «тепло», «зона відпочинку» дозволяє швидко орієнтуватися у складних схемах чи планах.

Поєднання органограм і піктографіки робить графіку більш доступною та комунікативною, що особливо важливо у проектних процесах, де необхідна взаємодія між архітекторами, замовниками та користувачами. (рис. 7).



1- тепловий комфорт, 2- світловий комфорт, 3- акустичний комфорт, 4- якість повітря, 5- метеорологічні умови, 6-фізичні чинники техногенного походження

Рис.7. Органограма з піктографікою

2. Активні функції графіки.

Активні методи візуалізації застосовуються для інтерпретації даних, виявлення взаємозв'язків та прогнозування змін у системі комфорту. Вони є важливим інструментом у процесі дослідження архітектурного

середовища, оскільки дозволяють поєднувати кількісні параметри з якісними оцінками користувачів

2.1. Номограма

Багатошкальна номограма є зручним інструментом для швидкої попередньої оцінки рівня комфорту без проведення складних чисельних розрахунків. Вона складається з кількох паралельних або концентричних шкал, кожна з яких відповідає окремому параметру середовища. На шкалах позначаються значення відповідних факторів, після чого вони з'єднуються лініями (прямими або кривими). Точка перетину або підсумкова шкала дає інтегральну оцінку комфорту.

У контексті комфортного середовища:

- кожна шкала може представляти окремий фактор (освітлення, приватність, акустика, колір, вентиляція);
- через нанесення значень на шкали та проведення ліній між ними визначається точка оцінки інтегрального комфорту;
- метод зручний для попередньої оцінки варіантів рішень на етапі концептуального проектування.

Додатковою перевагою багатошкальних номограм є можливість візуального порівняння різних сценаріїв використання простору. Наприклад, на одній діаграмі можна відобразити показники «базового» стану приміщення та «проектного» після впровадження інженерних або дизайнерських рішень. Це дозволяє оперативно оцінити, як змінюється баланс факторів комфорту і які параметри потребують корекції.

Ще однією перспективною функцією є інтеграція номограм у цифрові інтерфейси, де значення шкал можуть оновлюватися автоматично на основі сенсорних даних або симуляцій. У такому випадку номограма перетворюється з ілюстративного методу на активний інструмент моніторингу й управління середовищем. Це відкриває шлях до створення інтерактивних панелей комфорту, які можуть застосовуватись як у наукових дослідженнях, так і в реальних проектах архітектурного моделювання.

У науковій практиці широко використовуються номограми для теплового комфорту (ASHRAE, Fanger), світлового середовища (залежність яскравості, освітленості та контрастності), а також акустики (зв'язок між рівнем шуму, часом реверберації та сприйняттям звуку).

Приклад: багатошкальна номограма фізичного комфорту (рис. 8) відображає рівень відповідності середовища шести ключовим складовим: тепловому, світловому, акустичному комфорту, якості повітря, метеорологічним умовам та фізичним чинникам техногенного походження.

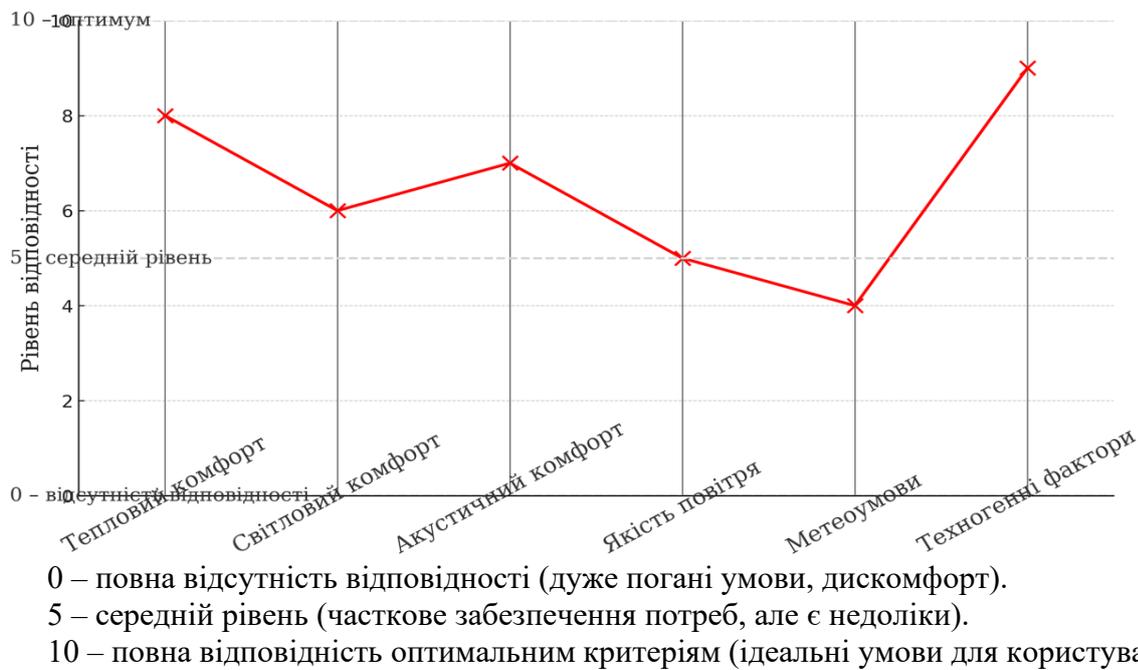


Рис.8. Багатошкальна номограма фізичного комфорту

Кожна складова представлена окремою вертикальною шкалою, на якій позначається рівень її забезпечення – від низького (недостатній або відсутній комфорт) до високого (оптимальні умови). Значення для кожної шкали з'єднуються лінією, що формує інтегральний «профіль комфорту». Такий підхід дозволяє наочно і швидко визначити сильні та слабкі сторони середовища, а також порівнювати різні сценарії чи варіанти архітектурних рішень.

2.2. Мережеві графи

Мережеві графи є потужним інструментом для моделювання структури взаємозалежностей між численними параметрами середовища. Це особливо актуально у складних системах, де зміна одного показника спричиняє зміни багатьох інших – наприклад, у системах формування багатовимірного комфорту.

Основні можливості мережевих графів у контексті проектування комфортного середовища:

- виявлення прямих та непрямих впливів між параметрами (наприклад, колір інтер'єру впливає на емоційний стан, який, своєю чергою, впливає на рівень соціальної активності);
- побудова графів для аналізу сили впливу кожного елемента (вага ребра може відображати інтенсивність впливу);
- використання алгоритмів оптимізації для визначення найбільш значущих компонентів у системі комфорту та пошуку ефективних рішень.

Запропоновано приклад графу взаємозв'язків факторів, що впливають на емоційний комфорт (рис. 9).

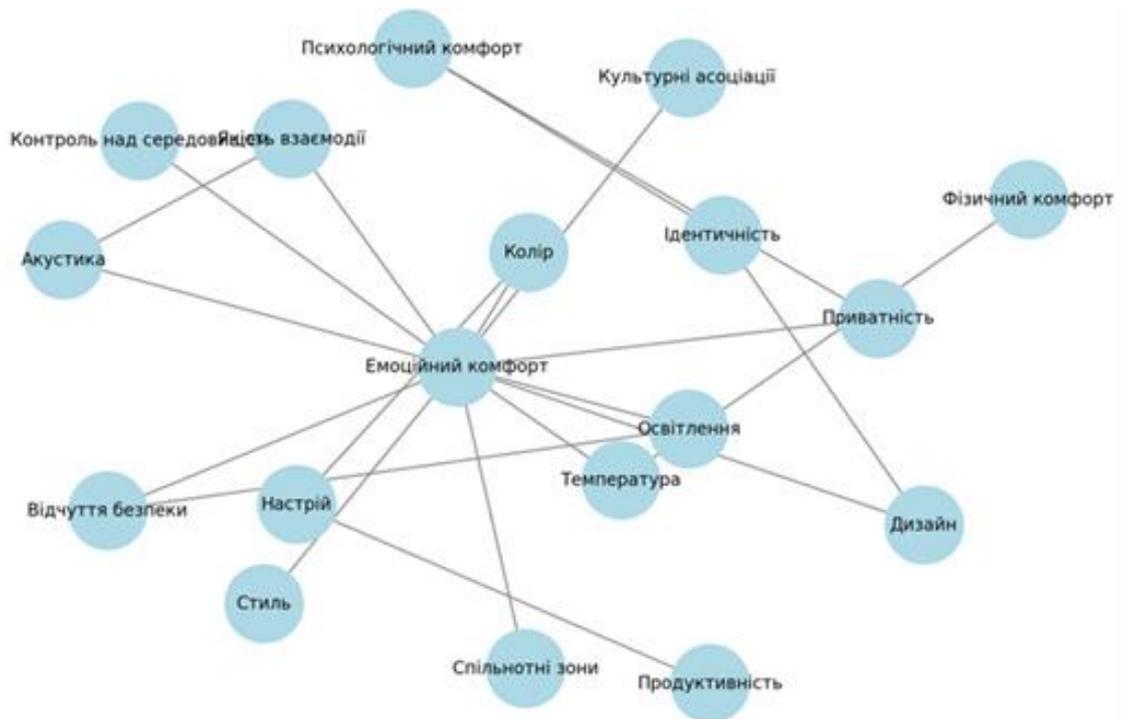


Рис.9. Мережевий граф взаємозв'язків факторів емоційного комфорту у внутрішньому середовищі

Центральним елементом виступає емоційний комфорт, який перебуває під впливом чотирьох груп факторів:

1. Фізичні параметри (температура, освітлення, акустика та ін.) забезпечують базовий рівень комфорту, впливаючи на психофізіологічний стан користувачів.
2. Психологічні фактори (можливість контролю середовища, передбачуваність, приватність) формують відчуття безпеки та знижують рівень стресу.
3. Соціальні умови (рівень шуму, наявність зон для спілкування) впливають на баланс між особистим простором і колективною взаємодією.
4. Естетичні аспекти (кольорова гама, дизайн, біофільні елементи) стимулюють позитивні емоції та покращують загальне сприйняття простору.

Стрілки між вузлами демонструють не лише прямий вплив окремих факторів на емоційний комфорт, а й перехресні взаємозв'язки між групами параметрів. Наприклад, якість освітлення може впливати не тільки на фізичний стан, а й на естетичне сприйняття простору; кольорові рішення здатні впливати на психологічний стан і рівень соціальної активності. Така структура дозволяє комплексно аналізувати вплив середовища та виявляти найбільш критичні чинники для досягнення оптимального емоційного стану користувачів.

2.3. Системно-динамічна модель

Системно-динамічна модель дозволяє відстежувати та прогнозувати

зміни параметрів комфортного середовища в часі, враховуючи взаємодію змінних, затримки в системі та наявність зворотних зв'язків. Такий підхід є особливо цінним у випадках, коли середовище має адаптивну поведінку, реагуючи на зміну зовнішніх та внутрішніх умов.

У контексті архітектурного проєктування системна динаміка дає змогу:

- візуалізувати процеси – наприклад, зниження температури зовні викликає зміну температури в приміщенні, що активує систему опалення;
- враховувати затримки (час нагріву приміщення, інерційність вентиляції, накопичення тепла);
- аналізувати петлі зворотного зв'язку, коли зміна параметра впливає на користувача, а реакція користувача, своєю чергою, змінює параметри середовища.

Додатково системно-динамічні моделі можуть бути інтегровані в комп'ютерні симуляції, які дозволяють випробувати різні сценарії ще на етапі проєктування. Це створює можливість передбачати наслідки архітектурних та інженерних рішень у довгостроковій перспективі, мінімізувати ризики дискомфорту та підвищити ефективність управління середовищем.

На рис. 10 представлено спрощену системно-динамічну модель зміни концентрації CO₂ у приміщенні з урахуванням роботи вентиляції. Модель показує два сценарії: зростання рівня CO₂ та його зниження.

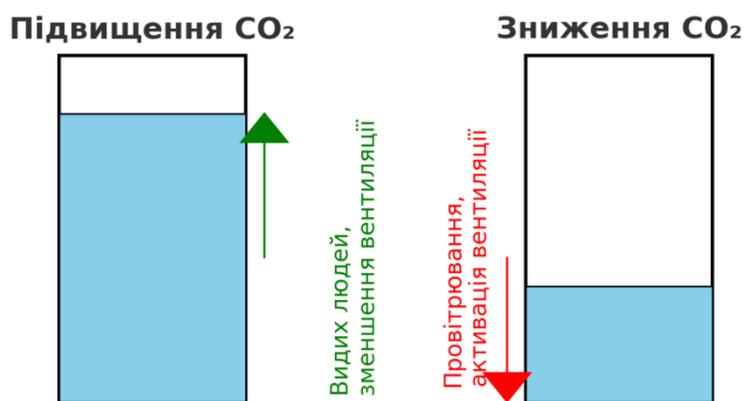


Рис. 10. Системно-динамічна модель зміни концентрації CO₂ у приміщенні при накопиченні та видаленні газу через вентиляцію

У першому сценарії (ліворуч) концентрація CO₂ збільшується внаслідок дихання людей та недостатнього повітрообміну. Це призводить до поступового накопичення газу, що може викликати зниження концентрації уваги, втому та дискомфорт.

У другому сценарії (праворуч) активується вентиляція, завдяки чому відбувається зменшення рівня CO₂ у приміщенні та відновлення оптимальних умов для роботи й відпочинку. У моделі використано

візуальну метафору «резервуарів», які наповнюються або спорожнюються залежно від інтенсивності процесів надходження та видалення CO₂.

Для системного аналізу та ефективної візуалізації багатofакторного поняття комфорту у проектуванні середовища доцільно використовувати різні методи графічного представлення даних. Кожен із них має власну логіку побудови, рівень деталізації та сферу оптимального застосування. У таблиці 1 наведено порівняльний аналіз п'яти основних типів графічних інструментів – блок-схеми, ієрархії, мережевого графа, системно-динамічної моделі та багатошкальної номограми. Для кожного методу окреслено його призначення, сильні та слабкі сторони, а також наведено приклади ситуацій, у яких його використання буде найбільш доцільним.

2.4. Матриці відповідності

Матриці відповідності належать до активних засобів графіки, оскільки вони дозволяють виявляти взаємозв'язки між різними параметрами середовища та типами комфорту. На відміну від зображувальних схем, що лише фіксують структуру, матриця відображає силу та напрямок кореляцій, показуючи, які фактори мають найбільший вплив на стан користувача.

У контексті дослідження комфорту матриці відповідності виконують кілька ключових функцій:

- Виявлення сильних і слабких взаємозв'язків. Наприклад, якість повітря може мати тісний зв'язок із психологічним та фізичним комфортом, але менший – із соціальним.

- Оцінка багатовимірних залежностей. Одночасно можна простежити, як технічні параметри (температура, освітленість, вентиляція, шум) співвідносяться із суб'єктивними вимірами (емоційний чи соціальний комфорт).

- Порівняння сценаріїв. У різних будівлях чи просторових рішеннях матриці дозволяють оцінити, чи зберігаються однакові кореляції між факторами, чи змінюються залежно від умов.

- Наочне представлення даних. Завдяки кольоровому кодуванню або числовим коефіцієнтам у клітинках матриця відразу показує, де зв'язок позитивний (+), де негативний (–), а де відсутній (0).

Додатковою перевагою матриць є їхня здатність поєднувати якісні та кількісні дані, що робить їх універсальним інструментом для міждисциплінарних досліджень. Архітектор може відобразити у матриці як вимірювані показники (рівень шуму чи освітленості), так і результати опитувань користувачів щодо суб'єктивного відчуття комфорту. Це дозволяє інтегрувати технічні й соціально-психологічні аспекти в єдину аналітичну картину (табл.2).

Таблиця 2 демонструє матрицю впливу основних параметрів енергоефективності будинку на різні типи комфорту [16, 17].

Фрагмент матриці впливу параметрів енергоефективності на типи комфорту

Тип комфорту → Параметр будинку ↓	Фізичний (взимку)	Фізичний (влітку)	Психологіч ний	Емоційний	Соціальний
Теплоізоляція	+ Покращує збереження тепла	± Захищає від зовнішньої спеки, але може викликати перегрів	+ Відчуття стабільності	+ Емоційна безпека через стабільність	0
Герметичність оболонки	+ Знижує втрати тепла	– Перегрів та недостатня вентиляція	– Почуття замкненості	– Можливе відчуття тривоги через замкненість	– Обмежує природну комунікацію
Механічна вентиляція з рекуперацією	+ Стабільний тепловий комфорт	+ Зменшує перегрів	– Втрата контролю за природною вентиляцією	– Штучне повітря знижує емоційний стан	– Менше взаємодії з природою

Умовні позначення:

«+» – позитивний вплив на комфорт;

«±» – подвійний (змішаний) ефект, що залежить від умов;

«-» – негативний вплив;

«0» – нейтральний або відсутній вплив.

Таким чином, матриці відповідності виступають аналітичним інструментом, який поєднує вимірювані показники з якісними оцінками й дозволяє формувати комплексне уявлення про систему комфорту.

2.5. Теплові карти

Теплові карти належать до активних методів графіки та використовуються для візуалізації просторового розподілу параметрів середовища. На відміну від таблиць чи графів, вони дозволяють одразу побачити «географію» комфорту або дискомфорту в межах приміщення чи території.

У дослідженні архітектурного середовища теплові карти виконують кілька функцій:

- Локалізація проблемних зон. Наприклад, у кімнаті можна чітко побачити ділянки з перегрівом, недостатньою освітленістю чи підвищеним шумом.

- Виявлення просторових закономірностей. Теплові карти показують, як параметри змінюються від стін до центру приміщення, від вікон до внутрішніх зон тощо.

- Порівняння сценаріїв. Візуалізація дозволяє оцінити, як різні архітектурні рішення (наприклад, розташування вікон або використання сонцезахисту) впливають на розподіл світла, тепла чи звуку.
- Інтеграція кількісних та якісних даних. Теплові карти можуть будуватися як на основі фізичних вимірювань, так і на основі опитувань користувачів (карти суб'єктивного дискомфорту). (Рис. 11)

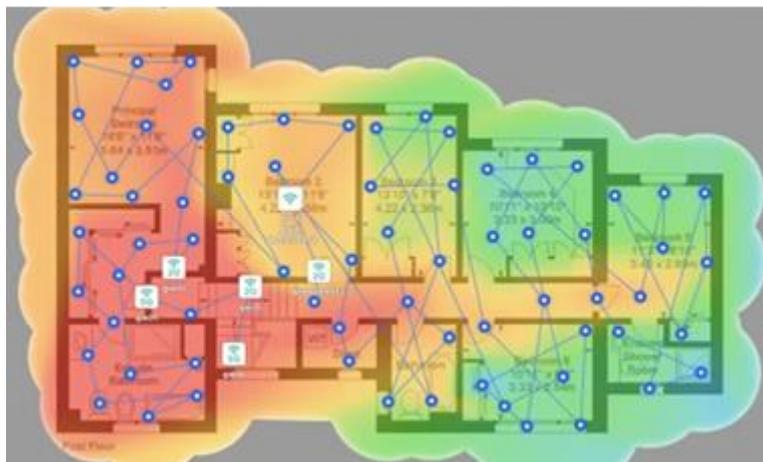


Рис.11. Теплова карта розподілу сигналу Wi-fi на плані будинку

Таким чином, теплові карти є ефективним інструментом для діагностики стану середовища й візуалізації просторових відмінностей, що полегшує прийняття рішень під час проектування та оптимізації архітектурних просторів.

2.6. Радарні діаграми.

Радарні діаграми застосовуються для порівняльного відображення кількох вимірів комфорту одночасно. Вони дозволяють у наочній формі показати, наскільки збалансованими є окремі складові у конкретному середовищі або проекті.

Особливість цього виду графіки полягає у тому, що всі параметри розташовані по колу як «радіальні осі», а рівень їх забезпечення відкладається по кожній осі від центру до краю. З'єднавши точки між собою, ми отримуємо багатокутник, форма якого наочно відображає профіль комфорту.

У контексті архітектурного середовища радари дозволяють:

- Порівнювати сценарії. Наприклад, два різні проекти будівель можуть мати різний «малюнок» багатокутника: один сильний у тепловому та світловому комфорті, але слабший в акустичному; інший – більш збалансований.
- Виявляти дисбаланси.
- Оцінювати інтегральний рівень комфорту. Чим більша площа багатокутника і чим більш симетрична його форма – тим гармонійніше середовище.
- Демонструвати варіативність. На одній діаграмі можна накласти

кілька профілів (наприклад, «поточний стан» і «після реконструкції» (рис. 12).

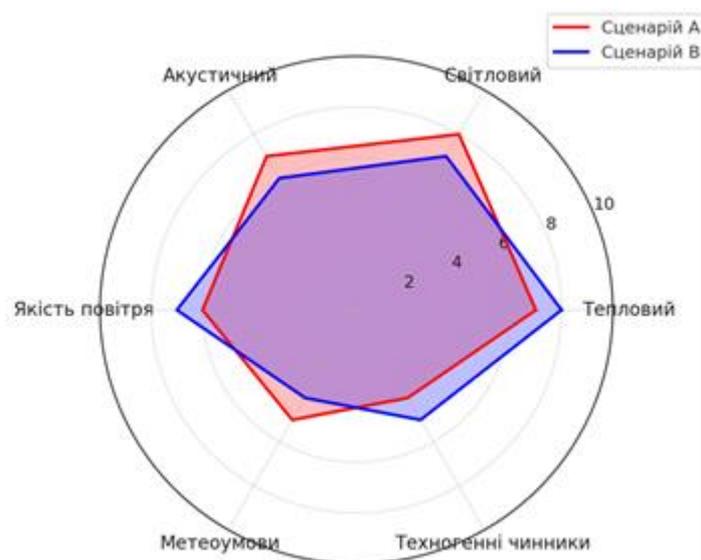


Рис.12. Радарна діаграма, порівняння двох сценаріїв.

Таким чином, радарні діаграми є потужним інструментом для порівняльного аналізу та візуалізації багатовимірних характеристик, що робить їх особливо доречними у дослідженнях комфорту в архітектурному середовищі.

2.7. Діаграми причинно-наслідкових зв'язків

Діаграма причинно-наслідкових зв'язків, відома також як діаграма Ішікави або «риб'яча кістка», є методом структурованого аналізу, що використовується для виявлення та систематизації факторів, які призводять до виникнення певної проблеми. Її форма нагадує скелет риби: «голова» відображає головну проблему (наприклад, дискомфорт у приміщенні), а «кістки» представляють групи причин, що зумовлюють цю проблему.

У дослідженні архітектурного середовища ця діаграма є особливо цінною, оскільки дозволяє поєднати технічні та гуманітарні фактори в єдиній системі. Основними категоріями можуть бути:

- Фізичні чинники.
- Психологічні чинники
- Соціальні чинники
- Емоційні чинники

У середині кожної категорії можна деталізувати конкретні причини. Наприклад, у гілці «Фізичні» окремі «кісточки» можуть відповідати за перегрів, протяги, погане освітлення чи високий рівень реверберації.

Значення для дослідження комфорту:

- Структурування проблеми. Дозволяє комплексно представити всі фактори, що впливають на дискомфорт, у вигляді єдиної системи.
- Виявлення пріоритетів. Чітко видно, які категорії факторів

найбільше впливають на стан користувачів.

- Комунікація з замовниками. Така діаграма є зрозумілою навіть для нефахівців, бо наочно демонструє логіку впливів.

- Підтримка прийняття рішень. Допомогає визначити, які фактори слід оптимізувати насамперед, щоб підвищити комфорт у середовищі.

Діаграма на рис.13. ілюструє основні групи чинників, що призводять до дискомфорту в приміщенні. Чотири головні гілки відповідають видам комфорту – фізичному, психологічному, соціальному та емоційному, а від кожної з них відходять підфактори, які деталізують вплив.

Таким чином, діаграма Ішікави стає ефективним інструментом для візуалізації причинно-наслідкових зв'язків, який поєднує дослідницький та практичний рівень аналізу архітектурного середовища.

2.8. Деревя рішень.

Деревя рішень належать до активних методів графіки, оскільки дозволяють моделювати альтернативні варіанти розвитку подій та прогнозувати наслідки прийнятих рішень. Вони мають ієрархічну структуру, що розгалужується від початкової умови до можливих результатів, завдяки чому зручно аналізувати складні системи з багатьма чинниками.

У дослідженні архітектурного середовища дерева рішень можуть відображати:

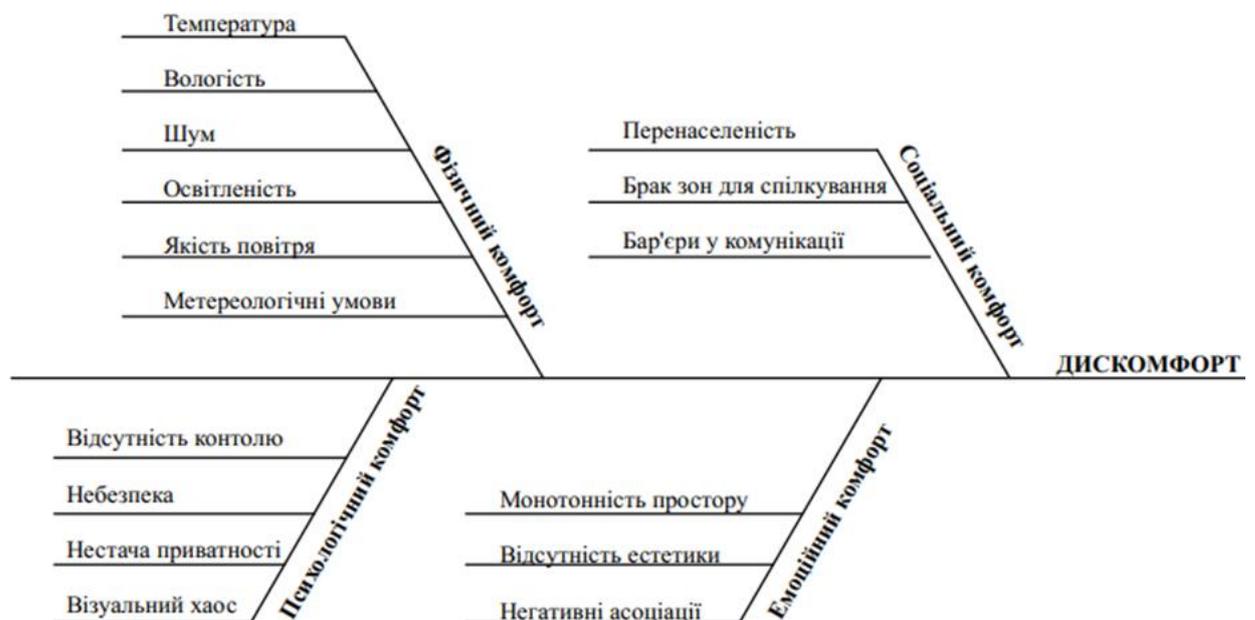


Рис.13. Діаграма Ішікави («риб'яча кістка») для дискомфорту у приміщенні

- Альтернативні дії при зміні параметрів. Наприклад: якщо температура підвищується вище 26 °С – які конкретні дії може зробити користувач.

- Прогнозування наслідків. Кожен варіант дії має свої наслідки:

відкриття вікна покращує якість повітря, але може спричинити шум; кондиціонування знижує температуру, але збільшує витрати енергії.

- Порівняння сценаріїв. Дозволяють співставити, який шлях дає найбільш збалансований результат за фізичними, психологічними чи емоційними критеріями.

- Оптимізацію. Аналіз гілок дерева дозволяє вибрати дії, які забезпечують найвищий рівень комфорту при мінімальних витратах ресурсів. (рис. 14).

Значення для аналізу комфорту:

- Системність. Візуалізують логіку вибору користувача чи архітектора у складних умовах.

- Гнучкість. Легко адаптується для різних аспектів середовища (тепловий, світловий, акустичний комфорт).

- Прикладна цінність. Використовується як інструмент прийняття рішень у проектуванні й управлінні середовищем.

Прозорість. Дає можливість чітко простежити причинно-наслідковий ланцюг «параметр → дія → результат».

Таким чином, дерева рішень є ефективним способом для візуалізації сценаріїв розвитку та вибору оптимальних дій, що робить їх особливо корисними при аналізі й проектуванні комфортного архітектурного середовища.



Рис. 14 . Дерева рішень. Сценарії при перегріві приміщення

3. Креативні функції графіки

Креативні методи візуалізації відрізняються від зображувальних і активних тим, що вони спрямовані не стільки на фіксацію чи аналіз існуючих даних, скільки на генерацію нових ідей, сценаріїв і можливостей. Їхня основна мета – продемонструвати, «що може бути», відкриваючи

простір для проектування, інновацій та пошуку альтернативних рішень. У контексті архітектурного середовища такі методи допомагають об'єднувати технічні параметри, людські потреби та дизайнерські стратегії у цілісні концепції. Креативні діаграми є особливо корисними на стадії розробки проекту, коли необхідно поєднати аналітику з уявленням майбутнього середовища.

3.1. Діаграми Санкей

Санкей-діаграми є одним із найефективніших інструментів креативної графіки, адже вони дозволяють візуалізувати рух енергії, ресурсів чи впливів у системі, показуючи не лише їхню структуру, а й кількісні співвідношення. Особливістю цього методу є те, що товщина лінії (поток) пропорційна його величині, завдяки чому відразу видно, які процеси є основними, а які – другорядними [18, 19].

У дослідженні архітектурного середовища такі діаграми наочно демонструють енергетичний баланс будівлі. На прикладі нажче показано:

- надходження енергії з різних джерел – сонячна радіація, теплова енергія від ґрунту, придбана теплова енергія, електроенергія;
- процеси її трансформації та споживання – прилади, освітлення, робота обладнання, гаряче водопостачання;
- а також втрати – через оболонку будівлі, вікна, вентиляцію, інфільтрацію.

Завдяки такому підходу санкей-діаграма:

- показує повний шлях енергії від джерела до кінцевого впливу на користувача;
- відображає баланс між надходженнями та втратами, що є критично важливим для оцінки енергоефективності;
- дозволяє зіставити технічні процеси з відчуттям комфорту, адже кінцеві потоки впливають на тепловий, світловий і навіть психологічний комфорт користувачів.

Таким чином, санкей-діаграми поєднують кількісний аналіз та просторово-процесуальне бачення, що робить їх універсальним інструментом для креативної візуалізації взаємодії характеристик середовища.

Крім того, санкей-діаграми можуть бути інтегровані з іншими методами графіки, зокрема з паралельними координатами чи інтерактивними панелями. Це відкриває нові можливості для комплексного аналізу архітектурного середовища: користувач отримує не лише статичну картину потоків енергії та ресурсів, а й може змінювати вхідні параметри (наприклад, рівень теплоізоляції чи інтенсивність природного освітлення) та одразу бачити, як це впливає на баланс системи й кінцеву точку комфорту (рис. 15).

Приклад морфологічної таблиці емоційного комфорту

Параметр	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Атмосфера простору	Натуральні матеріали, «еко-стиль»	Динамічне освітлення (сценарії)	Арома- та музичний дизайн
Естетика	Мінімалізм	Арт-об'єкти, декоративні акценти	Історичні/культурні мотиви
Персоналізація	Можливість вибору кольору/світла	Інтерактивні інтер'єрні елементи	Гнучке зонування простору
Символіка	Використання локальної ідентичності	Природні метафори (вода, дерево)	Технологічні образи (світло, екран)

Таким чином, дана морфологічна карта для емоційного комфорту стає інструментом пошуку креативних рішень, що поєднують просторові, естетичні та символічні компоненти.

3.3. Мапи сценаріїв

Мапи сценаріїв – це метод креативної графіки, орієнтований на візуалізацію майбутніх сценаріїв зміни середовища залежно від зовнішніх умов. Вони будуються у вигляді розгалужених діаграм чи карт, які демонструють, як архітектурний простір реагуватиме на різні фактори: зміни клімату, динаміку використання, соціальні потреби.

У дослідженні комфорту мапи сценаріїв допомагають:

- передбачати варіативність середовища (наприклад, як змінюється простір улітку та взимку, вдень і вночі);
- моделювати реакції будівлі на зовнішні умови (збільшення сонячної радіації → активація сонцезахисту → баланс теплового комфорту);
- показати альтернативні траєкторії розвитку проєкту, що важливо на етапі концептуального дизайну;
- створювати візуальний інструмент для комунікації з замовниками та користувачами, адже сценарії у графічній формі легко зрозуміти без технічних пояснень.

Мапи сценаріїв (рис.16) дозволяють наочно показати, як одне й те саме архітектурне середовище може адаптуватися під різні події, змінюючи параметри освітлення, акустики, просторової організації та емоційного наповнення. У випадку громадських просторів (наприклад, багатофункціональної зали) такий підхід особливо важливий, адже від гнучкості середовища залежить його ефективність та універсальність.



Рис. 16. Приклад мапи сценаріїв для громадського простору

Таким чином, мапи сценаріїв у креативній графіці дозволяють показати варіативність і трансформаційність середовища, підкреслюючи його здатність реагувати на різні соціальні та функціональні потреби.

3.4. Патернові карти

Патернові карти належать до креативних методів візуалізації та ґрунтуються на концепції pattern language Крістофера Александера. Їхня сутність полягає у тому, що архітектурні рішення подаються у вигляді взаємопов'язаних патернів (шаблонів), які можна комбінувати у різних послідовностях, утворюючи нові моделі простору.

Кожен патерн описує типове рішення конкретної задачі (наприклад: «вікна на дві сторони», «гнучке зонування», «місця для спілкування»), а у поєднанні вони утворюють мережу можливих сценаріїв просторової організації.

У дослідженні архітектурного середовища патернові карти дозволяють:

- Систематизувати архітектурні прийоми та показати, як вони взаємопов'язані (один патерн веде до іншого).
- Візуалізувати проектне мислення, демонструючи логіку

переходів між просторовими рішеннями.

- Генерувати нові конфігурації середовища, комбінуючи патерни у нетиповий спосіб.

- Поєднувати технічні та емоційні фактори: наприклад, поєднання патернів «сонцезахист» + «відкриті спільні простори» + «локальне підсвічування» утворює новий баланс фізичного та соціального комфорту.

Таким чином, патернові карти виступають інструментом креативної графіки, що дозволяє мислити архітектурними рішеннями як взаємопов'язаними елементами мережі. Вони є ефективними на стадії концептуального проектування, коли важливо не лише аналізувати існуюче середовище, а й пропонувати нові моделі простору, побудовані на комбінації патернів.

Приклад: патернова карта психологічного та соціального комфорту (рис. 17), що відображає взаємозв'язок між ключовими складовими середовища й новими концептами, що виникають на їхньому перетині.

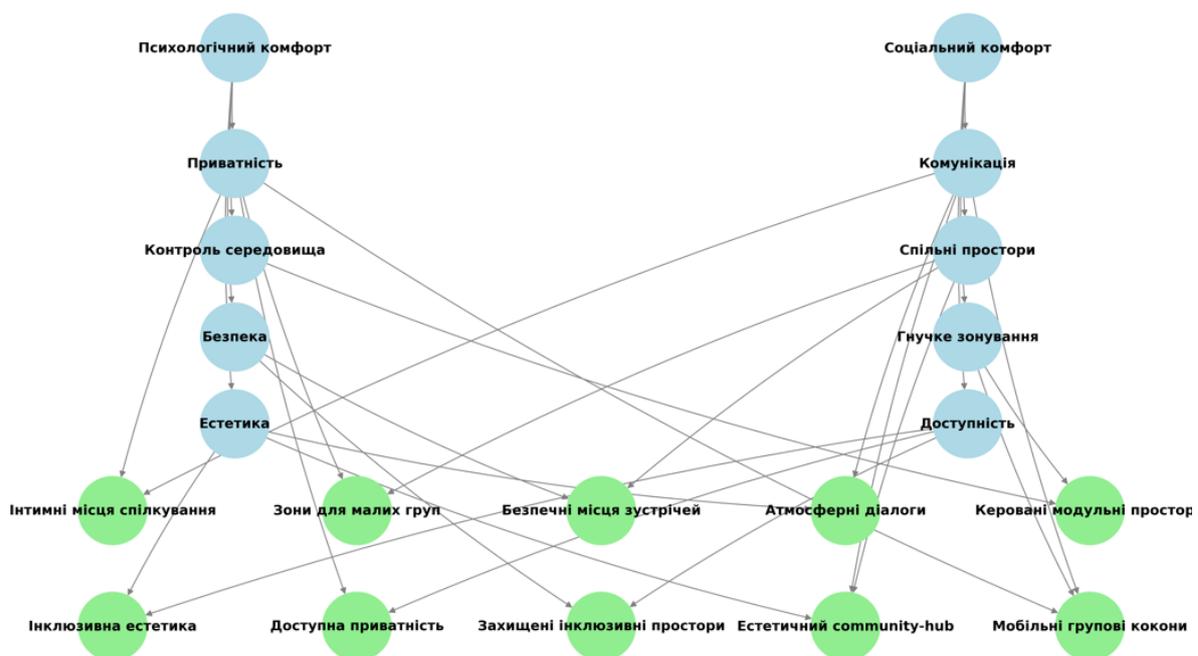


Рис. 17. Патернова карта психологічного та соціального комфорту

У верхній частині схеми подані два ядра – психологічний комфорт (зліва) та соціальний комфорт (справа). Від них відходять базові патерни, які визначають характерні виміри кожного типу комфорту: для психологічного – приватність, контроль середовища, безпека, естетика; для соціального – комунікація, спільні простори, гнучке зонування, доступність. У нижній частині карти розташовані нові комбіновані патерни, які утворюються на перетинах двох і більше базових аспектів.

Наприклад:

- Приватність + Комунікація = інтимні місця спілкування, що

забезпечують комфортне спілкування невеликих груп у напівзакритих просторах;

- Безпека + Спільні простори = безпечні місця зустрічей, які поєднують соціальність та контрольованість середовища;

- Контроль середовища + Гнучке зонування = керовані модульні простори, що дозволяють користувачам самостійно адаптувати умови та ін.

Таким чином, карта наочно демонструє, що комфорт у середовищі не є статичним набором факторів, а формується через динамічні взаємозв'язки. Вона показує потенціал для креативного проектування, коли архітектор комбінує різні патерни, отримуючи нові сценарії просторової організації.

3.5. Інтерактивні діаграми

Інтерактивні діаграми є сучасним інструментом візуалізації, що поєднує аналітичну та проектну функції графіки. На відміну від статичних схем, вони дозволяють користувачу безпосередньо взаємодіяти з даними, змінювати параметри середовища та миттєво спостерігати, як це впливає на точку або зону комфорту.

У контексті архітектурного середовища такі діаграми можуть містити кілька повзунків чи перемикачів, що відповідають за ключові параметри: температуру, вологість, освітленість, рівень шуму, якість повітря тощо. Змінюючи їхнє значення, користувач бачить, як змінюється баланс фізичного, психологічного, соціального й емоційного комфорту.

Таким чином, інтерактивні діаграми виконують роль динамічного інструмента прийняття рішень: вони допомагають архітекторам, інженерам і користувачам прогнозувати наслідки різних сценаріїв і обирати оптимальне середовище. Вони також створюють можливості для креативного експерименту – наприклад, поєднання нетипових параметрів або моделювання ситуацій «що буде, якщо...».

Прикладом може служити інтерактивний інструмент CBE Thermal Comfort Tool (розроблений в UC Berkeley), щореалізує положення стандарту ASHRAE 55-2023 [10, 11] і дозволяє користувачу змінювати ключові параметри середовища — температуру, відносну вологість, швидкість повітря, рівень метаболізму та теплоізоляцію одягу (рис. 18). У результаті автоматично визначається положення точки умов у психрометричній діаграмі та перевіряється її відповідність «зоні комфорту». Крім того, система обчислює показники PMV та PPD, що дає змогу кількісно оцінити рівень задоволеності користувачів умовами середовища.

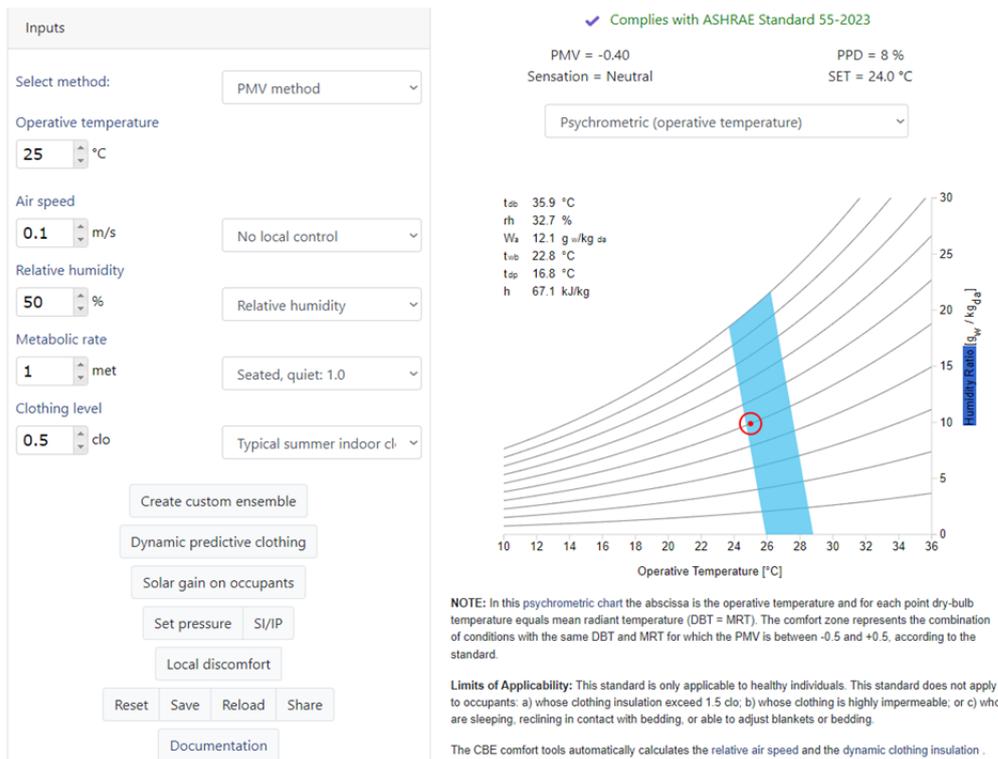


Рис.18. Інтерактивний інструмент CBE Thermal Comfort Tool для аналізу теплового комфорту згідно з ASHRAE 55-2023 [12]

3.3. Гібридні методи візуалізації

Гібридні методи візуалізації поєднують декілька підходів одночасно, створюючи нові типи моделей, які здатні враховувати багатовимірність і взаємозалежність параметрів середовища. Наприклад, комбінація діаграми Санкея (що показує потоки та співвідношення між складовими) з паралельними координатами (які відображають багатовимірні дані) дозволяє одночасно простежувати, як окремі фактори комфорту змінюються під впливом різних сценаріїв та як вони взаємопов'язані між собою.

Такі інструменти стають особливо цінними у випадках, коли архітектор працює з великими наборами даних: енергоефективність, параметри мікроклімату, соціальна взаємодія, психологічні аспекти. Вони дають можливість будувати комплексні інтерактивні моделі, де зміна одного параметра відображається у всій системі — як у вигляді потоків, так і через багатовимірні залежності.

На рисунку 19 гібридна схема візуалізації поєднує можливості діаграм Санкея та паралельних координат, забезпечуючи комплексний аналіз параметрів середовища й їхнього впливу на комфорт. У лівій частині подані дві діаграми Санкея, які демонструють внески чотирьох вимірів (фізичний, психологічний, соціальний, емоційний комфорт) у формування загального рівня комфорту для різних сценаріїв використання простору. У сценарії «робота» більшу вагу мають фізичні та психологічні параметри (стабільність умов, контроль світла, низький рівень шуму), тоді як у сценарії

«прийом гостей» підсилюється значення соціального та емоційного комфорту (атмосферність, можливості для спілкування). Товщина потоків у Санкей-діаграмах наочно показує відносний внесок кожного виміру в загальний баланс.

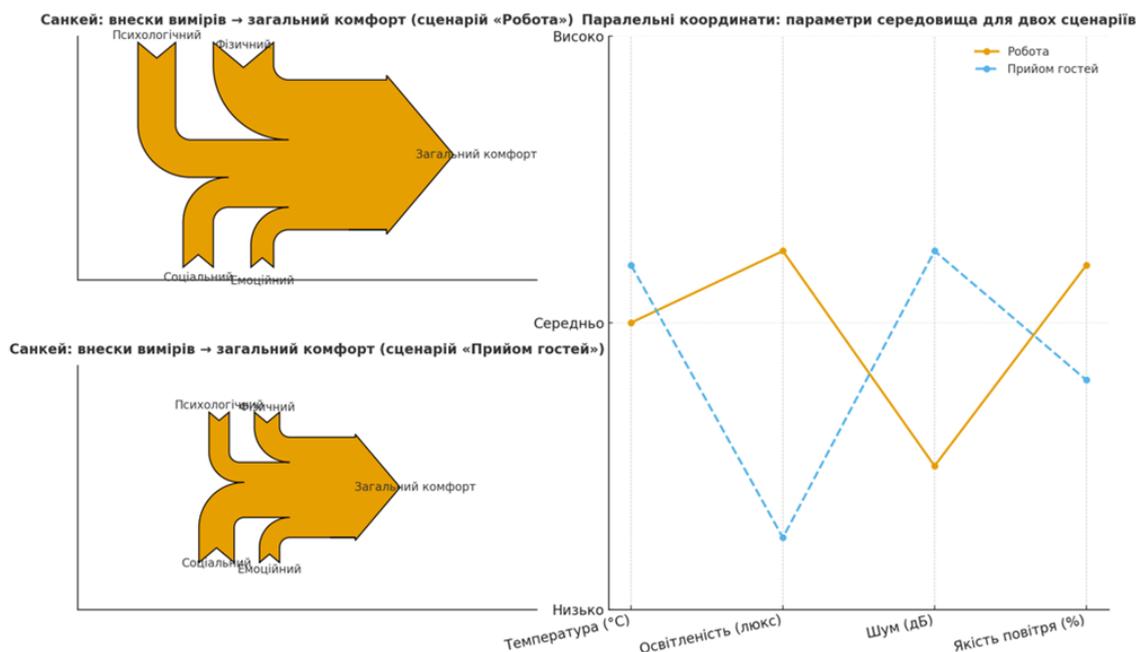


Рис. 19. Гібридна схема: Санкей-діаграми (внесків вимірів комфорту) та паралельні координати параметрів середовища для різних сценаріїв

У правій частині наведені паралельні координати, що відображають конкретні параметри середовища для обох сценаріїв: температуру, рівень освітленості, шумове навантаження та якість повітря. Суцільна лінія відповідає умовам для роботи, а пунктирна — умовам для прийому гостей. Така побудова дозволяє одразу співвіднести вихідні параметри середовища з внесками вимірів комфорту, що відображені у Санкей-діаграмах.

Поєднання цих двох підходів створює ефект багатовимірної аналітики: з одного боку, зрозуміло, які саме параметри середовища змінюються залежно від сценарію; з іншого — видно, як це відображається на структурі загального комфорту. Таким чином, гібридні методи візуалізації відкривають можливість для глибшого аналізу та обґрунтованого проектування середовищ, що адаптуються до потреб користувачів у різних умовах.

Кульмінацією аналізу різних методів графічного подання є пошук інструмента, здатного одночасно відображати багатовимірність комфорту та його динамічну природу. Для цього найбільш перспективним видається застосування мега-гібридних інтерактивних номограм.

На відміну від класичних номограм, які показують залежність кількох параметрів, така система містить десятки шкал, що відповідають різним вимірам комфорту: фізичному (температура, вологість, освітленість, шум, якість повітря), психологічному (приватність, контроль середовища),

соціальному (зони взаємодії, доступність), емоційному (естетика, символічні акценти). Користувач може змінювати значення будь-якої шкали, і ця зміна автоматично впливає на інші параметри, адже в реальності вони взаємозалежні.

У центрі такої номограми формується точка загального комфорту, виражена у відсотках або індексі. Вона не є статичною, а постійно «переміщується» залежно від обраних параметрів. Це дає змогу не лише оцінювати наявний стан середовища, а й моделювати різні сценарії його використання: робота, відпочинок, святковий захід, сон. Кожен сценарій можна інтерактивно перевірити, щоб з'ясувати, які комбінації факторів забезпечують найбільш збалансований комфорт.

Таким чином, мега-гібридна інтерактивна номограма постає як універсальний аналітичний та креативний інструмент: вона поєднує точність багатовимірних вимірювань і відкриває простір для проектних інновацій, дозволяючи архітектору не лише аналізувати, а й конструювати нові моделі середовища, орієнтовані на потреби користувачів.

Однак для практичного застосування ці складні моделі потребують інтерактивної панелі візуалізації (або панелі керування), яка виступає «інтерфейсною формою» номограми. Подібна панель забезпечить зручність взаємодії користувача з даними: вона дасть змогу одночасно спостерігати загальну точку комфорту, відстежувати, як зміна одного параметра впливає на інші, швидко порівнювати альтернативні сценарії середовища та навіть зберігати оптимальні конфігурації. Таким чином, номограми визначають глибинну логіку багатовимірного аналізу, а інтерактивні панелі роблять її доступною, наочною та керованою у реальному часі.

Висновки. Проведене дослідження показало, що графічні методи є не лише допоміжним засобом репрезентації даних, а й ключовим інструментом системного аналізу та креативного проектування комфортного архітектурного середовища. Класифікація за функціями графіки відокремлює три основні групи — зображувальні, активні та креативні методи, кожна з яких виконує свою роль у дослідницькому та проектному процесі.

Зображувальні методи (блок-схеми, ієрархії, планувальні схеми, картосхеми, діаграми Венна, органограми) фіксують стан системи «як вона є», роблячи складні структури доступними для сприйняття та забезпечуючи чітку комунікацію між учасниками проектного процесу.

Активні методи (номограми, мережеві графи, системна динаміка, матриці відповідності, теплові карти, радарні діаграми, діаграми Ішікави, дерева рішень) спрямовані на аналітику: вони дозволяють виявляти взаємозалежності, прогнозувати зміни та формувати інтегральні оцінки комфорту у часі та просторі.

Креативні методи (діаграми Санкей, морфологічні карти, мапи сценаріїв, патернові карти, інтерактивні панелі візуалізації, гібридні підходи) відкривають можливості для генерації нових рішень і сценаріїв,

поєднуючи технічні та гуманітарні виміри.

Таким чином, графічна візуалізація у прикладній геометрії переходить від статичного зображення до інтегрованого засобу пізнання, аналізу та проектування. Її значення полягає у здатності поєднувати багатовимірні дані, робити їх зрозумілими, інтерактивними й придатними для прийняття рішень. На основі проведеного дослідження зроблено висновок, що перспективним напрямом подальших наукових пошуків є розробка та впровадження мега-гібридних інтерактивних номограм, здатних комплексно оцінювати і моделювати комфорт у фізичному, психологічному, соціальному та емоційному вимірах.

Література

1. Структура поняття «комфорт» // *Сучасні проблеми архітектури і містобудування*. 2025. Вип. 72. С. 297–306. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.72.297-306>
2. *Cleer J. de*. Systems methodology in social science. New York: Springer, 1993.
3. *d’Ocagne M*. Traité de nomographie. Paris: Gauthier-Villars, 1891. 480 p.
4. *Alexander C*. The timeless way of building. New York: Oxford University Press, 1979. 552 p.
5. *Lawson B*. How designers think: The design process demystified. 4th ed. Oxford: Architectural Press, 2005. 320 p.
6. *Forrester J. W*. Industrial dynamics. Cambridge: MIT Press, 1961. 464 p.
7. *Bertin J*. Semiology of graphics: Diagrams, networks, maps. *Madison: University of Wisconsin Press*, 1983. 432 p.
8. *Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K*. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2018. 640 p.
9. *Плоский В. О*. Функціональність графіки як методологічна основа графічних технологій // *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2016. Вип. 92. С. 93–99.
10. ASHRAE 55–2023. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE, 2023. 114 p.
11. EN 16798-1:2019. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings — Part 1: Indoor environmental quality. 2019.
12. Center for the Built Environment. CBE Thermal Comfort Tool. URL: <https://comfort.cbe.berkeley.edu> (дата звернення: 14.09.2025).
13. *Power R. A., Pluess M*. Heritability estimates of the Big Five personality traits based on common genetic variants // *Translational Psychiatry*. 2015. Vol. 5, № 7. e604. DOI: <https://doi.org/10.1038/tp.2015.96>
14. *Graham L. T., Gosling S. D., Travis C. K*. The psychology of home environments: A call for research on residential space // *Perspectives on*

- Psychological Science*. 2015. Vol. 10, № 3. P. 346–356. DOI: <https://doi.org/10.1177/1745691615576761>
15. *Najm A. A.* Big Five traits: A critical review. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/335834113_Big_Five_Traits_A_Critical_Review (дата звернення: 05.09.2025).
 16. *Frontczak M., Wargocki P.* Literature survey on how different factors influence human comfort // *Building and Environment*. 2011. Vol. 46, № 4. P. 922–937. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.0>
 17. *Farrokhirad E., Gao Y., Pitts A., Chen G.* A systematic review on the risk of overheating in passive houses // *Buildings*. 2024. Vol. 14, № 8. 2501. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14082501>
 18. *Riemann P., Hanfler M., Froehlich B.* Interactive Sankey diagrams // *IEEE Symposium on Information Visualization*. 2005. DOI: 10.1109/INFVIS.2005.1532152.
 19. *Subramanyam V., Paramshivan D., Kumar A.* Using Sankey diagrams to map energy flow from primary fuel to end use // *Energy Conversion and Management*. 2015. № 91. P. 342–352. DOI: 10.1016/j.enconman.2014.12.024.
 20. *Болгарова Н. М.* Геометрична модель формування раціональної структури архітектурного об'єкту за параметрами енергоефективності: дис. канд. техн. наук: 05.01.01. 2018. 167 с.

References

1. Структура поняття «комфорт». (2025). *Suchasni problemy arkhitektury i mistobuduvannia*, (72), 297–306. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.72.297-306>
2. *Cleer, J. de.* (1993). *Systems methodology in social science*. New York, NY: Springer.
3. *d'Ocagne, M.* (1891). *Traité de nomographie*. Paris, France: Gauthier-Villars. 480 p.
4. *Alexander, C.* (1979). *The timeless way of building*. New York, NY: Oxford University Press. 552 p.
5. *Lawson, B.* (2005). *How designers think: The design process demystified* (4th ed.). Oxford, England: Architectural Press. 320 p.
6. *Forrester, J. W.* (1961). *Industrial dynamics*. Cambridge, MA: MIT Press. 464 p.
7. *Bertin, J.* (1983). *Semiology of graphics: Diagrams, networks, maps*. Madison, WI: University of Wisconsin Press. 432 p.
8. *Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K.* (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* (3rd ed.). Hoboken, NJ: Wiley. 640 p.
9. *Ploskyi, V. O.* (2016). Функціоналіст графіки як методологічна основа графічних технологій [Functionality of graphics as a methodological basis of graphic technologies]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*, (92), 93–99.
10. *ASHRAE.* (2023). *ASHRAE Standard 55–2023: Thermal environmental*

conditions for human occupancy. Atlanta, GA: ASHRAE.

11. European Committee for Standardization. (2019). EN 16798-1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings — Part 1: Indoor environmental quality. Brussels: CEN.
12. Center for the Built Environment. (2025). CBE Thermal Comfort Tool. Retrieved September 14, 2025, from <https://comfort.cbe.berkeley.edu>
13. Power, R. A., & Pluess, M. (2015). Heritability estimates of the Big Five personality traits based on common genetic variants. *Translational Psychiatry*, 5(7), e604. <https://doi.org/10.1038/tp.2015.96>
14. Graham, L. T., Gosling, S. D., & Travis, C. K. (2015). The psychology of home environments: A call for research on residential space. *Perspectives on Psychological Science*, 10(3), 346–356. <https://doi.org/10.1177/1745691615576761>
15. Najm, A. A. (2019). Big Five traits: A critical review. Retrieved September 5, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/335834113_Big_Five_Traits_A_Critical_Review
16. Frontczak, M., & Wargocki, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort. *Building and Environment*, 46(4), 922–937. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.0>
17. Farrokhirad, E., Gao, Y., Pitts, A., & Chen, G. (2024). A systematic review on the risk of overheating in passive houses. *Buildings*, 14(8), 2501. <https://doi.org/10.3390/buildings14082501>
18. Riemann, P., Hanfler, M., & Froehlich, B. (2005). Interactive Sankey diagrams. In *IEEE Symposium on Information Visualization*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/INFVIS.2005.1532152>
19. Subramanyam, V., Paramshivan, D., & Kumar, A. (2015). Using Sankey diagrams to map energy flow from primary fuel to end use. *Energy Conversion and Management*, 91, 342–352. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.024>
20. Bolharova, N. M. (2018). Heometrychna model formuvannia ratsionalnoi struktury arkhitekturnoho ob'ektu za parametry enerhoefektyvnosti [Geometric model of forming a rational structure of an architectural object based on energy efficiency parameters] (Candidate of Technical Sciences dissertation, Kyiv National University of Construction and Architecture).

Doctor of Technical Sciences, Professor, **Ploskyi V.O.**
Ploskyi.vo@knuba.edu.ua ORCID: 0000-0002-2632-8085
PhD in Technical Sciences, Associate Professor, **Bolharova N.M.**
Bolgarova.nm@knuba.edu.ua ORCID: 0000-0003-4274-7703

Kyiv National University of Construction and Architecture

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF GRAPHICAL REPRESENTATION OF COMFORT COMPONENTS

The article presents a comprehensive analysis of methods of graphical visualization of comfort components in the architectural environment from the standpoint of applied geometry. It is shown that graphics serve not only as a means of illustration but also as a universal tool for system analysis, communication, and creative design. Based on the classification of graphic functions proposed in scientific works (in particular by V. Ploskyi), the study adapts this framework to the issues of architectural environment and comfort. On this basis, three groups of methods are distinguished – descriptive, active, and creative – each performing different roles in the processes of analysis and design.

Descriptive methods (layout schemes, zoning maps, Venn diagrams, and organograms, pictographic) record the state of the system “as it is” and clearly demonstrate the spatial structure and interrelations between its elements. Active methods (nomograms, correspondence matrices, heat maps, radar charts, Ishikawa diagrams, decision trees) make it possible to trace the dynamics of changes, reveal parameter interdependencies, and determine integral indices of comfort. Creative methods (Sankey diagrams, morphological charts, scenario maps, pattern maps, hybrid approaches) are aimed at generating new solutions and scenarios, opening up opportunities for innovative thinking in architectural design.

Special attention is given to the prospects for the development of mega-hybrid interactive nomograms, which combine multidimensional scales with the possibility of scenario modeling. Unlike classical ones, such nomograms represent not only individual parameters but also their interdependence (temperature, humidity, light, noise, air quality, privacy, communication, aesthetics, etc.), automatically forming a point of overall comfort expressed in percentages. In combination with interactive visualization panels, they become an effective tool for adaptive design of environments capable of flexibly responding to diverse user needs.

Based on the analysis, it is concluded that the development of hybrid and dynamic visualization methods, in particular mega-hybrid interactive nomograms, represents a promising direction for further scientific research in the fields of architecture and applied geometry. The proposed approach opens new opportunities for the integration of multidimensional data, their interpretation, and practical application in the creation of a comfortable environment that simultaneously meets the physical, psychological, social, and emotional requirements of humans.

Keywords: comfort, architectural environment, applied geometry, visualization, graphical methods, nomograms, mega-hybrid nomograms.