

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

*Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису*

**Жу Чанпу**

УДК 77:725:130.2


ДИСЕРТАЦІЯ

**БІОКЛІМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИЗАЙН-ОБ'ЄКТІВ В  
ІНФОРМАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

Спеціальність 022 – Дизайн  
Галузь знань 02 – Культура і мистецтво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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



**Жу Чанпу**

数字签名人: 茹常谱ruchangpu  
DN:cn=茹常谱ruchangpu,  
c=CN,  
email=1194614900@qq.com  
日期: 2025.11.19 23:55:30

Наукові керівники:

**Плоский Віталій Олексійович**

доктор технічних наук, професор

**Кривенко Ольга Віталіївна**

доктор технічних наук, професор

Київ 2026

## АНОТАЦІЯ

**Жу Чанпу. Біокліматичне моделювання дизайн об'єктів в інформаційному середовищі.** Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD) за спеціальністю 022 «Дизайн». Робота виконана на кафедрі архітектурних конструкцій Київського національного університету будівництва та архітектури. Захист відбудеться у Київському національному університеті будівництва та архітектури, м. Київ.

**Метою роботи** є теоретичне обґрунтування системного підходу до біокліматичного моделювання у дизайні, розробка методологічних засад, які включають класифікацію об'єктів дизайну, систему багатокритеріального оцінювання та практичних інструментів, зокрема, систем підтримки прийняття рішень, для розширення та ефективної реалізації біокліматичного моделювання щодо широкого спектру об'єктів дизайну в сучасному інформаційному середовищі, що забезпечить розробку стійких, кліматично адаптованих та енергоефективних та екологічних проєктних рішень.

**Наукова новизна роботи** полягає в тому, що в ній вперше:

Дістало подальшого розвитку методологічне розуміння еволюції біокліматичного моделювання як складної нелінійної системи, що інтегрує традиційні мистецтвознавчі та емпіричні знання у нові концепції дизайну за допомогою сучасних технологій. Розширено застосування біокліматичного моделювання на інші об'єкти дизайну за межами архітектури. Це досягнуто шляхом удосконалення підходу до класифікації об'єктів дизайну (природно-, штучно-, дифузно-об'єктний дизайн) на основі аналізу рівня їхньої взаємодії з кліматичним середовищем у матеріально-предметних та функціонально-процесуальних проявах. Розроблено систему критеріїв (К<sub>1</sub>–К<sub>5</sub>: Адаптація до клімату, Екологічна стійкість, Енергоефективність, Естетика, Функціональність, Інноваційність) та індикаторів до критеріїв. Вони

використовуються для об'єктивної оцінки відповідності рішень дизайну вимогам біокліматичного моделювання.

Обґрунтовано сутність, характеристики та вплив сучасного інформаційного середовища на трансформацію дизайну. Вперше виокремлено ключові аспекти взаємодії дизайнерів із цим середовищем, що охоплюють не лише адаптацію до сучасних цифрових технологій, але й інтеграцію екологічних, економічних, соціальних, культурних та етичних аспектів дизайну, що необхідно для розв'язання комплексних проблем проектування та методологічного вдосконалення, зокрема у контексті завдань біокліматичного моделювання. Новизну посилює розроблена концептуальна схема взаємодії понять «інформаційне суспільство», «інформаційне середовище» та «інформаційний простір», вперше чітко зафіксувавши їхню сутність як взаємозалежних елементів єдиної динамічної системи, що є внеском у теоретичний зміст предметної області спеціальності.

Розроблено методологічні засади інформаційної системи для біокліматичного моделювання, що становить нові цілісні знання для сфери дизайнерської діяльності. Ці засади охоплюють структуру, кластеризацію та тегування бази знань, а також визначення механізму логічного виведення, необхідних для розв'язання комплексних проблем проектування сталих об'єктів дизайну з урахуванням клімату. Розроблено та апробовано методологію формування біокліматичних рекомендацій. Методологія базується на інноваційній гібридній ШІ-архітектурі як сучасній цифровій технології. Ця система підтримки прийняття рішень інтегрує великі мовні моделі (LLM) з верифікованою базою знань для надання кількісно обґрунтованих дизайн-рішень, що оптимізують екологічні та енергоефективні аспекти дизайну в контексті біокліматичного моделювання.

**Теоретичне значення наукової роботи** полягає у формуванні ґрунтовної теоретичної та методологічної основи біокліматичного моделювання у широкому спектрі дизайнерської діяльності, що обґрунтовує системний підхід до моделювання, розвиває концепцію класифікації об'єктів

дизайну та сприяє поглибленню розуміння впливу природно-кліматичних чинників на соціокультурний розвиток. Це створює теоретичну основу для інтерпретації класифікації дизайн-об'єктів у рамках біокліматичного моделювання при застосуванні до різних видів дизайну.

**Практичне значення роботи** полягає в тому, що було розроблено систему критеріїв та індикаторів як універсального інструменту оцінки відповідності об'єктів дизайну біокліматичним підходам, реалізовано прототип інтерактивної базової інформаційної системи — чат-бот BioClimaBot, який описує, класифікує та узагальнює набори даних щодо біокліматичних підходів у різних видах дизайну. Також створено структуровану базу знань (база даних і база правил) біокліматичного моделювання, яка може бути використана у практичній дизайнерській діяльності та в освітніх програмах підготовки фахівців у сфері дизайну та архітектури. Створена система підтримки рішень, заснована на верифікованій базі знань та інтелектуальному вирішувачі забезпечує аргументовані рекомендації для багатопараметричних задач біокліматичного моделювання, що використовується у практичній діяльності.

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові результати дисертаційного дослідження отримані автором особисто, включаючи розробку методологічної основи біокліматичного моделювання, що містить класифікацію об'єктів дизайну та практичну реалізацію прототипів інформаційних систем.

**Структура і обсяг роботи.** Дослідження складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків.

**У вступі** визначено актуальність, мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження, а також обґрунтовано міждисциплінарний підхід до біокліматичного моделювання об'єктів дизайну в умовах сучасного інформаційного середовища.

**У першому розділі** «Стан наукової розробки теми, джерельна база, методи дослідження» систематизовано наукові джерела та історичний досвід

формування кліматоорієнтованих стратегій, що дозволило визначити біокліматичне проектування як складну міждисциплінарну систему, яка наразі реалізується переважно в архітектурі та потребує екстраполяції на інші сфери дизайну. Обґрунтовано методологічний інструментарій дослідження, що поєднує загальнонаукові методи з евристичними прийомами для вирішення багатопараметричних задач при біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну. У розділі визначено ключові елементи та характеристики сучасного інформаційного середовища, підкреслюючи його вплив на діяльність дизайнера. Розроблено схему взаємодії понять «інформаційне суспільство — середовище — простір» та доведено, що сучасна цифрова трансформація вимагає від дизайнера нових компетенцій для інтеграції екологічних, етичних і технологічних аспектів у процес створення сталих дизайн-об'єктів при біокліматичному моделюванні.

**Другий розділ** присвячено аналізу актуальних напрямів розвитку біокліматичного моделювання об'єктів дизайну. Відповідно із чим було проведено комплексне дослідження впливу природно-кліматичних умов на соціально-культурний розвиток, зокрема, на прикладі Північного і Південного Китаю. Було проаналізовано чим обґрунтовано регіональні відмінності та як кліматичні відмінності відобразилися у формуванні традиційної архітектури, одягу, сільського господарства, народних промислів тощо та визначено розвиток традиційної культури як історичної складової біокліматичного моделювання. У розділі проаналізовано сучасні концепції екологічного дизайну (наприклад, уповільнений, безвідходний дизайн тощо) та встановлено, що біокліматичне моделювання є перспективним інструментом підвищення їх ефективності шляхом врахування природно-кліматичних умов. Досліджено еволюцію цифрових технологій у проектуванні, від CAD/BIM/GIS-систем до штучного інтелекту (ШІ), та визначено, що попри їхню високу точність, більшість із них все ще недостатньо інтегрують біокліматичні дані. На основі цього обґрунтовано, що розробка та впровадження інтелектуальних експертних систем є найбільш перспективним

шляхом для автоматизації складних багатопараметричних задач та забезпечення сталих, кліматично адаптованих дизайн-рішень.

**У третьому розділі** обґрунтовано необхідність застосування системного підходу в біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну, визначено та деталізовано принципи системного аналізу, що забезпечують цілісність, інтегративність та мультидисциплінарність проєктних рішень. На основі аналізу об'єктної спрямованості дизайну, запропоновано нову концепцію класифікації об'єктів дизайну за рівнем їхньої взаємодії з природно-кліматичним середовищем, виділяючи природно-об'єктний, штучно-об'єктний та дифузно-об'єктний дизайн, що розширює та обґрунтовує застосування біокліматичних підходів за межі архітектури. Для підвищення ефективності біокліматичного моделювання об'єктів дизайну розроблено двоетапну модель інформаційної системи (базова та повна), що забезпечує структурований перехід від збору первинних даних до глибинного аналізу взаємозв'язків кліматичних чинників. Наукова значущість роботи також підтверджується розробкою комплексного набору критеріїв та індикаторів оцінювання (К<sub>1</sub>–К<sub>5</sub>: адаптація до клімату, екологічна стійкість, енергоефективність, естетика та функціональність, інноваційність), які створюють методологічну базу для об'єктивної оцінки біокліматичних рішень у широкому спектрі дизайнерської діяльності.

**У четвертому розділі** обґрунтовано та практично реалізовано автоматизовану систему підтримки прийняття біокліматичних рішень в інформаційному середовищі. Розроблено та апробовано прототип інтерактивної базової інформаційної системи — чат-бот BioClimaBot, побудований за схемою дерева рішень для класифікації біокліматичних ознак та генерації первинних рекомендацій. Обґрунтовано необхідність переходу до повної Експертної системи з гібридною базою знань для вирішення складних багатопараметричних задач. Створено структуровану верифіковану базу знань BMDSSKB на цифровій платформі Google NotebookLM та розроблено методологію формування біокліматичних рекомендацій на основі гібридної

архітектури III (LLM, зокрема Gemini, + RAG-технологія). Це забезпечило високу фактичну точність та обґрунтованість рішень. Розроблено методологію багатокритеріального експертного оцінювання ( $K_1$ – $K_5$ ) та проведено практичне застосування системи III для виведення аргументованих біокліматичних рішень у галузях дизайну одягу, містобудування та ландшафтного дизайну, підтвердивши ефективність запропонованої концепції автоматизованої обробки інформації.

**Ключові слова:** біокліматичне моделювання; багатокритеріальне оцінювання; сталий дизайн; енергоефективність; класифікація об'єктів дизайну; системний підхід; інформаційне середовище; штучний інтелект; система підтримки прийняття рішень; база знань.

## ABSTRACT

**Ru Changpu. Bioclimatic Modeling of Design Objects in the Information Environment.** Scientific Qualification Thesis on the Rights of a Manuscript. Dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in Specialty 022 "Design". The work was performed at the Department of Architectural Structures, Kyiv National University of Construction and Architecture. The defense will take place at the Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv.

**The purpose of the work** is to theoretically substantiate a systematic approach to bioclimatic modeling in design, develop methodological principles that include the classification of design objects, a multi-criteria evaluation system and practical tools, in particular, decision support systems, for the expansion and effective implementation of bioclimatic modeling for a wide range of design objects in the modern information environment, which will ensure the development of sustainable, climate-adapted and energy-efficient and environmentally friendly design solutions.

**The scientific novelty of the work** lies in the fact that for the first time:

The methodological understanding of the evolution of bioclimatic modeling as a complex nonlinear system that integrates traditional art historical and empirical knowledge into new design concepts using modern technologies has been further developed. The application of bioclimatic modeling has been expanded to other design objects outside of architecture. This has been achieved by improving the approach to the classification of design objects (natural, artificial, diffuse-object design) based on the analysis of the level of their interaction with the climatic environment in material-subject and functional-process manifestations. A system of criteria (K1–K5: Climate Adaptation, Environmental Sustainability, Energy Efficiency, Aesthetics, Functionality, Innovation) and indicators for the criteria have been developed. They are used to objectively assess the compliance of design solutions with the requirements of bioclimatic modeling.

The essence, characteristics and impact of the modern information environment on the transformation of design have been substantiated. For the first time, key aspects of designers' interaction with this environment have been identified, covering not only adaptation to modern digital technologies, but also the integration of environmental, economic, social, cultural and ethical aspects of design, which is necessary for solving complex design problems and methodological improvement, in particular in the context of bioclimatic modeling tasks. The novelty is enhanced by the developed conceptual scheme of interaction of the concepts of "information society", "information environment" and "information space", for the first time clearly recording their essence as interdependent elements of a single dynamic system, which is a contribution to the theoretical content of the subject area of the specialty. Methodological principles of an information system for bioclimatic modeling have been developed, which constitutes new holistic knowledge for the field of design activity. These principles cover the structure, clustering and tagging of the knowledge base, as well as the definition of a logical inference mechanism necessary for solving complex problems of designing sustainable design objects taking into account the climate. A methodology for generating bioclimatic

recommendations has been developed and tested. The methodology is based on an innovative hybrid AI architecture as a modern digital technology. This decision support system integrates large language models (LLM) with a verified knowledge base to provide quantitatively substantiated design solutions that optimize environmental and energy-efficient aspects of design in the context of bioclimatic modeling.

**The theoretical significance of the scientific work** lies in the formation of a solid theoretical and methodological basis for bioclimatic modeling in a wide range of design activities, which justifies a systematic approach to modeling, develops the concept of classifying design objects, and contributes to a deeper understanding of the impact of natural and climatic factors on socio-cultural development. This creates a theoretical basis for interpreting the classification of design objects within the framework of bioclimatic modeling when applied to various types of design.

**The practical significance of the work** is that a system of criteria and indicators was developed as a universal tool for assessing the compliance of design objects with bioclimatic approaches, a prototype of an interactive basic information system was implemented - the BioclimaBot chatbot, which describes, classifies and summarizes data sets on bioclimatic approaches in various types of design. A structured knowledge base (database and rule base) of bioclimatic modeling was also created, which can be used in practical design activities and in educational programs for training specialists in the field of design and architecture. A decision support system based on a verified knowledge base and an intelligent solver was created, providing reasoned recommendations for multi-parameter bioclimatic modeling problems used in practical activities.

**Personal contribution of the applicant.** The main scientific results of the dissertation research were obtained by the author personally, including the development of a methodological basis for bioclimatic modeling, which contains a classification of design objects and the practical implementation of prototypes of information systems.

**Structure and scope of the work.** The study consists of an introduction, four sections, conclusions, a list of sources used and appendices.

**The introduction** defines the relevance, goal, objectives, object and subject of the study, and also justifies the interdisciplinary approach to bioclimatic modeling of design objects in the conditions of the modern information environment.

**The first section** "State of scientific development of the topic, source base, research methods" systematizes scientific sources and historical experience in the formation of climate-oriented strategies, which allowed us to define bioclimatic design as a complex interdisciplinary system, which is currently implemented mainly in architecture and requires extrapolation to other areas of design. The methodological tools of the study are substantiated, combining general scientific methods with heuristic techniques for solving multiparametric problems in bioclimatic modeling of design objects. The section identifies key elements and characteristics of the modern information environment, emphasizing its impact on the designer's activities. A scheme of interaction of the concepts "information society - environment - space" is developed and it is proven that modern digital transformation requires the designer to have new competencies to integrate environmental, ethical and technological aspects into the process of creating sustainable design objects in bioclimatic modeling.

**The second section** is devoted to the analysis of current directions of development of bioclimatic modeling of design objects. Accordingly, a comprehensive study of the impact of natural and climatic conditions on socio-cultural development was conducted, in particular, on the example of North and South China. The reasons for regional differences and how climatic differences were reflected in the formation of traditional architecture, clothing, agriculture, folk crafts, etc. were analyzed, and the development of traditional culture as a historical component of bioclimatic modeling was determined. The section analyzed modern concepts of ecological design (for example, slow, waste-free design, etc.) and established that bioclimatic modeling is a promising tool for increasing their efficiency by taking into account natural and climatic conditions. The evolution of

digital technologies in design was studied, from CAD/BIM/GIS systems to artificial intelligence (AI), and it was determined that despite their high accuracy, most of them still do not sufficiently integrate bioclimatic data. Based on this, it was substantiated that the development and implementation of intelligent expert systems is the most promising way to automate complex multi-parameter tasks and provide sustainable, climate-adapted design solutions.

**The third section** substantiates the need to apply a systems approach in bioclimatic modeling of design objects, defines and details the principles of systems analysis that ensure integrity, integrativity and multidisciplinary design solutions. Based on the analysis of the object orientation of design, a new concept of classifying design objects according to the level of their interaction with the natural-climatic environment is proposed, highlighting natural-object, artificial-object and diffuse-object design, which expands and justifies the application of bioclimatic approaches beyond architecture. To increase the efficiency of bioclimatic modeling of design objects, a two-stage information system model (basic and full) has been developed, which provides a structured transition from collecting primary data to in-depth analysis of the relationships of climatic factors. The scientific significance of the work is also confirmed by the development of a comprehensive set of evaluation criteria and indicators (K1-K5: climate adaptation, environmental sustainability, energy efficiency, aesthetics and functionality, innovation), which create a methodological basis for an objective assessment of bioclimatic solutions in a wide range of design activities.

**In the fourth section,** an automated system for supporting bioclimatic decision-making in the information environment is substantiated and practically implemented. A prototype of an interactive basic information system is developed and tested - a chatbot BioclimaBot, built according to a decision tree scheme for classifying bioclimatic features and generating primary recommendations. The need to transition to a full Expert system with a hybrid knowledge base for solving complex multi-parameter problems is substantiated. A structured verified knowledge base BMDSSKB was created on the Google NotebookLM digital

platform and a methodology for generating bioclimatic recommendations based on a hybrid AI architecture (LLM, in particular Gemini, + RAG technology) was developed. This ensured high factual accuracy and validity of decisions. A methodology for multi-criteria expert evaluation (K1-K5) was developed and a practical application of the AI system was carried out to derive reasoned bioclimatic solutions in the fields of clothing, urban planning and landscape design, confirming the effectiveness of the proposed concept of automated information processing.

**Keywords:** bioclimatic modeling; multi-criteria evaluation; sustainable design; energy efficiency; classification of design objects; systems approach; information environment; artificial intelligence; decision support system; knowledge base.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України з присвоєнням категорії « Б »

1. **Changpu R.,** Krivenko O. Systemic approach in bioclimatic modeling. *Архітектурний вісник КНУБА*. 2024. Вип. 30–31. С. 31–36. <https://doi.org/10.32347/2519-8661.2024.30-31.31-36>  
*Особистий внесок здобувача: текстова частина про формування системного підходу у біокліматичному моделюванні.*
2. **Changpu R.,** Krivenko O. The impact of the information environment development on modern design. *Архітектурний вісник КНУБА*. 2025. Вип. 33. С. 107–112. <https://doi.org/10.32347/2519-8661.2025.33.107-112>  
*Особистий внесок здобувача: текстова частина щодо аналізу впливу розвитку інформаційного середовища на сучасний дизайн.*
3. **Чанпу Жу,** Кривенко О. Біокліматичне моделювання: інтерпретація класифікації дизайн-об’єктів. *Fine Art and Culture Studies*. 2025. Вип. 1. С. 269–274. <https://doi.org/10.32782/facs-2025-1-39>

*Особистий внесок здобувача: текстова частина стосовно інтерпретації класифікації дизайн-об'єктів при біокліматичному моделювання та ілюстративна частина.*

- 4. Changpu R., Krivenko O., Ploskyi V.** Conceptual foundations of the expert system of bioclimatic modeling. *Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвід. наук.-техн. зб.* Київ: КНУБА, 2025. Вип. 108. С. 177–188  
<https://doi.org/10.32347/0131-579X.2025.108.177-188>

*Особистий внесок здобувача: текстова частина із формування та обґрунтування концептуальних основ експертної системи біокліматичного моделювання.*

#### **Публікації у закордонних виданнях**

- 5. Changpu R., Krivenko O.** System of criteria for assessing the efficiency of bioclimatic modeling of design objects. *Colloquium-journal*. 2025. № 66(259). С. 5–8. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17520728>

*Особистий внесок здобувача: текстова частина з формування системи критеріїв оцінки ефективності біокліматичного моделювання об'єктів дизайну.*

- 6. Changpu R., Krivenko O.** Development of bioclimatic modeling of architecture and design objects in the modern information environment. *Colloquium-journal*. 2025. № 68(261). С. 5–10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17687288>

*Особистий внесок здобувача: текстова частина стосовно біокліматичного моделювання об'єктів архітектури та дизайну в сучасному інформаційному середовищі та ілюстративна частина.*

#### **Публікації за доповідями та матеріалами міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій**

- 7. Чанпу Ж., Кривенко О.** Інтелектуальна експертна система у сфері природокористування при формуванні біокліматичних рішень об'єктів дизайну. *Problems of modern power engineering and automation in the system nature management: Proceedings of the X International Scientific-Technical*

Conference, 19 October 2023, Kyiv. Київ, 2023. С. 69–70.  
[https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u351/zbirnik\\_2023.pdf](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u351/zbirnik_2023.pdf)

*Особистий внесок здобувача: текстова частина про підходи з формування інтелектуальної експертної системи для біокліматичних рішень об'єктів дизайну у сфері природокористування.*

- 8. Changpu R., Krivenko O.** An overview of the influence of climate on the formation of the national culture of southern and northern China. *Design, Visual Art and Creativity: Modern Trends and Technologies* : Proceedings of IInd International Scientific and Practical Conference, 12 December 2023. Vol. 2. Zaporizhzhia : Zaporizhzhia National University, 2023. P. 17–22.

*Особистий внесок здобувача: текстова частина про вплив клімату на формування національної культури південного та північного Китаю.*

- 9. Чанпу Ж., Кривенко О.** Природні аналоги у дизайні. *Актуальні проблеми розвитку українського та зарубіжного мистецтва: культурологічний, мистецтвознавчий, педагогічний аспекти* : матеріали ІХ Міжнар. наук.-практ. конф., 24–26 трав. 2024 р. Луцьк ; Львів ; Торунь : Liha-Pres, 2024. С. 159–163. <https://doi.org/10.36059/978-966-397-390-6-49>

*Особистий внесок здобувача: текстова частина із дослідження природних аналогів у дизайні.*

- 10. Ru Changpu, Krivenko O.** Expert systems of bioclimatic modeling and monitoring in the context of artificial intelligence technology development. *Гідрометеорологія і кліматичні виклики: наука, інновації і практика для сталого майбутнього: матеріали міжнародної наукової конференції присвяченої 170-річчю Українського гідрометеорологічного інституту НАН України*, 18-20 листопада 2025, Kyiv. Київ, 2025. С. 69–70. *Особистий внесок здобувача: текстова частина щодо формування експертних систем біокліматичного моделювання в контексті розвитку технологій штучного інтелекту.*

**11.Жу Чанпу, Плоский В.О.** Біокліматичне моделювання як складова розвитку сучасного екологічного дизайну. *Матеріали III Міжнародної науково-практична конференція «Інновації в архітектурі, дизайні та мистецтві: до 100-річчя факультету архітектури НАОМА»* 23-24 травня 2024 року, с. 152-154.

*Особистий внесок здобувача: текстова частина щодо аналізу біокліматичного моделювання як складової розвитку сучасного екологічного дизайну.*

**12.Changpu R., Krivenko O.** Ecological Design in the Context of Circular Economy: Perspectives and Innovative Methods. *Design, Visual Art and Creativity: Modern Trends and Technologies : Proceedings of IInd International Scientific and Practical Conference, 12 December 2024. Vol. 3. Zaporizhzhia : Zaporizhzhia National University, 2024. P. 58–60.*

*Особистий внесок здобувача: текстова частина про екологічне проектування в контексті циркулярної економіки.*

### Перелік умовних позначень

БкМ	Біокліматичне моделювання
ВДЕ	Відновлювані джерела енергії
ДБН	Державні будівельні норми
ЕС	Експертна система
ЕС БкМ	Експертна система біокліматичного моделювання
ЄДЕССБ	Єдина державна електронна система у сфері будівництва
ЗВЗ	Зворотний зв'язок
І	Індикатор
ІКТ	Інформаційно-комунікаційні технології
К	Критерій
К <sub>1</sub> –К <sub>5</sub>	Критерії оцінювання: Адаптація до клімату, Екологічна стійкість, Енергоефективність, Естетика, Функціональність, Інноваційність
КНУБА	Київський національний університет будівництва та архітектури
КНР	Китайська Народна Республіка
НАН України	Національна академія наук України
НАОМА	Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури
НТШ	Наукове товариство імені Т.Шевченка
САПР	Система автоматизованого проектування
ЦПУ	Центральний процесор
ШІ	Штучний інтелект (Artificial Intelligence)
ЗДР	3D друк (технологія)
ACH50	Показник повітронепроникності будівлі (Air changes per hour at 50 Pascal)
AI	Штучний інтелект (Artificial Intelligence)
AR	Доповнена реальність (Augmented Reality)

BIM	Інформаційне моделювання споруд (будівель) (Building Information Modeling)
BioclimaBot	Прототип інтерактивної базової інформаційної системи (чат-бот)
BMDSSKB	База знань системи підтримки прийняття рішень біокліматичного моделювання (Bioclimatic Modeling Decision Support System Knowledge Base)
CAD	Автоматизоване проєктування (Computer Aided Design)
CADD	Програмні системи автоматизованого креслення та проєктування (Computer-Aided Drafting and Design)
CAE	Комп'ютерне моделювання в інженерії (Computer Aided Engineering)
CAM	Комп'ютерне моделювання/виробництво під управлінням комп'ютера (Computer Aided Manufacturing)
CFD	Обчислювальна гідродинаміка (Computational Fluid Dynamics)
DFAD	Дизайн для адаптації (Design for Adaptability)
EDD	Емоційно стійкий дизайн (Emotionally Durable Design)
GIS	Географічна інформаційна система (Geographic Information System)
HCI	Людино-комп'ютерна взаємодія (Human-Computer Interaction)
ICSID	Міжнародний центр з урегулювання інвестиційних спорів (International Centre for Settlement of Investment Disputes)
ID	Інтерактивний дизайн (Interaction Design)
IPCC	Міжнародна панель з питань зміни клімату (International Panel on Climate Change)
ISO/TC59/SC13	Підкомітет (Міжнародної організації зі стандартизації) Організації інформації про будівництво і BIM-технологій
LLM	Великі мовні моделі (Large Language Models)

ML	Машинне навчання (Machine Learning)
PhD	Доктор філософії (Doctor of Philosophy)
PHPP	Програмний пакет для проєктування пасивних будинків (Passive House Planning Package)
RAG	Технологія генерації з доповненим пошуком (Retrieval-Augmented Generation)
SFD	Уповільнений дизайн (Slow fashion Design)
TD	Треш дизайн (Trashion Design)
UD	Дизайн вторинного використання (Upcycling Design)
UHI	Ефект міського теплового острова (Urban Heat Island)
UI	Інтерфейс користувача (User Interface)
URL	Уніфікований локатор ресурсу (Uniform Resource Locator)
USAID	Агентство США з міжнародного розвитку (United States Agency for International Development)
VLM	Візуальні мовні моделі (Visual Language Models)
VR	Віртуальна реальність (Virtual Reality)
ZWD	Безвідходний дизайн (Zero waste Design)

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	22
<b>РОЗДІЛ 1. СТАН НАУКОВОЇ РОЗРОБКИ ТЕМИ, ДЖЕРЕЛЬНА БАЗА, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	
1.1 Біокліматичне проектування: еволюція рішень та сучасні наукові засади	32
1.2 Актуальні аспекти дослідно-проектних методів для задач дизайну при біокліматичному моделюванні	40
1.3 Аналіз досліджень з розвитку інформаційного середовища	49
1.3.1. Аналіз сутності та взаємодії понять "інформаційне суспільство", "інформаційне середовище", "інформаційний простір"	50
1.3.2. Визначення ключових елементів та характеристик сучасного інформаційного середовища	52
1.3.3. Виокремлення та характеристики основних аспектів взаємодії дизайнерів із сучасним інформаційним середовищем	57
Висновки до першого розділу. Список публікацій здобувача за матеріалами першого розділу	63
<b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ АКТУАЛЬНИХ НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ БІОКЛІМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ДИЗАЙНУ</b>	
2.1 Кліматичний вплив на соціокультурний розвиток як передумова становлення біокліматичного моделювання об'єктів дизайну (на прикладі Китаю)	67
2.1.1. Теоретичне обґрунтування	67
2.1.2. Клімат Китаю	70

2.1.3. Вплив клімату на розвиток культури сільського господарства та соціальний уклад	71
2.1.4. Вплив клімату на розвиток архітектури	73
2.1.5. Вплив клімату на формування традиційного одягу	75
2.1.6. Вплив клімату на формування традиційного живопису	77
2.1.7. Вплив клімату на розвиток традиційних ремесел	78
2.2. Місце біокліматичного моделювання у розвитку сучасного екологічного дизайну	82
2.3. Зв'язок біокліматичного моделювання з процесами розвитку дизайну в інформаційному середовищі	93
Висновки до другого розділу. Список публікацій здобувача за матеріалами другого розділу	105

### **РОЗДІЛ 3. ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ДАНИХ БІОКЛІМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИЗАЙН-ОБ'ЄКТІВ**

3.1 Системний підхід при біокліматичному моделюванні дизайн-об'єктів	109
3.2. Інтерпретація класифікації дизайн-об'єктів в рамках біокліматичного моделювання	115
3.3. Формування інформаційної системи даних для оптимізації прийняття рішень при біокліматичному моделюванні	125
3.4. Критерії оцінки варіантів біокліматичного моделювання дизайн-об'єктів	131
Висновки до третього розділу. Список публікацій здобувача за матеріалами третього розділу	138

## **РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ БІОКЛІМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

4.1. Інтерактивна базова інформаційна система на основі чат бота як інструмент формування біокліматичних рішень дизайну	142
4.2. Концептуальні засади експертної системи біокліматичного моделювання	153
4.3. Цифрові платформи автоматизації підтримки біокліматичних рішень (на прикладі Notebook LM)	165
4.4. Методологія формування біокліматичних рекомендацій на основі моделей штучного інтелекту та верифікованих баз знань	174
Висновки до четвертого розділу. Список публікацій здобувача за матеріалами четвертого розділу	184
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	190
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	194
<b>ДОДАТКИ</b>	223

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Сучасний світ зіткнувся із загостренням глобальних енергетичних та екологічних викликів, таких як зміна клімату, виснаження ресурсів, що викликає системні зміни у підходах до формування рішень дизайну. В таких умовах біокліматичне моделювання набуває особливої актуальності як міждисциплінарний підхід, що синтезує перевірені принципи традиційної культури з досягненнями сучасної науки та технологій, забезпечуючи ресурсоефективність та комфорт. Історично, кліматично-адаптивні рішення впливали на формування різних сфер життя, включаючи архітектуру, одяг, народні промисли та живопис. Разом з тим, сучасний розвиток біокліматичного проектування, незважаючи на його міждисциплінарний характер (що охоплює біологічний, кліматологічний, проєктний та інженерно-технологічний аспекти тощо), обмежується впровадженням переважно в архітектурні рішення дизайну. Цей факт актуалізує необхідність розширення методологічної бази біокліматичного моделювання на інші об'єкти та сфери дизайну для створення стійких та адаптивних рішень.

Сучасний розвиток дизайну відбувається в умовах постіндустріального інформаційного суспільства та Четвертої промислової революції, де знання та інформація є основними стратегічними ресурсами, а інформаційне середовище, яке характеризується глобальністю, інтерактивністю та розвитком штучного інтелекту, стає фундаментальним аспектом впливу. Багатофакторність сучасних об'єктів дизайну та зростаюча насиченість інформаційного середовища вимагають переосмислення ролі, функцій та системи прийняття рішень у дизайні. Взаємодія дизайнерів з цим складним середовищем вимагає розвитку цифрових компетенцій з використанням інтелектуальних систем для обробки великих обсягів багатопараметричних даних, які дозволяють не лише адаптувати проєктні рішення об'єктів дизайну до нових технологій, але й враховувати екологічні, енергоефективні, соціальні та

культурні аспекти біокліматичного моделювання. Зазначені вище чинники зумовлюють актуальність даного наукового дослідження, спрямованого на розв'язання комплексної проблеми в сфері дизайну щодо розширення системного підходу та інструментарію біокліматичного моделювання дизайн-об'єктів у сучасному інформаційному середовищі.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконана згідно з державними програмами, що зорієнтовані на формування комфортного середовища, стратегію сталого розвитку та процеси цифрової трансформації суспільства.

Наукова робота базується на нормативно-правових актах України, що регулюють екологічну безпеку та енергоефективність, зокрема Законах України «Про охорону навколишнього природного середовища» [189] та «Про енергетичну ефективність будівель» [190]. Враховуючи специфіку дослідження в контексті інформаційного середовища, робота спирається на Закон України «Про основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007–2015 роки» [191] та розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки» [192]. Стратегічним орієнтиром дослідження слугує Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [193].

Дослідження ґрунтується на міжнародних нормативно-правових документах та глобальних стратегіях сталого розвитку. Фундаментом для біокліматичного моделювання є положення Рамкової конвенції ООН про зміну клімату [194] та Паризької угоди [195], що визначають глобальні цілі щодо декарбонізації. Методологія роботи узгоджується з Цілями сталого розвитку, затвердженими Генеральною Асамблеєю ООН до 2030 року [196], та пріоритетами Європейського зеленого курсу (The European Green Deal) [197], який передбачає комплексну трансформацію економіки та середовища життєдіяльності для досягнення кліматичної нейтральності.

Напрямок даної роботи відповідає сучасним тенденціям у дизайні та архітектурі, що проголошені ініціативою Європейської Комісії «Новий європейський Баугауз» (New European Bauhaus) [198], котра поєднує естетику, сталість та інклюзивність. Теоретико-методологічна база дослідження корелюється з напрямками діяльності Національної академії мистецтв України [204] у сфері дизайну середовища, а техніко-технологічна складова враховує напрацювання ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» [200]. У контексті цифровізації робота враховує принципи, що розробляються міжнародною спільнотою Smart Cities Council [229] та стандартами підкомітету ISO/TC 59/SC 13 щодо організації інформації про будівельні роботи та BIM-технологій [219].

Тема дисертації пов'язана з актуальними науковими програмами та проєктами міжнародної співпраці. Зокрема, проблематика дослідження відповідає пріоритетам програми ЄС «Horizon Europe» (Кластер 5 «Клімат, енергетика та мобільність») [217]. Практична значущість роботи підтверджується її відповідністю напрямкам діяльності Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України [16] щодо впровадження Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва (ЄДЕССБ) [201]. Також враховано досвід реалізації проєктів міжнародної технічної допомоги у сфері енергоефективності та сталого розвитку міст, що впроваджуються в Україні за підтримки Агентства США з міжнародного розвитку (USAID) [230] та Німецького товариства міжнародного співробітництва (GIZ) GmbH [212].

**Мета роботи.** Метою роботи є теоретичне обґрунтування системного підходу до біокліматичного моделювання у дизайні, розробка методологічних засад, які включають класифікацію об'єктів дизайну і систему багатокритеріального оцінювання, та практичних інструментів, зокрема, систем підтримки прийняття рішень, для розширення та ефективного реалізації біокліматичного моделювання щодо широкого спектру об'єктів дизайну в сучасному інформаційному середовищі, що забезпечить розробку стійких, кліматично адаптованих та енергоефективних проєктних рішень.

**Завдання дослідження.** Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення наступних завдань:

1. Здійснити систематизацію сучасних наукових досліджень концепцій екологічного дизайну, проаналізувати еволюцію біокліматичних підходів і тенденції їх розвитку у дизайні, провести комплексний аналіз впливу природно-кліматичних умов на формування традиційної соціокультурної спадщини (на прикладі Китаю) та визначити міждисциплінарний підхід щодо біокліматичного моделювання.

2. Дослідити та обґрунтувати застосування системного підходу, а також визначити основні принципи системного аналізу для біокліматичного моделювання об'єктів дизайну, з урахуванням чого вдосконалити концепцію класифікації дизайн-об'єктів відповідно до рівня їх взаємодії з природно-кліматичним середовищем та впровадити розроблену концепцію в прикладні інформаційні системи.

3. Розробити систему багатокритеріального оцінювання відповідності об'єктів дизайну біокліматичним підходам, що включає ключові критерії та відповідні індикатори, на основі чого сформулювати методологію моделювання біокліматичних рішень для управління даними у процесі біокліматичного моделювання об'єктів дизайну з використанням двоетапної моделі інформаційної системи (базова та повна).

4. Обґрунтувати концептуальну структуру, розробити та апробувати елементи та систему підтримки прийняття рішень для біокліматичного моделювання з використанням інноваційних інструментів сучасного інформаційного середовища, що включає прототип інтерактивної базової інформаційної системи, структуровану базу знань біокліматичного моделювання на одній із цифрових платформ у складі модульної бази даних, яка оперує кліматичними та проєктними параметрами об'єктів дизайну, та бази правил з використанням евристичних методів, гібридну систему формування біокліматичних рекомендацій, яка інтегрує сильні сторони

систем штучного інтелекту та локальної верифікованої бази знань для вирішення прикладних завдань біокліматичного моделювання.

**Об'єкт дослідження** – об'єкти дизайну, отримані шляхом біокліматичного моделювання.

**Предметом дослідження** є інструментарій біокліматичного моделювання, який визначає якість об'єктів дизайну в інформаційному середовищі.

**Матеріали дослідження.** Матеріалом для дослідження слугували :

- теоретичні та науково-методичні праці вітчизняних і зарубіжних вчених, присвячені проблемам теорії та методології дизайну, біокліматичного формоутворення, сталого розвитку, енергоефективності та екологічності;
- нормативно-правова база, що регламентує параметри мікроклімату, енергетичної ефективності та екологічної безпеки тощо;
- проєктно-графічні матеріали, які відображають світовий досвід реалізації екологічних та біокліматичних рішень у дизайні та архітектурі, а також результати аналізу соціокультурного впливу клімату на формотворчі процеси;
- інформаційні та цифрові ресурси: кліматичні дані (Climate Data), сучасні програмні комплекси для моделювання (BIM-технології, CAE-системи);
- технології штучного інтелекту, зокрема, архітектури та алгоритми функціонування великих мовних моделей (LLM), бази знань та набори даних (datasets), необхідні для розробки та навчання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (чат-ботів) у дизайні.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети використовувався комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, що відповідають міждисциплінарному характеру роботи. Було застосовано системний підхід для аналізу структури об'єктів дизайну, забезпечення сталості в умовах зростаючої складності проєктної діяльності та формування комплексних біокліматичних рішень в інформаційному середовищі. Методи узагальнення та систематизації використовувалися для теоретичного

обґрунтування концепції біокліматичного моделювання, класифікації об'єктів дизайну та аналізу сучасних концепцій екологічного дизайну. Метод моделювання був ключовим для розробки структури та логіки роботи інформаційних систем, зокрема, моделі дерева рішень для чат-бота BioClimaBot та гібридної бази знань для системи BMDSSKB та LLM моделей, що використовувались як вирішувач. Застосовувався структурний аналіз для декомпозиції об'єкта дослідження та розробки структури інформаційних систем та Експертної системи біокліматичного моделювання (ЕС БкМ). Порівняльний аналіз дозволив зіставити традиційні рішення, сформовані під впливом клімату (архітектура, одяг, народні промисли Півночі та Півдня Китаю), з сучасними підходами екодизайну, а також порівняти ефективність різних інформаційних інструментів (чат-бот, ЕС, системи BMDSSKB та LLM) як інструментів біокліматичного моделювання.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Наукова новизна роботи полягає в тому, що:

**Вперше:**

- розроблено методологію формування біокліматичних рекомендацій на основі гібридної архітектури штучного інтелекту, яка інтегрує великі мовні моделі (LLM) із верифікованою базою знань, що функціонують як система підтримки прийняття рішень для оптимізації екологічних та енергоефективних аспектів дизайну;
- обґрунтовано концептуальну схему взаємодії понять «інформаційне суспільство» – «інформаційне середовище» – «інформаційний простір» у контексті дизайну, що дозволило визначити їх як взаємозалежні елементи єдиної динамічної системи та виокремити нові аспекти взаємодії дизайнера з цим середовищем (цифрові, екологічні, етичні тощо);
- розширено межі застосування біокліматичного моделювання на об'єкти дизайну поза межами архітектури, що дозволяє комплексно вирішувати проблеми формоутворення дизайну в умовах сталого розвитку.

### **Удосконалено:**

- типологічну класифікацію об'єктів дизайну (виділено групи: природно-, штучно-, дифузно-об'єктний дизайн) шляхом введення критерію рівня їхньої взаємодії з кліматичним середовищем у матеріально-предметних та функціонально-процесуальних аспектах;
- систему оцінювання дизайн-рішень через розробку комплексу критеріїв (адаптація до клімату, екологічна стійкість, енергоефективність, естетика, функціональність, інноваційність) та відповідних індикаторів, що забезпечують об'єктивність біокліматичного аналізу.

### **Отримали подальший розвиток:**

- методологічні засади біокліматичного моделювання як складної нелінійної системи, що синтезує традиційні мистецтвознавчі знання з новітніми технологічними концепціями;
- принципи структурування інформаційних систем у дизайні, зокрема методи кластеризації, тегування бази знань та механізми логічного виведення, необхідні для розв'язання комплексних проектних задач.

### **Теоретичне та практичне значення отриманих результатів.**

Дисертація містить наукові положення, нові науково обґрунтовані теоретичні результати проведених досліджень, які мають істотне значення для галузі знань 02 – Культура і мистецтво, спеціальність 022 – Дизайн.

**Теоретичне значення** одержаних результатів полягає у суттєвому доповненні та розвитку теоретико-методологічних основ біокліматичного моделювання у дизайні в умовах цифровізації та екологізації проектної культури, а саме:

- поглиблено концептуальний апарат дизайну: обґрунтовано системний підхід до біокліматичного моделювання як міждисциплінарного інструменту, що дозволило синтезувати екологічні, технологічні та соціокультурні аспекти формоутворення в єдину цілісну модель;
- розширено типологічні межі предметної області: удосконалено класифікацію об'єктів дизайну шляхом введення кліматично-адаптивних

критеріїв, що створює теоретичне підґрунтя для інтерпретації формотворення у спектрі від архітектурного середовища до предметного дизайну;

- виявлено нові закономірності: встановлено зв'язок між природно-кліматичними чинниками та соціокультурною динамікою розвитку біокліматичних рішень дизайну, що збагачує мистецтвознавчий аспект дослідження та розкриває еволюцію адаптивних якостей дизайн-об'єктів.

**Практичне значення** одержаних результатів визначається створенням прикладного інструментарію та цифрових засобів, що підвищують ефективність розв'язання комплексних проєктних задач, а саме:

- розроблено методичний інструментарій оцінювання: створено універсальну систему критеріїв ( $K_1$ – $K_5$ ) та індикаторів, що дозволяє дизайнерам об'єктивно оцінювати відповідність проєктних рішень вимогам біокліматичної ефективності та естетичної доцільності;
- створено та апробовано програмний продукт: реалізовано прототип інтерактивної інформаційної системи — чат-бот «BioclimaBot», архітектура якого базується на дереві рішень. Інструмент автоматизує процеси класифікації та надає доступ до інформаційної системи даних щодо біокліматичних методів у різних видах дизайну;
- сформовано структуровану базу знань: розроблено архітектуру бази даних та бази правил, що є основою інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (BMDSSKB). Система використовує верифіковані дані та інтелектуальний вирішувач для генерації обґрунтованих рекомендацій при роботі з багатопараметричними задачами при біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну;
- оптимізовано проєктний процес: впровадження запропонованих інформаційних моделей дозволяє скоротити час на передпроєктний аналіз, підвищити обґрунтованість біокліматичних рішень та забезпечити створення сталих, енергоефективних та кліматично адаптованих об'єктів дизайну.

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові результати дисертаційного дослідження отримані автором особисто. Здобувачем було: розроблено методологічну основу біокліматичного моделювання, що включає класифікацію об'єктів дизайну за рівнем взаємодії з природно-кліматичним середовищем; розроблено систему критеріїв та індикаторів оцінки рішень (K<sub>1</sub>–K<sub>5</sub>); обґрунтовано структуру Експертної системи біокліматичного моделювання; розроблено та апробовано чат-бот BioClimaBot, базу знань BMDSSKB та систему підтримки прийняття рішень на її основі, методику формування біокліматичних рекомендацій на основі гібридної архітектури систем штучного інтелекту.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи були представлені на міжнародних наукових конференціях: X International Scientific-Technical Conference «Problems of modern power engineering and automation in the system nature management» (19 жовтня 2023 р., м. Київ), доповідь «Інтелектуальна експертна система у сфері природокористування при формуванні біокліматичних рішень об'єктів дизайну»; IInd International Scientific and Practical Conference «Design, Visual Art and Creativity: Modern Trends and Technologies» (12 грудня 2023 р., м. Запоріжжя), доповідь «An overview of the influence of climate on the formation of the national culture of southern and northern China»; III Міжнародній науково-практичній конференції «Інновації в архітектурі, дизайні та мистецтві: до 100-річчя факультету архітектури НАОМА» (23–24 травня 2024 р., м. Київ), доповідь «Біокліматичне моделювання як складова розвитку сучасного екологічного дизайну»; IX Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми розвитку українського та зарубіжного мистецтва: культурологічний, мистецтвознавчий, педагогічний аспекти» (24–26 травня 2024 р., м. Луцьк – м. Львів – м. Торунь), доповідь «Природні аналоги у дизайні»; IInd International Scientific and Practical Conference «Design, Visual Art and Creativity: Modern Trends and Technologies» (12 грудня 2024 р., м. Запоріжжя), доповідь «Ecological Design in the Context of Circular Economy:

Perspectives and Innovative Methods»; Міжнародній науковій конференції, присвяченій 170-річчю Українського гідрометеорологічного інституту НАН України «Гідрометеорологія і кліматичні виклики: наука, інновації і практика для сталого майбутнього» (18–20 листопада 2025 р., м. Київ), доповідь «Expert systems of bioclimatic modeling and monitoring in the context of artificial intelligence technology development».

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 12 наукових праць, у тому числі: 4 статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б»; 2 – у періодичних наукових фахових виданнях інших держав, які входять до ЄС; 6 тез наукових доповідей в збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

**Структура і обсяг роботи.** Кваліфікаційна наукова праця складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Структура роботи є логічно послідовною та підпорядкована досягненню поставленої мети та завдань.

## РОЗДІЛ 1. СТАН НАУКОВОЇ РОЗРОБКИ ТЕМИ, ДЖЕРЕЛЬНА БАЗА, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1. Біокліматичне проєктування: еволюція рішень та сучасні наукові засади

Сучасна теорія та методологія біокліматичного проєктування ґрунтується на природно-кліматичних даних, варіативних проєктних рішеннях, результатах міждисциплінарних досліджень. Основним принципом біокліматичного підходу до проєктування об'єктів, є врахування місцевих природно-кліматичних параметрів для адаптації проєктних рішень з метою підвищення енергоефективності, забезпечення комфортних умов існування та підсилення сталості об'єктів. Наприклад, біокліматичні дослідження щодо Данії [79], у середземноморських містах [114] та сільській місцевості Індії [75] демонструють важливість адаптації проєктних стратегій до місцевого клімату та соціально-економічних умов.

Аналіз сучасних досліджень [87] демонструє, що біокліматичний підхід до проєктування об'єктів архітектури розглядається як міждисциплінарний підхід, який включає:

- Біологічний аспект (аналітика людського комфорту); [70, 111, 144]
- Кліматологічний аспект (дослідження природно-кліматичних факторів впливу); [21, 146, 173, 177]
- Проєктний аспект (структурні і просторові рішення); [22, 25, 27, 68, 79]
- Інженерно-технологічний аспект (інфраструктура та енергоефективні системи). [ 26, 28, 135, 142, 177 ]

Як вже відзначалось, головна задача біокліматичного дизайну — оптимізувати адаптаційні параметри об'єкта проєктування, забезпечити відповідні функціональні вимоги, знижуючи енергоспоживання і екологічний вплив на довкілля. Такі результати досягаються за рахунок врахування та використання природних ресурсів — сонячної енергії, вітру, вологи, теплоти ґрунту — шляхом інтеграції відповідних рішень ще на етапі проєктування. Як

відзначається в [101], історично подібна практика була притаманна традиційній/народній архітектурі, що століттями еволюціонувала під впливом місцевих кліматичних і соціальних чинників. Тому, біокліматичний підхід дедалі частіше розглядається у науковій спільноті як повернення до традиційних рішень, які формувалися під впливом регіональних природно-кліматичних умов, доступних місцевих матеріалів, культурних традицій шляхом передачі досвіду між поколіннями.

Наприклад, в [120] автори дослідження дослідили стратегії біокліматичного проектування, що використовуються в традиційній архітектурі на південному сході Китаю. Авторами було проведено польове дослідження для визначення та узагальнення характеристик 907 народних будівель у 63 населених пунктах, зосереджуючись на їхньому біокліматичному потенціалі, використовуючи три різні масштаби: макро, мезо та мікрорівень (додаток, рис.1.1.1). Результати показали, що стратегії біокліматичного проектування змінюються залежно від місцевих умов, відхиляючись від загально відомих рекомендацій, а саме Таблиць Махоні. [128] Отриманий авторами результат підкреслює важливість емпіричних досліджень стратегій традиційного біокліматичного проектування.

Народна архітектура визначається як тип регіонального будівництва, сформований місцевою географією, доступними матеріалами, кліматом, традиціями та культурою, що зберігалась та еволюціонувала через передачу знань між поколіннями. Традиційні будівлі широко розглядаються як зразки стійкості завдяки їх мінімальному впливу на навколишнє середовище, властивій мінімізації витрат, у тому числі енергетичних. Наприклад автори у дослідженні [114] поставили собі за мету дослідити вплив середземноморських місцевих біокліматичних стратегій на ефективність теплового комфорту в житлі шляхом вивчення архітектурних елементів та рішень, що формують середземноморський стиль житлового будівництва (Додаток, рис. 1.1.2).

Слід відзначити, що хоча традиційна архітектура втілює стійкість завдяки ресурсоефективному підходу, концепція "стійкості" в цьому контексті не є статичною. Зростаючий інтерес до нових сучасних енергоефективних та екологічних рішень та визнана потреба інтегрувати сучасні матеріали та технології у традиційні/народні підходи до будівництва свідчить про еволюцію галузі. Це вказує на динамічну взаємодію, де традиційна мудрість формує базу для сучасних інновацій, науково-технологічного розвитку, що вдосконалюють народні практики. Майбутні дослідження та практичні впровадження повинні знайти баланс між збереженням автентичних принципів народного дизайну та їх адаптацією за допомогою передових матеріалів та технологій для задоволення сучасних вимог до комфорту та продуктивності. Цей підхід виходить за рамки суто історичної оцінки до активної адаптації для сучасних викликів сталого розвитку.

Разом із тим, спостерігається розрив між ефективністю народних стратегій і їх сучасним широким застосуванням у промислово розвинених країнах. Цей стан стимулює поглиблений аналіз і цифрове моделювання механізмів традиційного дизайну. Тенденція полягає не лише у створенні нових технологій, а й у науковому переосмисленні й системному впровадженні кліматично-адаптивних рішень минулого. Так, у науковому дослідженні [147] автори зосереджені на стратегіях пасивного охолодження в південно-східному середземноморському кліматі, порівнюючи народні конструкції з сучасними технічними рішеннями (Додаток, рис. 1.1.3). За допомогою енергетичного моделювання на прототипах народних будівель, досліджується гібридний підхід, що ґрунтується на місцевих культурних та соціально-економічних контекстах, зокрема в субтропічному (Csa) та напівпосушливому (Bsh) кліматі. Автори дослідження підкреслюють неефективність універсальних технічних рішень та відзначають ефективність сталого дизайну, який зменшує потреби в енергії на охолодження, одночасно підвищуючи комфорт мешканців, підкреслюючи важливість впровадження народних принципів в сучасне проектування.

Слід зазначити, що концепція стійкості в біокліматичному проектуванні розглядається як процес, що змінюється відповідно з розвитком матеріалознавства, технологій і стандартів комфорту, вимог екологічності та енергоефективності рішень. Зростає інтерес до використання інноваційних природних матеріалів і впровадження адаптивних систем у конструкції з метою підвищення їх відповідності сучасним вимогам. Наприклад, авторами в [76] проведений систематичний огляд, що синтезує результати 1069 досліджень (2000–2023) щодо стратегій біокліматичного проектування, використовуючи бібліометричний аналіз літератури SCOPUS. В огляді висвітлюються сучасні досягнення в пасивному сонячному проектуванні, природній вентиляції, зелених дахах та використанні теплової маси у будівлях. Інновації включають інструменти моделювання, моделі обчислювальної гідродинаміки (CFD) та енергоефективні матеріали, такі як матеріали з фазовим переходом та високоефективне скління. Дослідження наголошує на зменшенні залежності від штучних систем за рахунок впровадження біокліматичних підходів у проектуванні, що сприяє сталому будівництву. Автори зазначають обмеження при проектуванні, такі як різниця в ефективності залежно від клімату (пасивне сонячне проектування є дуже ефективним у помірному кліматі, але є менш ефективним у тропічних регіонах), а також соціокультурні відмінності, що свідчать про необхідність адаптації рішень до місцевого контексту.

Розглянуті вище наукові публікації підтверджують необхідність балансу між збереженням автентичних принципів традиційного середовища і застосуванням новітніх технологій для досягнення ресурсоефективності й комфорту в сучасних умовах.

Дисертаційне дослідження [21] присвячене біокліматичному дизайну висотних будівель. Основна мета роботи – розробка структурно-функціонального моделювання біокліматичних висотних будівель для їх адаптації до місцевого клімату з урахуванням як природних, так і антропогенних факторів. Дисертація містить широкий огляд існуючих

підходів та практичних прикладів, ілюструючи еволюцію та перспективи розвитку біокліматичного дизайну у висотному міському середовищі (див. Додаток 1, рис. 1.1.4). У дослідженні розглядаються рішення, натхненні природою, та сучасні технології для створення сталого міського середовища. Автор пропонує теоретичну основу для використання природних аналогів, оскільки природа та архітектура розвиваються в подібних біофізичних умовах і підпорядковуються одним законам (гравітація, інерція, термодинаміка). Природа є джерелом ідей для функціональної обґрунтованості форм, структурної оптимізації та ефективних рішень у тектоніці будівель. Вивчення критеріїв життя у природі – порядку розмноження, зростання, використання енергії, реакції на навколишнє середовище, метаболізму та еволюції – дозволяє автору визначати інноваційні біокліматичні рішення у дизайні висотних будинків.

Різноманітні наукові дослідження та проектні рішення демонструють, що біокліматичне проектування визначається як динамічна і гнучка галузь, що синтезує емпірично перевірені принципи зі здобутками сучасної науки для вирішення глобальних і локальних проектних завдань. Як зазначається авторами у дослідженнях [18, 20, 72, 74, 139] сучасне проектування, у тому числі і біокліматичне проектування, не розвивається як проста лінійна еволюція від базових до складних технологій. Аналізуючи наукові дослідження з біокліматичного підходу до проектування, можна дійти висновку, що це складна система, де кожен новий етап переосмислює й трансформує досвід минулих періодів через зворотні петлі — механізми, які повертають і інтегрують знання та практику попередників у нових, удосконалених формах.

На рис.1.1 представлена схема лінійної хронології зворотного зв'язку (feedback-driven timeline) у розвитку біокліматичного підходу до проектування, де кожна стрілка символізує не тільки перехід у часі, а й перенесення знань (translational knowledge) від попереднього етапу до наступного.



Рис. 1.1. Схема лінійної хронології еволюції біокліматичних проектних рішень (розроблено автором)

Кожен етап характеризується домінуючою парадигмою та технологічним рівнем. Розглянемо більш детально.

Традиційні стратегії (до 1900 р.) – емпіричні, локально-адаптивні рішення, що сформувалися століттями методом проб та помилок. Ключовий принцип — синхронізація з природними ритмами (сонце, вітер, вологість тощо), оточуючим природним середовищем на основі особистого досвіду та спостережень, що відображалось у соціально-культурному устрої. У розглянутих вище сучасних дослідженнях [101, 120, 147] аналізується такий досвід стосовно впровадження у біокліматичні рішення, але він стосується архітектурних рішень дизайну.

Наукове обґрунтування (1900 – 1950) – період переходу до наукового аналізу: поява термодинамічних моделей, психрометричних діаграм та перших лабораторних вимірювань для врахування кліматичних факторів при біокліматичному проектуванні. Наприклад, Aladar та Victor Olgyay — брати-архітектори угорського походження — були піонерами біокліматичної архітектури, фундаментально вплинувши на підхід архітекторів до кліматично адаптованого та сталого дизайну. [128] Вони розробили біокліматичну діаграму — інструмент, який пов'язує кліматичні дані (температуру, вологість,

сонячну радіацію тощо) з тепловим комфортом людини та архітектурними рішеннями. Це дозволило архітекторам об'єктивно оцінити придатність різних пасивних стратегій (таких як затінення, ізоляція або вентиляція) для конкретних кліматичних зон ( Додаток, рис. 1.1.5).

Початок раціоналізації біокліматичних рішень. Адаптивні моделі (1950 –1980) – формування емпіричних формул комфорту [122], інтеграція даних про поведінку користувачів. Ключовий зсув: від пасивного захисту (коли кліматичні параметри комфорту є константою) до активної адаптації середовища (кліматичні параметри комфорту є змінними та визначаються з урахуванням поведінки користувача). Метою біокліматичного моделювання стає не «уникнути дискомфорту», а «досягти комфорту». Тепловий комфорт розглядається через призму адаптивного підходу, який зосереджується на динамічній взаємодії між людиною та її повсякденним середовищем. Цей підхід визначає тепловий комфорт як частину саморегулюючої системи, де люди активно адаптуються до свого теплового оточення, наприклад, змінюючи одяг або взаємодіючи з елементами будівлі, щоб забезпечити комфорт. Адаптивний підхід охоплює широкий спектр дисциплін, включаючи кліматологію, проектування будівель, терморегуляцію, культурні та соціальні аспекти, а також фізіологію людини. [122, 123]

Пасивні рішення при проектуванні (1980 – 2000) – у цей період концепція пасивних будинків еволюціонувала від інтуїтивного до науково обґрунтованого проектування, зосередженого на мінімізації споживання енергії. Ключовим інструментом стандартизації став Passive House Planning Package (PHPP), що дозволив оцінювати енергетичні показники будівель. Основою пасивного будинку стала суперізоляція, яка передбачає використання товстих шарів теплоізоляції для мінімізації втрат тепла. У таких герметичних будівлях життєво важливою стала контрольована вентиляція, часто з рекуперацією тепла, для підтримки якості повітря та комфорту. Поява продуктивних метрик, таких як U-value (коефіцієнт теплопередачі) та ACH50 (герметичність), дозволила кількісно оцінювати ефективність. Ці метрики

стали фундаментальною основою для подальшої оптимізації біокліматичного проєктування, забезпечуючи енергоефективність та комфорт для різних кліматичних умов. [67, 93, 114, 131]

Інтелектуальні системи (2000 – наш час) – з 2000 року дизайн переживає революцію завдяки інтеграції інтелектуальних систем. Синергія інформаційного моделювання будівель (BIM) та машинного навчання (ML) дозволяє перейти від статичних рішень до динамічного моделювання та використання реальних даних, що забезпечує швидку оптимізацію біокліматичного дизайну, значно перевершуючи традиційні методи. У [149] відзначається, що сучасні інтелектуальні системи дозволяють створювати самонавчальні та адаптивні середовища, що автоматично реагують на зміни. Ініціатива Сінгапуру «Virtual Singapore» (цифровий двійник міста) є прикладом такого підходу. Завдяки інтеграції кліматичних та топографічних даних у режимі реального часу, модель «Virtual Singapore» допомагає оцінювати вплив міських теплових островів, оптимізувати зелені зони та керувати районами, схильними до повеней, що підвищує стійкість Сінгапуру до зміни клімату, надаючи дані для формування біокліматичних рішень екологічної стійкості (Додаток, рис. 1.1.6, 1.1.7. ).

Кожен з розглянутих вище етапів не скасовує, а інтегрує попередній досвід, формуючи надбудову знань, де традиційна емпірика, наукові моделі та цифрові технології працюють спільно. Такий підхід дозволяє побачити розвиток біокліматичного проєктування, що представлений багатьма дослідженнями, не як лінійний прогрес, а як живу екосистему знань, де минуле, сучасне та майбутнє коеволюціонують.

Підсумовуючи, слід зазначити, що сучасне біокліматичне проєктування — це динамічний, багатофакторний й адаптивний напрямок розвитку у дизайні, що синтезує досвід традицій і досягнення сучасної науки. Перспектива дослідження біокліматичного проєктування полягає в науково перевіреному впровадженні стратегій, що довели свою ефективність у різних кліматичних і соціокультурних умовах, доповнених новими інженерними та

цифровими рішеннями для забезпечення стійкості, енергетичної незалежності та комфорту.

## **1.2. Актуальні аспекти дослідно-проектних методів дизайну при біокліматичному моделюванні**

Формування ефективних рішень біокліматичного моделювання потребує застосування сучасних методів дизайну. Відповідно із чим у дослідженні слід актуалізувати та структурувати можливості сучасної методології дизайну стосовно задач біокліматичного моделювання.

Питання тлумачення дизайну та методології дизайну стосовно розвиненої практики постіндустріального суспільства є предметом обговорення багатьох досліджень [11, 14, 30, 34, 42, 45, 46]. Їх метою є формування відповідального ставлення до сутності та змісту понять пов'язаних із дизайном. У [42, 43] розділяється поняття дизайну в означенні процесу та дизайн в означенні його результату. В першому варіанті поняття дизайну (як процесу) позначає певне планування задуму щодо створення та появи чогось нового згодом. У другому варіанті поняття дизайну (в означенні його результату) вказує на конкретний об'єкт розробки: дизайн автомобіля, дизайн інтер'єру, дизайн сукні тощо.

У дослідженні сучасних китайських учених [94] термін «дизайн» розглядається в контексті розвитку західної та східної культурних традицій. Вони зазначають, що «західний» контекст слова дизайн походить від перекладу слів «проектувати», «проекткування», «проектне мислення», що англійською звучить як «design», «designing», «design thinking». На Всесвітній виставці у Відні 1873 року Нотомі Каїзіру японський стажер, для зручності пояснення англійського слова «дизайн» запропонував термін «цуан». Термін «цуан» японською мовою розкладався на «цу» – сюжет, зображення та «ан» – розгляд, які разом утворювали щось подібне до «показувати думки». Термін «цуан» складався з китайських ієрогліфів японською мовою тому його стали

широко використовувати китайці. Термін «цуан», увійшов до китайських словників, разом з англійським словом «design» із визначенням як план узгодження форми, структури, кольору і декору перед розробленням творів мистецтва, ремесла, архітектури тощо. У 70 - 80 роках ХХ сторіччя у Китаї у зв'язку з індустріалізацією та початком потужного дизайнерського руху, сталися зміни у ставленні до дизайну, що відзначилось заміною терміну «цуан» на поняття «шейджі». Останнє означає дизайн, але підкреслює принцип поєднання практичної та естетичної цінності.

Отже, у західній та східній культурах сучасний термін дизайн визначає концептуальні та проєктні складові стосовно створення та реалізації певного задуму. Це потребує врахування сукупності умов, форм, методів та засобів вирішення поставленого завдання при аналізі мети, завдань та результатів процесу.

У дисертаційному дослідженні Кашенка О.В. [16] відзначається раціоналізація дизайнерських рішень при створенні ефективних конструктивних, економічних і естетично довершених рішень. Розглядається потреба у знаходженні методів поєднання глобальних сучасних тенденцій з необхідністю збереження регіональних особливостей створюваних дизайн-об'єктів та дослідження закономірностей утворень живої природи у якості біопрототипів. Моделювання біопрототипів для задач дизайну автор [16] пропонує розглядати на ієрархічних рівнях відповідно до змісту поставленої задачі, аксіологічності (Додаток, таблиця 1.2.1. ). У [16] надано наступні пояснення щодо зазначених рівнів моделювання:

- Філософський рівень передбачає вивчення проблеми єдності світу, співвідношення природного і штучного середовищ, естетики і соціального значення проблем, питань формування стилю тощо.
- Методологічний рівень полягає в окресленні проблеми моделювання природних аналогів, опрацюванні стратегії реалізації ідеї.
- Методичний рівень вбирає в себе практичні прийоми, способи моделювання природних форм.

- Технічний рівень характеризується розробкою моделей у матеріалі або ж графічних, віртуальних та інших.

Крім того, автор в [16] пропонує додати нову логіко-інформаційну модель, для узагальнення інформаційного простору моделювання природних аналогів, що формують можливості їх розширення у різних напрямках моделювання сучасного дизайну. У тому числі стосовно застосування та подальшого розвитку біокліматичного моделювання у дизайні. [59] Прикладом цього, може бути дисертаційне дослідження [21], де автором розглянуто формування рішень на основі біопрототипів при інтеграції відновлювальних енергетичних ресурсів у висотні біокліматичні будівлі, що представлено на прикладах та у вигляді ієрархічної моделі (Додаток, рис. 1.1.4, 1.2.1.).

Відповідно із [42] методологія дозволяє впорядковувати процеси у цілісну систему відносно її: логічної структури (об'єкт, суб'єкт, предмет, форми, засоби, методи і результат діяльності); характеристик (особливості, принципи, умови, норми); процесу реалізації (фази, стадії, етапи) тощо. Автор узагальнює, що методологія визначає шлях до мети дизайну, а методи — конкретні інструменти, засоби для її досягнення.

Як відзначається в [15], методологія і методика в дизайні є складною темою для визначення через приналежність дизайну до сфери мистецтв, в якій результативність пов'язують із свободою творчості а також через різноманітність типів дизайнерської діяльності. Ще з початку 1960 років теоретики дизайну Т. Мальдонадо, А. Моль, Персі Хілл і Дж. Кристофер Джонс відзначали у дизайні багатопараметричність вихідних умов, що ускладнює їх систематизацію та раціональний аналіз.

Розвиток сучасного дизайну характеризується загальною тенденцією до єдності виробничої, гуманітарної сфери, інтенсивним науково-технічним розвитком, що впливає на дозвілля, побут, мистецтво та формується запитом споживачів. Слід відзначити визначальну роль загальнолюдських цивілізаційних викликів у розвитку сучасного світового дизайну, до яких слід

віднести екологічну складову. [199] Останнє значно розширює коло завдань та цілей, доповнює дослідницько-проектний апарат новітніми методами та напрямками розвитку, а саме екодизайну.

У дослідженні [12] уточнюється та систематизується понятійний апарат щодо екодизайну та пропонується свій варіант єдиного уточненого глосарію основних термінів та визначень. На основі накопиченого обсягу фактичного матеріалу у дослідженні [12] було проведено теоретичне узагальнення із визначенням концепцій еко-проектування, встановленням зв'язку між концепціями еко-проектування та геометричними засобами формоутворення, пропозицією щодо створення методологічної платформи еко-дизайну як науки. Наведені положення у дослідженні [12] доводять важливість та актуальність проблеми теоретичного узагальнення наукових складових екологічного дизайну для розробки засобів системи прийняття рішень та методів проектування для новітніх напрямів екодизайну.

Розвиток біокліматичного моделювання слід віднести до новітніх напрямів екодизайну. В дисертації [21] досліджено поширені визначення біокліматичного моделювання в архітектурному проектуванні з різних інформаційних джерел. На їх основі зроблено аналіз ідей, протиріч, перспектив та прикладів біокліматичного напрямку в екодизайні. Відповідно із чим можна відзначити, що триває становлення загальної концепції біокліматичного моделювання у дизайні, яке потребує формування ґрунтовної теоретичної та методологічної основи, особливо стосовно різних об'єктів дизайну, тому що згідно із проведеним аналізом досліджень, розвиток обмежується впровадженням біокліматичного моделювання лише в архітектурні рішення дизайну.

Із самого початку термін «біокліматичне» стосувався будівель та був введений угорськими архітекторами Aladar та Victor Olgyay. [145] Вони першими застосували цей термін стосовно проектних рішень, обумовлених взаємозв'язком будівель з кліматом та навколишньою природою, ґрунтуючись на знаннях та методах з біології, метеорології, кліматології, інженерії та

фізики. Згідно із [145, 181] біокліматичний підхід для вирішення завдань взаємодії будівель із зовнішніми впливами та навантаженнями оточуючого природного середовища, включає дослідження у таких дисциплінах як кліматологія, будівельна фізика, інженерні технології та архітектура тощо. При цьому розвиток біокліматичного моделювання залежить як від різноманіття видів чи напрямів досліджень, так і від застосування різних методів досліджень, що забезпечують отримання рішень для різних наукових напрямів.

Відповідно до положень у [10], біокліматичний напрямок розвитку екологічного дизайну можна віднести до прикладних досліджень, призначення яких - вирішення вузькоспеціальних теоретичних та практичних завдань, які вирішуються на основі загальнонаукових методів дослідження. До останніх відносяться методи емпіричного (експеримент, спостереження, порівняння, вимірювання) й теоретичного дослідження (аналіз, синтез, абстрагування, узагальнення тощо), які можна використовувати при формуванні рішень біокліматичного моделювання ( Додаток, рис. 1.2.2).

Зазначена різноманітність методів, що включається у структуру біокліматичного моделювання надає можливість для пошуку оптимальних образів та форм адаптованих до різноманіття та змінності умов оточуючого середовища та вирішення завдань екологічного дизайну. Розглянемо більш детально на прикладах:

- *Синтез* – це метод дослідження, який передбачає об'єднання різних елементів, компонентів чи ідей для створення нового цілого. У контексті біокліматичного моделювання об'єктів дизайну, цей метод полягає в інтеграції аспектів природного середовища, клімату та дизайнерських рішень з метою створення оптимальної адаптації до навколишніх умов. Наприклад, при біокліматичному моделюванні дизайну одягу для різних кліматичних умов може використовуватись комплексний підхід, що поєднує інноваційні технології та природні матеріали. Завдяки оптимізації крою та використанню натуральних матеріалів, таких як бавовна, льон або

шерсть, забезпечується ефективна вентиляція та теплоізоляція. Такий синтез знань про крій, властивості матеріалів і кліматичні умови дозволяє створити одяг, що «дихає» і забезпечує комфорт.

- *Аналіз* (від грец. ἀνάλυσις – "розчленування, розкладання") – метод дослідження, який передбачає детальне вивчення об'єкта або явища шляхом його розбору на складові елементи, аспекти або характеристики з метою виявлення основних закономірностей, причинно-наслідкових зв'язків та тенденцій. Аналіз у біокліматичному дизайні може включати вивчення кліматичних умов, географічних особливостей, мікроклімату і природних ресурсів конкретної місцевості з метою оптимізації рішень біокліматичного моделювання об'єктів дизайну.
- *Абстрагування* – метод виділення основних, найбільш суттєвих характеристик чи властивостей об'єкта чи явища, що дозволяє спростити та впорядкувати інформацію. Метод абстрагування для біокліматичного моделювання об'єктів дизайну – це процес виділення ключових аспектів кліматичних умов певної місцевості чи регіону, які мають найбільше значення для моделювання з метою виявлення основних закономірностей та трендів. Наприклад, щоб розробити дизайн будинку для спекотного клімату, дизайнер абстрагується від щоденних коливань температури, зосереджуючись на ключових показниках, таких як пікові денні температури, інтенсивність сонячного випромінювання та переважаючі напрямки вітру, щоб забезпечити оптимальне охолодження.
- *Порівняння* – метод дослідження, який передбачає аналіз та зіставлення різних об'єктів, явищ, груп, що дозволяє робити висновки про причинно-наслідкові зв'язки, загальні закономірності або специфічні особливості їх функціонування. Може включати як якісний, так і кількісний аналіз. Метод порівняння при біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну дозволяє виявити різницю між різними варіантами рішень дизайну (форми, обробки, матеріалу, розташування та інше) для розробки більш ефективних рішень дизайну.

- *Узагальнення* — це метод, що дозволяє аналізувати різні конкретні випадки або приклади з визначення загальних рис або закономірностей. Ці закономірності можуть бути застосовані до більшого набору об'єктів чи явищ. У дослідженні біокліматичного дизайну метод узагальнення використовується для виведення універсальних принципів на основі вивчення конкретних прикладів. Наприклад, після аналізу (вивчення) природних форм, матеріалів та колірних рішень у різних біомах, дизайнер може узагальнити отримані знання, вивівши загальні правила, які будуть застосовані для створення біокліматичного дизайну предметів побуту.
- *Візуалізація образів* – це метод, що використовується в наукових дослідженнях та спрямований на вивчення та аналіз образів, символів, форм та структур через їхнє візуальне уявлення. Метод візуалізації образів є потужним сучасним інструментом при біокліматичному моделюванні, оскільки дозволяє наочно уявити вплив різних параметрів навколишнього простору на об'єкти дизайну. Наприклад, засоби комп'ютерної візуалізації дозволяють наочно відслідкувати як зміна форми або орієнтації об'єкта дизайну взаємодіє із сонячним випромінюванням або циркуляцією повітря.
- *Експеримент* – метод дослідження, який передбачає систематичне і контрольоване вивчення явищ або процесів і може включати вимірювання, спостереження, аналіз даних і статистичну обробку результатів. Метод експерименту для біокліматичного дизайну – це процес дослідження, спрямованого на вивчення впливу різних природно-кліматичних параметрів при біокліматичному моделюванні. В результаті експериментів можуть бути розроблені рекомендації щодо оптимального використання природних ресурсів, таких як сонячна енергія, вітер та тепловіддача від навколишнього середовища.
- *Спостереження* – метод, який використовується у наукових дослідженнях для отримання інформації шляхом безпосереднього спостереження за об'єктами, явищами чи процесами. Метод спостереження при біокліматичному моделюванні в дизайні може бути використаний для

вивчення поведінки користувачів, взаємодії об'єктів, аналізу навколишнього середовища та інших аспектів, які можуть безпосередньо спостерігатися. Наприклад, спостереження та вивчення переваг і поведінки людей у різних кліматичних умовах дозволяє виявити, які фактори комфорту найбільш значущі для них та які рішення дизайну найбільш ефективні з точки зору біокліматичних рішень.

Як зазначено у [10], моделювання – це метод створення й дослідження моделі, для наочного уявлення будь-якого процесу. За допомогою моделювання можуть досліджуватись різні об'єкти дизайну, але фрагментарність моделей не дозволяє одержувати цілковитого знання. Тільки у поєднанні з іншими методами дослідження метод моделювання є плідним.

Отже, розглянутий вище аналіз біокліматичного моделювання об'єктів дизайну на основі загальнонаукових методів дослідження, показує перспективу його розвитку для більш ефективної, свідомої дослідницької та проєктної роботи. Якщо розглянуті вище загальнонаукові методи дослідження визначають технологічне чи конструктивне формоутворення, то художньо-творча основа рішень дизайну при біокліматичному моделюванні може бути вирішена за рахунок спеціальних методів дослідження.

В існуючих теоретичних дослідженнях [53, 61] стверджується, що естетичні характеристики та зовнішня форма об'єкту дизайну закладається на ранніх етапах моделювання чи проєктування. А отже, важливими є методи прогнозування структури чи форми об'єктів для розробки базової моделі на передпроєктних стадіях дизайну. У більшій мірі це процес, що ґрунтується на творчій уяві, коли застосування загальнонаукових методів дослідження зазвичай не дає цікавих, інноваційних рішень дизайну. Для пошуку свіжих, нетривіальних ідей застосовують спеціальні методи, на основі методів творчості (Додаток, рис. 1.2.3.).

При біокліматичному моделюванні відбувається робота із багатьма параметрами, що ускладнює пошук саме творчої ідеї. Зазначені вище спеціальні методи досліджень направлені на активізацію дизайн-діяльності,

творчої фантазії дизайнерів. Мета їх застосування у перетворенні завдання на легше та доступне для вирішення, побудувати початкові дизайн-ідеї для подальшого доопрацювання за рахунок інших загальнонаукових методів дослідження.

Приклади застосування спеціальних методів дослідження зустрічаються у багатьох наукових [16, 21] та проєктних роботах в області екодизайну та біокліматичного моделювання. До прикладу у Додатку, табл.1.2.2., рис.1.2.4. представлений аналіз біокліматичного рішення дизайну сонцезахисних пристроїв, що рухаються в залежності від положення сонця та використовуються для економії енергоресурсів. У пошуках творчої ідеї для дизайну динамічних сонцезахисних елементів дизайнерами застосувались спеціальні методи дослідження. Для формування творчої ідеї конструктивного рішення використовувався природний аналог крил бджоли: кожне крило має спеціальне кріплення до тіла бджоли біля основи і може вільно переміщатися вгору і вниз, вперед і назад, а також повертатися або обертатися. Як творчий метод застосовувались сучасні технології – програмне забезпечення Grasshopper для моделювання руху крил бджоли, на основі чого був змодельований шестикутний модуль. Оптимізація кутів, які ці модулі приймають залежно від положення сонця та пори року, була виконана за допомогою плагіна Galapagos.

Вивчення та практичне впровадження широкого кола творчих методів досліджень постійно доповнюються і потребують аналізу та дослідження. Впровадження інноваційних методів досліджень є важливим напрямом для подальшого розвитку біокліматичного моделювання у дизайні, що потребує відповідного теоретичного обґрунтування для ефективного застосування.

Підсумовуючи розглянуті вище положення, слід зазначити, що тлумачення визначення та методології дизайну мають свою теоретичну та практичну базу, що сформувались відповідно із розвиненою практикою постіндустріального суспільства. Разом з тим, поняття екологічного дизайну та біокліматичного моделювання займають своє місце відповідно до

актуальних запитів розвитку сучасного суспільства та знаходяться на етапі еволюції впровадження ефективних методів прийняття рішень. Тому важливим є аналіз перспектив застосування різних методів досліджень стосовно біокліматичного моделювання для широкого кола об'єктів екодизайну відповідно до актуальних запитів розвитку сучасного суспільства.

### **1.3. Аналіз досліджень з розвитку інформаційного середовища**

Сучасний світ переживає епоху стрімких змін, пов'язаних із Четвертою промисловою революцією, що характеризується інтеграцією різних наукових напрямків та цифрових технологій. [162] Формується постіндустріальне інформаційне суспільство, де основними стратегічними ресурсами стають знання та інформація. Як відзначається у [65, 127], інформаційне середовище стає фундаментальним аспектом сучасного суспільства та впливає на всі сфери людської діяльності, включаючи дизайн.

У дослідженні [62] доводиться, що дизайн, будучи рушієм інновацій, орієнтованих на споживача, повинен ефективно адаптуватися до змін, що відбуваються у сучасному інформаційному суспільстві. Для цього дизайнерам необхідно розвивати нові компетенції, особливо у цифровій сфері. Автори у [47, 127] відзначають, що питання взаємодії дизайнерів із сучасним інформаційним середовищем та розвиток необхідних для цього компетенцій потребує розвитку відповідних досліджень. Їх актуальність підсилюється стрімким розвитком інформаційно-комунікаційних технологій, які змінюють не лише способи обміну інформацією, але й засоби та методи проектної діяльності дизайнерів.

Таким чином, цифрова трансформація суспільства вимагає переосмислення ролі та функцій дизайну. [88] У такому контексті ключовим завданням є визначення ефективної взаємодії дизайнерів із сучасним інформаційним середовищем, що потребує аналізу досліджень з наступних аспектів:

1. Особливості понять "інформаційне суспільство", "інформаційне середовище", "інформаційний простір" та їх взаємозв'язок;
2. Ключові елементи та характеристики сучасного інформаційного середовища;
3. Основні аспекти взаємодії дизайнерів із сучасним інформаційним середовищем.

### **1.3.1. Аналіз сутності та взаємодії понять "інформаційне суспільство", "інформаційне середовище", "інформаційний простір"**

Питання інформаційного суспільства та його ключових складових є предметом багатьох досліджень, що розглядаються у контексті соціально-технічних трансформацій сучасної цивілізації.[3,13] Інформаційне суспільство як поняття набуло поширення з 1990-х років і визнається як суспільство нового типу, яке з'явилося у результаті соціальної революції, викликаної стрімким розвитком інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ). Хоча винахід самого терміну "інформаційне суспільство" приписується професору Токійського технологічного інституту Ю.В. Хаяші на початку 1960-х років для визначення нової світової спільноти, яка базується на інформації. [40] В українських академічних колах інформаційне суспільство визначалось як суспільство, яке характеризується високим рівнем інтенсивності інформації в повсякденному житті громадян, у більшості організацій і на робочих місцях; використанням загальної або сумісної технології для широкого спектру особистої, соціальної, освітньої та ділової діяльності, а також здатністю швидко передавати, отримувати та обмінюватися цифровими даними між місцями незалежно від відстані. [ 202]

Як зазначається у [165], у сучасному науковому дискурсі поняття «інформаційне суспільство», «інформаційне середовище» та «інформаційний простір» є ключовими для розуміння впливу інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) на суспільний розвиток. Приклади з різних країн, таких як

Китайська Народна Республіка, ілюструють як ці концепції формуються та взаємодіють під впливом національної траєкторії розвитку та культурних особливостей, що досліджується у таких наукових публікаціях як [138, 186].

Наприклад, у КНР концепція «Інформаційне суспільство» (信息社会 – Xìnxī Shèhuì) передбачає етап розвитку китайського суспільства, де інформація, знання та цифрові технології стають головними рушіями економічного зростання та соціального прогресу. [80, 174] Для КНР це шлях модернізації та посилення національної потужності як в економічному розвитку, так і в загальному соціальному та культурному впливі, що знайшло відображення в ініціативі «Цифровий Китай» (数字中国 – Shùzì Zhōngguó).

Концепція «Інформаційне середовище» (信息环境 – Xìnxī Huánjìng) охоплює сукупність інформаційних ресурсів, технологій, платформ, які створюють, поширюють та споживають інформацію. Інформаційне середовище функціонує як інфраструктура, необхідна для існування інформаційного суспільства. У КНР відбулася трансформація від "інформаційно бідного" до "інформаційно складного" середовища завдяки бурхливому розвитку ІКТ. Наприклад, у дослідженні [174] автор аналізує, як великі дані та ШІ змінюють інформаційне середовище, створюючи нові виклики та можливості для управління, аналізу та використання інформації.

«Інформаційний простір» (信息空间 - Xìnxī Kōngjiān) – це абстрактна, віртуальна сфера, де взаємодіють інформаційні елементи, і яка виходить за межі фізичних кордонів. Цей простір є полем взаємодії, що виникає в інформаційному середовищі. Взаємодія між фізичним та віртуальним простором, пов'язується із соціальним впливом та мережевим аналізом для розуміння потоків інформації. Наприклад, в [182] концепція «Інформаційного простору» розглядається в контексті людського розвитку та трансформації освіти, науки та особистісної ідентичності.

На основі проведеного аналізу досліджень стає очевидним, що ці три поняття є взаємозалежними елементами єдиної системи. Інформаційне

суспільство створює інформаційне середовище як необхідну умову для свого існування, а в цьому середовищі формується та існує інформаційний простір. Відповідно із чим було розроблено схему взаємодії понять «інформаційне суспільство», «інформаційне середовище» та «інформаційний простір», що представлена у Додатку 1, рис. 1.3.1.

Підсумовуючи слід зазначити, що приклад розвитку китайської моделі доводить, що створення та регулювання інформаційного середовища є важливою передумовою для побудови сучасного стійкого інформаційного суспільства.

### **1.3.2. Визначення ключових елементів та характеристик сучасного інформаційного середовища**

У широкому сенсі під інформаційним середовищем розуміється світ інформації навколо людини і сфера її інформаційної діяльності, що глобально охоплює земну кулю. [133] У цьому розумінні інформаційне середовище є частиною ноосфери, поняття, уведеного українським вченим М.Вернадським, пов'язаною з діяльністю людини. [105] Поняття «інформаційне середовище» також може стосуватись окремої особи, групи людей та бути параметром їх інформаційної діяльності [153], а на даний час, і штучних організмів (інтелектуальних систем), які також обробляють інформацію логічно та автономно. [105] У більш вузькому розумінні, інформаційне середовище - це сукупність технічних і програмних засобів зберігання, обробки і передачі інформації, а також політичні, економічні і культурні умови реалізації процесів інформатизації.[5] Саме в такому прикладному розумінні, пов'язаному з розвитком комп'ютерних технологій, розглядається це поняття у багатьох наукових дослідженнях та в даній роботі.

Інформаційне середовище як суспільне явище пройшло декілька етапів розвитку. Зародження інформаційного середовища розпочалося в 50-70 роках ХХ сторіччя - від теоретичного обґрунтування до початку практичної

реалізації, пов'язаного з перенесенням даних із аналогової сфери в цифрову сферу. [133] Для 80-90 років ХХ століття характерний швидкий розвиток інформаційних технологій, глобалізація та цифровізація всіх сфер людської діяльності. Після 2000-х років і до нашого часу відбувається перетворення людського суспільства під впливом інформаційних технологій, виникає глобальне інформаційно-комунікативне середовище. [106] Також, поява та розвиток дизайну здійснювались одночасно зі становленням інформаційних систем, на основі їх технологій та мали результатом зміни в інформаційному середовищі.

За дослідженнями Кастельса М. (2010), інформаційне середовище стало ключовим фактором суспільного розвитку, формуючи нові соціальні практики та трансформуючи традиційні сфери діяльності. У цьому контексті, інформаційне середовище є не просто сукупністю технологій, а складною динамічною системою, яка формує нові соціальні практики, змінює традиційні інститути та впливає на всі сфери людської діяльності – від економіки та політики до культури та повсякденного життя.

Як відзначається у [47], поняття "інформаційне середовище" зазнало значної еволюції з розвитком інформаційних технологій. Від початкового асоціювання з традиційними носіями інформації (бібліотеки, архіви), воно трансформувалося до всеохоплюючої концепції, що включає весь спектр цифрових технологій. Ця трансформація відображає перехід від "інформації на носіях" до "інформації в потоках", де швидкість, доступність та взаємодія стають визначальними. Об'єднання Інтернету, соціальних мереж, мобільних пристроїв, хмарних сервісів та штучного інтелекту формує складність та багатогранність сучасного інформаційного середовища.

Отже аналіз наукових досліджень дає можливість визначити, що сучасне інформаційне середовище є динамічною системою, що складається з взаємопов'язаних елементів, які забезпечують створення, збереження, обробку, передачу та використання інформації [88], є не просто технологічною інфраструктурою, а складною екосистемою зі своєю структурою та аспектами

формування, схема якої представлена у Додатку, рис.1.3.2. Розглянемо більш детально представлені у схемі ключові елементи інформаційного середовища, що включають: технічні засоби, інформаційні ресурси, суб'єкти, процеси, соціальні та культурні фактори, політико-правові рамки.

*Технічні засоби* – це матеріальна та програмна основа. Комп'ютери, мережі (дротові та бездротові), програмне забезпечення (операційні системи, прикладні програми, бази даних), засоби зберігання та обробки даних (сервери, центри обробки даних, розподілені системи), інфраструктура ІКТ (кабельні системи, телекомунікаційні вузли), хмарні платформи та мобільні пристрої формують фізичну та логічну архітектуру, що забезпечує функціонування інформаційного середовища.

*Інформаційні ресурси* – це контентна складова інформаційного середовища, що включає структуровані (бази даних, таблиці) та неструктуровані (тексти, зображення, відео, аудіо) дані, знання (експертні системи, онтології), інформаційні продукти (програмне забезпечення, медіаконтент), цифровий контент (електронні книги, статті, музика) та відкриті дані (державні реєстри, наукові дані). Якість, доступність та релевантність цих ресурсів визначають цінність інформаційного середовища.

*Суб'єкти* – це актори інформаційного середовища. Індивіди (користувачі, розробники), організації, державні інститути, громадські рухи – всі вони є активними учасниками, що створюють, використовують, поширюють та регулюють інформацію. Їхня взаємодія формує динаміку середовища.

*Процеси* – це динамічні аспекти функціонування інформаційного середовища. Збір (сенсори, веб-скрапінг), обробка (фільтрація, агрегація), аналіз (статистичний, семантичний), верифікація (перевірка достовірності), поширення (трансляція, публікація), збереження (архівація, резервне копіювання) та використання інформації. Включення автоматизованих процесів на основі штучного інтелекту є ключовим для сучасного етапу,

оскільки ШІ дозволяє обробляти величезні обсяги даних та виявляти приховані закономірності.

*Соціальні та культурні фактори* – це нетехнічні фундаментальні аспекти інформаційного середовища. Цінності (приватність, свобода слова), норми (етикет, правила поведінки), звичаї (формати комунікації), мова (природні мови, мови програмування), ідеології – всі вони впливають на те, як інформація створюється, інтерпретується та використовується. Вони формують контекст, у якому функціонує інформаційне середовище.

*Політико-правові рамки* – це регуляторна складова інформаційного середовища. Законодавство (захист даних, авторське право), стандарти (технічні, протоколи), політика інформаційної безпеки (кіберзахист), регулювання цифрових платформ та контенту (модерація, цензура) – ці елементи формують правове поле, що визначає межі та правила функціонування інформаційного середовища.

Наслідком взаємодії перелічених вище ключових елементів є формування характеристик сучасного інформаційного середовища до яких можна віднести: глобальність, миттєвість, інтерактивність, велика кількість даних, розвиток штучного інтелекту, цифрова безпека і довіра, децентралізація та платформенізація. Характеристики сучасного інформаційного середовища представлені у вигляді схеми у Додатку, на рис 1.3.3., розглянемо їх більш детально.

*Глобальність* – завдяки Інтернету, інформація долає географічні та часові бар'єри. Це забезпечує глобальну комунікацію, інтеграцію ринків (електронна комерція), культурний обмін (поширення ідей, мистецтва) та формування транснаціональних спільнот.

*Миттєвість* – висока швидкість поширення інформації (real-time data) є однією з визначальних рис сучасного інформаційного середовища. Це впливає на оперативність прийняття рішень (у бізнесі, політиці), швидкість реакції суспільства на події, а також створює виклики щодо важливості перевірки достовірності інформації.

*Інтерактивність* – перехід від пасивного споживання до активної участі в сучасному інформаційному середовищі. Користувачі не лише отримують інформацію, а й створюють власний контент (user-generated content), обмінюються ним, модифікують, коментують. Це сприяє формуванню "колективного інтелекту" та краудсорсингу, але також породжує проблеми з якістю та достовірністю.

*Велика кількість даних (Big Data)* – експоненційне зростання обсягів даних, що генеруються щосекунди, є одним з найбільших викликів, що характеризує сучасне інформаційне середовище. Це вимагає нових підходів до їх ефективного зберігання (розподілені системи), обробки (паралельні обчислення) та аналізу (машинне навчання) для вилучення цінних та достовірних знань.

*Розвиток штучного інтелекту* – ШІ, зокрема машинне та глибинне навчання, відіграє ключову роль в автоматизації обробки великих обсягів інформації у сучасному інформаційному середовищі. Це підвищує точність аналітики (прогнозування, класифікація), швидкість прийняття рішень та відкриває нові можливості для персоналізації та автоматизації процесів.

*Цифрова безпека і довіра* – зі зростанням залежності сучасного суспільства від інформаційного середовища, питання кібербезпеки (захист від атак, шкідливого ПЗ), захисту персональних даних (приватність) та довіри користувачів до інформаційних систем (надійність, прозорість) стають першочерговими. Це вимагає розробки нових протоколів, стандартів та регуляторних механізмів.

*Децентралізація та платформенізація* – інформаційне середовище все більше формується на основі цифрових платформ (соціальні мережі, маркетплейси, хмарні сервіси). Це змінює традиційні моделі взаємодії (від централізованих до мережових) та контролю (від державних до корпоративних). Платформи стають новими "воротами" інформації, що породжує питання про їхню відповідальність та вплив.

Визначені вище характеристики сучасного інформаційного середовища суттєво впливають на способи сприйняття та обробки інформації людьми. Це, у свою чергу, вимагає формування нових підходів у дизайні - не лише дизайну інтерфейсів чи продуктів, а й дизайну соціальних систем, освітніх програм, правових норм та етичних принципів. Розуміння цієї складної динаміки є ключовим для навігації в сучасному світі та формування ефективних стратегій розвитку.

### **1.3.3. Виокремлення та характеристики основних аспектів взаємодії дизайнерів із сучасним інформаційним середовищем**

Значний внесок у дослідження інформаційного середовища як фактору трансформації дизайну зробили зарубіжні науковці, зокрема, Маронтейт К. (2013), який досліджував вплив цифрових технологій на практику дизайну, та Хоффман Б. (2018), який розглядав питання адаптації дизайнерів до нових технологічних умов. Питання впливу інформаційного середовища на дизайн та розвиток необхідних дизайнерам компетенцій досліджувалось у [9, 19, 38, 47, 54], де наголошується щодо необхідності розвитку цифрових компетенцій у всіх напрямках дизайну для уникнення девальвації професійних навичок у креативних галузях.

У статті [37] автором проаналізовано взаємозв'язок між сучасним мистецтвом та новітніми цифровими технологіями у формуванні інтер'єрного простору. Автор відзначає брак досвіду та методології використання цифрових технологій серед дизайнерів попри те, що "інноваційні цифрові технології відіграють невід'ємну роль у створенні гармонійного середовища", яка відповідає потребам сучасної людини, інтегруючи мистецькі об'єкти в інтер'єр, створення "синергії між мистецтвом і технологіями" як рушійну силу в розвитку сучасного дизайну інтер'єрів.

Сучасні аспекти дизайн-діяльності в контексті розвитку інформаційних технологій досліджували Товбич В. В., Коваль Л.М., Обухов В. Р., Пилипчук

О.Д., Струмінська Т.В., Цой М. П., Чупріна Н.В., Яблонська Г. Д., які розглядали сучасні технології дизайн-діяльності та їх вплив на професійну підготовку дизайнерів. [19, 37, 38, 47, 48, 54, 55, 61, 98, 163, 164]

У дисертаційному дослідженні О. С. Васильєва [7] розглядаються актуальні питання формування дизайну вебсайтів електронної комерції з точки зору їх еволюції та естетичного аспекту. Автор відзначає, що науково обґрунтована мистецтвознавча думка щодо можливостей впливу естетики художнього образу на світогляд споживачів сучасного дизайн-продукту відсутня, хоча цей фактор є вирішальним у комерціалізації дизайн-продуктів та визначенні трендів просування інформаційного контенту.

Отже, незважаючи на наявність досліджень з окремих аспектів проблеми взаємодії дизайнерів із сучасним інформаційним середовищем, комплексних досліджень з питань розвитку необхідних для цього компетенцій бракує. При цьому слід відзначити, що практичний досвід впровадження цифрових технологій у дизайн, випереджає теоретичні дослідження. [88] У сучасному інформаційному середовищі, що активно розвивається за рахунок впровадження цифрових технологій, цифрові компетенції широко інтегруються у різні сфери життя.

У своїх дослідженнях [95] автор, використовуючи численні приклади сучасного дизайну доводить, що доповнена реальність (Augmented Reality (AR)) змінює підхід до сталого розвитку, інтегруючи цифрові інновації в екологічні практики дизайну. Доповнена реальність має науково-фантастичне коріння, що датується 1901 роком. Однак Томас Коделл описав цей термін як технологію лише в 1990 році, розробляючи систему, яка мала допомогти працівникам Boeing візуалізувати складні системи літаків. Значний прогрес відбувся у 1992 році зі складною системою доповненої реальності Virtual Fixtures від Луїса Розенберга для ВПС США. Далі з'явилися релізи доповненої реальності у споживчому світі, зокрема гра ARQuake (2000) та інструмент дизайну ARToolkit (2009). Як відзначає [95], в Європі стартапи застосовують AR, щоб переосмислити виробництво, скоротити відходи та підтримати

циркулярну економіку. Завдяки AR дизайнери можуть створювати віртуальну модель об'єкту дизайну, зберігаючи таким чином реальні матеріали та ресурси до початку виробництва.

У Додатку 1, рис. 1.3.5., представлений приклад мультимодального рішення дизайну – віртуальна примірка взуття Adidas з використанням доповненої реальності (AR), що не тільки полегшує вибір і покупку взуття онлайн, але й демонструє екологічний цикл переробки пластику, використаного у виробництві. Численні приклади сучасного дизайну з використанням віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальності, відкривають нові можливості для дизайну. [54, 55] VR використовується для створення віртуальних шоурумів та продуктів, AR – для візуалізації дизайн-концепцій у реальному середовищі. При цьому мультимодальність (об'єднання різних форматів комунікації, таких як текст, зображення, відео, анімація тощо) вимагає від дизайнерів вміння створювати когерентний користувацький досвід, який поєднує різні способи для організації візуального та текстового контенту.

Аналіз досліджень [88] показує, що сучасні технології дозволяють створювати інтерактивні рішення, які перетворюють користувача з пасивного спостерігача на активного учасника, що змінює традиційний підхід до дизайну. Так, автори у [118] розглядають еволюцію інтерактивного дизайну (ID), підкреслюючи його роль у формуванні сучасної інформаційної екосистеми. У статті проведений аналіз зміни підходів до інтерактивності — від простого управління цифровими об'єктами до створення цільного користувацького досвіду, з акцентом на адаптивність і соціальну відповідальність. У [136] на прикладах розробки дизайну інтерфейсів обґрунтовано думку, що усвідомлене використання «атрибутів інтерактивності» допоможе дизайнерам створювати інтерфейси з багатшими естетичними й функціональними характеристиками, що сприятиме розвитку творчого та емоційного досвіду користувача. Авторами статей [92, 188] відзначається, що інтерактивні рішення забезпечують залучення та

задоволеність користувачів, покращують запам'ятовуваність та розуміння контенту. Водночас розглядаються технічні завдання й необхідні нові навички для дизайнерів, які працюють із сучасними інтерактивними медіа.

У Додатку 1, наведені приклади із застосуванням інтерактивного дизайну міського середовища для формування залучення користувачів до питань кліматичних інновацій. Це інноваційна інсталяція Pavegen дизайну вуличного пішохідного покриття, що перетворює повсякденний рух пішоходів на вимірний вплив на боротьбу зі зміною клімату (Додаток , рис. 1.3.7). А також інноваційна система фасадів з водоростей «PhotoSynthetica», що забезпечує біологічний (BIO) та цифровий (SMART) дизайн та має «розумну» систему цифрового моніторингу кліматичних показників місцевості (Додаток 1, рис. 1.3.7).

Слід відзначити, що у наукових дослідженнях зустрічаються питання щодо адаптивності дизайну до інформаційного середовища, яке постійно змінюється, вимагаючи від дизайнерів гнучкості до його зміни. Наприклад, у статті [125] авторами обговорюються передові концепції, пов'язані з новою методологією, дизайном для адаптації (Design for Adaptability – DFAD), яка розробляється для досягнення передових стійких рішень дизайну. Автори зазначають, що дизайнери мають швидко адаптувати свої рішення до нових технологій і умов роботи. Це включає як технічні аспекти (нові платформи та програмне забезпечення, технологічні рішення), естетичні аспекти (врахування змін трендів у дизайні для підтримки актуальності продуктів), а також екологічні міркування (зменшення ресурсних витрат та створення стійких продуктів дизайну). Отже, адаптивність стає критичною компетенцією дизайнерів у сучасному світі, де технології та тренди швидко змінюються.

Збір даних відкриває нові можливості для адаптації дизайну під потреби користувачів. У дослідженнях, розміщених у [72] розглядаються різноманітні аспекти застосування даних у процесах дизайну нових продуктів. Основна увага приділяється створенню методів та інструментів, які покращують якість і точність рішень завдяки аналітиці даних, машинному навчанню та

моделюванню. Наприклад, авторами у [92] представлена автоматизована система LLM4DESIGN, що призначена для створення архітектурних та екологічних дизайн-проектів. Система використовує підхід Multi-Agent для стимулювання творчості, Retrieval Augmented Generation (RAG) для забезпечення реалістичності та Visual Language Models (VLM) для створення текстової та візуальної інформації. LLM4DESIGN розв'язує проблеми, пов'язані з відображенням реальних умов ділянки та вирівнюванням крос-модальної інформації у дизайн-документах. Результатом роботи системи є узгоджені, багатоілюстровані та мультитекстові дизайн-схеми, які підтверджують її ефективність та інноваційність у сфері розробки рішень дизайну з урахуванням заданих умов ( Додаток, рис.1.3.8.).

Таким чином, аналітичний підхід до дизайну, заснований на даних, дозволяє створювати продукти, які краще відповідають потребам користувачів. Однак, це вимагає від дизайнерів розуміння методів збору та аналізу даних, а також вміння інтерпретувати результати для прийняття обґрунтованих рішень.

Сучасна діяльність дизайнерів характеризується як така, що включає компроміс, вибір, креативність та складність у процесі розробки нового продукту. У дослідженнях [112, 157] відзначається, що завдання розробки успішних дизайнерських рішень вимагає міжфункціонального підходу при розробці нових продуктів. Згідно з [117] міжфункціональна співпраця між командою дизайнерів та іншими групами узагальнюється трьома основними складовими: маркетинг, дослідження та розробки, а також виробництво. Дослідження у [170] показали, що команди дизайнерів часто отримують неправильно інтерпретовану інформацію в процесі співпраці, а їхні завдання часто містять нечітку та зайву інформацію. У статті [126] на основі емпіричних досліджень визначаються фактори успіху для досягнення ефективної міжфункціональної командної роботи при розробці дизайну та надаються докази позитивного зв'язку цих факторів з результатами спільної роботи.

Отже, сучасне інформаційне середовище вимагає роботи в командах з представниками різних спеціальностей, таких як програмісти, маркетологи, аналітики тощо. Мультидисциплінарні команди стають нормою у сучасному дизайні. Здатність дизайнерів ефективно співпрацювати з різними фахівцями є ключовою для успішної реалізації складних проєктів. Отже мають бути надані інформаційні можливості для дизайнерів щоб розуміти специфіку роботи інших спеціалістів та вміти передавати свої ідеї та рішення зрозумілою для них мовою.

Хоча економічний вплив є визначальним аспектом у дизайні, стає все більш очевидним, що управління інноваціями також повинно враховувати екологічний та соціальний вплив. [168] Наприклад, прискорення інновацій у сфері смартфонів пов'язане з виснаженням критично важливих матеріалів, вирубкою лісів, порушенням прав людини в країнах, що розвиваються, та зростанням викидів парникових газів. [66] Отже, виклики, такі як зміна клімату, виснаження ресурсів, бідність та несправедливість, є нагальними проблемами сучасного суспільства і відповідно дизайну, що не можуть бути вирішені без системних змін. У сучасному інформаційному середовищі формується поняття «відповідальне дизайн-мислення», що пов'язує конкретні практики дизайн-мислення з концептуальними вимірами відповідальних інновацій. У [71] досліджується підґрунтя відповідального дизайн-мислення, пояснюючи, як застосовувати цей підхід для вирішення проблем сталого розвитку, таких як зміна клімату, виснаження ресурсів, бідність та несправедливість. Приклади рішень «відповідального дизайн-мислення» представлені у Додатку 1, таблиці 1.1. демонструють продукти, які не лише ефективні, але й екологічно безпечні та стійкі, сприяють зменшенню соціальної нерівності, розвитку локальних спільнот та інклюзивності.

Проведений вище аналіз наукових досліджень, практики дизайну та приклади взаємодії діяльності дизайнерів із сучасним інформаційним середовищем, дають можливість визначити основні аспекти взаємодії дизайнерів із сучасним інформаційним середовищем, які формують рішення

сучасного дизайну, це: мультимодальність, інтерактивні рішення, адаптивність, дані та аналітика, співпраця та кросфункціональність, стійкість та соціальна відповідальність (Додаток, рис. 1.3.4.).

Отже, розглянуті питання щодо теоретичного обґрунтування сутності та характеристик сучасного інформаційного середовища, визначення його впливу на трансформацію дизайну та виокремлення ключових аспектів взаємодії дизайнерів із сучасним інформаційним середовищем дозволять розвинути необхідні для дизайнерів компетенції у сучасних умовах.

### **Висновки до першого розділу**

**1.** У ході систематизації сучасних наукових досліджень був визначений міждисциплінарний підхід щодо біокліматичного проєктування, який включає біологічний, кліматологічний, проєктний та інженерно-технологічний аспекти проєктування. Виділено науково-дослідні джерела, що обґрунтовують таку систематизацію. Проведений аналіз науково-дослідних джерел з вивчення еволюції рішень та сучасних наукових засад біокліматичного проєктування показав, що незважаючи на велику кількість існуючої інформації, ця тема потребує проведення подальших досліджень.

**2.** Проаналізовано роботи теоретиків та науковців, які досліджували стратегії біокліматичного проєктування, що використовуються у традиційній/народній архітектурі з урахуванням ресурсоефективного та кліматоорієнтованого підходу. Визначено, що майбутні дослідження та практичні впровадження повинні знайти баланс між збереженням автентичних принципів народного дизайну та їх адаптацією за допомогою передових матеріалів та технологій для задоволення сучасних вимог до комфорту та продуктивності при біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну.

**3.** Аналізуючи наукові дослідження з біокліматичного підходу до проєктування, було зроблено висновок, що це складна система, де кожен новий етап розвитку переосмислює й трансформує досвід минулих періодів

через зворотні петлі — механізми, які повертають і інтегрують знання та практику попередників у нових, удосконалених формах. Обґрунтуванням зазначеного вище висновку стала проведена систематизація робіт теоретиків, науковців та проєктних рішень відповідно з визначеною хронологією еволюції біокліматичного проєктування.

4. Задля формування ефективних рішень біокліматичного моделювання проведено теоретичне опрацювання науково-теоретичних досліджень із тлумачення дизайну його розвитку та методології. Зафіксовано, що триває становлення загальної концепції біокліматичного моделювання у дизайні, яке потребує формування ґрунтовної теоретичної та методологічної основи, особливо стосовно різних об'єктів дизайну, тому що згідно із проведеним аналізом досліджень, розвиток обмежується впровадженням біокліматичного моделювання лише в архітектурні рішення дизайну.

5. На основі аналізу наукових джерел визначено, що біокліматичний напрямок розвитку екологічного дизайну можна віднести до прикладних досліджень, призначення яких вирішення вузькоспеціальних теоретичних та практичних завдань, які вирішуються на основі загальнонаукових методів дослідження. Відповідно із чим розглянуто методи емпіричного (експеримент, спостереження, порівняння, вимірювання) й теоретичного дослідження (аналіз, синтез, абстрагування, узагальнення) щодо їх використання при формуванні рішень біокліматичного моделювання. Також визначено, що при біокліматичному моделюванні відбувається робота із багатьма параметрами, що ускладнює пошук саме творчої ідеї, тому окремо проведений теоретичний аналіз досліджень та проєктної практики із застосування спеціальних методів на основі методів творчості.

6. У ході дослідження літературних джерел визначено, що формується постіндустріальне інформаційне суспільство, де основними стратегічними ресурсами стають знання та інформація, а інформаційне середовище стає фундаментальним аспектом сучасного суспільства та впливає на всі сфери людської діяльності, включаючи дизайн. Усе це вимагає переосмислення ролі,

функцій та системи прийняття рішень дизайну в умовах цифрової трансформації суспільства.

7. На основі проведеного аналізу досліджень зафіксовано сутність та взаємодія понять "інформаційне суспільство", "інформаційне середовище", "інформаційний простір" та стає очевидним, що ці поняття є взаємозалежними елементами єдиної системи. Відповідно із чим була розроблена схема взаємодії понять «інформаційне суспільство», «інформаційне середовище» та «інформаційний простір». Аналіз наукових досліджень дав можливість визначити, що сучасне інформаційне середовище є динамічною системою, що є не просто технологічною інфраструктурою, а складною екосистемою зі своєю структурою та аспектами формування. Доведено, що інформаційне середовище є ключовим фактором сучасного суспільного розвитку, формуючи нові соціальні практики та трансформуючи традиційні сфери діяльності.

8. На основі дослідження наукових джерел надано теоретичне обґрунтування сутності та характеристикам сучасного інформаційного середовища, визначення його впливу на трансформацію дизайну та виокремлення ключових аспектів взаємодії дизайнерів із сучасним інформаційним середовищем, що дозволять розвинути необхідні для дизайнерів компетенції у сучасних умовах, не лише адаптувати дизайн-рішення до нових технологій і умов роботи, але й враховувати екологічні, енергоефективні, соціальні, культурні та етичні аспекти дизайну, у тому числі щодо завдань біокліматичного моделювання.

### Список публікацій здобувача за матеріалами першого розділу

1. **Changpu R.**, Krivenko O. Systemic approach in bioclimatic modeling. *Архітектурний вісник КНУБА*. 2024. Вип. 30–31. С. 31–36. <https://doi.org/10.32347/2519-8661.2024.30-31.31-36>
2. **Чанпу Ж.**, Кривенко О. Природні аналоги у дизайні. *Актуальні проблеми розвитку українського та зарубіжного мистецтва: культурологічний, мистецтвознавчий, педагогічний аспекти* : матеріали ІХ Міжнар. наук.-практ. конф., 24–26 трав. 2024 р. Луцьк ; Львів ; Торунь : Liha-Pres, 2024. С. 159–163. <https://doi.org/10.36059/978-966-397-390-6-49>
3. **Changpu R.**, Krivenko O. The impact of the information environment development on modern design. *Архітектурний вісник КНУБА*. 2025. Вип. 33. С. 107–112. <https://doi.org/10.32347/2519-8661.2025.33.107-112>

## **РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ АКТУАЛЬНИХ НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ БІОКЛІМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ДИЗАЙНУ**

### **2.1. Кліматичний вплив на соціокультурний розвиток як передумова становлення біокліматичного моделювання об'єктів дизайну (на прикладі Китаю)**

#### **2.1.1. Теоретичне обґрунтування**

За вихідне обґрунтування основ дизайну приймемо парадигму про соціокультурну та ціннісно-орієнтовану обумовленість будь-яких видів людської діяльності. Отже дизайн є явищем, сутність якого обумовлено не тільки економічними факторами щодо забезпечення ринку товарами високої чи конкурентної якості, але і соціокультурним розвитком суспільства [9, 61]. Останнє підтверджується теорією формування предметного світу З.Бегенау, Д.Л.Райта та ін., практичною естетикою Г.Земпера, Л.Мамфорда, У.Морріса, Д.Рескіна, К.Ясперса, що заклали основу розвитку виробничого мистецтва, теорії дизайну та промислової естетики.

Як зазначається в [156], дизайн виконує свою культурну місію, підвищуючи ціннісні характеристики довкілля, забезпечуючи зміни у предметно-просторовому середовищі людини на різних етапах історико-культурного розвитку, що розкриває його соціально-культурну спрямованість.

У структурі сучасних цінностей найголовнішим виступає саме життя в планетарному масштабі. Людство у своєму прагненні до все більшого комфорту життя без урахування наявних природних можливостей підійшло до такої межі, де розв'язання екологічної проблеми у певному сенсі стало пріоритетним напрямом соціально-культурного розвитку сьогодення. У дослідженнях [64] відзначається, що ціннісні відносини сучасної техногенної цивілізації до природи лише як до об'єкта вичерпали себе, призвівши до небезпечних наслідків. Прийшов час зосередити зусилля на процесі перетворення культури цивілізаційного суспільства, у якій на першому плані

виступають цінності, що орієнтуються не тільки на особистісні запити, але і на усвідомлення допустимих меж та засобів втручання людини у природу.

Культура в [154] визначається вирішальною у посередництві стосунків між людьми та природним середовищем. При цьому культура, подібно до погоди та клімату, є динамічною у часі та просторі. Автор в [161] відзначає, що соціальне середовище та орієнтири стають частиною місцевої та національної культури і важливим фактором у тому як люди інтерпретують, розуміють та відчують природу та клімат.

Клімат довгий час був сферою природничих наук, що включав спостережувані середні значення опадів, температури повітря, сонячної радіації, швидкості та напрямку вітру, вологості, тиску повітря, а також інших змінних для певного регіону. [121, 177] Знання про клімат протягом століть були об'єктом вивчення та джерелом натхнення для природничих, соціальних, гуманітарних наук і мистецтва. [63] Це відбувалось тому, що у повсякденному житті для людської уяви клімат формується через досвід і спогади про минулі погодні події. У [63] зазначається, що суспільство являє собою соціально-економічну систему, в якій люди прагнуть покращити якість свого життя. Адаптація населення до змінних кліматичних умов оточуючого середовища тією чи іншою мірою впливає на формування суспільства, що в свою чергу відображається на соціально-культурному розвитку. [51]

З ХХ сторіччя в світі активно розвивається біокліматичний напрямок дизайну, який орієнтований на свідому взаємодію з природно-кліматичними умовами при формуванні проєктних рішень. [21, 69, 103] Засновниками біокліматичного напрямку проєктування були відомі у світі дизайнери та архітектори Ken Yeang [179], Aladar та Victor Olgyay [145]. Останні як основу своїх проєктних рішень розглядали адаптацію до кліматичних умов місцевості на основі біокліматичної діаграми, яка пов'язує кліматичні дані з межею теплового комфорту, для визначення стратегій дизайну. [145, 146] Відповідно із [21, 140], впровадження біокліматичних рішень у дизайн будівель направлено на відновлення зв'язку між людиною та кліматичним

середовищем як всередині так і ззовні будівлі, що поєднує такі дисципліни як кліматологія, будівельна фізика, інженерні технології та архітектура.

У розділі 1 нашого дослідження на основі аналізу попередніх досліджень вже відзначалось, що біокліматичний напрям сучасного дизайну має коріння з національних культурних традицій, що розвивались емпірично відповідно до місцевих кліматичних умов та із застосуванням доступних природних ресурсів. Але наведені у дослідженнях приклади стосуються лише архітектури та будівництва, що не в повній мірі розкриває вплив клімату на формування традиційної культури, залишаючи поза увагою інші засоби та напрямки біокліматичного моделювання для подальшого запровадження аналогів вирішення завдань з екологічності та енергоефективності у сучасному екологічному дизайні.

Дослідження впливу клімату на формування національного соціокультурного розвитку має практичне та наукове значення. [81] Це пов'язано з тим, що кліматичні умови безпосередньо впливають на такі складові культури як архітектура та мистецтво, предметний дизайн, ландшафтний дизайн, традиційні ремесла та інше. Також, це дає можливість зрозуміти як довкілля формує потреби та уподобання людей у різних регіонах, що дозволяє створювати більш зручні та функціональні об'єкти дизайну, які відповідатимуть місцевим кліматичним умовам та культурним традиціям. Вивчення впливу клімату на формування національної культури може також бути корисним для збереження та просування традицій місцевої культури в умовах змінного клімату та глобалізації. Сприятиме збереженню унікальної культурної спадщини, допоможе розвивати міжнародні напрямки щодо сталих методів використання природних ресурсів у сфері сучасного дизайну. [81]

Для розуміння як природне довкілля формує потреби та уподобання людей у різних кліматичних регіонах, проведемо аналіз досліджень щодо впливу клімату на культуру південного та північного Китаю. До розгляду приймемо різні складові національної культури Китаю.

### 2.1.2. Клімат Китаю

Китай – велика країна з багатою історією та культурою. Якщо розглянути приклади впливу клімату на формування традиційної культури у різних регіонах Китаю, слід відзначити наступне. Клімат Китаю змінюється від субтропічного на південному сході до різко континентального на північному заході, що визначається географічним розташуванням країни, рельєфом та повітряними масами. Відповідно із [181] з різних типів клімату в Китаї було класифіковано дев'ять кліматичних зон, кожна з яких має певні кліматичні характеристики. Сучасна схема кліматичного районування Китаю складається з 12 температурних зон, 24 вологих регіонів та 56 кліматичних субрегіонів. [110] Відповідно із такими відмінними кліматичними умовами в різних регіонах Китаю формувалась різноманітна традиційна культура, включаючи архітектуру та мистецтво, промисли та харчові уподобання. [178]

У дослідженні спиратимемось на найбільш укрупнений поділ Китаю, а саме на два умовні кліматичні та культурні регіони Північний та Південний. Між ними відсутній кордон, але існують регіональні відмінності - історичні, культурні та соціальні, що пов'язують у дослідженнях з різницею кліматичних характеристик. [115]

Умовна лінія, що визначає поділ Китаю на північну і південну зони, проходить уздовж гори Циньлін від провінції Сичуань через південну провінцію Шеньсі на схід уздовж ріки Хуайхе до Тихого океану (Додаток 2, рис. 2.1.1 а, б). На рисунках (Додаток 2, рис. 2.1.1 в, г) представлені схематичні діаграми розподілу температури та середньорічної кількості опадів у Китаї. Добре видно, що зміна кліматичних параметрів зі сходу на захід розділяється лінією Циньлін – Хуайхе, що умовно ділить Китай на північний на південний регіони.

*Клімат Північного Китаю* загалом континентальний, із спекотним досить сухим літом і холодною зимою. Найпівнічніша провінція Китаю Хейлунцзян знаходиться в області помірного клімату, де температура в січні може опускатися до  $-30^{\circ}\text{C}$ . Середня температура липня у Хейлунцзян

становить  $+20^{\circ}\text{C}$ . З півночі на захід від гір ймовірність дощів зменшується. Північно-західні райони Китаю — найсухіші, у пустелях (Такла-Макан, Гобі, Ордос) опадів практично немає. Північні райони Китаю щовесни накривають жовті курні бурі, які зароджуються в північних пустелях і переносяться вітрами у бік Кореї та Японії.

*Південний Китай* — у регіоні переважає субтропічний клімат з м'якою зимою з температурою близько  $+10^{\circ}\text{C}$  та спекотним  $+35^{\circ}\text{C}$  та вологим літом. Опадів тут випадає значно більше, ніж у Північному Китаї, вони розподілені рівномірно протягом року, але сезон дощів настає у літні місяці. Так, на південних схилах гір Ціньлін випадають численні дощі, максимум яких сягає в літні мусони. Південні та східні області Китаю часто (близько п'яти разів на рік) потерпають від руйнівних тайфунів, а також від повеней, мусонів, цунамі.

### **2.1.3. Вплив клімату на розвиток культури сільського господарства та соціальний уклад**

Різниця у кліматі (більш теплий та вологий на півдні та більш холодний та сухий на півночі Китаю) вплинула на відмінності у розвитку сільського господарства регіонів. Як відомо [115], у Китаї традиційно вирощують пшеницю – на півночі та рис – на півдні. Відповідно до висунутої вченими теорії зі способу життєзабезпечення [159], деякі форми господарської діяльності за своєю природою змушують людей до взаємодії, тоді як інші цього не вимагають, що формує різний соціальний уклад та психокультурні характеристики мешканців регіонів. Логіку цієї теорії представлено схематично у Додатку 2, рис. 2.1.2 та використано для подальшого аналізу.

*Північний Китай:* сільське господарство є життєво важливою економічною діяльністю у Північному Китаї через нестачу родючих орних земель. Через досить суворі кліматичні умови у регіоні вирощують більш витривалі сільськогосподарські культури такі як пшениця (є домінуючим продуктом харчування на півночі), а також кукурудза, просо, сорго та різні зернобобові. Вони складають основні інгредієнти регіональної кухні – це ті

сільськогосподарські продукти, що характерні для цього регіону. Відповідно у північній частині Китаю переважають мучні страви: всі види лапші, такі як даошаомянь, лянґпі та інше, пельмені (цзяоцзи) і хліб (маньтоу, бін, шаобін), Додаток 2, рис. 2.1.3.

Пшениця вирощується на сухій землі, а для поливу їй достатньо періодичних дощів, не потребує при вирощуванні складних іригаційних систем, знижується необхідність колективної обробки полів. Відповідно із теорією в [159] регіональне сільське господарство вплинуло на формування психокультурних особливостей фермерів півночі Китаю. Північні китайці відносно сильніші в індивідуалізмі, незалежні в аналітичному пізнанні та формуванні практичних навичок в польових умовах, тому що можуть більше залежати від самих себе.

*Південний Китай:* теплий та вологий клімат сприяв вирощування рису в регіоні та визначив напрям розвитку сільського господарства в регіоні (Додаток 2, рис. 2.1.4.). Відповідно із кліматом та розвитком сільського господарства формувалась і традиційна кухня Південного Китаю, що відома своєю різноманітністю, але основою якої є страви з рису. Навіть китайський термін "їжа" перекладається як приготований рис або "фан".

Вирощування рису у сприятливих кліматичних умовах півдня Китаю дає можливість отримувати подвійний врожай протягом року, але є трудомісткою працею. Рисовим полям необхідна стояча вода. Тому потрібні іригаційні системи, створення та обслуговування яких потребує тісної взаємодії між господарствами. Підтримка зрошувальних мереж у робочому стані рік за роком, чищення та дренажування їх – трудомістке, непосильне для однієї людини завдання.

Відповідно із теорією в [159] вирощування рису робило співробітництво між людьми економічно вигідним, мотивувало селян вступати у тісні соціальні відносини та уникати конфліктів. Спільна праця селян для розвитку та підтримки відповідної інфраструктури для вирощування рису призвела до формування взаємозалежної культури спільноти у південному регіоні Китаю.

Таким чином вибудовується послідовний зв'язок впливу кліматичних умов на розвиток сільського господарства, що в свою чергу формує різний соціальний уклад, психокультурні характеристики мешканців регіонів, традиційну кухню – культуру приготування та споживання їжі.

#### **2.1.4. Вплив клімату на розвиток архітектури**

Архітектура Китаю розвивалася протягом тисячоліть та вирізняється глибиною закладених в ній космологічних, міфологічних, символічних елементів, що ґрунтуються на зв'язках з природою. У традиційні методи китайського архітектурного проєктування були синтезовані геомантичні системи, відомі як феншуй або каньюй (обидва визначають взаємодіючі сили неба і землі). [51]

Китайська традиційна архітектура варіюється в залежності від статусу або приналежності: споруди зводились для імператорів, простолюдинів або для релігійних цілей. Різноманітність китайської архітектури проявляється у народній, традиційній архітектурі, яка формувалася відповідно до різних географічних та кліматичних умов. [173] Пасивні технології та кліматична адаптація традиційних будівель Китаю привертають широку увагу вчених. Наприклад, у дослідженнях [91, 150, 171] розглядається вплив природних факторів, таких як сонячна радіація, температура, опади та вітер на формоутворення та конструктивні рішення традиційних будинків Китаю. Визначимо основні відмінності в архітектурних та конструктивних рішеннях будівель північного та південного Китаю відповідно до природно-кліматичних умов на прикладі традиційної архітектури.

*Північний Китай:* традиційні будинки в цьому регіоні, мають товсті стіни, щоб захистити від холоду, вітрів взимку та спеки влітку; дахи з крутим ухилом для скидання снігу. Наприклад, Яодонг (*yáodong*) — це особлива форма житла-сховища, поширена на півночі Китаю. Зазвичай їх вирізають у схилі або викопують горизонтально в центральному «утопленому дворі». Земля, слугує ефективним теплоізолятором, зберігаючи всередині конструкції

тепло в холодний період року і прохолоду в спекотний період року. Таким чином, взимку потрібно дуже мало опалення, а влітку прохолодно, як в приміщенні з кондиціонером. Історія яодонгів нараховує сторіччя та їх досі продовжують використовувати. За оцінками, у 2006 році в яодунгах проживало близько 40 мільйонів чоловік на півночі Китаю, (Додаток 2, табл. 2.1.1, рис. 2.1.5.).

Подвір'я на півночі Китаю були відкриті і виходили на південь, щоб вікна та стіни будівлі були максимально освітлені сонцем та не пропускали холодні північні вітри (Додаток 2, табл. 2.1.1, рис. 2.1.6.). Майстри традиційного будівництва Північного Китаю застосовували практику ретельного вибору місця забудови та розташування будівель та приміщень у просторі, що ґрунтувалися на використанні магнітного компасу, з'єднання астральних і земних принципів відповідно до місяців і пори року, зірок і планет.

*Південний Китай:* в архітектурі для захисту від високої вологості та повеней широко використовувались стовпи і пілони для підтримки будівель над поверхнею землі (Додаток 2, табл. 2.1.2, рис. 2.1.7.); широкі дахи з виносками для захисту від дощів. Внутрішні двори на півдні були невеликі, обмежували надходження сонячного світла, що потрапляло до будівлі, а також відводили гаряче повітря з приміщень, збирали дощову воду (Додаток 2, табл. 2.1.2, рис. 2.1.8.). Основними будівельними матеріалами для теплоізоляції та захисту від підвищеної вологості були глина, дерево та камінь. Використовувались переносні екрани та жалюзі для регулювання рівня освітлення, вентиляції, температури у приміщеннях, захисту від комах та пилу.

Характерним також було розведення садів для захисту від спеки з водними елементами, пагодами, містками, озелененням для відпочинку та покращення мікроклімату (Сади Сучжоу у провінції Цзянсу, що побудовані в 11-19 століттях, у своєму ландшафтному дизайні відбивають глибоку метафізичну важливість природної краси в китайській культурі), (Додаток 2,

табл. 2.1.2, рис. 2.1.9.). Слід відзначити статтю [160], де досліджено мікроклімат в трьох класичних садах Сучжоу (Сад покірного управителя, Сад затримки, Павільйон Цанлан). Застосовано ГІС-технології для аналізу впливу водних об'єктів, рослинності та архітектури на температуру і вологість повітря. Результати показують суттєве регулювання мікроклімату через продуману композицію садових елементів, що є прикладом адаптивного ландшафтного дизайну. Крім того, у статті розглядається Urban Heat Island (УНІ) ефект, спричинений урбанізацією, та як традиційні принципи дизайну саду можуть пом'якшити його, створюючи комфортніші міські середовища. Це дослідження надає практичні рекомендації для сучасного дизайну міських парків, підкреслюючи цінність включення в архітектурні рішення дизайну традиційних підходів із врахуванням кліматичних чинників для підвищення стійкості міст.

Наведений аналіз підтверджує, що у традиційній китайській архітектурі, яка має тисячолітній досвід ефективно використовувались методи кліматичної адаптації, що може слугувати основою та прикладом для застосування при впровадженні біокліматичного моделювання в екологічному та енергоефективному дизайні сучасних будівель.

### **2.1.5. Вплив клімату на формування традиційного одягу**

Культура традиційного одягу Китаю зародилася 5000 років та вирізняється яскравими кольорами, вишуканими візерунками, унікальним кроєм, виготовленням одягу з натуральних місцевих матеріалів. Глибоке філософське розуміння космологічної картини світу, взаємодії з природою відображалось у формуванні колірних рішень традиційного одягу Китаю. А саме, вплив п'яти елементів інь та ян, що визначали п'ять традиційних кольорів одягу: синій, червоний, чорний, білий та жовтий як п'ять кольорів, що відповідають у природі золоту, дереву, воді, вогню і землі. [113, 137] У дослідженні [116, 184] розглядається формування унікальних звичок в одязі в умовах різних кліматичних умов Китаю. Проаналізуємо таку відмінність

більш детально на прикладі традиційного одягу Північного та Південного Китаю.

*Північний Китай.* Традиційний одяг жителів півночі Китаю, що нараховує 22 етнічні групи, формувався з урахуванням холодного та суворого клімату цього регіону, при використанні теплих і щільних матеріалів, таких як шерсть, шкіра, хутро, бавовна та льон, а також багат шаровості одягу. Зовнішній шар одягу часто був виготовлений із вовни, шкіри, хутра, щоб захиститись від холоду, а підкладка з бавовни чи льону забезпечувала комфорт та вентиляцію (Додаток 2, табл. 2.1.3, рис. 2.1.10, рис. 2.1.11).

Прикладом традиційного одягу, що відображає його адаптацію до кліматичних умов північного Китаю, може бути уйгурський національний одяг: довгі халати з натуральних міцних тканин, що дозволяють шкірі дихати, а також широкі капелюхи, хустки для захисту обличчя і голови від піщаних бурь і сонячного випромінювання.

*Південний Китай.* Тут проживають 34 етнічні групи, які мають свої особливості традиційного одягу, але основною характеристикою є те, що одяг виготовлявся з натуральних тканин (шовк, льон, бавовна), які мають гарну повітропроникність і здатність поглинати вологу.

Через спекотний клімат і високу вологість, традиційний одяг центрального регіону був легким і зручним, мав вільний і просторий крій, щоб забезпечити циркуляцію повітря і комфорт при високих температурах. Наприклад у Додатку 2, табл. 2.1.4, рис. 2.1.12 а представлена сукня Lisu виготовлена з міцного, дихаючого і вологостійкого льону, що добре підходить для жаркого та вологого клімату південного Китаю.

Традиційна хайнаньська парча Лі (Додаток 2, табл. 2.1.4, рис. 2.1.12 б) має тисячолітню історію. Візерунок парчі Лі - це художня техніка, яку жінки Лі використовували для імітації природних місцевих пейзажів півдня Китаю. Існує більше ста візерунків парчі Лі. При прядінні парчі використовують таку місцеву сировину, як капок і дикі коноплі, а для фарбування - місцеві рослинну та тваринну сировину, мінерали. Фарбування здійснювалося шляхом

кип'ятіння відповідних матеріалів для отримання кольору, а потім занурення тканин, ниток і одягу для фарбування в різні кольори.

Розглянуті вище приклади одягу півночі та півдня Китаю доводять, що існує «кліматичний» підтекст у розвитку традиційної культури одягу [81], а саме: крій та багатошаровість одягу для тепло і повітря захисту при адаптації до кліматичних умов; використання місцевої сировини як для виготовлення тканин так і для її фарбування; відтворення природної краси при оздобленні одягу.

Таким чином, звернення сучасних дизайнерів до досвіду створення традиційного одягу, може стати для них не тільки джерелом естетичного натхнення, але і прикладом застосування біокліматичного підходу екологічного дизайну в одязі.

#### **2.1.6. Вплив клімату на формування традиційного живопису**

Традиційний живопис Китаю має багату історію, що налічує тисячоліття та відображає різноманітність культури, природи та історії країни. Як відзначається у дослідженнях [178, 183], завдяки тривалій історії розвитку, китайський живопис має свій унікальний стиль. Крім іншого він характеризується духовною ідеєю єдності між природою та людиною. [50] У традиційному живопису митці поєднували красу природи, мистецтва та життя на малюнку, дотримуючись теорії, що "поза природою, джерело серця". Це означає, що мистецька творчість походить від імітації природи, але краса природи не автоматично стає красою мистецтва. Для перетворення важливий процес через внутрішні думки чи сприйняття художника природного оточуючого середовища. Такий підхід у традиційному живопису Китаю, що пов'язаний із джерелом натхнення художника – місцевими природно-кліматичними умовами і створював основу для його розвитку. Розглянемо детальніше.

*Живопис північного Китаю:* характерною особливістю є тематика живопису: часто зображуються суворі зимові пейзажі, снігопади, засніжені

гори та крижані річки, що було як відображенням реальних природних умов регіону, так і символізувало спокій, усамітнення і медитацію жителів (Додаток 2, табл. 2.1.5, рис. 2.1.13 а, б).

За стилістикою живопис півночі Китаю досить суворий і мінімалістичний. Художники відтворювали природу, використовуючи чіткі чорні лінії, туш і різкі пунктирні мазки, що імітують грубий камінь. Також символіка у традиційному мистецтві півночі Китаю має свої особливості. Характерним для північнокитайського живопису було зображення розповсюдженої у регіоні сосни, що сприймалась як символ довговічності та стійкості (Додаток 2, табл. 2.1.5, рис. 2.1.13 б).

*Живопис південного Китаю:* традиційний живопис мав свої особливості, що відображали кліматичні умови та природу південного регіону - зображення зелених лісів, водоспадів, річок та лук, що відображало тепліший та вологіший клімат цього регіону (Додаток 2, табл. 2.1.6, рис. 2.1.14 а, б).

Символіка у традиційному мистецтві півдня Китаю має свої особливості. Наприклад, зображення місцевої рослини бамбука, яке часто зустрічаються у південному китайському живопису (Додаток 2, табл. 2.1.6, рис. 2.1.14 а). У Китаї бамбук – символ сильної та благородної людини, яка, згинаючись від життєвих негараздів, завжди знаходить у собі сили піднятися, а мудрість життя вбирає як бамбук вологу. Внутрішня порожнеча стебла бамбука символізує порожнечу, яка має бути створена у розумі людини для пошуку нових ідей.

За стилістикою живопис півдня Китаю м'якший і плавніший, як і клімат регіону, з використанням ніжніших і приглушених відтінків, виконаних м'яким, потертим пензлем (Додаток 2, табл. 2.1.6, рис. 2.1.14 б).

### **2.1.7. Вплив клімату на розвиток традиційних ремесел**

Китайська цивілізація протягом тисячоліть, під час зародження та еволюції численних видів мистецтва та промислів, сформувала унікальну та величезну культурну систему народних промислів. [172] Народна творчість Китаю охоплює усі аспекти повсякденного життя, включаючи одяг та

аксесуари до одягу, їжу, кухонне приладдя, ткацтво, фарбування, вишивка, вироби для плетіння з бамбука та ротанга, оздоблювальні матеріали для інтер'єру, іграшки, інші предмети першої необхідності. [99, 185] На розвиток традиційних народних промислів впливали місцеві народні звичаї, традиції, що формувались відповідно до оточуючого природно- кліматичного середовища.

*Народні промисли північного Китаю.* Одним із народних промислів, характерних для північного регіону Китаю, було виробництво традиційного китайського паперу, відомого як «сюаньцзі», що має більш ніж тисячолітню історію і досі зберігається у провінціях Шаньсі та Хебей. Для виробництва цього паперу використовували кору мульберрі (шовковичне дерево) та інших місцевих рослин. Процес виготовлення паперу мав багато етапів, включаючи відділення волокон, формування листів паперу і сушіння. Посушливі кліматичні умови північного Китаю сприяли швидкому висиханню паперу, що робило цей регіон оптимальним для виробництва традиційного китайського паперу (Додаток 2, табл. 2.1.7, рис. 2.1.15).

Особливість розвитку народного ремесла виготовлення керамічного посуду північного Китаю також пов'язана з кліматом та доступністю сировини. В умовах суворого клімату північного Китаю, глина є одним з основних матеріалів для створення посуду, оскільки глина має відмінні ізоляційні властивості, зберігає тепло та вологу. Доступність глини у цьому регіоні сприяла розвитку керамічного ремесла. Наприклад теракотовий (глиняний) посуд, який був поширений у цьому регіоні, відрізнявся міцністю та гарним утриманням тепла. Основні відмінності народного ремесла із виготовлення керамічного посуду в північному Китаї пов'язані з використанням місцевих видів глини, технологією випалу та декорування (Додаток 2, табл. 2.1.7, рис. 2.1.16).

Формування народного ремесла виготовлення шкіряних виробів у північному Китаї тісно пов'язане з особливостями клімату цього регіону. У північному Китаї клімат холодний, що вимагає особливого догляду за

домашніми тваринами, щоб зберегти їхнє здоров'я. Це формує особливі методи розведення тварин, які передаються з покоління до покоління та адаптовані до умов клімату. У холодному північному кліматі шкіра тварин має особливу щільність та якість, що робить її чудовим матеріалом для виготовлення високоякісних виробів. Особливістю народного ремесла виготовлення шкіряних виробів у північному Китаї є також використання візерунків та оздоблення, що відбивають місцеві традиції та культуру цього регіону.

Формування народного ремесла виробництва килимів у північному Китаї пов'язані з кліматом цього регіону. В умовах холодного клімату виробництво килимів було не тільки способом створення затишної обстановки, а й необхідністю збереження тепла в будинку. Особливістю килимів з північного Китаю є використання техніки "кольорового плетіння" з місцевих матеріалів вовни та бавовни, що дозволяло створювати килими з яскравими та контрастними візерунками, які відображали місцеві традиції та культуру.

*Народні промисли південного Китаю.* Південний Китай має ідеальні кліматичні умови для розведення шовкопряду та виробництва шовкових тканин - теплий вологий клімат і безліч рослинних культур, що подрібнюють і готують, та необхідних для годування шовкопряду. Особливості виробництва шовку в південному Китаї включають використання традиційних методів розведення шовкопряду, збір коконів, розпускання шовку і ткацтво. Крім того, у цьому регіоні сформувались традиційні технології фарбування шовкових ниток з використанням місцевих натуральних барвників, що надає тканинам особливої м'якості та блиску. Відомі унікальні методи обробки шовку з використанням рисової води або зеленого чаю, що надає йому особливої міцності та блиску (Додаток 2, табл. 2.1.8, рис. 2.1.17)

В умовах південного Китаю були освоєні унікальні методи вирощування, збору та обробки чайного листя, які з часом стали традиційними для цього регіону (Додаток 2, табл. 2.1.8, рис. 2.1.18). Розведення сортів

чайних кущів, таких як улун і пуер, які зростають саме в цьому регіоні, традиційні методи збирання чайного листя вручну, що дозволяє зберегти їх неушкодженими, забезпечувало високу якість місцевого чаю. Важливо відзначити, що в південному Китаї були розроблені традиційні методи обробки чаю (ферментація, окислення та обсмажування), які надають чаю унікального смаку, аромату та кольору.

Розвиток традиційного виробництва рисового паперу в кліматичних умовах південного Китаю ґрунтується на використанні рисової соломи, яка є одним із основних сільськогосподарських продуктів у регіоні. Традиційні методи ручної обробки з використанням простого обладнання надають рисовому паперу особливу текстуру і якість (Додаток 2, табл. 2.1.8, рис.2.1.19). Місцеві унікальні технології фарбування рисового паперу дозволяють створювати яскраві та насичені кольори. Крім того, з рисової соломки у південному Китаї виготовлялись капелюхи для захисту від сонця, різні види кошиків, контейнерів для зберігання продуктів, плетені килими.

Традиційний посуд жителів острова Хайнань південного Китаю включає різні вироби з бамбука, такі як кошики, чаші, тарілки і столові прилади. Тропічний клімат острова Хайнань сприяє швидкому зростанню бамбука, що робить його основним матеріалом виготовлення посуду. Бамбук має високу міцність, гнучкість і легкість, що робить його ідеальним матеріалом для створення посуду. Крім того, бамбуковий посуд також має антимікробні властивості, що робить його безпечним для використання в харчовій промисловості.

Підсумовуючи слід зазначити, що традиційна культура – важливий інформаційний носій історії людства. Багаторічна цивілізація Китаю, що включає у себе велику кількість етнічних груп, роблять країну багатою на етнічну народну культуру та мистецтво. Традиційна культура Китаю має не лише давню історичну та культурну історію, але й виразний регіональний характер, що підтверджується численними дослідженнями. Проведений вище аналіз досліджень мав на меті розглянути питання природно-кліматичного

впливу на формуванні традиційної культури. Здійснений порівняльний аналіз північних та південних регіонів Китаю, що мають значну різницю природно-кліматичних умов, довів визначальний вплив довкілля на потреби та уподобання людей, що відобразилось у формуванні їх соціально-культурного укладу.

Представлений вище аналіз стосується широкого кола напрямів традиційної культури, доводить важливість та перспективність розвитку сучасного біокліматичного моделювання для різних напрямів та об'єктів екологічного дизайну. А дослідження здобутків традиційної культури при її кліматичній адаптації може забезпечити ґрунтовну основу для розвитку біокліматичних методів моделювання щодо створення стійких та комфортних (адаптованих) рішень екологічного дизайну, що дозволить оптимізувати використання природних ресурсів, мінімізувати негативний вплив на довкілля та створювати більш зручні та функціональні об'єкти дизайну, які відповідатимуть місцевим кліматичним умовам та культурним традиціям.

## **2.2. Місце біокліматичного моделювання в розвитку сучасного екологічного дизайну**

Сучасний світ характеризується тим, що екологічні проблеми набули глобального значення та стосуються усіх сфер людської діяльності. Автор в [169] припускає, що через величезну кількість предметів, якими володіє чи стикається сучасна людина, відбулося знецінення матеріальної культури. У [90] стверджується, що сучасні об'єкти дизайну розробляються переважно на основі «техноцентричного мислення», підживлюючи «кочовий індивідуалізм і надмірне споживання», а відповідно - екологічні проблеми. Для їх вирішення автор в [169] припускає, що суспільство має переоцінити та заохочувати повторне використання речей, що відображається у переході від лінійної до циклічної моделі економіки (circular economy) та виробництва.

З часів промислової революції було запроваджено лінійний підхід до бізнесу та виробництва, що відображалось філософією «Візьми, виготови та утилізуй». У ті часи це було економічно доцільно, оскільки ціни на матеріали постійно знижувалися, але ця епоха виробництва та використання підійшла до кінця. [97] З огляду на те, що до 2050 року очікується збільшення населення до 9 мільярдів [225], наслідками провадження лінійної моделі економіки та виробництва є збільшення використання природних ресурсів, нестабільність економіки, екологічні проблеми та негативні наслідки зміни клімату.

Мета циклічної економіки полягає у переході від лінійної індустріальної економіки до зменшення кількості відходів та зниження попиту на первинні матеріали у виробництві. [158] Циклічна економіка є синтезом кількох інших теорій - промислової екології, «блакитної» економіки, ефективної економіки та біомімікрії. [110, 134] Циклічну модель економіки можна характеризувати трьома принципами:

1. Збереження та примноження природних ресурсів;
2. Ефективне використання ресурсів - отримання максимальної віддачі від того, що вже існує, завдяки довшій циклічній роботі продуктів і компонентів у системі
3. Підвищення ефективності системи - запобігання випаданню цінностей з системи та їх відновлення.

На світовому конгресі ICSID-2001 у м. Сеул пріоритетним завданням XXI ст. було визначено впровадження принципів екобалансу, глобальної сталості, соціально-культурної етики та відповідальності у дизайн. [232] Дизайнери активно реагують на потребу гуманізації сучасного світу, що відображається еко-центричним підходом до взаємодії з навколишнім середовищем. Напрямок розвитку дизайну у XXI ст. передбачає тенденцію зміни із споживчих аспектів на пошук та розробку інноваційних, стійких та природоощадних рішень дизайну. [12, 21, 84] Шириться потреба у дизайні речей, які не є масовими, модними чи престижними, але є «близькими» людям, що компенсують дефіцит навколишнього середовища у рукотворній тематиці

просторового середовища та гармонізує відносини між суспільством і природою. [156] Саме екологічний напрямок у сучасному дизайні направлений на вирішення екологічних проблем та відповідає вимогам циклічної моделі економіки та виробництва. [84]

Як зазначається в [15], екологічний дизайн – порівняно нове соціокультурне явище, що активно розвивається та формує новітні гуманітарні процеси і технологічні ідеї. В основі осмислення та становлення екологічного дизайну розуміння природних і гуманітарних процесів. Авторами в [15] відзначається антропогенний тиск від діяльності людини на екосистему у сучасному світі через машинно-індустріальне оснащення, що потребує відповідного врахування на рівні попередження наслідків впливу, а не їх подолання. Як зазначають автори, посилення руйнівного тиску людини на екосистему природи розпочалося у ХХ сторіччі, що сформувало затребуваність появи та розвитку перших проєктних рішень екологічного дизайну (Додаток 2, рис. 2.2.1.).

Дизайн продукції, що відповідає принципам екологічного дизайну, базується на раціональному балансі між функціональною, естетичною та екологічною складовими. Відповідний підхід розвивається стосовно рішень екологічного дизайну при виробництві одягу, взуття, аксесуарів та інших об'єктів дизайну та відповідає вимогам циклічної моделі економіки та виробництва. З цього приводу у дослідженні [148] розглянуто різні концепції розвитку сучасного екодизайну: емоційно стійкий дизайн – Emotionally Durable Design (EDD), дизайн вторинного використання – Upcycling Design (UD), треш дизайн – Trashion Design (TD), уповільнений дизайн – Slow fashion Design (SFD), безвідходний дизайн – Zero waste Design (ZWD).

Для виявлення особливостей розвитку різних напрямків сучасного екодизайну розглянемо зазначені вище концепції більш детально.

*Емоційно стійкий дизайн – Emotionally Durable Design (EDD)* відповідно до досліджень [89, 148, 167] визначається як концепція екологічного дизайну, яка прагне створити об'єкти дизайну, що здатні викликати та підтримувати

емоційну прихильність у користувачів протягом тривалого часу, за рахунок наступних характеристик EDD :

- емоційний зв'язок між користувачем та об'єктом дизайну, що викликає позитивні емоції та почуття, які зберігаються з часом;
- довговічність об'єкту дизайну, як фізичну і емоційну, коли продукт має залишатися актуальним та привабливим для користувача протягом тривалого часу;
- збереження історії та спадщини, що дозволяє користувачам розвивати емоційну прихильність до об'єкту дизайну та передавати його іншим поколінням;
- персоналізація, яка передбачає врахування потреб та переваг користувачів, дозволяючи їм налаштовувати та адаптувати об'єкт дизайну під свої індивідуальні потреби та стиль.

Прикладом рішень дизайну EDD є: електронні пристрої з модульним дизайном, які можна модифікувати та оновлювати з появою нових технологій; використання натуральних матеріалів, які характеризуються довговічністю; «предмети побуту з історією», які передаються з покоління в покоління.

У своїй книзі «Емоційно стійкий дизайн: об'єкти, досвід та емпатія» професор Jonathan Charman [90], керівник магістерської програми сталого дизайну в Брайтонському університеті, розглядає процес проектування, споживання та стійкості, в якому довговічність предметів набуває значення для користувачів. Студенти Брайтонського університету висувають інноваційні ідеї, що базуються на концепції емоційно стійкого дизайну. Наприклад, пара кросівок, які при купівлі здаються абсолютно білими, але в міру забруднення тканини на поверхні з'являється невидима ілюстрація, що розкриває історію про об'єкт та його ставлення до користувача.

У Додатку 2, рис. 2.2.1 представлений приклад рішення дизайну EDD. Дизайн оздоблення з деревини автомобілю на базі шасі VW Beetle 1975 року, виготовлений робочим Моміром з Боснії. Автомобіль покритий 20 000

шматочками з дубу ручної роботи на зразок місцевих дерев'яних черепичних дахів. Автомобіль досі знаходиться у ідеальному стані для його використання.

Підсумовуючи, сформулюємо наступні основні характеристики EDD: емоційний зв'язок; довговічність; історія та спадщина; персоналізація.

*Дизайн вторинного використання – Upcycling Design (UD)* згідно із [148, 175] це концепція екодизайну, що передбачає на відміну від переробки, яка перетворює відходи на їх початкові форми або матеріали, формування нової цінності та якості об'єктів дизайну за рахунок наступних характеристик:

- використання відходів або непотрібних предметів та перетворення їх на нові продукти з більш високою цінністю та функціональністю;
- креативність та інновації, щоб знайти нові способи використання та перетворення відходів;
- зменшення споживання нових ресурсів, оскільки використовується вже існуючі предмети та матеріали;
- мінімізація кількості відходів, що відправляються на звалище або для переробки.

Прикладом рішень дизайну вторинного використання UD є: створення меблів із старих дерев'яних палеток чи відходів будівництва; вироби та предмети з переробленого пластику (Додаток 2, рис. 2.2.3); техніка «печворк» для виготовлення текстильних виробів із клаптиків тканини.

Таким чином можна сформулювати наступні основні характеристики UD, як: переробка відходів; креативність; зменшення споживання ресурсів; мінімізація відходів.

*Треш дизайн – Trashion Design (TD)* згідно із [102, 148] це концепція дизайну, яка використовує відходи та матеріали, які зазвичай вважаються сміттям, для створення модних, стильних предметів об'єктів дизайну та визначається наступними характеристиками:

- використання різних видів відходів, такі як пластикові пляшки, газети, металеві консервні банки та інше для створення модних предметів дизайну;

- креативність та інновації, щоб знайти нові способи використання відходів та перетворити їх на сучасні об'єкти дизайну;
- сприяння стійкому споживанню та зменшенню відходів, допомагаючи підвищити усвідомленість про екологічні проблеми;
- унікальність та індивідуальність предметів одягу та аксесуарів, які відрізняються від масової продукції.

Прикладом рішень дизайну TD є інсталяції художниці Вішулади Пантановонг (Додаток 2, рис. 2.2.4). Мета її діяльності підвищити обізнаність щодо важливості переробки відходів та циклічної економіки. Художниця - дизайнер використовує сміття для створення вражаюче деталізованих масштабних інсталяцій, які підвищують обізнаність про забруднення пластиком на півострові, у Бангкоку та у всьому світі.

Таким чином можна визначити наступні основні характеристики TD: використання відходів; креативність та інновації; стійкість; унікальність.

*Уповільнений дизайн – Slow fashion Design (SFD)* що можна визначити згідно із дослідженнями [104, 148] як напрямок з дизайну предметів, які мають тривалий період морального нестаріння та використання, оскільки вони завжди залишаються модними, що зменшує негативний вплив на навколишнє середовище за рахунок наступних характеристик:

- якість та довговічність об'єктів дизайну, які можуть використовуватись протягом тривалого часу;
- етика та справедливість - відмова використання небезпечних хімічних речовин у виробництві, використання натуральних матеріалів;
- стійкість, що виражається у зменшенні споживання за рахунок вибору якісних предметів, які можуть бути використані протягом тривалого часу;
- ручна робота та місцеве виробництво, що сприяє створенню унікальних та індивідуальних предметів дизайну.

Прикладом рішень дизайну SFD є: колекція декоративних біопанелей, які представила компанія Wasoo у рамках виставки Slow Hand Design Breath.

Панелі виготовлені із натуральних відходів місцевого виробництва (рисова солома, кавове лушпиння, дерев'яні обрізки). Текстурований композит пофарбований природним шляхом з використанням трав та натурального каменю. Кожна панель створює унікальне відчуття тепла, а натуральні волокна забезпечують акустичну та теплову ізоляцію, створюючи здорове та вогнестійке внутрішнє середовище (Додаток 2, рис. 2.2.5).

Таким чином можна сформулювати наступні основні характеристики SFD: якість та довговічність; етика і справедливість; стійкість; ручна робота та місцеве виробництво.

*Безвідходний дизайн – Zero waste Design (ZWD)* що можна визначити згідно із дослідженнями [148, 151] як концепцію дизайну, яка прагне мінімізувати відходи та негативний вплив на навколишнє середовище у процесі проектування, виробництва та використання продуктів та визначається наступними характеристиками:

- мінімізації відходів у всіх аспектах процесу проектування та виробництва, використовуючи ефективні методи використання матеріалів та ресурсів;
- циклічність продуктів, дозволяючи їм бути переробленими та використаними повторно після закінчення свого первісного використання;
- використання екологічно чистих матеріалів, таких як біорозкладні або перероблені матеріали, щоб зменшити негативний вплив на навколишнє середовище;
- довговічність: створення об'єктів дизайну, які прослужать довгий час і не вимагатимуть заміни чи викидання у найближчому майбутньому.

Прикладом рішень дизайну ZWD є: створення продуктів, які можуть бути легко розібрані та перероблені протягом їхнього життєвого циклу. Наприклад, варіативність, можливість оновлення та адаптації модульної структури продукту дизайну дозволяє уникнути передчасної його заміни, як показано у Додатку 2, рис. 2.2.6. Також щоб мінімізувати відходи

використовується упаковка з біорозкладних матеріалів, яка може бути розкладена у ґрунті або перероблена без створення відходів. Прикладом рішень безвідходного дизайну є також відсутність текстильних відходів при виробництві національного одягу – грецькі хітони, японські кімоно, індійські сарі, українські спідниці.

Таким чином можна сформулювати наступні основні характеристики безвідходного дизайну ZWD: мінімізація відходів; циклічність; використання екологічно чистих матеріалів; довговічність.

На рис. 2.2.7 (Додаток 2) представлено зведені дані щодо проаналізованих вище концепцій (напрямів) сучасного екологічного дизайну та їх основних характеристик. Отримані данні відповідають принципам циклічної моделі економіки, а саме щодо збереження, примноження природних ресурсів; ефективного використання ресурсів; запобігання випаданню цінності предмета дизайну з системи та її відновлення. Відповідно із чим у схемі (Додаток 2, рис.2.2.7) окремо визначений зв'язок між основними характеристиками різних напрямів сучасного екологічного дизайну та природно-кліматичними умовами. Важливість значення розвитку дизайну у взаємодії із природним середовищем відзначається науковцями у дослідженнях стосовно перспектив та напрямків розвитку екологічного дизайну, що передбачає впровадження біокліматичного моделювання. Розглянемо більш детально.

Відповідно до визначення наданого авторами у [119] екологічний дизайн означає будь-яку форму дизайну, яка мінімізує шкідливий вплив на навколишнє середовище через інтеграцію з процесами природи. Що свідчить про важливу складову взаємодії з природним оточуючим середовищем, а відповідно потребує розширення екологічного дизайну з точки зору біокліматичного моделювання.

Автори в [15, Термінологічний словник] надають своє тлумачення терміну «екологічного дизайну» з урахуванням потреб сучасного розвитку суспільства. Окремо зазначаючи важливість зближення рішень сучасного

екодизайну з природним середовищем, враховуючи цінності, досягнуті попередніми поколіннями у сфері взаємовідносин людини і природи. Останнє визначає актуальність розвитку напрямку біокліматичного моделювання об'єктів дизайну в структурі екодизайну.

З цього приводу слід відзначити дослідження [12], де автором відзначається важливість визначення взаємодії об'єкта дизайну та оточуючого середовища і сформульовано три концепції функціонування еко-об'єкта: ізоляція, оптимізація взаємодії, максимальна взаємодія. Таким чином, запропонований автором підхід визначає напрямок подальшого розвитку екодизайну при формування системної взаємодії об'єктів еко-дизайну та оточуючого середовища у тому числі природного. Хоча автор в своїй роботі досліджує об'єкти архітектури, закладені в роботі принципи рішень можливо розглядати для більш широкого кола об'єктів еко-дизайну, застосовуючи засоби біокліматичного моделювання.

Автор книги [77] розглядає систему екологічних та енергоефективних завдань в сфері екологічного дизайну від етичної відповідальності при проектуванні структур та просторів, що підтримують природні ресурси, до конкретних пропозицій. До останніх він відносить збирання дощової води, очищення стічних вод, пасивне опалення, сонячну орієнтацію, озеленення дахів, відновлювальну енергетику, забезпечення якості повітря в приміщенні, оцінку матеріалів, а також програми сертифікації екологічно чистих будівель.

У [77] автор пропонує розглядати два аспекти стійкості: сталий розвиток та благополуччя. Сталий розвиток як спосіб передбачати екстремальні явища та відновлюватися після них, наприклад, внаслідок зміни клімату. Благополуччя заглиблюється в людський бік стійкого дизайну - як люди живуть у середовищі, яке створюється дизайном. Таким чином, Д. Бергман зазначає, що екологічний дизайн знаходиться на еволюційній стадії свого розвитку, коли він пройшов шлях від розрізненого та доповненого аспекту дизайну до майже повністю інтегрованої його частини. Отже, засоби біокліматичного моделювання об'єктів дизайну в структурі екологічного

дизайну слід розглядати для всіх його аспектів, не зосереджуючись лише на архітектурі.

Слід зазначити, що екологічний дизайн та біокліматичне моделювання у дизайні тісно пов'язані між собою та мають як подібності так і відмінності.

Екологічний дизайн звертається до створення продуктів, процесів та систем, які мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище, знижують споживання енергії та ресурсів, а також сприяють збереженню екосистем. Впровадження рішень екологічного дизайну передбачає стійке використання ресурсів, зменшення викидів шкідливих речовин і негативних наслідків діяльності на природу.

Біокліматичне моделювання у дизайні фокусується на створенні дизайн-об'єктів, які максимально ефективно використовують кліматичні умови та супутні природні ресурси для забезпечення оптимальної адаптації об'єктів дизайну в оточуюче середовище. При біокліматичному моделюванні до уваги приймаються природно-кліматичні фактори (сонячна радіація, вітер, температура та вологість та інше) для їх оптимального використання при формуванні рішень екологічного дизайну. [57]

У Додатку 2, рис. 2.2.8 представлений порівняльний аналіз екологічного дизайну та біокліматичного моделювання в дизайні. Екологічний дизайн та напрям біокліматичного моделювання у дизайні можуть співпрацювати та доповнювати один одного, створюючи стійкий та комфортний навколишній простір. При цьому біокліматичне моделювання є засобом, що забезпечує ефективність отриманих рішень екологічного дизайну. Використання кліматичних даних та аналізу природно-кліматичних умов при біокліматичному моделюванні забезпечує створення стійких та комфортних (адаптованих) рішень екологічного дизайну. Отже, біокліматичне моделювання дозволяє оптимізувати використання природно-кліматичних ресурсів, мінімізувати негативний вплив на довкілля та створювати енергоефективні та здорові рішення екологічного дизайну.

Перспективи використання методів біокліматичного моделювання для

різних областей дизайну дуже обнадійливі. Однак необхідно також враховувати складності чи особливості застосування біокліматичного моделювання, що включають:

1. Біокліматичне моделювання вимагає глибокого розуміння природно-кліматичних умов та їхнього впливу на рішення об'єктів дизайну, що може ускладнювати роботу для дизайнерів без спеціалізованої освіти чи досвіду.
2. Біокліматичне моделювання залежить від природно-кліматичних умов, тому його застосування може бути обмежене в певних регіонах або контекстах.
3. Деякі аспекти біокліматичного моделювання, такі як використання спеціалізованих матеріалів, методів або технологій може створювати перешкоди для широкого використання.

Підсумовуючи викладені вище положення з аналізу досліджень слід зазначити, що в сучасних умовах екологічної та енергетичної кризи вибудувалась логіка взаємодії таких актуальних понять сьогодення як циклічна економіка, екологічний дизайн та біокліматичне моделювання. Посилення руйнівного тиску людини на екосистему природи сформувало затребуваність появи та розвитку рішень екологічного дизайну, що відповідає вимогам циклічної моделі економіки та виробництва, направленої на зменшення кількості відходів та зниження попиту на первинні матеріали у виробництві. Сучасний розвиток екологічного дизайну характеризується появою новітніх ефективних напрямів (концепцій), які можуть бути посилені за рахунок врахування та аналізу природно-кліматичних умов при біокліматичному моделюванні для створення стійких та комфортних (адаптованих) рішень екологічного дизайну.

Окрім того, відповідно до проведеного аналізу досліджень можна виділити завдання для подальшого наукового дослідження щодо розширення області застосування біокліматичного моделювання відповідно із визначеними вище характеристиками сучасних концепцій екологічного дизайну при врахуванні складності чи особливостей застосування

біокліматичного моделювання.

### **2.3. Зв'язок сучасного біокліматичного моделювання з процесами розвитку дизайну в інформаційному середовищі**

Дизайн як міждисциплінарна науково-практична дисципліна є інструментом формування предметного та інформаційно-комунікаційного середовища. [1] Настання Четвертої промислової революції на початку XXI століття відбувалось на досягненнях так званої «цифрової» революції та визначається сучасним «постцифровим» етапом. Даний етап суспільних трансформацій характеризується активним розвитком цифрових компетенцій, що втілюються в основні сфери життєдіяльності суспільства. [9] Нові умови цифрового середовища вимагають оновленого інтегрального підходу взаємодії з дійсністю, застосування інноваційних технологій при формуванні предметного та інформаційно-комунікативного середовища.

Поява та розвиток дизайну здійснювались одночасно зі становленням інформаційних систем, на основі їх технологій та мали результатом зміни в інформаційному середовищі. До настання цифрової епохи процеси проєктування та моделювання базувались на ручній праці, що потребувало значних ресурсних затрат (Додаток 2, таблиця 2.2.6).

Поява інформаційних систем автоматизованого проєктування (САПР) або CAD (Computer Aided Design - в англійській транскрипції) революційно змінила процеси розробки рішень дизайну, запропонувавши цифрові шляхи розв'язання завдань проєктування (Додаток 2, таблиця 2.2.7). Автоматизація проєктування підвищила продуктивність праці дизайнерів та проєктантів. САПР або CAD дозволила створювати складні технічні об'єкти у всіх сферах дизайну, спростила розробку та підвищила точність конструкторської документації, скоротила терміни проєктування, на основі математичного аналізу та оцінки технічних і економічних параметрів вирішила питання

оптимізації характеристик об'єкту проєктування; зменшила суб'єктивізм при ухваленні проєктних рішень. [6]

Вперше програмне забезпечення як інструмент проєктування було розроблено в Масачусетському технологічному інституті у 1960-х роках. Завдяки компаніям Apple, Lotus, Autodesk, Adobe, Dassault, Siemens та багатьом іншим розробникам по всьому світу у 1970-80-х роках у галузі з'явилися такі прикладні програми як AutoCAD, SolidWorks, Pro-Tools, Photoshop та інші. Перше покоління таких систем імітувало можливості аналогових інструментів цифровими технологіями, а їх головною рисою була двовимірність (2D). У подальшому, завдяки здешевленню комп'ютерної техніки, САД програми стали доступнішими і поширились в архітектурі, громадському будівництві, промисловому дизайні, проєктуванні транспортних комунікацій, виробництві товарів, промисловості, індустрії та багатьох інших сферах. Революційними прикладами використання комп'ютерних технологій в архітектурі будівель була композиція на Олімпійській набережній Барселони (1992) та Музей сучасного мистецтва Гуггенхайма в Більбао (1997) архітектора Ф. Гері, коли за допомогою САД програм, які доти застосовувалися тільки в прикладних, а не в творчих цілях, було розраховано криволінійні обриси об'єкту (Додаток 2, табл. 2.2.7, рис. 2.2.9). Вважається, що проєктування об'єктів Ф. Гері традиційно ручним кресленням не мало б успіху, який було досягнуто за рахунок інженерних технологій. [124] Разом з тим, в програмному забезпеченні САПР цього часу та у подальшому не знаходили реалізації функції, пов'язані з екодизайном (енергорезультативність, сталість, експлуатаційні характеристики), та врахування кліматичних і природних умов. Дослідженням питань створення, навчання, використання, удосконалення САПР (САД) присвячено велику кількість наукових публікацій цього і наступних періодів.

Інформаційні комп'ютерні технології постійно вдосконалювались, комп'ютер перетворився на один із провідних інструментів дизайнера - 3D-моделювання, імітація тривимірного простору та візуалізація нарівні з

моделюванням стали на межі XX-XXI сторічч стандартом подачі демонстраційних матеріалів в AutoCAD, 3dsMAX, CorelDraw, Adobe Illustrator, 3D Studio, інших програмних системах автоматизованого креслення та проектування (CADD) для створення дизайн-об'єктів. Саме додаткова функція тривимірності стала основною відмінністю від проектних систем попереднього покоління. Основне призначення CADD - створення чітких та достовірних креслень і автоматизація за допомогою додатків графічних побудов об'єктів, що виникають у двовимірному та тривимірному проектуванні. Візуалізація надавала повніше уявлення про об'єкт за рахунок фотореалістичності та деталізації. Так, проєкт Концертного залу Уолта Діснея Ф. Гері в Лос-Анджелесі з криволінійними формами було змодельовано за допомогою CADD, кожен елемент розрахований і розбитий на частини, кожна деталь отримала спеціальний штрих-код, його ставили на металеві конструкції заводського виготовлення. Будівельникам залишалося лише правильно зібрати конструкцію. [124]

Важливим етапом у розвитку цифрового інструментарію дизайну став розвиток глобальної мережі Інтернет і взаємодії її користувачів. Можливості обміну файлами збільшились таким чином, що дизайнер може без посередників та в режимі реального часу користуватись загальною базою даних та матеріалами мережі як цифровим інструментом.

У сфері прикладного дизайну набули поширення CAE/CAD/CAM системи. Це скорочення від англ. Computer Aided Engineering/Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing. CAE - назва програм, призначених для вирішення інженерних завдань: розрахунків, аналізу вивчення поведінки, продукту та симуляції фізичних процесів, наприклад - конструктивної міцності, навантаження, напруги, деформації, аналіз теплових процесів, розрахунок гідравлічних систем та механізмів. CAM - перекладається як комп'ютерне моделювання/виробництво під управлінням комп'ютера. Ці програмні пакети можуть вирішувати безліч проектних завдань, починаючи з моделювання поверхні і закінчуючи міцнісними та аеродинамічними

розрахунками, симуляцією краш-тесту, виготовленням робочої документації та іншими. [166] Ця методика до останнього часу була найсучаснішою комп'ютерною технологією моделювання та створення, разом з ЦПУ та 3D друком, об'єктів предметного дизайну, яка, у тому числі, частково враховує вимоги екодизайну та біокліматичного моделювання, наприклад – щодо вибору відповідних матеріалів (Додаток 2, табл. 2.2.8, рис. 2.2.10 а, б).

Цифрові технології та програмування CAE/CAM знайшли своє застосування в текстильному виробництві. Верстатами з ЦПУ оснащені провідні школи дизайну, завдяки чому спрощено та автоматизовано виробничі процеси, що дозволяє концентрувати увагу на художніх завданнях. Сьогодні найбільш поширені Aragne CAD/CAM система дозволяє створити ескіз композиції, 3D візуалізувати проєкт в тканині, готувати схеми для виробництва з врахуванням технічних характеристик ткацьких верстатів. Використання систем CAE/CAM мінімізує витрати на тестування виробів, скорочує трудовитрати на всіх підготовчих етапах.

Використання цифрових технологій CAE/CAD/CAM зростає швидкими темпами в усьому світі. Наприклад, в КНР запроваджено державну програму «Національний план сприяння розвитку адитивної промисловості». [205]Цей та інші документи передбачають нарощування масштабів розвитку цифрових технологій, їх поєднання із традиційними виробництвами та ремеслами. Крім промислових виробів особлива увага приділяється 3D друку (3DP) та отриманим завдяки йому новим матеріалам, об'єктам. Технологія 3DPпропонує дизайнерам свободу форми, структури та творчості в ювелірних виробках, при моделюванні взуття, сумок, предметів одягу з унікальною та дуже складною структурою, які неможливо виготовити традиційними методами. Використання технології 3DP для створення функціонального одягу — один із напрямків досліджень, оскільки за його допомогою можна створити спеціальну текстильну структуру або додати функціональні матеріали для виробництва волокон чи тканини (Додаток 2, табл. 2.2.8, рис. 2.2.10 а, б).

В дизайні будівель і споруд застосовується технологія BIM (Building Information Modeling). Інформаційне моделювання споруд – об'єктно-орієнтована модель будівельного об'єкта у тривимірному вигляді, з елементами якої пов'язані дані геометричних, фізичних та функціональних характеристик будівельного об'єкта. Мета створення такої моделі - прийняття рішень у процесі дизайну, на етапі будівництва і на наступних етапах життєвого циклу об'єкта. [221] Особливістю технології BIM є інформаційна модель будівельного об'єкта (його цифровий опис), що дозволяє оптимізувати дії проєктантів. BIM - найсучасніша технологія, що застосовується в процесі створення віртуальних моделей будівель та споруд (включаючи розробку архітектурних об'ємно-планувальних рішень, несучих конструкцій, інженерних мереж, прилеглої інфраструктури, ландшафтний проєкт) необхідні протягом усього процесу проєктування (від концепції до розробки робочої документації, складання специфікації та кошторисних розрахунків), будівництва та подальшої експлуатації. Найбільш відомими розробниками BIM програмного забезпечення є Autodesk, Graphisoft, а програмами - AutoCAD, ArchiCAD, Revit, Allplan. [207, 208, 216]

Якщо традиційне проєктування будівель значною мірою ґрунтувалося на двомірних технічних кресленнях (плани, фасади, розрізи тощо), інформаційне моделювання будівель дозволяє створити 3D модель об'єкту. BIM постійно вдосконалюється: так технологію розширено за допомогою показника часу (4D), вартості (5D). Віртуальна модель 4D відслідковує і контролює процес поперхової побудови, одночасно з візуалізацією будівлі за обраний період часу; 5D - створює можливість виготовлення більш точної кошторисної документації, контролю витрат. Очікується введення шостого виміру (6D) BIM, що представляє аспекти навколишнього середовища та стійкості будівель, дотримання принципів сталого розвитку в будівельному процесі. Технологія дозволяє оцінити проєкт будівлі з точки зору енергозбереження, використання сонячної енергії, тощо. Сьомий вимір (7D) BIM полягає в управлінні експлуатацією об'єкту протягом усього терміну

служби. [228] У разі застосування BIM 6D та 7D додатково отримується можливість збору та використання різноманітної інформації про об'єкт, яка дозволяє ефективно використовувати будівлі під час її експлуатації. [52] Впровадження технологій врахування 6D та 7D вимірів, які безпосередньо дотичні до питань екодизайну, стикається зі складнощами програмної реалізації та на даний час не набули поширення. Таким чином, BIM програмне забезпечення може у перспективі враховувати безліч чинників у т. ч. природно-кліматичного характеру, наприклад, просторові відносини, аналіз освітлення, географічну інформацію, а також характеристики та властивості компонентів будівлі (наприклад, матеріалів).

Просторові географічні дані та пов'язана з ними інформація про об'єкти накопичується і візуалізується в географічних інформаційних системах (GIS), які є програмним продуктом, що відображає цифрову карту місцевості на глобальному, регіональному або локальному рівні. Внесення даних до GIS здійснюється в результаті супутникового зондування, картографування за допомогою дронів, завантаження інформації від будівельників, тощо. В КНР успішно реалізовано Програму CHEOS (система спостереження за Землею с високою деталізацією) [218] для вивчення природних ресурсів, реагування на стихійні лиха та їх попередження, що особливо актуально у зв'язку з постійними підтопленнями населених пунктів Китаю, розташованих в долинах рік та на узбережжі морів. GIS застосовуються в картографії, геології, метеорології, землеустрої, екології, муніципальному управлінні, транспорті та багатьох інших областях. В Autodesk з 2023 року реалізується пілотний проєкт щодо інтеграції різноманітних GIS з BIM Autodesk, що дозволяє більш точно враховувати природні умови при проєктуванні. [208] Так, в САПР InfraWorks від Autodesk реалізовано інтеграцію з GIS Hydronia, що дає можливість змодельовати, візуалізувати та анімувати 3D модель повені в містах, розташованих у заплавах річок, та прибережних районах, що у результаті дозволяє розробити проєкти рішення для попередження або усунення впливу стихійних лих на міську забудову. В InfraWorks та Civil 3D проєктувальники

можуть додавати GIS-контент із Esri ArcGIS, яка містить дані щодо вже зведених об'єктів, доріг, трубопроводів, електрообладнання, зелених насаджень. Інформацію з цієї GIS можна використовувати у процесі BIM для підвищення рівня енергозбереження: GIS показує рівні інтенсивності використання енергії, щорічні витрати на електроенергію по районах міста. Використовуючи такі дані можна визначити райони з високими витратами на енергоспоживання або виявити об'єкти, які потребують модернізації, спланувати експлуатацію та технічне обслуговування об'єктів дизайну (архітектури та будівництва). Додаток Green Stormwater Infrastructure для InfraWorks дозволяє оперативно створювати і в реальному часі аналізувати проекти регулювання дощового стоку, щоб уникнути поверхневого стоку, за допомогою BIM, а контекстні 3D-моделі - використовувати для визначення найкращого способу розміщення об'єктів озеленення в масштабі кварталу чи району відповідно до місцевих вимог ефективності та стандартів екологічної раціональності. [209]

Передові BIM технології широко використовуються в КНР у сфері зведення квартальних забудов з урахуванням великої кількості чинників: масштабності будівництва, надійності, швидкого введення в експлуатацію, бюджетності, розташування будівель, екологічності, узгодженості з нормативними актами щодо стандартів стійкого розвитку у відповідності з законами про міське та сільське планування, п'ятирічним планом, стандартами планування і будівництва житлових зон, доріг, інженерних мереж та систем, озеленення. [96] Для оптимізації використовується поєднання цих технологій з будівельними 3D-принтерами як швидким, надійним, точним, бюджетним способом зведення фундаментів, частин стін та інженерних комунікацій.

Інформаційні комп'ютерні технології постійно вдосконалюються та завоювали ключові позиції у багатьох сферах людської діяльності. Крім класичних застосувань, пов'язаних з виконанням інженерних і економічних розрахунків, розробкою автоматизованих систем проектування і моделювання, використанням технологій віртуальної, доповненої та змішаної

реальності як інструментів візуалізації проектів, з приходом комп'ютерів у сферу творчості відбувається чергова революція - успішно розвивається науковий напрямок, що отримав назву «штучний інтелект» (ШІ, AI ), (Додаток 2, табл. 2.2.9, рис. 2.2.11). Глобальною метою вказаного наукового напрямку є створення інтелектуальних автоматизованих систем, які виконують ті ж функції, що й творча особистість. [4]

Якщо на попередньому етапі розвитку технологій комп'ютер для дизайнера перетворився на один із робочих інструментів, то у сучасний період робота інформаційної системи набуває ознак спільної творчості з людиною. Інформаційна система вже стала ефективним помічником, співавтором у створенні об'єктів дизайну та продовжує розвиватись. [48] Численними дослідженнями науковців та практиків інформаційних технологій сформовано засади асистування комп'ютерних систем людині при виконанні творчих завдань, до яких відносяться дизайнерські. Зокрема, ШІ при побудові об'єктів у багатьох сферах застосовуються такі базові структурні елементи дизайну як «примітиви». На їх підґрунті побудована технологія асистивного дизайну. Асистивних технологій існує досить багато, наприклад, безпосередньо пов'язані з предметним дизайном такі технічні рішення як: пристрої з автофокусом для захвату зображень, обладнання звукозапису з функцією Auto-Tune (програма виміру та підстройки налаштувань звуку), екрани пристроїв з автокорекцією кольору, яскравості, програми автокорекції фото, асистивні дизайнерські програми підбору та моделювання зачісок, асистивний підбір стилю одягу, рука-робот, асистований стіл, програми розфарбовування фото та відео, асистований дизайн 3D моделей промислових об'єктів, формування викрійок одягу для створення 3Dмоделей, медичне обладнання для осіб з обмеженими можливостями та багато інших. Лідерами асистивних технологій є США та КНР. [231]

На межі таких новітніх напрямів ШІ як машинне навчання (ML — machine learning), людино-комп'ютерна взаємодія (HCI — human-computer interaction), нейронних мереж та сфери дизайну набув поширення такий

інструмент як генеративний дизайн, що виник як подальший розвиток асистивного дизайну, але є більш гнучким та автономним. Принципом функціонування генеративного дизайну є самостійна, без участі людини, генерація ШІ дизайнерських технічних рішень за заданими параметрами, а функцією дизайнера - остаточний вибір із декількох оптимальних за характеристиками згенерованих об'єктів. В основу створення ШІ об'єктів архітектури, меблів, об'єктів промислового дизайну, об'єктів моди, картин, ілюстрацій журналів, музичних творів, відео ефектів, та ін., що безмежно розширює сферу його застосування, покладено творчі елементи - «примітиви» генеративних моделей. Так, наприклад дизайн-програма «HOUSING AGENCY SYSTEM: Система масового проєктування будинків з користувацьким дизайном»(2012) від Autodesk, на основі побажань замовника генерує неограничену кількість типових варіантів проєкту будинку. [208] Програми генеративного дизайну можуть створювати моделі транспортних засобів, одягу, взуття, меблів, промислових виробів із заданими властивостями, наприклад – щодо конструктивної міцності, а пристрої 3D друку реалізують їх за різноманітними технологіями та з різних матеріалів, у тому числі - екологічних.

Під час прийняття рішень, вирішення завдань дизайну складних, багатопараметричних систем, об'єктів, процесів необхідно розв'язати неформалізовані задачі, у тому числі – з дотриманням певних нормативних вимог, стандартів, побажань замовника та творчої ідеї дизайнера, що може бути здійснено тільки шляхом залучення експертів. В межах досліджень та розробки технології використання програмних засобів штучного інтелекту, які виконують творчі функції, виник та розвивається окремий науковий напрямок експертних систем. Під експертною системою (ЕС) розуміється програма, яка використовує знання фахівців (експертів) про деяку конкретну вузько спеціалізовану предметну область і в межах цієї галузі здатна приймати рішення на рівні експерта-професіонала. [4]

Відмінною рисою ЕС є здатність накопичувати знання і досвід найбільш досвідчених експертів в деякій вузькій предметній області, яка передбачає творчий підхід, та надавати рекомендації при прийнятті рішень. Система зберігає правила розв'язання проблем конкретної проблемної області у базах знань. Проблема ставиться перед системою у вигляді сукупності фактів, що описують деяку ситуацію. При цьому система за допомогою бази знань робить спроби виведення з цих фактів деякого висновку, так само, як це зробив би експерт. Таким чином, користувачі ЕС, що навчаються або мають середню кваліфікацію, можуть розв'язувати свої поточні задачі на високому рівні. Такий ефект досягається завдяки тому, що ЕС в процесі своєї роботи використовує схему міркувань, яку використав би в даній ситуації експерт, що надає можливість зберігати, акумулювати та розповсюджувати знання, дозволяючи зробити унікальний досвід професійних експертів доступним широким колам пересічних фахівців. [32]

Від інших програм штучного інтелекту ЕС відрізняється тим, що ЕС має справу з об'єктами реального світу певної галузі, операції з якими потребують використання значного масиву досвіду, накопиченого у цій професійній сфері, та роз'яснення обґрунтованості прийнятого рішення. Автори [4] виділяють певні класи задач, пов'язаних з ухваленням рішень, для яких ЕС є найбільш придатною системою. Задачі щодо біокліматичного моделювання відповідають сформульованим вимогам.

Однією з перших в світі експертних систем була MYSIN, що використовується для діагностики захворювань. Система розроблена в 1972 році в Стенфордському університеті США та у подальшому модифікувалась, вона запитує необхідні дані пацієнта, симптоми, реєструє гіпотези щодо захворювання, надає рекомендації. На сьогодні існує більше 150 різних напрямків, в яких успішно використовуються експертні системи, побудованих за схожим принципом. Визнано, що у 20 % випадків вирішення поставлених задач без ЕС було б неможливим. Найбільш поширеними та функціонально насиченими є експертні системи G2 Gensym та Exsys Corvid. На базі G2

написано більш 500 діючих додатків. Є ресурси для навчання персоналу, визначення енергетичних затрат, для оптимізації виготовлення будівельних матеріалів («G2 Cement»). Разом з тим, завершені продукти для використання у сфері екологічного дизайну, відсутні. При цьому G2 Gensym надає можливість самостійного створення локалізованого додатку, пристосованого для застосування у конкретній галузі, установі, на підприємстві. [215] Головними напрямками застосування експертних систем Exsys Corvid є вирішення задач діагностування в медицині, техніці, біології і хімії. Разом з тим, існують вузькоспеціалізовані експертні системи Exsys Corvid: в архітектурі, будівництві, сільському господарстві, управлінні національними парками, моніторингу водних ресурсів [214], які, проте, не пов'язані з вирішенням питань біокліматичного моделювання та екодизайном.

Таким чином, ЕС може бути застосована для дизайнерської предметної області. При цьому очікується, що вона виконувати такі узагальнені функції: аналізуватиме та класифікуватиме біокліматичні рішення; ідентифікуватиме та інтерпретуватиме інформацію про відповідність тих чи інших рішень ознакам біокліматичного підходу, здійснюватиме діагностику проблем та прогнозуватиме результати застосування біокліматичного підходу, навчатиме фахівців та навчатиметься (засвоюватиме нові знання), Додаток 2, таблиця 2.2.9. [58, 82]

Прикладом експертної системи, що частково враховує кліматичні чинники і призначена для визначення продуктивності (урожайності) лісонасаджень для застосування у сільському господарстві, є Web Flex. [213] Вона визначає продуктивність рослин, які використовуються для лісонасадження у певній географічній зоні, на певному ґрунті, в оточуючих природних умовах за шкалою урожайності (Додаток 2, табл.2.2.10).

Широкого застосування набули експертні системи в навчальному процесі, де вони розглядаються як засіб навчання. [44, 141] У такій якості ЕС використовуються для отримання, перевірки, оцінювання знань, умінь та навичок, оптимізації вибору рішення професійної орієнтації та адаптації,

перенесення більшої частини навчального процесу на самостійну роботу студентів, як метод індивідуальної підготовки фахівців.

Підсумовуючи слід зазначити, що розвиток дизайну здійснювався одночасно зі становленням інформаційних систем та на основі їх технологій. Інформаційні системи для вирішення завдань дизайну пройшли шлях від цифрових технологій двовимірного креслення САПР до систем штучного інтелекту, які спроможні самостійно вирішувати творчі завдання у різноманітних сферах дизайну.

Кожна окрема галузь дизайну – проектування будівель, транспортних засобів, тканин, одягу, тощо, спирається на свій цифровий проектний інструментарій. Так, наприклад, у цифрового гіганта Autodesk понад 30 програмних продуктів дизайнерського спрямування для різноманітних сфер застосування. За відсутності універсальних рішень, необхідно використовувати відповідні інструменти для кожної галузі дизайну або, навіть, для кожного виду дизайн-об'єкту. Більшість цифрових рішень, у тому числі побудованих за технологіями штучного інтелекту, не мають вбудованих або окремих інструментів біокліматичного моделювання, що вимагає їх інтеграції з існуючими цифровими системами, додаткової розробки і впровадження програмних продуктів або машинного навчання.

Особливість експертних систем як напрямку ШІ полягає у тому, що вони моделюють діяльність людини, яка здійснюється у неформальному вигляді для багатопараметричних завдань, що характерно для екодизайну. Якщо методи вирішення обчислювальних задач ґрунтуються на чітких алгоритмах, то моделі подання знань в експертних системах мають справу з інформацією, що одержується від експертів, яка часто має якісний і неоднорідний характер. У той же час потреба в таких моделях відчувається практично у всіх предметних областях дизайну. Це пояснює перспективність побудови експертної системи біокліматичного моделювання, обумовленої особливостями предметної області в межах цього дослідження. [82] При цьому очікується, що вона виконувати такі функції як аналіз та класифікація

біокліматичних рішень; ідентифікація та інтерпретація інформації про відповідність тих чи інших рішень ознакам біокліматичного підходу, здійснення діагностики проблем та прогнозування результату застосування біокліматичного підходу, навчання фахівців тощо.

### **Висновки до другого розділу**

1. Досліджено визначення дизайну як явища, сутність якого обумовлено не тільки економічними факторами, але і соціокультурним розвитком суспільства. Простежено, що фактор адаптації населення до змінних кліматичних умов оточуючого середовища впливає на формування суспільства та відображається на соціально-культурному розвитку. Зазначено, що дослідження впливу клімату на формування національного соціокультурного розвитку має практичне та наукове значення для збереження та просування традицій місцевої культури в умовах змінного клімату та глобалізації; розвитку стійких методів використання природних ресурсів у сфері сучасного дизайну тощо.

2. Для розуміння як саме природне довкілля формує потреби та соціокультурні уподобання людей у різних кліматичних регіонах, проведено аналіз щодо впливу клімату на розвиток культури південного та північного Китаю. Досліджено та обґрунтовано соціокультурні регіональні відмінності між північним і південним Китаєм, що зумовлені різними природно-кліматичними умовами. Встановлено, що кліматичні відмінності (тепліший та вологіший південь і більш холодний та сухий клімат півночі країни) вплинули на особливості розвитку сільського господарства в цих регіонах. Це, у відповідності з сучасними науковими теоріями способу життєзабезпечення, призвело до формування різних соціальних структур і психокультурних рис населення. Логіка цієї теорії була проаналізована і подана у вигляді схеми, яка демонструє цей взаємозв'язок.

3. На основі проведеного аналізу архітектурних особливостей південного та північного регіонів Китаю отримано підтвердження того, що традиційна китайська архітектура, яка має тисячолітній досвід, ефективно використовувала методи кліматичної адаптації. Дослідження особливостей одягу північних та південних регіонів вказує на існування «кліматичного» підтексту у розвитку традиційної культури одягу, що проявляється у крої та багат шаровості, які забезпечували тепло- та повітрязахист, а також у застосуванні місцевої сировини для виготовлення та фарбування тканин. Визначено, що традиційний китайський живопис формувався під впливом місцевих природно-кліматичних умов, які слугували джерелом натхнення художникам і заклали основу регіональних стилістичних відмінностей. Крім того, проаналізовано численні приклади розвитку народних промислів півночі і півдня Китаю, що склалися відповідно до особливостей природно-кліматичних характеристик регіону. Таким чином, вперше проведено комплексне дослідження впливу клімату на формування різних складових національної культури, а отримані результати підтвердили перспективність розширення застосування методів біокліматичного моделювання на різні об'єкти сучасного дизайну.

4. Встановлено логіку взаємозв'язку між такими сучасними поняттями, як циклічна економіка, екологічний дизайн та біокліматичне моделювання. Визначено, що зростаючий тиск людської діяльності на природні екосистеми зумовив необхідність розвитку екологічного дизайну, який відповідає принципам циклічної економіки. Підкреслено, що сучасний розвиток екологічного дизайну характеризується появою нових ефективних концепцій, які можуть бути суттєво посилені шляхом інтеграції аналізу природно-кліматичних умов через біокліматичне моделювання. Виокремлено специфіку впровадження біокліматичних методів, що потребує глибшого вивчення задля більш ефективної інтеграції при розробці рішень дизайну.

5. На основі існуючих досліджень та практичних прикладів проведено аналіз таких сучасних концепцій екодизайну як: емоційно стійкий

дизайн; дизайн вторинного використання; треш дизайн; уповільнений дизайн; безвідходний дизайн. Систематизовано зведені дані щодо зазначених сучасних концепцій екологічного дизайну та їх основних характеристик, що дало можливість визначити зв'язок між ними та природно-кліматичними умовами. Здійснено порівняльний аналіз спільних рис і відмінностей між екологічним дизайном та біокліматичним моделюванням об'єктів дизайну. Встановлено, що біокліматичне моделювання виступає важливим інструментом, який підвищує ефективність екологічного дизайну за рахунок врахування впливу природно-кліматичних умов. Завдяки чому забезпечується розробка адаптованих рішень, що сприяють створенню об'єктів дизайну з оптимальними екологічними та сталими характеристиками.

**6.** Досліджено та систематизовано розвиток цифрових технологій у дизайні, їх вплив на сучасні дизайн-процеси та перспективи інтеграції біокліматичного моделювання в існуючі цифрові системи. Проведено аналіз становлення та систематизацію можливостей технологій у розв'язанні творчих і багатопараметричних завдань дизайну, зокрема в контексті екодизайну.

**7.** Встановлено, що цифрові технології, починаючи з CAD-систем та далі з розвитком BIM і GIS, радикально трансформували проектування у різних галузях дизайну, підвищуючи продуктивність, точність і можливості візуалізації. Визначено, що наразі більшість цих систем не інтегрують аспекти біокліматичного моделювання та екологічної сталості. Доведено, що штучний інтелект, зокрема експертні системи та генеративний дизайн, відкривають нові перспективи для автоматизації творчих процесів у дизайні, забезпечуючи підтримку прийняття рішень у складних та багатопараметричних задачах, проте повноцінна інтеграція біокліматичних даних до цих систем залишається недостатньо вивченою та впровадженою.

**8.** Проведене дослідження особливостей розробки та впровадження експертних систем для біокліматичного моделювання дало підстави для висновку, що вони можуть стати ефективним інструментом для аналізу, діагностики, прогнозування та навчання у сфері екологічного дизайну,

сприяючи створенню адаптованих і сталих дизайн-рішень, які відповідають сучасним викликам інформаційного середовища.

### Список публікацій здобувача за матеріалами другого розділу

1. **Changpu R., Krivenko O.** Development of bioclimatic modeling of architecture and design objects in the modern information environment. *Colloquium-journal*. 2025. № 68(261). С. 5–10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17687288>
2. **Changpu R., Krivenko O.** An overview of the influence of climate on the formation of the national culture of southern and northern China. *Design, Visual Art and Creativity: Modern Trends and Technologies* : Proceedings of IInd International Scientific and Practical Conference, 12 December 2023. Vol. 2. Zaporizhzhia : Zaporizhzhia National University, 2023. P. 17–22.
3. **Жу Чанпу, Плоский В.О.** Біокліматичне моделювання як складова розвитку сучасного екологічного дизайну. *Матеріали III Міжнародна науково-практична конференція «Інновації в архітектурі, дизайні та мистецтві: до 100-річчя факультету архітектури НАОМА»* 23-24 травня 2024 року, с. 152-154.
4. **Changpu R., Krivenko O.** Ecological Design in the Context of Circular Economy: Perspectives and Innovative Methods. *Design, Visual Art and Creativity: Modern Trends and Technologies* : Proceedings of IInd International Scientific and Practical Conference, 12 December 2024. Vol. 3. Zaporizhzhia : Zaporizhzhia National University, 2024. P. 58–60.

## РОЗДІЛ 3. ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ДАНИХ БІОКЛІМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИЗАЙН-ОБ'ЄКТІВ

### 3.1. Системний підхід при біокліматичному моделюванні дизайн-об'єктів

Сучасний світ стикається з екологічними та енергетичними викликами, що вимагають переосмислення підходів до проєктування об'єктів дизайну. Проведений аналіз наукових досліджень та практики проєктування у першому розділі показує, що одним із перспективних підходів є біокліматичне моделювання, яке передбачає створення об'єктів дизайну, що органічно інтегруються в оточуюче середовище, адаптуючись до кліматичних умов подібно до природних організмів. Такий підхід має на меті успішне втілення вимог до стійких, енергоефективних та екологічних рішень при біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну.

Слід відзначити, що складність сучасних об'єктів дизайну вимагає аналізу їх структури, застосування системного мислення при їх проєктуванні. [100, 108] Згідно із [33] використання системного підходу дозволяє аналізувати складні системи, враховуючи взаємодію між різними елементами, що підвищує ефективність проєктування об'єктів дизайну. Системний підхід сприяє ефективній взаємодії між елементами, що є критично важливим для адаптації до природно-кліматичних умов. У дослідженнях [22, 147], вказується на необхідності інтеграції знань з різних дисциплін при формоутворенні об'єктів дизайну та архітектури з урахуванням існуючих природно-кліматичних умов. Крім того, автор у [107] зазначає, що системний підхід стає необхідним у сучасному проєктуванні, оскільки безсистемні методи більше не забезпечують стійкість проєктних рішень в умовах зростаючої складності інформаційного середовища.

Отже, основними причинами ефективності застосування системного підходу у біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну можна визначити:

- Складність систем: сучасні об'єкти дизайну – це складні системи, що включають значну кількість взаємопов'язаних елементів. Для ефективного управління такими системами необхідний інструментарій, який дозволяє аналізувати їхню структуру.
- Інтеграція різних дисциплін: біокліматичне моделювання потребує залучення знань з різних галузей науки, таких як інженерія, біологія, кліматологія тощо. Системний підхід забезпечує інтеграцію цих знань в єдину концепцію.
- Стійкість: системний підхід дозволяє створювати рішення об'єктів дизайну, що не лише адаптуються до змін навколишнього середовища, але й сприяють його збереженню.
- Інновації: застосування системного підходу стимулює розвиток нових методів і технологій в галузі біокліматичного моделювання.

Отже, розвиток нових біокліматичних рішень об'єктів дизайну, орієнтованих на адаптацію до природно-кліматичних умов, вимагає аналізу та систематизації. Дане дослідження має на меті представити інтеграцію системного підходу в біокліматичному моделюванні як ключ до стійкого дизайну, що відповідає сучасним викликам і потребам, розробити теоретичну основу та практичні рекомендації для застосування системного підходу при біокліматичному моделюванні, що дозволить забезпечити інтеграцію різних аспектів проектування для створення стійких і комфортних об'єктів дизайну.

Впровадження системного підходу в біокліматичне моделювання передбачає проведення аналізу об'єкта дизайну в контексті його функціонування, виділення ключових підсистем та дослідження їх взаємодії. При біокліматичному моделюванні доцільно вирішувати завдання дизайну, спираючись на основні принципи, які допомагають системним аналітикам розуміти складні системи та знаходити шляхи їх оптимізації. [87] Для подальшого дослідження приймемо основні принципи системного аналізу, представлені у Додатку 3., рис. 3.1.1, і розглянемо їх більш детально у контексті біокліматичного моделювання об'єктів дизайну.

*Принцип взаємопов'язаності елементів.* Цей принцип дозволяє розглядати біокліматичну систему як живий організм, де всі елементи системи взаємодіють між собою і впливають один на одного. Це означає, що зміна в одному елементі може призвести до змін в інших елементах, а також на загальну роботу системи.

Системний підхід дозволяє враховувати взаємодію різних елементів біокліматичної системи, таких як клімат, рішення дизайну, природні ресурси та соціальні запити на розробку дизайну. При цьому враховуються складні взаємозв'язки між окремими елементами системи, що дозволяє використовувати різноманітні варіанти взаємодії елементів системи задля досягнення оптимальних умов.

Наприклад, в [21] під час біокліматичного моделювання хмарочосу Biotecton з використанням системного підходу та принципу взаємозв'язку запропоновано не лише окремі технічні рішення стосовно формоутворення та конструктивної будови дизайну хмарочосу, але і способи організації їх взаємодії з навколишнім середовищем при інтеграції відновлювальних джерел енергії, забезпечення вимог до параметрів внутрішнього мікроклімату, що дозволило створити комплексні та стійкі рішення, здатні адаптуватися до впливів природно-кліматичного середовища. Таким чином, використання системного підходу з принципом взаємопов'язаності елементів дозволяє створювати комплексні, стійкі та багатоваріантні біокліматичні рішення у дизайні з огляду на складні взаємозв'язки між різними елементами системи.

*Принцип інтегративності.* Інтегративний підхід передбачає всебічне, комплексне врахування (об'єднання) всіх аспектів і зв'язків системи в цілому під час біокліматичного моделювання з метою досягнення більшої ефективності, цілісності або функціональності. Наприклад, при розробці об'єктів ландшафтного дизайну комплексність біокліматичного аналізу включає параметри впливу кліматичних умов, рельєфу місцевості, водних ресурсів та характеристик рослинності для створення оптимального мікрокліматичного середовища. Принцип інтегративності дозволяє

впровадити багатоваріантність біокліматичних рішень, тобто розглядати різноманітні можливості гармонійної взаємодії елементів системи задля досягнення очікуваних умов рішення об'єкту дизайну. Наприклад, при проєктуванні ландшафту з використанням цього принципу враховується варіативність розташування зелених насаджень, водовідвідної системи та рельєфу місцевості для створення оптимального мікроклімату.

*Принцип мультидисциплінарності* передбачає використання знань та методів з різних галузей науки для біокліматичного аналізу та вирішення завдань дизайну. Біокліматичне моделювання включає знання з галузі дизайну та архітектури, інженерії, кліматології, біології, матеріалознавства та інших наук і сфер прикладних знань. Застосування мультидисциплінарного підходу дозволяє об'єднати знання та методи цих різних галузей для створення комплексних моделей біокліматичного дизайну. Наприклад, при проєктуванні будівлі з використанням біокліматичного моделювання архітектори співпрацюють з інженерами для оптимізації рішень теплоізоляції, систем вентиляції, природного та штучного освітлення тощо. Це дозволяє створити будинок, який ефективно використовує природні ресурси для забезпечення комфортного середовища для життя. Крім того, взаємодія спеціалістів різних галузей науки та техніки сприяє появі нових ідей та інноваційних технологій, які можуть бути застосовані у дизайні з урахуванням біоклімату. Співпраця архітекторів та суміжних спеціалістів при проєктуванні призвела до розробки інноваційних систем вентиляції, використання сонячної енергії та управління тепловтратами, що дозволяє створювати будівлі з мінімальним впливом на навколишнє середовище. [29] Слід відзначити, що саме розвиток сучасних засобів роботи з інформацією надає додаткові можливості для ефективного застосування знань з різних галузей.

*Принцип прогностичності.* Цей принцип у системному підході передбачає врахування можливих майбутніх змін та впливів на біокліматичну систему при її моделюванні. Наприклад, при моделюванні біокліматичних систем для міської забудови враховуються прогнози зміни температури,

опадів, вітру та інших кліматичних параметрів, що дозволяє створювати стійкі рішення, здатні адаптуватися до майбутніх змін. Крім того, принцип прогностичності дозволяє враховувати можливі зміни енергоспоживання будівель у майбутньому. При моделюванні біокліматичних систем враховується прогноз зміни цін на енергоносії, технологічні інновації та зміни у споживчій поведінці, що дозволяє створювати об'єкти дизайну з урахуванням майбутніх потреб та економічних факторів. При моделюванні ландшафтного дизайну з використанням цього принципу враховуються можливі зміни в рельєфі місцевості, гідрологічному режимі та рослинному покриві, що дозволяє створювати ландшафти, здатні адаптуватися до кліматичних змін. У дизайні одягу та взуття враховується зносостійкість матеріалів. Отже, у контексті біокліматичного моделювання в дизайні, використання принципу прогностичності є ефективним. Але слід відзначити, що прогнозування завжди пов'язане з певною мірою невизначеності. Тому важливо розробляти моделі, які дозволяють оцінювати ризики та невизначеність. Можна використовувати різні сценарії майбутнього для оцінки стійкості біокліматичних систем.

*Принцип цілісності* передбачає розгляд біокліматичної системи як єдиного цілого, що сприяє створенню комплексних моделей та дозволяє більш точно прогнозувати зміни та оптимізувати дизайн при біокліматичному моделюванні.

Принцип цілісності дозволяє враховувати емерджентні властивості системи - властивості, що виникають у результаті взаємодії елементів системи і які неможливо пояснити ізольовано окремими компонентами. Ці властивості є результатом синергії (посилення) взаємодії між елементами системи і вони виявляються лише на рівні всієї системи, а не на рівні окремих компонентів.

Емерджентні властивості системи є важливим аспектом при вивченні та моделюванні складних систем, оскільки вони відображають унікальні властивості та характеристики системного цілого, які не можуть бути пояснені ізольовано окремими компонентами. Емерджентні властивості системи, такі

як колективна поведінка, самоорганізація та поява нових властивостей, проявляються у різних аспектах природи, від колективного руху тварин до формування стійких екосистем. Наприклад, урбаністика має враховувати емерджентні властивості міського середовища, такі як кліматичні особливості та їх вплив на здоров'я мешканців. Це дозволяє створювати стійкіші та комфортніші міські простори. При використанні рішень дизайну при біокліматичному моделюванні, об'єкт дизайну може набути нові властивості, які не могли бути досягнуті окремими рішеннями.

*Принцип ієрархічності.* Використання системного підходу, заснованого на принципах ієрархічності передбачає розбиття системи на рівні та підсистеми для більш детального вивчення, що дозволяє розглядати біокліматичну систему на різних рівнях організації, починаючи від мікрорівня (наприклад, взаємодія окремих рослин із кліматичними умовами) до мезорівня (наприклад, вплив забудови на міський клімат загалом). Принцип ієрархічності дозволяє враховувати багаторівневу організацію біокліматичних систем, від укрупнених макрокліматичних показників до фонових умов – мезоклімату з подальшим уточненням на рівні оцінки локальних даних, а також взаємодію цих рівнів між собою. Такий варіант відповідає вертикальній ієрархії, що відображає вкладеність систем одна в одну. При цьому зміни на одному рівні можуть впливати на всі інші рівні. Розбиття системи на підсистеми спрощує її аналіз і управління.

Горизонтальна ієрархія відображає паралельне існування різних елементів на одному рівні. Наприклад екосистема лісу: на рівні рослинності існують дерева, чагарники, трави, мохи. Горизонтальна ієрархія відображає різноманітність елементів системи і їх взаємодію. Коли збалансоване співвідношення різних елементів забезпечує стійкість системи. Наприклад, при проектуванні ландшафту з використанням цього принципу враховується вплив рельєфу місцевості на мікроклімат, водовідвідну систему, рослинний покрив і взаємодію з оточуючими екосистемами, що дозволяє створювати ландшафти, здатні адаптуватися до кліматичних умов, що змінюються. Отже,

принцип ієрархічності дозволяє аналізувати взаємозв'язки та залежності між різними елементами біокліматичної системи, для більш ефективних та адаптивних рішень дизайну.

Підсумовуючи слід зазначити, що інтеграція системного підходу у біокліматичне моделювання є перспективним напрямом, що відповідає сучасним екологічним та енергетичним викликам. Цей підхід пропонує комплексну структуру для аналізу складних систем, що дозволяє отримати цілісне розуміння взаємодії між різними компонентами та їх середовищем, забезпечуючи ефективний аналіз структури об'єкту дизайну та вимог до його функціонування. Залучення знань з різних дисциплін сприяє створенню стійких проєктних рішень, які адаптуються до локальних природно-кліматичних умов. Крім того, системний підхід стимулює розвиток нових методів і технологій у галузі, що підвищує інноваційність дизайну.

Представлене дослідження основних принципів системного аналізу надає можливість для подальшої розробки конкретних інструментів і методологій для впровадження системного підходу в біокліматичному моделюванні, таких як програмне забезпечення для моделювання, системи прийняття рішень і інструменти оцінки. Дослідження інтеграції нових технологій, таких як інформаційне моделювання будівель (BIM) і штучний інтелект, із системним проєктуванням може привести до більш просунутих підходів, що керуються даними в інформаційному середовищі. Таким чином, результати дослідження можуть слугувати основою для подальшого розвитку стійких проєктних рішень, що враховують складність сучасного середовища та потреби суспільства для різних об'єктів дизайну.

### **3.2. Інтерпретація класифікації дизайн-об'єктів в рамках біокліматичного моделювання**

Одним із ключових аспектів наукової новизни, що розглядається в межах представленого дослідження, є використання біокліматичного

моделювання у сучасному дизайні для врахування кліматичних умов та природних ресурсів при розробці дизайн-концепцій різних об'єктів дизайну. Дизайн, який на сьогодні охоплює різні галузі — від промислового до архітектурного, — має враховувати вплив своєї діяльності на довкілля. З огляду на це, класифікація дизайн-об'єктів стає важливим інструментом для систематизації проєктної діяльності та впровадження біокліматичних принципів у практику. [57] Розуміння особливостей різних типів дизайн-об'єктів дозволить підбирати оптимальні біокліматичні рішення для кожного конкретного випадку. Це, в свою чергу, сприятиме вдосконаленню дизайнерської практики та розвитку нових підходів до створення стійких та екологічних продуктів і середовищ.

Сучасний дизайн як явище має своє коріння у промисловій революції XIX століття, коли почали впроваджуватись принципи функціональності та естетики при масовому виробництві товарів. У XX столітті дизайн став самостійною професією, а з розвитком технологій та культурних течій формувались різноманітні стилі та напрямки у дизайні. Сучасний дизайн охоплює різні галузі: від промислового та графічного дизайну до дизайну інтерфейсів, моди, архітектури та навіть комп'ютерних сервісів. Розмаїття видів сучасного дизайну пов'язане з його «експансією» у найрізноманітніші галузі та сфери людської діяльності. У цьому контексті виникає питання класифікації дизайну як системи проєктної діяльності. Згідно досліджень [39, 41] класифікація видів дизайну визначається спрямованістю проєктної діяльності на певну об'єктну галузь. Під об'єктом розуміється сукупність предметів матеріального світу, що об'єднуються тією чи іншою конкретною специфікою, внаслідок чого виділяються наступні основні види дизайну: дизайн середовища, промисловий дизайн, графічний дизайн (Додаток 3, табл. 3.2.1.)

Розглянемо більш детально основні види дизайну за об'єктною направленістю.

*Середовищний дизайн* — передбачає розробку рішень дизайну із створення фізичного середовища чи простору навколо людини, що поєднує в собі функціональність, естетику, зручність і безпеку для користувачів. Це робота з урбаністичним і природним середовищем, прибудинковими територіями, терасами, виробничими та житловими інтер'єрами (Додаток 3, табл. 3.2.1, рис. 3.2.1 а - в). Середовищний дизайн передбачає як функціонально-естетичне вирішення дизайну середовища так і його предметне наповнення (меблі, додаткові конструкції, елементи освітлення, декоративно-прикладне оздоблення тощо). Згідно з [31], дизайн середовища — найбільш містка сфера проєктної діяльності, що інтегрує різноманітні прояви творчості: архітектуру і пластичне мистецтво, графічний і промисловий дизайн, моду і сценографію.

Об'єкти середовищного дизайну включають як просторові (архітектурні) так і предметні (дизайнерські) складові, що існують в концептуальній єдності та цілісності. Слід відзначити, що згідно з [45], дизайн архітектурного середовища принципово відрізняється від середовищного дизайну, а саме об'єктами, предметами, макро- і мікрорівнями організації проєктної діяльності. Якщо середовищний дизайн концентрується на розробці і реалізації концепції формування предметного оточення людини в попередньо прийнятих архітектурно-містобудівних рішеннях, то сутність дизайну архітектурного середовища полягає у синхронізованому пошуку і синтезуванні загальної концепції й організації архітектурного простору з концепцією його обладнання в єдиному просторово-предметному середовищі.

Згідно з [2, 24] об'єкти архітектурного середовища визначаються функціональними властивостями, типами діяльності людини:

- міське середовище, що включає громадські простори міста, об'єкти, що належать до інфраструктурних функціональних систем (транспорт, міських служб, спілкування і торгівлі);
- житлове середовище;
- виробниче середовище;

- рекреаційне середовище.

Простори архітектурного середовища виступають в якості об'єктів для середовищного дизайну. Розуміння якостей середовища для архітектурно-дизайнерській діяльності знаходиться в площині відкритого (екстер'єрного) середовища, тобто простору без покриття чи даху та закритого (інтер'єрного) – простору приміщення. [2] Отже, ці форми середовища відрізняються ступенем відкритості до природного середовища, що відповідає усталеному вже розподілу дизайну середовища на зовнішній та внутрішній дизайн. Новітнім трендом сучасного дизайну є розробка штучного (віртуального) середовища при розробці комп'ютерних ігор чи у кіноіндустрії тощо.

*Промисловий дизайн (індустріальний дизайн)* - це область дизайну, що займається створенням продуктів та об'єктів масового виробництва з урахуванням їхньої функціональності, ергономіки, естетики та виробничої технології (Додаток 3, табл. 3.2.2, рис. 3.2.2. а - в). Мета промислового дизайну – розробити продукти, які будуть зручні у використанні, привабливі для споживачів та ефективні у виробництві. Промислові дизайнери працюють над формою, матеріалами, кольорами та іншими аспектами продукту, щоб створити кінцевий продукт, який відповідає потребам ринку та користувачів. До основних об'єктів промислового дизайну відносяться:

- Предмети побуту та повсякденного вжитку (одяг, взуття, меблі та обладнання, елементи інтер'єрів та екстер'єрів, іграшки, посуд, електрообладнання, освітлювальне обладнання тощо);
- Транспортні засоби (наземний, повітряний, водний/підводний тощо);
- Об'єкти реклами (рекламні щити, білборди, лайтбокси, призматрони, штендери, системи візуальних комунікацій тощо);
- Обладнання для людей з обмеженими можливостями (пристосування для інвалідів, людей похилого віку, дітей);
- Технологічне чи виробниче устаткування (верстати та інші елементи устаткування виробничого середовища).

Як зазначається [23], у зв'язку із розвитком технологій промисловий дизайн тісно пов'язаний з моделюванням на основі комп'ютерних програм та сучасних засобів роботи з інформаційним середовищем.

*Графічний дизайн* – це процес проектування та створення засобів візуальної комунікації. Він включає використання графічних елементів, таких як зображення, кольори, шрифти і макети для передачі певного повідомлення або концепції для цільової аудиторії. Основна мета графічного дизайну – створення візуально-інформативної комунікації між графічним об'єктом і аудиторією, щоб ефективно передати інформацію або викликати певні емоції у глядача за допомогою візуальних засобів (Додаток 3, табл. 3.2.1, рис. 3.2.3).

Графічний дизайн застосовується у різних напрямках, таких як:

- книжкові макети та ілюстрації;
- графічне рішення листівок та поштових марок;
- корпоративний стиль компанії і його основний елемент – логотип;
- рекламна поліграфічна продукція (буклети, брошури, календарі);
- упаковки, етикетки, обкладинки;
- сувенірна продукція;
- веб-дизайн.

Існування різних видів дизайну (середовищного, промислового, графічного) та його подальше поширення на всі області діяльності сучасної людини стає рушійною силою при формуванні оточуючого середовища. Разом з різноманітністю видів дизайну слід відзначити, що дизайн проявляє себе як цілісна проектна система, що впливає на формування як штучних об'єктів так і на природне оточення.

Визначення проектного підходу в класифікації дизайну уточнює специфіку та взаємодію аналітичних (одномірних) та синтезуючого (багатомірного) підходів до формування об'єктів дизайну. Саме аналіз окремих аспектів проектного підходу представляє та розкриває дизайн як потенційно багатовимірну, складну, відкриту, динамічну систему. Дослідження дизайну як системи проектних практик, дозволяє

зосереджуватись не тільки на об'єктах дизайну, але і проаналізувати їх зв'язок чи вплив на них природного середовища в процесі проектування. Прикладом такого підходу є розвиток екологічного дизайну та біокліматичного моделювання об'єктів дизайну, що дозволяє не замикатись в проблематиці створення штучних об'єктів, але й активно розвивати питання взаємодії об'єктів дизайну із природним середовищем.

Різні аспекти проектного підходу розглядаються в дослідженнях [12, 15, 46] при створенні об'єктів екодизайну, а в [20, 180] - при формуванні біокліматичних рішень об'єктів архітектури. В зазначених дослідженнях пропонується для отримання оптимального рішення об'єктів екодизайну та при біокліматичному моделюванні враховувати параметри природно-кліматичного середовища. Але в означених вище дослідженнях та запропонованих в них підходах досліджуються лише об'єкти архітектури та будівництва, що, враховуючи широке розповсюдження дизайну для різних областей діяльності людини, потребує додаткового аналізу для інших видів дизайну. Необхідність розвитку біокліматичного моделювання в різних галузях дизайну (промисловий, середовищний, графічний) впливає з безлічі дизайнерських практик. Ці практики свідчать про те, що дизайн є цілісною проектною системою, заснованою на сутнісному проектному сенсі, що активно впливає на формування та перетворення як штучних, так і природних об'єктів. Дизайн стає ключовою силою, що визначає довкілля людини, символізуючи перетворення реальності у різноманітних аспектах.

Сучасний дизайн тісно взаємодіє з навколишнім природним середовищем, а процеси створення штучних об'єктів та їх вплив на природні об'єкти стають все більш взаємопов'язаними, що можна назвати "міжпроцесною дифузією". Ці процеси мають напрямки, які можна визначити як природно-об'єктний дизайн та штучно-об'єктний дизайн. Між цими двома провідними напрямками на рівні міжвидової взаємодії можуть виникати окремі «проміжні» чи «дифузні» об'єкти дизайну, які виявлятимуть себе як штучні та природні об'єкти в сукупності (рис. 3.2.4). Такий підхід дозволяє

групувати різні види дизайну всередині цих напрямів, що може формувати певні теоретичні аспекти дизайну в рамках біокліматичного моделювання.

Таким чином, при формуванні рішень екодизайну та біокліматичному моделюванні уточнення класифікації об'єктів дизайну визначається рівнем взаємодії з природним середовищем в їх матеріально-предметному та функціонально-процесуальних проявах. Розглянемо більш детально на прикладі середовищних об'єктів дизайну, що формують упорядковану сукупність різноманітних предметно-просторових структур. Середовищні об'єкти дизайну можуть відноситись як до природно-об'єктного дизайну (ландшафтний дизайн); штучно-об'єктного дизайну (віртуальне середовище у гейм-дизайні) так і до дифузно-об'єктного дизайну (середовище при формуванні інтер'єрного простору). Запропонований підхід дає можливість визначити глибину аналізу природно-кліматичних чинників та їх впливу при біокліматичному моделюванні широкого кола об'єктів дизайну.



Рис. 3.2.4 Схема рівня взаємодії з природним та штучним середовищем при формуванні різних об'єктів дизайну (розроблено автором)

Розглянемо більш детально на прикладах.

*Природно-об'єктний дизайн* відзначається максимально можливим, навіть до 100% рівнем взаємодії з природним середовищем, де практично відсутні штучні елементи дизайну. Прикладом цього є формування ландшафтного середовища традиційного пейзажного саду у китайському стилі, Додаток 3, табл. 3.2.2. Ландшафтний дизайн є важливою складовою культури Китаю, відображаючи його філософію та повсякденне життя. Вплив фен-шуй виявляється у створенні гармонії між елементами природи, рослинами та людиною. Сади в «китайському» стилі традиційно розташовували навколо великих храмів, де природа мала величезне значення. Релігії, такі як даосизм і конфуціанство, поклонялися земним стихіям, що відобразилося у філософській концепції фен-шуй. [50, 51]

Сади в «китайському» стилі можуть бути різноманітними: пейзажний сад призначений для спокійного спостереження, філософський сад сприяє налаштуванню на піднесений лад, домашній сад огорожений бамбуковою або кам'яною огорожею. Крім того, існують сади «настрою» та сади повної ідилії з великою водоймою та островом. У «китайських» садах визначальне значення має природність середовища та гармонія з природою, що ґрунтується на унікальності природи та філософському значенні рослин, що і відображається у функціонально-процесуальному прояві дизайну. Так, рослини розташовуються довільно, але їх вибір має символічне значення. Символічне значення виконують ширми з природних елементів. [50] Щодо матеріально-предметного прояву у дизайні, то всі садові споруди виготовляють виключно з натуральних матеріалів, таких як дерево та камінь, бамбук тощо, дотримуючись природної гармонії саду.

*Штучно-об'єктний дизайн* визначається мінімальним рівнем взаємодії з природним середовищем в матеріально-предметному та функціонально-процесуальних проявах, що може проявлятися лише опосередковано (через досвід та уяву розробника дизайну). Прикладом штучно-об'єктного дизайну є розробка віртуального середовища в ігровому дизайні (Додаток 3., табл. 3.2.3,

рис. 3.2.5). Слід відзначити, що інтенсивний розвиток віртуальної реальності трансформує галузі такі як освіта, охорона здоров'я та архітектура, розваги тощо. [54] За різними оцінками прогнозована ринкова вартість цього напрямку до 2027 року перевищить 70 мільярдів доларів, що свідчить про постійний інтерес споживачів та бізнесу. У сфері відео та комп'ютерних ігор, що постійно розвивається, одним з найбільш важливих елементів, що захоплює гравців, є мистецтво дизайну ігрового середовища, що служить фоном для пригод гравців, створюючи відчуття місця, атмосфери (рис.3.2.5).

Формування віртуальних світів у гейм-дизайні - це складний процес, що потребує детального планування, інновацій та технічних знань. Ігровий дизайн поєднує мистецтво і технології, перетворюючи творчі ідеї на інтерактивний досвід. Художнє бачення визначає естетику, атмосферу та сюжет гри, дозволяючи передавати емоції, залучати гравців і створювати незабутні враження. Важливою мотивацією для участі у відеоіграх є можливість уникнути реальності й поринути в альтернативний віртуальний світ. У цьому контексті дизайн середовища грає ключову роль, надаючи гравцям основу для дослідження і взаємодії з ним. Добре продумане штучне середовище стимулює гравців досліджувати кожен куточок у віртуальній реальності, знаходити скарби та розкривати секрети. Наявність складних деталей та інтерактивних елементів посилює враження занурення, що спонукає гравців вкладати більше часу та енергії у гру. При цьому як на матеріально-предметному так і функціонально-процесуальному прояві розробка віртуального середовища є штучним об'єктом дизайну, що розвивається на основі та завдяки технологіям. Наприклад, дизайн інтерфейсу користувача (UI) грає важливу роль у навігації та взаємодії з віртуальним світом. Поява нових технологій VR (віртуальної реальності) забезпечує залучення до сприйняття штучного світу таких почуттів як зір, звук та дотик для відчуття реалістичного досвіду у дизайні. [54, 55]

*Дифузно-об'єктний дизайн*, що виникає між двома провідними напрямками (штучного та природного об'єктного дизайну) на рівні

міжвидової взаємодії як окремі «проміжні» чи «дифузні» об'єкти дизайну, може бути у більшій чи меншій мірі наближеним до природного середовища. Відповідно і формування рішень дизайну при біокліматичному моделюванні може бути більш чи менш пов'язаним з природним середовищем. Як приклад такої взаємодії розглянемо створення інтер'єру середовища павільйону Бразилії на всесвітній виставці Expo Dubai у 2020 році, Додаток 3, таблиця 3.2.4.

При розробці павільйону Бразилії на Expo 2020 архітектори та дизайнери (Ben-Avid, JPG.ARQ, MMBB Arquitetos) створили публічний простір центром, що черпає свій поетичний мотив із річки Ріо-Негро у басейні Амазонки. У своєму функціонально-процесуальному прояві таке рішення дизайну пов'язано із візуалізацією природи та культури Бразилії, що орієнтована як на збереження, так і на стійке майбутнє за допомогою технологій (Додаток 3, таблиця 3.2.4., рис. 3.2.6).

Павільйон захищений сталеву конструкцією та непрозорою брудовідштовхувальною тканиною Precontrant від Serge Ferrari на яку проєктується відео, що створює захоплюючу атмосферу змінних зображень, звуків та ароматів на воді та представляє водні ресурси Бразилії як місце народження життя та природної спадщини (Додаток 3, таблиця 3.2.4., рис. 3.2.6 а, б). Вода використовується не тільки як центральна тема уваги, але і як матеріально-предметний прояв дизайну, основою якого стала поверхня підлоги із чорного, відшліфованого, протиковзкого бетону покрита тонким шаром води забезпечуючи відвідувачам комфорт у спекотному кліматі Дубаї (Додаток 3, таблиця 3.2.4., рис. 3.2.6 в, г).

Підсумовуючи слід зазначити, що розвиток біокліматичного моделювання в дизайні обґрунтовується необхідністю врахування природно-кліматичних чинників при розробці різних об'єктів дизайну, якщо вплив цих чинників є необхідним для забезпечення проєктних вимог до об'єкту дизайну. Сучасний дизайн поширюється на всі галузі та сфери проєктної діяльності, що активно впливає на формування та перетворення як штучних, так і природних

об'єктів дизайну. У дослідженні запропоновано уточнення класифікації об'єктів дизайну, що ґрунтується на аналізі рівня його взаємодії з природно-кліматичним середовищем в матеріально-предметному та функціонально-процесуальних проявах через визначення об'єктів дизайну до природно-об'єктного чи штучно-об'єктного дизайну, які можуть взаємодіяти між собою, створюючи дизайн дифузних чи природно-штучних об'єктів. Запропонована концепція складає основу інтерпретації класифікації дизайн-об'єктів в рамках біокліматичного моделювання, його подальшого теоретико-практичного аналізу та розвитку.

### **3.3. Формування інформаційної системи даних для оптимізації прийняття рішень при біокліматичному моделюванні**

Люди у сучасному світі живуть у взаємодії з великою кількістю даних із різних областей знань, а інформація є ключовим ресурсом для прийняття рішень. Відсутність системи при роботі з інформацією призводить до хаосу та складності у її використанні. Для досягнення максимальної ефективності необхідно не лише отримувати дані, а й аналізувати їх для прийняття обґрунтованих рішень. Формування системи даних для оптимізації прийняття рішень при біокліматичному моделюванні дозволить ефективно використовувати наявну інформацію для створення сталих та комфортних об'єктів дизайну.

Як вже відзначалось, біокліматичне моделювання у дизайні фокусується на створенні дизайн-об'єктів, які максимально ефективно використовують кліматичні умови та супутні природні ресурси для забезпечення їх оптимальної адаптації. При біокліматичному моделюванні до уваги приймається значна кількість даних: природно-кліматичних (сонячна радіація, вітер, температура та вологість тощо), а також даних, що визначають проєктні вимоги щодо формування рішень об'єктів дизайну (планувальні, візуальні, технологічні та конструктивні, економічні тощо). Відповідно, при

біокліматичному моделюванні має бути організована ефективна взаємодія з великою кількістю даних та інформації, якими володіє широке коло спеціалістів, що може бути представлено у вигляді інформаційної системи.

Для формування інформаційної системи визначимо підходи, що допоможуть структурувати та систематизувати дані від спеціалістів, об'єднати та вказати напрямки біокліматичного моделювання, спираючись на вихідні умови, мету та завдання до об'єкту дизайну. Проведемо дослідження із визначення інформаційних систем для об'єктів дизайну, що може слугувати універсальним джерелом інформації, стратегій та рішень для їх швидкого узгодження, впровадження або оновлення. Відповідно визначимо, що інформаційна система біокліматичного моделювання об'єкту дизайну — це комплексний набір елементів, інструментів, принципів для управління та масштабування, спрощення та оптимізації робочих процесів, в першу чергу для розробників та дизайнерів.

Враховуючи значний масив інформації, що потребує опрацювання при біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну, створювати від початку повну інформаційну систему дизайну нерационально. Більш доцільно працювати з базовою інформаційною системою, щоб зрозуміти з чого розпочати формування рішень біокліматичного моделювання, ґрунтуючись на попередньому аналізі вихідної інформації. Важливо передбачити на самому початку біокліматичного моделювання можливу структуру вихідних даних, напрямків, підходів для пошуку варіантів рішень дизайну. Отже, базова інформаційна система передбачає попередній збір інформації, що може допомогти зрозуміти з чого розпочати роботу при біокліматичному моделюванні об'єкта дизайну, задати логічний фундамент для майбутнього масштабування та розширення первинної ідеї ( рис. 3.3.1). Після збору даних у базовій інформаційній системі необхідно провести її аналіз, використовуючи різноманітні сучасні інструменти та методи аналізу даних. Аналітика допомагає отримувати цінні інсайди для прийняття рішень щодо розробки стратегії біокліматичного моделювання. Визначення ключових метрик

допоможе відслідковувати ефективність роботи з інформацією, щоб вибудувати логічну інформаційну систему.

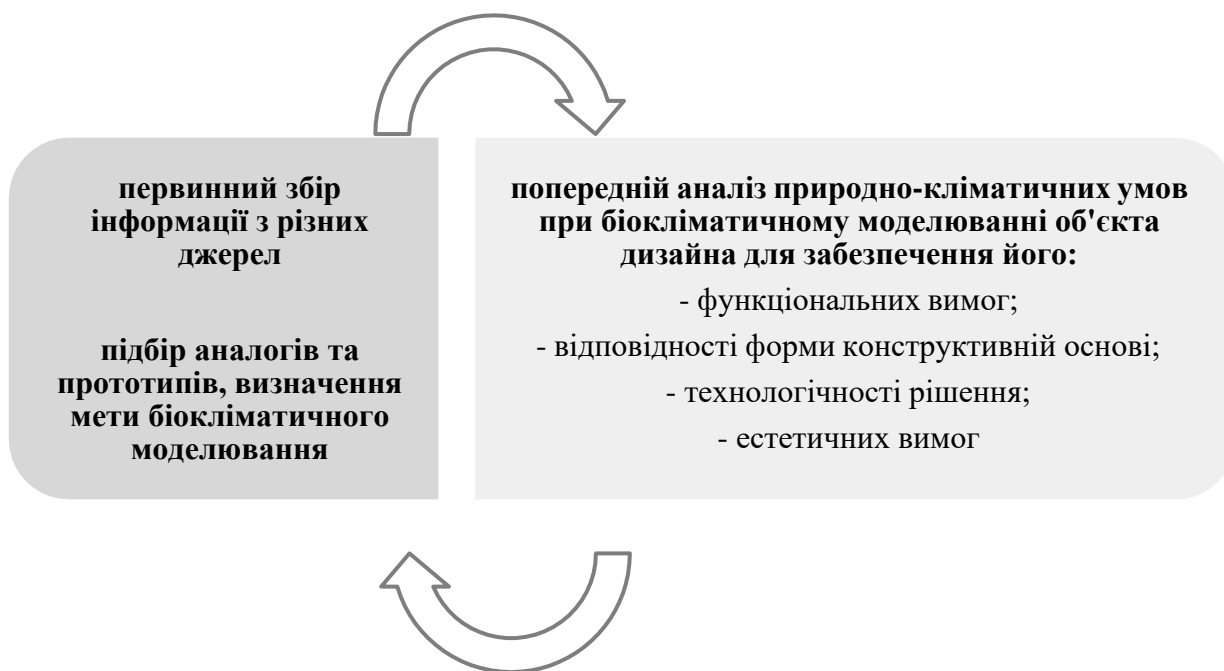


Рис.3.3.1. Схема базової інформаційної системи для початку біокліматичного моделювання об'єктів дизайну (розроблено автором)

Отже, наступний етап це формування повної інформаційної системи для визначення ключових показників при біокліматичному моделюванні об'єкту дизайну. Метою створення повної інформаційної системи є забезпечення узгодженості та ефективності дизайну, допомога у структуруванні та систематизації вихідної інформації від експертів, яка буде закладена у фінальні рішення при біокліматичному моделюванні об'єкта дизайну. Досягнення мети біокліматичного моделювання об'єкта дизайну, яку визначено на етапі роботи з базовою інформаційною системою потребує подальшого збору та аналізу інформації щодо засобів її реалізації. Для чого необхідно зібрати дані щодо: формування складу команди експертів, а також вибору засобів реалізації, збору та деталізації інформації необхідної для біокліматичного моделювання об'єкта дизайну (рис. 3.3.2). Розглянемо більш детально.

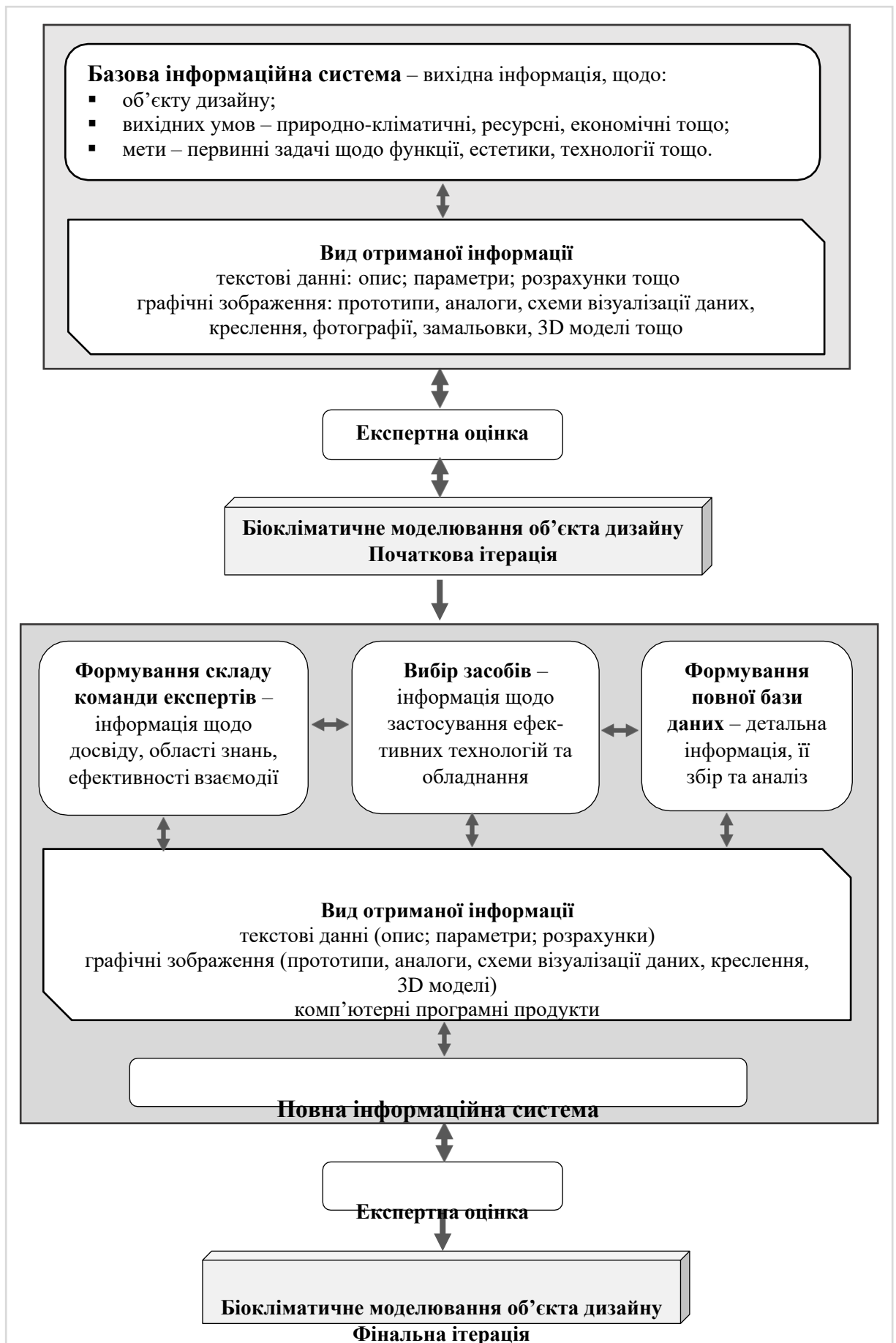


Рис.3.3.2. Загальна схема формування інформаційної системи при біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну (розроблено автором)

Різноманітність та різноплановість параметрів при біокліматичному моделюванні визначає потребу у формуванні мультидисциплінарної команди експертів для вирішення складних задач дизайну. Враховуючи широкий спектр напрямів сучасного дизайну існує потреба для взаємодії різних експертів при роботі з природно-кліматичними параметрами для формування рішень при біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну.

Структурування інформації щодо складу команди експертів та їх компетенцій, сприятиме налагодженню процесу взаємодії між експертами, що має забезпечити: наповненість якісною інформацією при біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну, визначення часових та економічних факторів розробки рішень дизайну, узгодженість, ефективність, гнучкість всередині мультидисциплінарної команди.

Отже, мета обробки інформації щодо команди розробників та експертів, полягає в оптимізації необхідної кількості рішень та інформації від експертів та розробників, які потрібно отримувати для швидкого та ефективного переходу від ідей до результатів дизайну в процесі біокліматичного моделювання.

Іншим важливим аспектом є використання сучасних технологій та програмного забезпечення для біокліматичного моделювання. Спеціалісти команди формують інформацію щодо вибору ефективних засобів, технологій та обладнання для вирішення поставлених задач в ході біокліматичного моделювання об'єктів дизайну. Наприклад, за допомогою спеціалізованих програмних засобів можна більш ефективно створювати точні тривимірні моделі, аналізувати кліматичні параметри, оптимізувати енергоспоживання та передбачати вплив дизайну на довкілля тощо. [82]

В інформаційній системі важливою складовою є робота з вихідними даними та інформацією, що визначатиме рівень якості біокліматичного моделювання. [58] Якщо даних буде не вистачати, вони будуть помилковими, неточними, чи вони будуть не систематизовані, наслідком буде розробка об'єкту дизайну, що не відповідатиме визначеним до нього вимогам. Усе

зазначене має бути враховано при роботі з вихідною інформацією та формуванні повної системи даних (рис. 3.3.3).

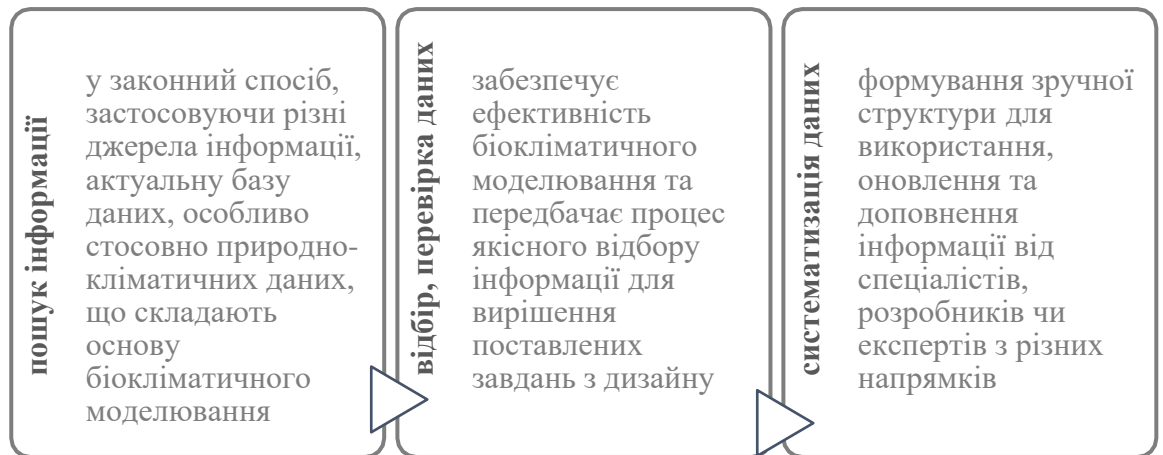


Рис. 3.3.3. Схема роботи з вихідною інформацією при формуванні повної інформаційної системи даних (розроблено автором)

Зрозуміло, що представлений підхід до формування базової та повної інформаційної системи при біокліматичному моделюванні носить узагальнений характер та потребує наповнення та коригування відповідно до характеристик об'єкту дизайну, вимог до біокліматичного моделювання, рівня врахування природно-кліматичних факторів впливу. При цьому розробка інформаційної системи для завдань біокліматичного моделювання вимагає врахування специфіки даних та потреб користувачів. Оптимізація прийняття рішень біокліматичного моделювання при застосуванні інформаційної системи даних передбачає:

1. Розробку алгоритмів взаємодії між різними компонентами системи даних, які визначають способи взаємодії між різними компонентами інформаційної системи. Наприклад, це може включати алгоритми обробки й аналізу даних, алгоритми передачі та обміну даними між компонентами, а також алгоритми визначення пріоритетів та управління потоками інформації.

2. Використання інформаційної системи для аналізу впливу отриманих даних на якість прийнятих рішень з біокліматичного моделювання. Наприклад, можна оцінити, як зміни в одному компоненті системи даних впливають на результати, отримані в інших компонентах. Це може допомогти виявити оптимальні стратегії взаємодії для досягнення кращих результатів.
3. Дослідження на практичних прикладах оптимізації прийняття рішень біокліматичного моделювання з використанням взаємодії інформаційної систем даних.

Таким чином, інформаційна система даних може бути використана для оптимізації прийняття рішень шляхом розробки ефективних алгоритмів взаємодії між компонентами та аналізу їх впливу на якість прийнятих рішень. У результаті формування інформаційної системи даних та їх взаємодії для оптимізації прийняття рішень стає можливим виявлення ключових факторів, що впливають на ефективність біокліматичного моделювання. Це дозволяє перейти до визначення критеріїв оцінки варіантів дизайн-об'єктів, що забезпечить систематизований підхід до аналізу успішності реалізованих рішень.

#### **3.4. Критерії оцінки варіантів рішень біокліматичного моделювання дизайн-об'єктів**

У ході дослідження при біокліматичному моделюванні виникає необхідність порівняння та оцінки варіантів розроблених рішень. Для цього можуть застосовуватись певні характеристики чи критерії оцінювання (*K*). Критерії оцінювання визначають рівень якості або ефективності запропонованих варіантів рішень в контексті завдань біокліматичного моделювання, де якість біокліматичного моделювання об'єкта дизайну – це сукупність властивостей, які дозволяють задовольнити наперед задані потреби користувачів відповідно із призначенням об'єкту дизайну з урахуванням впливу природно-кліматичних параметрів. Ефективність, визначається як

здатність запропонованого рішення біокліматичного моделювання досягати поставлених цілей з необхідним рівнем якості та результативності. Формування критеріїв оцінки ефективності біокліматичного моделювання є завданням експертів, які спираючись на свої знання встановлюють чи корегують їх перелік.

Визначення критеріїв оцінки варіантів біокліматичного моделювання дизайн-об'єктів є важливим і складним аспектом дослідження. Критерії дозволяють оцінити ефективність створення та впровадження рішень біокліматичного моделювання, що забезпечують врахування та оптимізацію впливу умов навколишнього середовища в дизайні.[86] Згідно із дослідженням [17], критерій – це система найбільш істотних ознак, що відображує не весь досліджуваний об'єкт, а лише ті його сторони, що відповідають меті дослідження й підлягають якісно-кількісній інтерпретації. Тому кожен критерій включає набір індикаторів, які визначають його як якісно, так і кількісно. Індикатор ( $I$ ) – це певна величина або характеристика критерію, що є мірою його вираження (кількісною або якісною характеристикою), за якою можна оцінити різні стани об'єкта.[86]

Як вже зазначалось, впровадження біокліматичного моделювання для різних об'єктів в сучасному дизайні дає можливість поєднати в собі актуальні тренди в галузі сталого розвитку, принципи біокліматичного підходу та сучасні технології, що забезпечить розвиток інноваційних та екологічно стійких рішень дизайну, які відповідатимуть викликам сучасного світу та сприятимуть розвитку сталого суспільства. Тому, представимо добір критеріїв відповідності рішень вимогам біокліматичного моделювання об'єктів дизайну, які включають, але не обмежуються критеріями, що представлені на рис. 3.4.1.

Розглянемо кожний з критеріїв більш детально з визначенням відповідних переліку індикаторів до них.



Рис. 3.4.1. Схема добору критеріїв відповідності рішень об'єктів дизайну вимогам біокліматичного моделювання (розроблено автором)

Розглянемо кожний з критеріїв більш детально з визначенням відповідних переліку індикаторів до них.

*Адаптація до клімату (K<sub>1</sub>)* – в основу біокліматичного моделювання покладено врахування впливу та зміни клімату на макро-, мезо- та мікрорівнях для адаптації об'єктів дизайну до природно-кліматичних умов оточуючого середовища. [20] Слід відзначити, що багаторівневе розуміння клімату (макроклімат, мезоклімат, мікроклімат) робить оцінку біокліматичного моделювання більш комплексною і релевантною для реальних умов. Для кількісної та якісної оцінки наскільки об'єкт дизайну добре адаптований до кліматичних умов пропонується включити індикатори – конкретні показники, які відображають різні аспекти адаптації. Оскільки критерій "Адаптація до клімату" є досить широким, пропонується розглянути групи індикаторів, кожна з яких охоплює певний аспект взаємодії об'єкта з кліматичними умовами, враховуючи не лише статичні характеристики, а й динамічні процеси

та взаємодії (Додаток 3, табл.3.4.1). Запропоновані індикатори  $I_1$  дозволяють оцінити адаптацію різних об'єктів дизайну до клімату.

Наприклад, біокліматичне моделювання дизайну одягу передбачає створення таких моделей, що не лише відповідають сучасним естетичним вимогам, але й забезпечують оптимальний комфорт людини в мінливих кліматичних умовах, що ґрунтується на аналізі індикаторів впливу кліматичних параметрів на мікрорівні  $I_1^3$  з урахуванням динамічних процесів ( $I_1^4$ ), а саме:

- *Температура повітря* передбачає забезпечення в рішеннях одягу теплового комфорту при врахуванні зміни температура поверхні тіла, швидкості випаровування поту, відчуття холоду або спеки.
- *Вологість повітря.* Завданням біокліматичного моделювання є забезпечення оптимальної швидкості висихання тканини одягу, здатності до абсорбції вологи для формування сухого мікроклімату навколо тіла, запобігання переохолодження;
- *Вітровий режим* – критерій оцінки забезпечення вентиляції, запобігання перегріву, повітряпроникності (швидкість проходження повітря через тканину одягу).
- *Адаптаційна здатність* – це можливість змінювати характеристики одягу (наприклад, відстібати рукави, змінювати шарівність) для забезпечення комфорту в діапазоні змін кліматичних параметрів.

Отже, застосування біокліматичних принципів при моделюванні різних об'єктів дизайну сприяє створенню ефективних рішень, які гармонійно взаємодіють із природою та навколишнім середовищем. Відповідно із обраним об'єктом дизайну та завданням біокліматичного моделювання перелік індикаторів  $I_1$  критерію  $K_1$  можна уточнювати та змінювати.

Підсумовуючи зазначимо, що використання критерію «Адаптація до клімату»  $K_1$  в процесі біокліматичного моделювання є основою для розробки більш стійких, екологічних, енергоефективних, естетичних та функціональних складових рішень об'єктів дизайну, що включені в перелік критеріїв  $K_2, K_3, K_4$ .

*Екологічна стійкість ( $K_2$ )* – в контексті біокліматичного моделювання передбачає оцінку того, наскільки дизайн-об'єкт відповідає принципам збереження навколишнього середовища. Він включає в себе зменшення негативного впливу на довкілля, зниження викидів шкідливих речовин, формування екологічно стійких дизайн-рішень.

Наприклад, при розробці рішень ландшафтного дизайну можна використовувати біокліматичні принципи для вибору рослинності з метою збереження екосистеми. Використання екологічно чистих місцевих та пристосованих до умов оточуючого середовища матеріалів та технологій при розробці об'єктів промислового дизайну чи пакування сприятиме зниженню викидів та відходів. Оскільки критерій  $K_2$  "Екологічна стійкість" є досить широким, пропонується виділити групу індикаторів  $I_2$  представлених у Додатку 3, табл. 3.4.2.

Вибір зазначених у таблиці 3.4.2 (Додаток3) індикаторів критерію  $K_2$  обумовлений тим, що вони дозволяють комплексно оцінити екологічну стійкість дизайн-об'єкта при біокліматичному моделюванні. Індикатори враховують як прямі, так і непрямі впливи на навколишнє середовище. Важливо зазначити, що вага кожного індикатора при оцінюванні критерію  $K_2$  може відрізнитись залежно від завдання біокліматичного моделювання об'єкту дизайну. Наприклад, в регіонах з проблемою забрудненості оточуючого середовища відходами індикатор  $I_2^3$  буде мати більшу вагу ніж інші індикатори критерію  $K_2$ . Формування переліку та використання індикаторів  $I_2$  при оцінюванні  $K_2$  дозволить розробити більш ефективні та екологічно чисті дизайн-рішення, які сприятимуть збереженню навколишнього середовища.

*Енергоефективність ( $K_3$ )* - біокліматичне моделювання має сприяти оптимізації енергоспоживання об'єктів дизайну. Розширення використання біокліматичного моделювання на різні види дизайну дозволить підвищити енергоефективність не лише будівель, а й інших об'єктів дизайну, що відносяться до промислового, графічного, середовищного дизайну.

Наприклад, при розробці дизайну меблів можна враховувати її вплив на формування мікроклімату приміщень та враховувати енергоспоживання під час виробництва. Розробка енергозберігаючих концепцій автомобілів з урахуванням кліматичних умов може знизити споживання палива.

Оскільки біокліматичне моделювання дозволяє враховувати взаємодію об'єкта з навколишнім середовищем для визначення найбільш релевантних індикаторів для оцінки енергоефективності в контексті біокліматичного моделювання, вони повинні не лише кількісно оцінювати енергоспоживання, але й сприяти його оптимізації для різних об'єктів дизайну.

Тому пропонується уточнення критерію  $K_3$  забезпечити за рахунок впровадження індикаторів  $I_3$ . В свою чергу серед індикаторів  $I_3$  можна виділити загальні індикатори  $I_3^{3ae}$ , що визначаються для всіх типів об'єктів дизайну, а також індикатори для конкретних типів об'єктів дизайну, що уточнюють та враховують специфіку кожного з них. У таблиці 3.4.3 (Додаток 3) представлений можливий перелік загальних індикаторів  $I_3^{3ae}$  та індикаторів  $I_3$  для таких об'єктів дизайну як меблі  $I_3^m$ , транспорт  $I_3^m$ , одяг  $I_3^{od}$ , графічний дизайн  $I_3^{sp}$ , дизайн архітектурних об'єктів  $I_3^{apx}$  тощо.

Представлені у таблиці 3.4.3 (Додаток 3) індикатори  $I_3$  до критерію  $K_3$  "Енергоефективність" дають можливість оцінювання енергоефективності об'єктів дизайну в контексті біокліматичного моделювання. Їх використання дозволить розробляти більш енергоефективні рішення різних об'єктів дизайну з урахуванням впливу кліматичних параметрів.

*Естетика та функціональність ( $K_4$ )* – процес біокліматичного моделювання дозволяє дизайнерам створювати об'єкти, що гармонійно поєднують естетику та функціональність, враховуючи природні умови та кліматичні особливості. Як зазначається у багатьох дослідженнях [1, 12, 15, 16, 21, 25, 30, 35, 49, 50], саме природа є невичерпним джерелом натхнення для біокліматичних рішень дизайну, надаючи численні приклади унікальних структур, в гармонії та красі яких лежить адаптованість до природно-кліматичних умов середовища. Так, соняшник з його спіральним

розташуванням насіння – це приклад ідеальної композиції, яка забезпечує максимальне використання сонячного світла. Стільники бджіл – це приклад красивої геометричної структури, яка забезпечує максимальну міцність при мінімальній кількості матеріалу. Хамелеон змінює своє забарвлення, адаптуючись до оточення. Листя рослин змінюють свою орієнтацію залежно від положення сонця, забезпечуючи оптимальне використання світла.

Отже, аналогічно до природи, формоутворення об'єктів дизайну при біокліматичному моделюванні визначається взаємодією структурно-функціонального, природно-орієнтованого та художньо-образного засобу мислення. Скористаємось визначеними в [20] основними чинниками формоутворення при біокліматичному моделюванні та виведемо на їх основі наступні індикатори  $I_4$  для оцінювання критерію  $K_4$  при біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну: об'ємно-просторові; художньо-образні; композиційні; структурні; геометричні; кольорово-світлові індикатори (Додаток 3, табл. 3.4.4). Як приклад - при розробці дизайну одягу можна використовувати біокліматичні принципи для створення комфортного та стильного одягу, який також буде екологічно стійким.

Також, критерій *Інноваційність* ( $K_5$ ) передбачає, що розширення використання біокліматичного моделювання на різні види дизайну сприяє розвитку інноваційних підходів та нових технологій, взаємодії різних дисциплін та обміну знаннями, що підвищує конкурентоспроможність продукції. Наприклад, створення екологічних та стійких до заданих природно-кліматичних умов використання дизайн-концепцій для гаджетів чи побутової техніки може залучити більше споживачів та забезпечить тривалий термін використання. Представлений у Додатку 3, табл. 3.4.5 набір індикаторів  $I_5$  дозволяють кількісно та якісно оцінювати наскільки біокліматичне моделювання, застосоване до різних об'єктів дизайну сприяє інноваційності.

Запропоновані індикатори можуть бути застосовані для оцінки інноваційності в різних галузях дизайну. Біокліматичне моделювання дозволяє отримати більш об'єктивні та детальні дані для оцінки

інноваційності, що, в свою чергу, сприяє розвитку нових технологій та підвищенню якості життя. Для більш детального аналізу інноваційності рекомендується розробляти систему індикаторів, яка буде враховувати специфіку різних об'єктів дизайну. Також важливо використовувати як кількісні, так і якісні методи оцінки. Кількісні показники надають нам конкретні числові значення, які можуть бути виміряні та порівняні. Якісні показники дозволяють оцінити більш суб'єктивні аспекти інноваційності, такі як оригінальність, креативність та потенціал для подальшого розвитку.

Підсумовуючи, слід зазначити, що застосування запропонованої системи оцінювання дозволяє розробляти більш стійкі, екологічні, енергоефективні та інноваційні рішення при біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну. Використання індикаторів критеріїв оцінювання дає змогу не лише виміряти ефективність, а й визначити ключові фактори, що впливають на біокліматичні показники. Це дозволяє перейти до систематизованого аналізу успішності реалізованих рішень та забезпечує системний підхід до оцінки біокліматичних об'єктів дизайну.

### **Висновки до третього розділу**

**1.** Визначено, що системний підхід є необхідним у сучасному проектуванні, оскільки безсистемні методи більше не забезпечують стійкість рішень дизайну в умовах зростаючої складності інформаційного середовища. Досліджено та обґрунтовано основні причини ефективності застосування системного підходу у біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну. Зазначено, що впровадження системного підходу у біокліматичне моделювання передбачає проведення аналізу об'єкта дизайну в контексті його функціонування, виділення ключових підсистем та дослідження їх взаємодії.

**2.** Встановлено, що при біокліматичному моделюванні доцільно вирішувати завдання дизайну, спираючись на основні принципи системного аналізу (взаємопов'язаності, інтегративності, мультидисциплінарності,

прогностичності, цілісності та ієрархічності), які допомагають розуміти складні системи та знаходити шляхи їх оптимізації. Завдяки здійсненому аналізу було визначено, що зазначені принципи системного аналізу дозволяють: враховувати взаємодію між кліматом, дизайном, природними ресурсами та соціальними потребами; створювати комплексні та багатоваріантні рішення; об'єднувати знання з різних галузей (інженерія, біологія, кліматологія тощо); прогнозувати майбутні зміни та адаптувати до них рішення дизайну; оцінювати емерджентні властивості системи; спрощувати аналіз через ієрархічне розбиття на підсистеми.

3. Досліджено основні види дизайну за об'єктною направленістю. Відповідно із чим виділено наступні види дизайну: дизайн середовища, промисловий дизайн, графічний дизайн. В ході дослідження було визначено, що розуміння особливостей різних видів дизайну дозволяє підібрати оптимальні біокліматичні рішення для кожного конкретного випадку. Отримані результати доводять, що класифікація об'єктів дизайну є важливим інструментом для систематизації та впровадження біокліматичних принципів у проектну діяльність.

4. Запропоновано нову концепцію класифікації, яка ґрунтується на рівні взаємодії об'єкта дизайну з природно-кліматичним середовищем у його матеріально-предметних та функціонально-процесуальних проявах. Відповідно із чим виділено три основні групи: природно-об'єктний дизайн; штучно-об'єктний дизайн; дифузно-об'єктний дизайн. Здійснено аналіз на основі прикладів дизайну середовища для обґрунтування та підтвердження запропонованої класифікації. В результаті чого визначено наукову значущість результатів дослідження, яка полягає в створенні теоретичної основи для інтерпретації класифікації дизайн-об'єктів у рамках біокліматичного моделювання, що дозволяє визначити глибину та специфіку аналізу природно-кліматичних чинників для широкого кола об'єктів дизайну.

5. В ході дослідження обґрунтовано необхідність формування інформаційної системи як ключового інструменту управління інформацією,

що дозволяє перейти від хаотичного набору даних до їх структурованого використання, щоб забезпечити ефективність біокліматичного моделювання об'єктів дизайну.

**6.** Розроблено двоетапну модель інформаційної системи, що включає базову та повну інформаційну систему. Базова передбачає попередній збір інформації щодо об'єкта дизайну, вихідних природно-кліматичних умов та первинних цілей біокліматичного моделювання, вона є початковим етапом, що закладає логічний фундамент для подальшого масштабування. Мета повної інформаційної системи - деталізувати інформацію, що необхідна для фінальних біокліматичних рішень дизайну. До неї входять дані щодо вимог до складу мультидисциплінарної команди експертів, вибору сучасних технологій та програмного забезпечення, а також детальна база даних для біокліматичного моделювання. Наукова значущість запропонованої моделі інформаційної системи полягає у послідовному переході від простого збору даних до глибинного аналізу їх взаємозв'язків, що забезпечує систематизований підхід успішності біокліматичного моделювання.

**7.** У дослідженні вперше розроблено та запропоновано комплексний набір критеріїв, що охоплюють різні аспекти біокліматичного моделювання об'єктів дизайну: адаптація до клімату ( $K_1$ ); екологічна стійкість ( $K_2$ ); енергоефективність ( $K_3$ ); естетика та функціональність ( $K_4$ ); інноваційність ( $K_5$ ). При цьому критерії ( $K$ ) визначають якість та ефективність рішень, а індикатори ( $I$ ) є кількісними або якісними мірами вираження цих критеріїв. Наукова значущість запропонованої у дослідженні системи оцінювання, що складається з критеріїв та індикаторів полягає в тому, що вони створюють комплексну методологічну базу для об'єктивної оцінки рішень, що розширює можливості біокліматичного моделювання на різні галузі дизайну та стимулює їх інноваційний розвиток.

### Список публікацій здобувача за матеріалами третього розділу

1. **Changpu R.**, Krivenko O. Systemic approach in bioclimatic modeling. *Архітектурний вісник КНУБА*. 2024. Вип. 30–31. С. 31–36. <https://doi.org/10.32347/2519-8661.2024.30-31.31-36>
2. **Чанпу Жу**, Кривенко О. Біокліматичне моделювання: інтерпретація класифікації дизайн-об'єктів. *Fine Art and Culture Studies*. 2025. Вип. 1. С. 269–274. <https://doi.org/10.32782/facs-2025-1-39>

## **РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ БІОКЛІМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

### **4.1. Інтерактивна базова інформаційна система на основі чат бота як інструмент формування біокліматичних рішень дизайну**

Біокліматичний дизайн є ключовим для створення сталих та енергоефективних об'єктів, які мінімізують негативний вплив на довкілля та гармонійно вписуються у навколишнє середовище. Основне завдання проєктанта при створенні даних об'єктів полягає у раціональному використанні природних ресурсів для забезпечення людині комфорту з мінімальними витратами енергії. Для цього досить часто дизайнеру у режимі реального часу необхідні чіткі, обґрунтовані та інтерпретовані біокліматичні рішення (рекомендації), що описують оптимальне рішення дизайну у заданих кліматичних умовах. Ці рішення повинні враховувати складні взаємозв'язки між об'єктом і численними кліматичними параметрами, такими як температура, вологість, сонячна радіація, вітровий режим та якість повітря, на макро-, мезо- та мікрорівнях і при цьому бути простими для розуміння і користування.

Як відзначалось у п. 3.3 цього дисертаційного дослідження, враховуючи значний масив інформації, що потребує опрацювання при біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну, створювати від початку повну інформаційну систему дизайну не раціонально. Більш доцільно працювати з базовою інформаційною системою, щоб зрозуміти з чого розпочати формування рішень біокліматичного моделювання. Важливо передбачити на самому початку біокліматичного моделювання можливу структуру вихідних даних, напрямків, підходів для пошуку варіантів рішень дизайну, що може допомогти зрозуміти з чого розпочати роботу при

біокліматичному моделюванні об'єкта дизайну, задати логічний фундамент для майбутнього масштабування та розширення первинної ідеї.

Для формування такої базової інформаційної системи, що відповідає визначеним у першому розділі дисертації ключовим аспектам формування рішень дизайну у сучасному інформаційному середовищі (див. Додаток 1, рис. 1.3.4), раціонально застосувати інформаційну технологію чат боту. Чат бот, побудований за принципом дерева рішень, є оптимальним інструментом для надання базових рекомендацій під час біокліматичного моделювання, оскільки традиційні методи аналізу великих обсягів інформації є трудомісткими.

Моделі дерева ухвалення рішень визначаються як потужні інструменти у галузі статистики та аналізу даних для прогнозних моделей. [78] Їх структура, що складається з "листя" та "гілок", дозволяє представляти інформацію у вигляді чітких "якщо-то" правил. Використання дерев рішень у біокліматичному моделюванні біоценозів обґрунтовується у [78]. Автори відзначають, що для практичних цілей очевидною перевагою дерев рішень є проста інтерпретованість даних і отриманих результатів, що важливо для розуміння рекомендації користувачем. Тому розробка системи підтримки рекомендацій у вигляді чат боту, що базується на схемі дерева рішень, може бути успішно застосована для біокліматичного моделювання в рамках цього дослідження. Це дозволить користувачам зосередитися на інтерпретації результатів для потреб дизайну, а не на пошуку та підготовці даних.

Чат бот (англ. *Chatbot*) — це інтерфейс взаємодії кількох агентів (наприклад, людини та комп'ютерної програми), як правило, в аудіо- або текстовому форматі. Чат бот використовують для виконання конкретних завдань, наприклад - отримання довідкової інформації, виконання розрахунків. Термін «чатербот» (англ. *ChatterBot*) уведено М. Маулдіном [210] у 1994 році щоб описати розмовні програми, які дозволяють спілкування між чатерами, тобто, людиною і чат ботом, який наділений

штучним інтелектом. Класичними першими історичними чат ботами вважаються — ELIZA (1966) і PARRY (1972). [220]

Сучасні чат боти можуть бути різної складності: від тих, що пропонують обрати варіанти із запропонованих відповідей, до складніших, що використовують технології штучного інтелекту для розпізнавання природної мови та можуть виконувати завдання відповідно до запиту користувача. Згідно з дослідженнями [206], у світовому масштабі майже 70% відвідувачів мережі Інтернет користуються «віртуальними співрозмовниками». Використання чат ботів економить час, підвищує лояльність користувачів та оптимізує робочі процеси. Ці програми є актуальним трендом розвитку інформаційного середовища, і, за прогнозами, у найближчій перспективі близько 80% компаній використовуватимуть їх для спілкування з клієнтами.

Застосування чат боту у аналізі та обробці інформації про кліматичні умови щодо моделювання об'єктів дизайну дозволить дизайнерам створювати більш адаптовані та функціональні речі. Наприклад, користувач, спілкуючись з чат ботом, може відповісти на кілька запитань про кліматичні умови свого регіону, а бот в автоматичному режимі пропонуватиме рекомендації щодо рішень дизайну, що найкраще підходять для цих умов. Використання чат ботів дає змогу систематизувати різноманітні дані про клімат, стиль життя та культурні особливості певних регіонів та сформувати базову інформаційну модель для виявлення біокліматичних рішень у дизайні. Так, у предметному дизайні чат бот може виступати у ролі консультанта, який надає дизайнеру або іншому користувачу інформацію, наприклад, про найкращі матеріали для виготовлення одягу відповідно до кліматичних умов. Отже, чат боти відкривають нові можливості в реалізації біокліматичних рішень дизайну, дозволяючи створити ефективну платформу для дизайнерів при розробці екологічно і естетично виважених рішень у сфері дизайну. Слід відзначити, що створення професійного чат боту для дизайнерів вимагає розуміння галузі знань, цільової аудиторії, поведінкових реакцій, навичок у

налаштуванні логіки інформаційного додатку, написання зрозумілих професійно вірних текстів.

Для вирішення поставлених у цьому дисертаційному дослідженні задач розроблено чат бот *BioclimaBot*. [226] При проведенні підготовчої роботи враховано умову функціонування чат боту, що передбачає в усіх розроблених діалогах свободу вибору користувачем теми та напрямку спілкування. Так, зокрема, для побудови зручного діалогу в чат боті *BioclimaBot*, проведено аналіз цільової аудиторії. Визначено, що чат ботом користуватимуться студенти навчальних закладів, які навчаються за спеціальностями «архітектура», «дизайн» та суміжних навчальних спеціальностей; фахівці-дизайнери – для вирішення прикладних завдань з біокліматичного моделювання; широке коло користувачів, зацікавлених у розширенні кругозору знань.

При розробці змістовного наповнення *BioclimaBot* чат боту здійснювалася консультаційна робота з експертами з біокліматичного моделювання та проведено аналіз окресленого кола наукових та спеціалізованих публікацій відповідно до списку використаних джерел. Розроблено логіку побудови сценаріїв, для чого проведено консультації з архітекторами чат ботів та розробниками програмного забезпечення, які виконували функцію інженерів баз даних. Зафіксовано теми та гілки діалогів, враховуючи достатню кількість сценаріїв, прописано ланки «питання-відповідь». Додано посилання, інфографіку, файли тощо. Реалізацію чат бота сплановано на декількох месенджерах. У якості первинної платформи прототипа обрано Telegram, у якому на сьогодні найбільша кількість чат ботів використовуються для вирішення прикладних завдань.

Чат бот *BioclimaBot* побудовано за схемою дерева рішень. *BioclimaBot* описує, класифікує і узагальнює набори даних щодо реалізації біокліматичних підходів у різних видах дизайну. Чат бот побудовано за алгоритмом вибору атрибута на підставі приросту інформації. Кожен новий атрибут формується за рахунок додавання нових параметрів та, відповідно,

приросту або уточнення інформації, що у кінцевому випадку, підводить користувача до результату, яким є біокліматичне рішення для конкретного об'єкту дизайну. Результат узагальнення міститься у вмісті кінцевого листкового вузла. Загалом, рішення генеруються послідовно з цільовою змінною справа. Вони описують предметні та причинні зв'язки у сфері біокліматичного моделювання. Логіка послідовного переходу за гілками дерева рішень приводить за певну кількість кроків до результату – біокліматичного рішення.

У Додатку 4, рисунок 4.1.1 представлена принципова схема структури дерева рішень чат-боту BioClimaBot. Структура має декілька етапів роботи з вихідною інформацією користувача в процесі його «діалогу» з чат ботом. До першого етапу віднесено визначення інформації щодо вибору виду дизайну та об'єктів проектування. Відповідно з представленою класифікацією у п.3.2 цього дослідження, виділено три основні види дизайну (середовищний, промисловий, графічний дизайн) та визначено відповідні об'єкти проектування, що відносяться до цього виду дизайну. Наступний етап роботи з вихідними даними - це визначення рівня взаємодії об'єкта проектування з природним та штучним середовищем, що дає можливість зрозуміти наскільки біокліматичне рішення потребуватиме врахування кліматичних параметрів. Так, згідно із запропонованим підходом у п.3.2 цього дослідження визначено три рівня взаємодії - це природно-об'єктний дизайн (має повну взаємодію з природним середовищем); дифузно-об'єктний дизайн (має часткову взаємодію з природним середовищем); штучно-об'єктний дизайн (має мінімальну взаємодію з природним середовищем), що відповідно впливає на глибину аналізу кліматичних параметрів для визначення біокліматичного рішення дизайну. Далі ми маємо можливість в обраних межах перейти до алгоритму визначення біокліматичної рекомендації для об'єкта проектування, що передбачає уточнюючий вибір представлених у чат боті рішень, які відповідають обраним кліматичним характеристикам для відповідних елементів об'єкта дизайну (Додаток 4, рис. 4.1.2). Інформація представлена у

вигляді рекомендацій з відповідними рішеннями дизайну, а також оцінкою біокліматичності такого рішення відповідно до критеріїв оцінювання, що були визначені у п.3.4 цього дисертаційного дослідження. Фіналом роботи з деревом рішень BioclimateBot є біокліматична рекомендація, яку може застосувати користувач для подальшої розробки свого рішення.

Слід відзначити, що чат бот BioclimateBot створено на міжнародній платформі SendPulse, що пропонує конструктори чат ботів для сайтів, Viber, WhatsApp, Facebook Messenger, Instagram, Telegram. Використання даної платформи дозволяє уникнути необхідності використання мов та процесу програмування, що прискорює досягнення завдання дослідження. У візуальному редакторі SendPulse чат бот BioclimateBot має форму ланцюжків повідомлень (дивитись Додаток 4, рис.4.1.3). Запуск сценаріїв за загальним правилом чат ботів розпочинається за допомогою триггеру налаштування і включає вітальні повідомлення через запланований відрізок часу (Додаток 4, рис.4.1.4, рис. 4.1.6.a). До тригерної системи включено також автовідповіді по тегу. Чат бот BioclimateBot реалізує схему дерева рішень за наступним алгоритмом: початковий кореневий вузол – вихідна інформація щодо вибору виду дизайну (Додаток 4, рис.4.1.5, рис. 4.1.6 б) та об'єкта проектування (Додаток 4, рис.4.1.7, рис. 4.1.8 а,б); перехід – наступні вузли з додатковими атрибутами щодо об'єкта проектування, а саме: взаємодії об'єкта проектування з природним та штучним середовищем (Додаток 4, рис.4.1.9, рис. 4.1.10, рис. 4.1.11, рис. 4.1.12, рис. 4.1.13), а також вибір параметра, компонента та елемента об'єкта дизайну (Додаток 4, рис.4.1.14, рис. 4.1.15, рис. 4.1.16, рис. 4.1.17); перехід – кінцевий вузол біокліматичне рішення. Переходи від первинного вузла до наступних відбувається за n-кількість кроків. Змістом кроків є уточнення, класифікація вихідної інформації, отримання додаткових атрибутів. Послідовне виконання алгоритму за певну кількість кроків приводить до кінцевого вузла. Кінцевими вузлами є приклади(рекомендації, рішення) реалізацій біокліматичних моделей для конкретних об'єктів дизайну (Додаток 4, рис.4.1.18, рис. 4.1.19).

Основне змістовне навантаження несуть так звані повідомлення. Повідомлення є листковим вузлом дерева рішень. Повідомлення співвідноситься з окремим об'єктом або параметром чи елементом об'єкта дизайну. У повідомленні зберігаються основоположна інформація і дані, які є атрибутом застосування правил та містять необхідну користувачу інформацію для вибору користувачем відповідного потоку. До повідомлень можуть додаватись тематично підібрані тексти, фото, відео, інші файли, посилання на веб сайти що ілюструють довідковий матеріал. Активні кнопки дають можливість навігації користувача чат бота з переходом до сторінки з потрібною інформацією (Додаток 4, рис.4.1.3).

Як вже зазначалось, чат бот BioClimaBot побудовано за схемою реалізації алгоритму вибору атрибута на підставі приросту інформації. Кожен потік веде від попереднього повідомлення до нового повідомлення, кожне нове повідомлення у ланцюгу характеризується набуттям додаткових атрибутів. Результатом проходження алгоритму є рекомендація (рішення), що надається користувачу на підставі проходження всього ланцюга повідомлень, що містять з кожним кроком більш деталізовані атрибути у кожному повідомленні. Ознакою результату – біокліматичного рішення, є припинення виконання алгоритму, завершення ланцюга та відсутність вихідних потоків зкінцевого повідомлення (при наявності вхідного потоку).

Ключевим аспектом біокліматичного моделювання є адаптація об'єкту дизайну до природних умов, адаптація до клімату, що враховує вплив клімату на макро-, мезо- рівнях особливо для природно об'єктного дизайну. Багаторівневе розуміння кліматичних характеристик робить моделювання об'єкта дизайну більш точним. Так, у біокліматичному моделюванні за допомогою чат бота при аналізі макроклімату враховуються кліматичні зони, температури повітря, сонячна радіація, екстремальні погодні явища. При оцінці мезоклімату надається уточнення макроклімату щодо сезонних кліматичних змін, вплив регіональних особливостей на кліматичні параметри

тощо. Розглянемо послідовність реалізації алгоритму врахування кліматичних характеристик при виборі біокліматичного рішення в чат боті BioClimaBot.

Для природно-об'єктового дизайну представлення розпочинається з рівня макроклімату. Як приклад, у прототипі чат боту використано кліматичні особливості Китаю. Територія Китаю розташована у поясах помірному та субтропічному клімату, при цьому кліматичні умови країни досить різноманітні за рахунок регіональних особливостей. При роботі з чат ботом користувач першочергово обирає кліматичний пояс - помірному або субтропічному клімату. У подальшому він переходить від обраного ним кліматичного поясу до наступного вузла дерева - повідомлення, що містить опис вказаних кліматичних зон. Після виконання вказаного вузла, який стосується макроклімату, в чат боті користувач переходить до наступного вузла - мезоклімату. Перехід виконується, як вже зазначалось, виключно в межах обраного кліматичного поясу: помірному клімату або субтропічному клімату. Виконавши крок, користувач має обрати одну із змінних мезокліматичного параметра вузла: наприклад, теплий або демісезонний, або холодний період помірному поясу або ж особливий гірський мезокліматичний регіон помірному поясу, що займає 2/3 території Китаю. Наступним кроком користувач переходить до опису змінної характеристики мезоклімату та обирає параметр об'єкта дизайну (Додаток 4, рис.4.1.11). У подальшому відбувається вибір компонента об'єкта дизайну. Далі, проєктант вибирає елемент об'єкта дизайну (Додаток 4, рис.4.1.14). Останнім кроком користувач отримує результат виконання алгоритму – біокліматичну рекомендацію для обраного ним об'єкта дизайну (Додаток 4, рис.4.1.16, рис.4.1.17, рис.4.1.18, рис.4.1.19). Разом з тим, існують потоки, де подальша деталізація елементів об'єкту дизайну продовжується шляхом уточнення додаткової інформації протягом декількох додаткових кроків, після чого виконання алгоритму також завершується отриманням біокліматичної рекомендації. Надані рекомендації містять індикатори критеріїв «Адаптація до клімату», «Екологічна стійкість», «Енергоефективність», «Естетика та функціональність», «Іноваційність», які

відображають різноманітні аспекти взаємодії об'єкта з кліматом, оточуючим середовищем, включаючи екологічні, технологічні та естетичні аспекти та були детально описані у п.3.4 цього дисертаційного дослідження.

Отже, в ході дослідження розроблено загальну структуру BioclimateBot для подальшого наповнення інформацією всіх гілок та атрибутів для різних видів дизайну при біокліматичному моделюванні. Для розуміння можливостей роботи з інформацією у якості базової інформаційної системи у BioclimateBot більш детально розроблено ланцюг отримання інформації за промисловим видом дизайну та зовнішнім одягом як об'єктом проєктування, що віднесено до природно-об'єктного дизайну, та проаналізовано хід його моделювання для кліматичних умов Китаю.

Проведено тестування та дослідне використання чат боту BioclimateBot у навчальному процесі КНУБА. При тестуванні чат-бота перевірено змістовне наповнення, його ефективність і зручність для користувачів. Комплексне тестування чат бота сприяло забезпеченню його ефективності та задоволеності користувачів. У ході функціонального тестування BioclimateBot перевірено основні функції – чи виконує він заплановані дії: відповідає на запитання, надає інформацію, формулює біокліматичні рекомендації. Також, протестовано інтеграцію чат боту з сторонніми системами: довідковими файлами, зображеннями. Користувачами оцінено якість відповідей: чи є вони релевантними, точними та зрозумілими. Проведено заміну слів, висловів, реакцій, що не відповідають логіці роботи боту та змістовному наповненню. Перевірено наявність помилок у відповідях, неточностей або непорозумінь.

Оцінено користувацький інтерфейс BioclimateBot: чи є він зручним та інтуїтивно зрозумілим. Так, у ході тестування та дослідної експлуатації виявлено дефект користувацького інтерфейсу, що полягав у складності повернення відвідувача до будь-якої з ланок діалогу, що передбачено загальними правилами користування чат ботами, оскільки відвідувач повинен мати готові варіанти вибору, щоб прискорити процес користування. Для усунення дефекту до чат боту додано реверс. Зміст реверсу полягає у наданні,

після кінцевої біокліматичної рекомендації, переадресації до попереднього вузла-розгалуження, що повторно надає можливість користувачу скористатись декількома варіантами дій та уточнити пошук інформації. Протестовано швидкість реакції чат бота BioclimateBot на запити користувачів. Визначено такі часові показники: реакція чат бота від натискання до появи запитуваної інформації - до 3 сек., візуалізація файлів, фото – до 5 сек., інтервал між первинним та повторним активуванням триггеру «Старт» - 5 хвилин. Вказані часові показники швидкості реакції визнані задовільними. Здійснено тестування здатності чат бота обробляти нестандартні типи запитів: одночасні натискання, уведення неформальних знаків. Збоїв у роботі чат бота BioclimateBot не виявлено. Перевірено декілька сценаріїв взаємодії з ботом BioclimateBot, щоб упевнитися, що він може адекватно реагувати на різноманітні ситуації. Перевірку системи збору даних про взаємодію користувачів з ботом для подальшого аналізу та покращення проведено на підставі даних платформи SendPulse, яка здійснює таку фіксацію.

Підсумовуючи слід зазначити, що в ході дослідження було обґрунтовано та апробовано використання дерев рішень як методу роботи з базовою інформацією у біокліматичному моделюванні з практичною метою. У контексті чат боту BioclimateBot, дерева рішень використовуються для опису, класифікації та узагальнення наборів даних щодо реалізації біокліматичних підходів у різних видах дизайну. Процес отримання біокліматичного рішення відбувається шляхом послідовного формування нових атрибутів у вузлах дерева, що додає або уточнює інформацію з кожним новим вузлом, врешті-решт приводячи проєктанта до біокліматичного рішення для конкретного об'єкта дизайну у заданих кліматичних умовах відповідно із рівнем взаємодії.

Визначено задачі біокліматичного моделювання, які можуть бути вирішені за допомогою чат боту BioclimateBot: інтеграція природно-кліматичних особливостей у процес дизайну, класифікація біокліматичних ознак у дизайні предмету, генерація в автоматичному режимі біокліматичних рекомендацій щодо оптимізації естетичних та функціональних аспектів

дизайну предмету, вибору ефективних матеріалів, кольорів, форм тощо з урахуванням заданих кліматичних параметрів. Перевірено виконання чат ботом BioClimaBot основних функцій, пов'язаних з вирішенням завдань біокліматичного моделювання. Встановлено, що чат бот дозволяє проєктантові у режимі реального часу отримати рекомендацію, біокліматичне рішення на підставі автоматизованого опрацювання вхідних даних.

Обґрунтовано перспективність розвитку напрямку технології чат ботів, яка є новітньою, постійно розвивається та набирає популярності, у дизайнерській професійній діяльності, навчальному процесі. Перевагами чат бота BioClimaBot для користувачів є цілодобова доступність чат бота, автоматизована обробка вхідних даних, швидка відповідь, можливість доповнення та розширення інформації, щоб забезпечити її актуальність. Обґрунтовано відповідність технології чат ботів важливим тенденціям розвитку інформаційного середовища, що були розглянуті у п.1.3, Додаток 1, рис.1.3.4. Визначено, що в основі технології чат ботів лежить діалогове спілкування, засноване на схемі дерева рішень, яка використовується у машинному навчанні, що надає додаткові перспективи впровадження у галузі дизайну. У процесі розвитку прототипу чат боту перебуває можливість його інтеграції з останніми версіями технології ChatGPT, що у перспективі значно розширить функціональність чат боту.

Обґрунтовано можливість вдосконалення чат боту для задіяння при вирішенні завдань біокліматичного моделювання. BioClimaBot функціонує у варіанті прототипу на етапі дослідної експлуатації, оскільки його повноцінна програмна реалізація потребує залучення команди професійної розробки програмного забезпечення та значних часових та фінансових затрат.

Розроблений BioClimaBot як прототип експертної системи, заснований на деревах рішень, продемонстрував інтерактивність та потенціал для популяризації біокліматичних підходів, водночас виявлено його обмежену адаптивність для складних, непередбачених сценаріїв, що потребують

постійного оновлення та творчого генерування рекомендацій на більш високому рівні розробки експертних систем.

#### **4.2. Концептуальні засади експертної системи біокліматичного моделювання**

Розробка об'єктів дизайну при біокліматичному моделюванні базується на комплексному аналізі адаптації до кліматичних умов з метою досягнення оптимального балансу між внутрішнім та зовнішнім середовищем та залежить від аналізу та врахування впливу багатьох змінних чинників. У практичній діяльності існує необхідність створення доступної системи підтримки прийняття аналітичних та творчих рішень на основі багатопараметричних даних, що допомагають в аналізі природно-кліматичних чинників, принципів екодизайну, комфортного середовища та енергоефективності для потреб сучасного дизайну, що реалізується у проектуванні через впровадження сучасних технологій, які значно розширюють можливості дизайнера.

У попередньому розділі 4.1. представлено базову інформаційну систему чат боту BioClimaBot, що розроблено за схемою дерева рішень для вирішення задач біокліматичного моделювання на початковому етапі. Відповідно із чим BioClimaBot має певні обмеження, що впливають з його фіксованої логіки та обмеженої адаптивності, тому що його відповіді та рішення є заздалегідь визначеними на основі встановлених правил та шляхів у дереві рішень.

Для біокліматичного моделювання об'єктів дизайну (див. п.3.3 цього дослідження) існує потреба у створенні розширеної інформаційної системи прийняття аналітичних та творчих рішень, яка б враховувала та оперувала багатопараметричними даними (клімат, елементи дизайну, матеріали, екологічні стандарти тощо). Такими системами, які відповідають зазначеним потребам повної інформаційної системи для біокліматичного моделювання

об'єктів дизайну, можуть бути експертні системи (ЕС). Якщо порівнювати з чат ботом BioClimaBot, експертна система пропонує більш систематичний та інтегрований підхід до біокліматичного моделювання, використовуючи гібридну базу знань та складний механізм виведення, здатний накопичувати експертний досвід та надавати оптимальні, обґрунтовані рішення для багатопараметричних завдань, що є критично важливим для комплексного біокліматичного проєктування (див. Додаток 4, таблиця 4.2.1). Чат бот BioClimaBot базується на жорстких деревах рішень, у той час як ЕС також використовує схему дерева рішень для виведення біокліматичних рекомендацій, а також має гібридну базу знань та потужний вирішувач, що використовує логіку, подібну до міркувань експерта. Це дозволяє експертній системі краще обробляти складні залежності між атрибутами та накопичувати експертний досвід, що перевершує заздалегідь визначені шляхи або простіші структури правил у чат боті та обмеження дерев рішень. Таким чином, експертна система забезпечить більш глибокий інформаційний аналіз та адаптивність у підтримці прийняття рішень. [82]

Експертні системи можуть розв'язувати складні багатопараметричні завдання, дозволяють систематизувати експертні знання та адаптувати їх до проєктування. Визначення понять, принципів, мети створення, етапів розробки, структури, роботи різноманітних ЕС розглянуто у багатьох спеціалізованих дослідженнях. Останні дослідження підкреслюють ефективність ЕС у прогнозуванні, класифікації, обробці інформації, навчальному процесі. [4, 32] Теоретичну можливість створення прикладних експертних систем для проєктування, наприклад, для ландшафтного дизайну, розглянуто у [60]; для вирішення багатопараметричних задач біокліматичного моделювання – обґрунтовано в [82, 85]; у сфері енергозбереження та ощадливого природокористування – представлено у [58], де також запропоновано модель виведення біокліматичних рекомендацій; у моделюванні процесів архітектурного проєктування із застосуванням інших

технологій штучного інтелекту у [48]. Практичне застосування ЕС у навчальному процесі досліджувалось у [44, 47, 141].

Прикладами програмної реалізації експертних систем у будівництві є ЕС G2 Gensym, в екологічному моніторингу – ЕС Exsys Corvid, для вибору насіння дерев на основі кліматичних умов – ЕС WebFlex. [213, 214, 215] Проте існуючі ЕС не охоплюють комплексу аспектів біокліматичного моделювання, що обумовлює необхідність створення систем з використання результатів теоретичних досліджень, практики дизайну і систем штучного інтелекту, покладених в основу бази знань і механізму виведення рішень Експертної системи біокліматичного моделювання (ЕС БкМ), та подальшої розробки діючого програмного продукту.

Метою Експертної системи біокліматичного моделювання (ЕС БкМ) може бути інтеграція аналізу біокліматичних факторів з інструментами автоматизації для покращення прийняття рішень, оскільки ЕС може накопичувати, оновлювати та використовувати експертний досвід, що забезпечує високий рівень точності та ефективності прийнятих рішень.

Слід зазначити, що експертні системи (ЕС) складаються з бази знань та механізму виведення рішень, що, на думку [4, 5, 32, 58, 60, 141], визначає їх ефективність у вирішенні складних завдань. Незважаючи на прогрес у розробці ЕС та у напрямку біокліматичного моделювання, існує потреба в інтегрованих рішеннях, які б забезпечували комплексну підтримку прийняття рішень. Багато існуючих систем фокусуються на окремих аспектах проектування, не враховуючи біокліматичні чинники. Це дослідження має на меті сформулювати основу структури експертної системи для біокліматичного моделювання, що інтегруватиме аналіз біокліматичних факторів з інструментами штучного інтелекту для покращення прийняття рішень об'єктів дизайну.

Таким чином, метою дослідження, здійсненого у межах даної наукової роботи, стало теоретичне обґрунтування структури Експертної системи біокліматичного моделювання (ЕС БкМ) та механізмів її роботи. Актуальність

дослідження полягає у розробці засад ЕС БкМ — системи підтримки прийняття аналітичних та творчих рішень, яка інтегрує багатопараметричні дані (клімат, елементи об'єктів дизайну, матеріали, екологічні стандарти тощо) для генерації оптимальних біокліматичних рекомендацій, що дозволить зменшити витрати ресурсів та підвищити якість проектування. Новизна дослідження полягає у розробці структури ЕС БкМ, здатної аналізувати, класифікувати та прогнозувати оптимальні біокліматичні рішення для завдань дизайну.

В основі експертної системи знаходиться база знань, яка структурує дані, факти, правила та іншу інформацію, і вирішувач, що використовується системою для розв'язання проектних задач біокліматичного моделювання. При вирішенні наукового завдання з розробки засад експертної системи біокліматичного моделювання можливо використовувати методи системного аналізу, кластерного аналізу, моделювання інформаційних систем, а також методи експертних оцінок.

Експертна система – це програмний комплекс, який на основі бази знань, що містить досвід експертів, та правил його застосування, здатний надавати рекомендації або рішення щодо складних професійних завдань. Концептуально Експертна система біокліматичного моделювання має класичну структуру, що передбачає наявність двох основних компонентів: бази знань та вирішувача ( рис. 4.2.1.). База знань ЕС БкМ має гібридну структуру, що поєднує декларативні та процедурні знання. Декларативні знання представлені у вигляді структурованої інформації про предметну область і включають факти, концепції та зв'язки між ними. Вони зберігаються у базі даних, організованої за модульним принципом із виділенням кластерів для проектування. Процедурні знання представлені у вигляді правил, алгоритмів та процедур, що описують як використовувати декларативні знання для вирішення конкретних завдань. Вони зберігаються у базі правил. База правил містить набір правил, евристики, що визначають логічні зв'язки між фактами в базі даних.

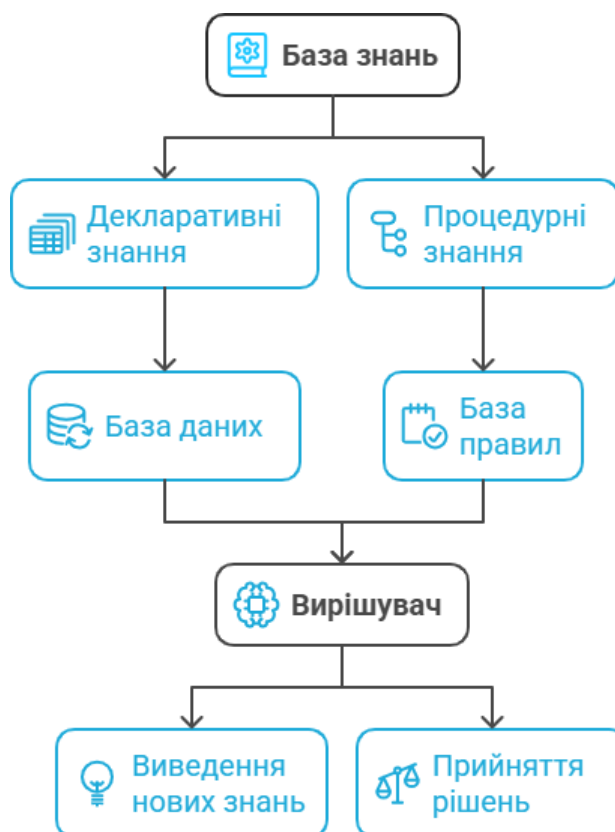


Рис. 4.2.1. Структура експертної системи біокліматичного моделювання  
(розроблено автором)

Правила використовуються вирішувачем для виведення нових знань та прийняття рішень. Вирішувач аналізує факти й здійснює логічний вивід на основі інформації з бази даних та правил з бази правил і використовує стратегії пошуку та методи виведення для знаходження розв'язку задачі за допомогою логіки, подібної до міркувань експерта.

В ЕС БкМ використовується алгоритм вибору рішень шляхом звуження простору пошуку за допомогою кластерного аналізу та агрегації критеріїв для ранжування альтернатив. Така структура забезпечує системі здатність накопичувати, оновлювати та використовувати експертний досвід, необхідний для біокліматичного моделювання, що дозволяє підтримувати прийняття рішень на високому рівні точності та ефективності та може бути представлена як цикл, рис 4.2.2.



Рис. 4.2.2. Цикл експертної системи біокліматичного моделювання  
(розроблено автором)

Структура бази даних включає декілька кластерів, кожен із яких виступає окремим інформаційним блоком: «Кліматичні характеристики»; «Об'єкти проектування»; «Проектні рішення». Далі більш детально розглянемо на прикладі біокліматичних рішень в дизайні архітектурних об'єктів, рис. 4.2.3.

Кожен кластер може мати поділ на розділи, а саме: кластер «Кліматичні параметри» має поділ для оцінки кліматичних параметрів на рівнях макроклімату, мезоклімату, мікроклімату; кластер «Об'єкти проектування» передбачає деталізацію щодо функціонального призначення об'єкту та уточнення його структури; кластер «Проектні рішення» має поділ на розділи: розміщення будівель та об'ємно-планувальні рішення; конструктивні рішення, будівельні матеріали; інженерні системи; природні об'єкти.

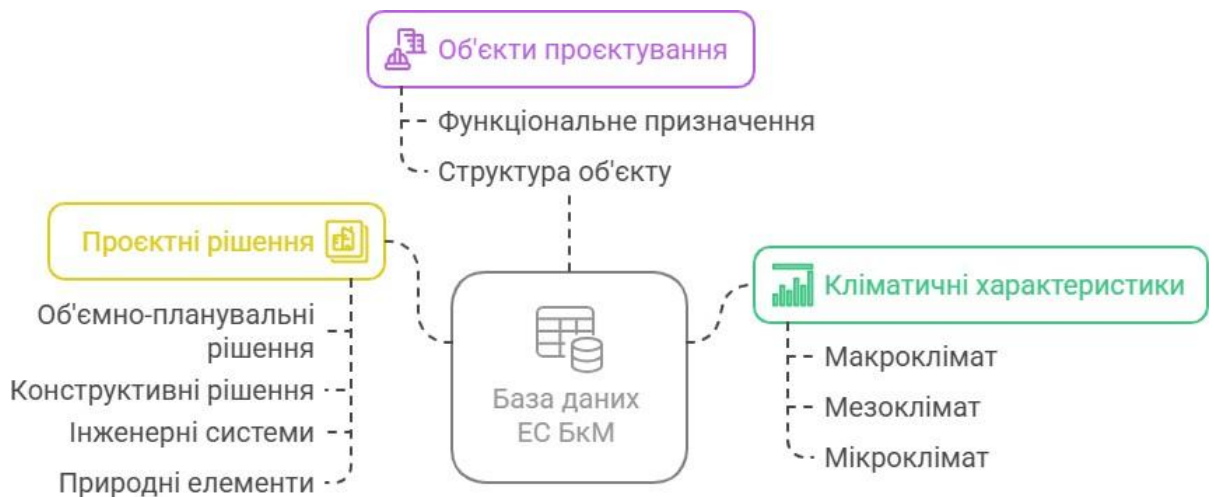


Рис.4.2.3. Структура бази даних експертної системи біокліматичного моделювання  
(розроблено автором)

Таким чином структура бази даних є багаторівнева та складна, що може далі розвиватись та уточнюватись в процесі біокліматичного моделювання відповідно до поставлених проектних завдань.

Кластер "Кліматичні характеристики" містить дані про клімат як багаторічний режим погоди, що спостерігається на певній території (комбінації температур, вологість, кількість опадів, напрямок та швидкість вітру тощо). Оцінювати кліматичні впливи та навантаження при біокліматичному моделюванні доцільно від укрупнених макрокліматичних показників (метеорологічні умови на значній території планетарного масштабу, що виділяється спільністю кліматичних характеристик) до фонових умов – мезоклімату (кліматичні особливості територій із порівняно однаковими умовами - області, міста, район міста) з подальшим уточненням на рівні оцінки локальних даних ділянки будівництва – його мікроклімату. [57]

Кластер "Об'єкти проектування" передбачає класифікацію об'єктів за функціональним призначенням, наприклад для архітектурних об'єктів (житлові, громадські, промислові об'єкти тощо) та структурними елементами (стіни, світлопрозорі конструкції, дах та інше). Це сприяє систематизації даних

для подальшого аналізу та моделювання з урахуванням біокліматичних принципів.

Кластер «Проектні рішення» містить перелік варіантів проектних рішень для забезпечення ефективності в умовах різних кліматичних умов. Кластер «Проектні рішення» має поділ на розділи: розміщення будівель та об'ємно-планувальні рішення; конструктивні рішення, будівельні матеріали; інженерні системи; природні об'єкти. Наприклад, розглянемо деякі з розділів цього кластеру.

Розділ «Будівельні матеріали» містить дані щодо матеріалів та їх параметрів. Приклади зі змісту бази даних: теплотехнічні параметри будівельного матеріалу, нормативні вимоги щодо спротиву теплопередачі для цього регіону. Змістовне наповнення бази даних містить приклади використання матеріалів (наприклад, в регіонах зі спекотним кліматом - матеріалів з високим коефіцієнтом спротиву теплопередачі для орієнтації на сонячний бік, а матеріалів з низьким коефіцієнтом (наприклад, скло) - для північної орієнтації. У розділ включено інформацію щодо використання традиційних та сучасних будівельних матеріалів, які є місцевими та використовуються в заданих регіонах.

Важливим розділом кластеру є «Інженерні системи», який містить інформацію щодо рішень природної вентиляції, пасивних та активних систем обігріву і охолодження. Приклади зі змісту бази даних: природні вентиляційні системи (ефект стека); стіна Тромба, вітряні шахти та їх опис; системи подвійних кліматичних фасадів їх ефективного використання для вентиляції; проекти відкритих частин будівель (веранди, навіси) для додаткового природного охолодження, обігріву сонячним світлом взимку; опис традиційних місцевих рішень пасивних систем (китайських багатофункціональних внутрішніх двориків як елементу системи обігріву, вентиляції та охолодження).

Розділ «Природні елементи» кластеру стосується інформації з використання природних елементів таких як рослинність (дерева, чагарники,

рішень «зелених» дахів, стін), водних об'єктів тощо як елементів впливу на кліматичні параметри з метою їх покращення. Приклади з бази даних – варіанти розміщення водних об'єктів біля будівель; використання високорослих дерева для затінення, покращення мікроклімату на ділянці; використання «зелених» дахів та стін, які забезпечують теплоізоляцію та створюють зелені простори у будь-якій кліматичній зоні; «зелені» фасади, які захищають від сонця, вітру, виробляють вологу, діють як звукоізоляція та створюють навколо високу вологість.

Дані щодо елементів в кластерах можуть бути оформлені у вигляді таблиць, що пов'язані між собою. Це забезпечує можливість швидкого пошуку та вилучення необхідної інформації. Для кожного елемента кластера бази даних, або його параметрів використано спеціальну процедуру оцінки інформації ( рис.4.2.4 ). При цьому використовуються наступні методи: аналіз досвіду реалізації біокліматичних проєктів; порівняння запропонованого рішення з існуючими нормами та вимогами; оцінка елемента кластера експертом на основі його знань та досвіду.



Рис. 4.2.4. Процедура оцінки інформації з кластера бази даних у базі правил (розроблено автором)

Отримані таким чином параметри елементів кластерів кодуються числовими значеннями для подальшої обробки. Наприклад, форма будівлі кодується числовим значенням, відповідно до якого найвищу оцінку отримує будівля, що більшою мірою відповідає біокліматичному підходу. Динамічні зміни зовнішнього середовища (зміна швидкості, напрямку вітру, температури) кодуються додатковими значеннями, що дозволяє системі адаптувати рекомендації до кліматичних впливів. В системі також враховано нечіткі поняття (наприклад, комфорт або вітрозахист), які важко оцінити точно, що означає, що параметр "вітрозахист" може мати значення від "незахищений" до "повністю захищений", і кожному значенню має бути задано свій числовий вираз. На основі цих даних та комбінацій правил вирішувач визначатиме загальну відповідність об'єкта біокліматичним вимогам.

Таким чином, структура бази даних біокліматичного моделювання відповідає загальноприйнятому шаблону об'єктно-орієнтованого програмування, зокрема концепціям множинного успадкування та вкладеності, що підтверджує істинність обраного способу побудови експертної системи. Так, наприклад, існують базові елементи і можуть формуватися наслідуючі елементи, які додають нові параметри базовим. У такому разі новий елемент наслідує всі основні параметри базового елемента, і йому потрібно визначити лише ті параметри, які відрізняють його від базового елемента. Наприклад основний елемент кластеру об'єкт проектування – покрівля, має такі наслідуючі елементи як геометрична форма покрівлі – скатна, криволінійна чи інше. Вказаний підхід покликаний спростити створення програмного продукту.

Важливою складовою бази знань експертної системи є база правил, що описують зв'язки між вхідними даними та вихідними рекомендаціями. Правила ЕС БкМ визначають як приймати рішення для різних комбінацій параметрів елементів кластерів бази даних. Правила пов'язують кліматичні

дані, характеристики об'єкта проектування через оцінювання елементів кластеру «Проектні рішення» щодо відповідності критеріям біокліматичного моделювання у єдиний ланцюг.

В основі бази правил ЕС БкМ покладено евристичний метод «ЯКЦО-ТО», де:

- «ЯКЦО» – умова, що перевіряється на основі фактів з бази даних;
- «ТО» – дія або висновок, що приймається, якщо умова виконується.

Правила в ЕС БкМ можуть мати розширення за рахунок додаткових умов, бути прямими та зворотними, наприклад: «ЯКЦО – Умова 1 І Умова 2, ТО – Висновок» (пряме правило). Зворотні правила мають форму: «ЯКЦО – Висновок, ТО – виконуються Умова 1 І Умова 2».

При використанні прямих правил система починає з наявних у базі даних фактів і використовує правила для отримання нових висновків, доки не буде досягнуто кінцевої мети (біокліматичного рішення). Приклад прямого правила: «ЯКЦО – інтенсивність сонячного випромінювання перевищує  $Y$  Вт/м<sup>2</sup> І температура в приміщенні перевищує  $Z^{\circ}\text{C}$ , ТО – активувати систему затінення вікон, щоб зменшити надходження сонячної енергії, запобігти перегріву, забезпечити комфортний мікроклімат».

При застосуванні зворотних правил система починає з мети (біокліматичного рішення) і намагається знайти факти, які підтверджують цю мету, використовуючи правила в зворотному порядку. Приклад зворотного правила в ЕС БкМ: «ЯКЦО – потрібно досягнути комфортного мікроклімату в умовах надмірної інсоляції спекотного клімату, ТО – зменшити площу проєктованих вікон на південному фасаді І передбачити сонцезахисні пристрої (жалюзі, навіси)».

У ЕС БкМ слід використовувати комбінований підхід, що дозволяє системі адаптуватися до різних ситуацій та досягати оптимальних результатів. Правила в базі знань структуровані таким чином, щоб підтримувати як пряме, так і зворотне логічне виведення, що забезпечує гнучкість та ефективність роботи системи. Такий підхід дає змогу системі розглядати різні сценарії та

варіанти біокліматичних рішень, оцінювати їхню ефективність та вибрати найбільш оптимальні з урахуванням конкретних умов і вимог. Наприклад, при проєктуванні будівель в спекотному кліматі система може спочатку розглянути пасивні методи охолодження (природна вентиляція, сонцезахист), а потім, якщо вони виявляються недостатніми, запропонувати перейти до активних систем (кондиціонування).

Правила використовуються вирішувачем для виведення нових знань та прийняття рішень. Вирішувач є ядром системи, що здійснює логічний вивід на основі інформації з бази даних та правил з бази правил ЕС БкМ, використовує стратегії пошуку та методи виведення для знаходження розв'язку задачі та базується на логічних виразах, які описують взаємозв'язки між різними параметрами.

Отже, задача вибору біокліматичного рішення у ході виведення розкладається на серію менших підзадач, кожна з яких вирішується на певному рівні ієрархії. На верхньому рівні система враховує загальні параметри, такі як кліматична зона, тип будівлі, тип матеріалів, тип обладнання. На наступних рівнях відбувається деталізація з урахуванням конкретних характеристик будівлі, матеріалів, обладнання, мікроклімату навколишнього середовища та інших чинників. Кожен вузол відповідає певному правилу або критерію, який використовується для вибору одного з можливих варіантів. Взаємозв'язок формується на основі аналізу параметрів об'єкта та зіставлення їх з наявними знаннями та правилами в базі знань. В залежності від результату застосування правила система переходить до наступного вузла, де враховуються інші критерії та правила. Такий процес триває до тих пір, поки не буде досягнуто кінцевого вузла - оптимального біокліматичного рішення для конкретного об'єкта дизайну. Таким чином, ієрархічна система виведення ЕС БкМ дозволяє ефективно організувати процес прийняття рішень, враховувати велику кількість взаємопов'язаних факторів та знаходити оптимальні рішення для складних та багатofакторних задач біокліматичного моделювання.

Підсумовуючи зазначимо, що у результаті дослідження було розроблено концептуальну структуру Експертної системи біокліматичного моделювання, що представляє собою перспективний підхід до створення ефективної системи підтримки прийняття рішень у сфері моделювання об'єктів дизайну на принципах біокліматичного моделювання для формування повної інформаційної системи. Основу системи складає гібридна база знань, що поєднує декларативні знання про природно-кліматичні чинники, енергоефективність, екологічність та функціональність об'єктів проектування з процедурними знаннями у вигляді правил та алгоритмів. Попри закладений концептуальний фундамент, подальшого детального розгляду потребують питання практичної реалізації та валідації розробленої ЕС БкМ. Зокрема, важливими є дослідження можливостей автоматизованого поповнення та вдосконалення бази знань ЕС БкМ, забезпечення зручної взаємодії з системою та процес наповнення бази знань експертними даними та правилами.

#### **4.3. Цифрові платформи автоматизації підтримки біокліматичних рішень (на прикладі Notebook LM)**

Для обробки великих обсягів даних, автоматизації їх аналізу та підтримки прийняття рішень в сучасному інформаційному суспільстві використовуються передові інтелектуальні цифрові інструменти.

NotebookLM, розроблений Google Labs, дозволяє завантажувати, інформацію з різноманітних джерел: текстових файлів, PDF-документів, Google Docs, відео та веб-сторінок, а використання контекстно-орієнтованого штучного інтелекту спрощує підготовку аналітичних звітів та обробку великих обсягів інформації, підвищуючи точність, швидкість і обґрунтованість вибору проектних рішень. Google з 2024 року позиціонує платформу як віртуального помічника для досліджень, навчання та проектування. [223, 224] Зазначені характеристики дозволяють використати

NotebookLM як ефективний інструмент для створення бази знань, підтримки прийняття рішень і автоматизації біокліматичного моделювання у сфері сталого дизайну. Саме таке рішення дозволить дизайнерам, архітекторам, інженерам і дослідникам ефективно працювати з масивами кліматичних, конструктивних та нормативних даних, що є критично важливим для біокліматичних проєктів.

Метою дослідження, виконаного у рамках цієї наукової роботи, став аналіз використання даних біокліматичного моделювання для дизайну за допомогою цифрової платформи NotebookLM. Завдання, що вирішувалось у ході впровадження, включали створення бази знань та її дослідне використання для підтримки прийняття біокліматичних рішень. Проєкт, розроблений у ході даного дослідження на платформі Google NotebookLM, отримав назву Bioclimatic Modeling Decision Support System Knowledge Base (BMDSSKB) – База знань системи підтримки прийняття рішень біокліматичного моделювання. У ході роботи над проєктом також було обґрунтовано переваги цифрової платформи NotebookLM у сфері біокліматичного моделювання архітектурних об'єктів.

Роботу у межах проєкту BMDSSKB у NotebookLM було розпочато зі створення т.зв. «блокноту» - проєкту під визначеною назвою. Оскільки основним елементом проєкту виступає база знань, яка складається із бази даних та бази правил, що використовується інтелектуальним онлайн-сервісом

Google NotebookLM для вирішення задач біокліматичного моделювання, наступним етапом стало створення бази даних, для чого проведено відповідну роботу. Так, базу даних біокліматичного моделювання сформовано з джерел, які завантажено до проєкту BMDSSKB у NotebookLM. (Додаток 4, рис.4.3.1).

Зміст джерел підібрано у відповідності до методики формування бази даних, визначеною у п.4.2. Розділу 4, яка передбачає наявність кластеру "Кліматичні характеристики" (містить дані про багаторічний режим погоди в Китаї та оцінку кліматичних впливів на макро- та мезорівні), кластеру "Об'єкти проєктування" (з інформацією про функціональні об'єкти, їх

структурні елементи і їх використання у біокліматичному дизайні), кластеру «Проектні рішення» (стосується розміщення будівель, об'ємно-планувальних, конструктивних рішень, будівельних матеріалів, інженерних систем, природних об'єктів).

За формою основними джерелами виступають локальні документи. Так, до проєкту завантажено текстові PDF-файли (книги, наукові публікації, звіти з кліматичними даними, статті в Інтернет, наукові статті, нормативні документи тощо), Google Docs, Google Slides - документи та презентації Google (наприклад - проєктна документація, презентації проєктів), відео-, аудіозаписи, до яких прикріплено транскрипт або субтитри. Наприклад, для використання у якості джерел залучено наукові публікації з питань моделювання, біокліматичного проєктування, аналітичних досліджень екологічних енергоефективних проєктних рішень провідних науковців Київського національного університету будівництва та архітектури та провідних закладів вищої освіти [16-22, 25-30, 34-38, 46-51, 54, 55, 98, 152, 155, 161, 163, 164].

У якості джерел використано також веб джерела, тобто не, власне, файли, а посилання (URL-адреси) на веб сайти, відео YouTube, які розміщені у мережі Інтернет. Зокрема, до бази даних створеного у ході роботи над дисертацією NotebookLM-проєкту включено URL-адреси наукових баз даних (наприклад, репозиторій з кліматології Китаю [211]), веб сторінки з метеорологічними даними, YouTube-відео з субтитрами, які демонструють проєктні рішення та біокліматичні технології.

За видами джерела у базі даних поділено на нормативно-правові документи (закони, постанови, інструкції, стандарти, ДБН, які регулюють кліматично-орієнтоване проєктування), офіційні та адміністративні документи (звіти, плани, рішення), наукові та навчальні документи (лекції викладачів КНУБА, дисертації, статті, дослідження), комерційна та технічна документація (специфікації, інструкції, стандарти, описи), відеозаписи і презентації (зокрема, інтерв'ю з експертами) та деякі інші. Приклад

нормативно-правових документів, залучених до бази даних, наведено у Додатку 4, рис.4.3.2. , а наукових документів - у Додатку 4, рис.4.3.3. До бази даних включено наукові статті та матеріали дисертаційного дослідження автора, які розглядають задачі біокліматичного моделювання (Додаток 4, рис.4.3.7). Слід зазначити, що теоретично кількість першоджерел, які можливо залучати до баз даних NotebookLM, необмежена. Разом з тим, у поточному проєкті BMDSSKB було використано 50 джерел.

Крім джерел, завантажених до проєкту BMDSSKB у NotebookLM дизайнером, використано здатність платформи автоматизовано здійснювати збір джерел - самостійно знаходить релевантні джерела в мережі Інтернет за запитом. Наприклад, за запитом загального характеру «Біокліматичні підходи для субтропіків, кліматичне проєктування та будівництво у субтропічному поясі Китаї» NotebookLM за декілька секунд проаналізовано сотні ресурсів та обрано 10 найрелевантніших джерел (Додаток 4, рис. 4.3.4.) Також, за запитом "Тепловий комфорт у міському середовищі» NotebookLM віднайдено дослідження теплових островів у містах у наукових журналах, відшукано звіти про ефективність зелених дахів, імпортовано до бази даних нормативні документи щодо енергоефективності будівель. (Додаток 4, рис. 4.3.5.) Для досягнення даного результату було використано функцію «Discover Sources» на панелі управління NotebookLM. Згідно з [132] функція автоматизованого пошуку скорочує час знаходження джерел до 70% при пошуку публікацій в Інтернет, що дозволяє дизайнеру з мінімальними зусиллями створити базу даних для подальшого її використання у біокліматичному моделюванні, а гнучкість платформи дає можливість дизайнеру використовувати різноформатні дані (документи, файли, відео, аудіо).

У проєкті Bioclimatic Modeling Decision Support System Knowledge Base використано аналітичні інструменти Google NotebookLM, які є важливими перевагами та підтверджують необхідність використання цієї платформи для біокліматичного моделювання об'єктів дизайну. Зокрема, при залученні джерел до бази даних щодо кожного з них автоматизовано було складено

анотовані резюме - стислий витяг ключових понять із підказками для подальших запитів, що дозволило у реальному часі працювати з цими матеріалами. Так, було отримано огляд будівельних, енергетичних кодексів КНР, які регулюють «зелене» будівництво (Додаток 4, рис.4.3.6.а). Подальше звернення за тегом «Будівельні кодекси КНР», яким помічено дане джерело, дозволило отримати інформацію про практики екологічного будівництва, які формують характеристики моделі екологічної будівлі в заданих кліматичних умовах, з посиланням на це та інші джерела без необхідності самостійного пошуку даних. (Додаток 4, рис.4.3. б.б). Приклад огляду та тегування наукової статті наведено у Додатку 4, рис.4.3.7. Додатково, з опорою на базу даних було визначено аналітичні зв'язки між інформацією у джерелах вцілому для китайської архітектури, що візуалізовано за допомогою автоматизованої побудови карти-схеми функцією «Mind Map» (Додаток 4, рис.4.3.8.). Фактично дана схема є опорним конспектом, що пояснює співвідношення та взаємодію понять у сфері архітектурного проєктування.

Також, при біокліматичному моделюванні з використанням бази даних Google NotebookLM, за рахунок можливості ручного або автоматизованого тегування джерел для аналізу та структуризації інформації за тематичними категоріями, істотно спрощено організацію та пошук багатofакторної інформації. Наприклад, документи про вплив рослинності на мікроклімат автоматично кластеризовано AI-алгоритмами на основі аналізу ключових слів у змісті документу за тегом "Природні елементи", а дані теплофізичних властивостей матеріалів — до створеного вручну користувачем кластеру за тегом "Будівельні матеріали" так, що ознайомлення з їх змістом або отримання довідкової інформації з цих документів потребує лише написання запиту в рамках проєкту BMDSSKB.

Структурована база знань та теги дозволяють швидко фільтрувати джерела під час запитів, наприклад запит: "Показати дослідження про вентиляцію для клімату Китаю", перетворив розрізнені біокліматичні дані з декількох джерел на структуровану систему знань (Додаток 4, рис.4.3.9.). На

практиці це зменшує час на пошук інформації та підвищує точність аналізу за рахунок посилань у тексті на джерела, що особливо корисно при роботі з динамічними параметрами клімату, різноманітними матеріалами та їх теплофізичними характеристиками, великою кількістю об'єктів дизайну.

У ході впровадження результатів дослідницької роботи у межах даного дослідження вирішено завдання використання створеної бази даних як частини бази знань для підтримки прийняття біокліматичних рішень. Засади бази знань біокліматичного моделювання детально розглянуто у п. 4.2. Розділу 4, на підставі чого можемо зробити висновок, що база правил є критично важливою складовою бази знань розроблюваної системи підтримки прийняття рішень. В основу бази правил покладено використання евристичного методу "ЯКЩО-ТО". База правил дозволяє організувати та структурувати знання про біокліматичні підходи у вигляді чітких правил, що полегшує їх сприйняття та використання. Це забезпечує систематизовану основу під час прийняття біокліматичних рішень, оскільки фактичні дані із бази даних інтерпретуються на основі правил, у результаті чого автоматизована система пропонує біокліматичне рішення. Застосовуючи правила з бази правил система підтримки прийняття рішень може автоматизовано аналізувати дані та пропонувати біокліматичні рекомендації без необхідності втручання людини. Правила в базі дозволяють краще зрозуміти, як і чому було прийняте те чи інше біокліматичне рішення, побачити логіку, що стоїть за результатами. Теоретично, правила можуть бути адаптовані до різних напрямів дизайну. Але на практиці, у ході роботи з системою BMDSSKB встановлено, що найбільше джерел, які висвітлюють біокліматичні підходи, стосуються архітектури, містобудування, ландшафтного дизайну, інженерних рішень, що дещо обмежує застосування системи підтримки прийняття рішень саме цими напрямками. Відповідно, у ході даного дослідження базу правил було сформовано саме для цих сфер дизайну. (Додаток 4, рис. 4.3.10.) Під час використання платформи NotebookLM база правил постійно оновлювалась та доповнювалась,

вносились зміни у міру обробки нових знань і технологій біокліматичного моделювання, що забезпечило певну актуальність і точність проєкту BMDSSKB.

У ході впровадження результатів дослідницької роботи та практичної експлуатації проєкту BMDSSKB досліджено, що база знань системи підтримки прийняття рішень біокліматичного моделювання працює локально, повертаючи у ході звернення до неї біокліматичні рішення для внесених до бази знань об'єктів. Рішення (рекомендації) ґрунтуються виключно на завантажених джерелах, які містять основні ознаки біокліматичного підходу у проєктуванні дизайн-об'єктів і правила їх застосування, що гарантує релевантність цих даних для конкретних умов проєкту. Наприклад, запит повертає обґрунтовані висновки щодо біокліматичного моделювання, які містять посилання з прикладних досліджень у базі даних дизайнера (Додаток 4, рис. 4.3.11.). У проєкті BMDSSKB враховано, що особливістю платформи Google NotebookLM є контекстно-орієнтований пошук AI відповіді на задане завдання із завантажених джерел. Система інтерактивно шукає відповіді у завантажених джерелах, надаючи цитати з точними посиланнями. При цьому, у разі підтримки прийняття рішень застосовуються правила виведення біокліматичних рішень, уведені до системи як окреме джерело.

Загалом, алгоритм робочого процесу з системою підтримки прийняття рішень на проєкті BMDSSKB наступний:

Початковий етап - завантаження джерел та створення бази знань (наприклад, PDF-звітів Міжнародної панелі з питань зміни клімату (IPCC), веб-статей про локальні кліматичні аномалії регіонів Китаю(КНР)), автоматизований імпорт (наприклад, публікацій щодо дизайн-об'єктів, які відповідають ідеальній біокліматичній моделі) через Discover Sources. У ході дослідної експлуатації до бази даних системи завантажено вручну 30 книг, публікацій, довідкових матеріалів. Текст дослідницької дисертаційної роботи та власноручно створені нотатки використано як джерела для зручності посилання та постійного використання. Здійснено автоматизований імпорт 20

джерел, у т.ч. відеосюжетів. Всього база знань склала 50 джерел, які використані у даному дисертаційному дослідженні.

Другий етап роботи з базою знань системи підтримки прийняття рішень – це аналіз даних: кластеризація, тегування, визначення зв'язків в інформаційних ресурсах. Під час роботи з системою застосовано теги, автоматизовано створено резюме всіх документів, отримано ключові теми та розділи джерел інформації структурованої бази знань. Підбито підсумки та вилучено ключові висновки з усіх завантажених досліджень. Із залученням інструментів Google NotebookLM виявлено тенденції та закономірності у завантажених джерелах та їх зв'язки із дисертаційним дослідженням. На основі аналізу інформації у базі даних проєкту BMDSSKB платформи NotebookLM сформовано базу правил, яку збережено у вигляді окремого документу до робочого простору програми.

Третій етап - надання запитів до системи та отримання рекомендацій щодо біокліматичних рішень. Питання та відповіді системи у проєкті BMDSSKB мають інтерактивних характер. Задаються питання за темою та отримуються миттєві відповіді, згенеровані ШІ. Користувач швидко знаходить потрібну інформацію, отримує відповіді на запитання без пошуку в джерелах, отримує аналітичні та синтетичні результати щодо змісту завантажених джерел без ручного пошуку в документах. Отриманими біокліматичними рекомендаціями (рішеннями) дизайнер оперує в режимі реального часу. Наприклад, у ході роботи з BMDSSKB було надано запити для вирішення задач біокліматичного моделювання та отримано відповіді (Додаток 4, рис. 4.3.11 - рис. 4.3.13.).

Четвертий етап – додатковий. Зміст цього етапу полягає у додатковій обробці отриманих рекомендацій, надання їм форми, зручної для дизайнера. Так, у ході роботи з проєктом BMDSSKB було візуалізовано деякі результати, шляхом створення порівняльних таблиць (Додаток 4, рис. 4.3.14.). Також, текст дисертаційного дослідження переведено в аудіоформу та використано у подкаст-форматі для навчання і засвоєння студентами.

Створено бібліотеку подкастів, що складається з декількох тем з питань біокліматичного моделювання. На основі матеріалів дисертаційного дослідження у рамках проєкту BMDSSKB платформи NotebookLM згенеровано відеоогляд (Додаток 4, рис. 4.3.15.), який використано у навчальному процесі на архітектурному факультеті КНУБА.

Таким чином, у ході вправдження проєкту BMDSSKB на платформі NotebookLM було створено структуровану базу знань біокліматичного моделювання, до якої залучено різноформатні біокліматичні дані, у т.ч. з використанням інструментів автоматизованого збору джерел. База знань включає базу даних та базу правил. Для вирішення завдань біокліматичного моделювання використано здатність контекстно-орієнтованого AI Google NotebookLM виконувати аналітичні оцінки та здійснювати мультиджерельний синтез з використанням таких функцій як кластеризація джерел з інформацією щодо біокліматичного моделювання, створення резюме всіх документів, визначення зв'язків в інформаційних ресурсах. Отримано ключові висновки з усіх завантажених досліджень, у т.ч. із дисертаційного дослідження, виявлено закономірності у джерелах, сформовано правила виведення біокліматичних рішень.

Апробовано використання платформи у якості системи підтримки прийняття біокліматичних рішень. У ході роботи з платформою здобуті результати використано для вирішення прикладних завдань біокліматичного моделювання шляхом формулювання інтерактивних завдань (запитань) та отримання розгорнутих, обґрунтованих посиланнями на джерела, відповідей, згенерованих аналітичних та синтетичних рекомендацій. За необхідності, отримані результати було оброблено платформою шляхом візуалізації або перетворення інформації в аудіоформат, їм надано форму, зручну для дизайнера.

Зазначені результати обґрунтовують забезпечення цифровою платформою NotebookLM експертного рівня підтримки рішень для дизайнерів та архітекторів в контексті кліматичної адаптації та енергоефективності.

Перевагами використання даної цифрової платформи для біокліматичного моделювання є скорочення затрат на пошук джерел та зосередженість на інтерпретації результатів, можливість роботи з різноформатними даними, а точність посилань усуває ризик інтерпретаційних помилок. Платформа може успішно використовуватись у біокліматичному проектуванні для аналізу великих наборів кліматичних та проєктних даних, формулювання проєктних ідей, складання резюме проєктів, відстеження деталей проєктів, у навчальному процесі – для створення навчальних посібників, конспектів лекцій та підготовки до іспитів за спеціальністю «дизайн».

#### **4.4. Методологія формування біокліматичних рекомендацій на основі моделей штучного інтелекту та верифікованих баз знань**

В умовах поширення концепцій сталого розвитку біокліматичне моделювання є важливим інструментом у дизайні. Сфера створення дизайн-об'єктів оперує складними та великими обсягами різноманітних даних, включаючи динамічні макро-, мезо- та мікрокліматичні параметри, а також елементи дизайну, проєктні рішення та властивості матеріалів тощо. У контексті такої актуальності, автоматизовані системи підтримки прийняття рішень спроможні ефективно обробляти різнопланову інформацію та здійснювати біокліматичний аналіз для прийняття дизайн-рішень.

З метою вирішення задачі підтримки прийняття біокліматичних рішень у рамках даного дослідження було визначено концептуальні засади Експертної системи біокліматичного моделювання (ЕС БкМ), у цифровому форматі реалізовано чат бот BioClimaBot як базову інформаційну систему та прототип ЕС БкМ, розроблено базу знань як основний елемент системи підтримки прийняття рішень біокліматичного моделювання на цифровій платформі NotebookLM. У ході практичного застосування перевірено здатність реалізованих цифрових інструментів підтримувати прийняття

рішень у сфері біокліматичного моделювання, що підтверджує правильність запропонованої концепції автоматизованої обробки інформації для задач біокліматичного аналізу та моделювання з використанням обраних платформ.

Чат-бот BioClimaBot, реалізований на деревах рішень, можна розглядати як базову інформаційну систему та прототип ЕС БкМ. Він демонструє високу інтерактивність та прозорість біокліматичних рекомендацій, є інноваційним продуктом, що має значні перспективи для популяризації біокліматичних рішень та підходів. Однак його фіксована логіка та обмежена адаптивність роблять його неефективним для складних, непередбачених сценаріїв, що вимагають постійного оновлення та творчого генерування рішень.

Концептуальна ЕС БкМ імітує логіку експерта, складаючись із бази знань (база даних і база правил) та механізму виведення рішень (вирішувача), який застосовує логіку «ЯКЩО-ТО». Сильною стороною такої системи є прозорість виведення рекомендацій та передбачуваність. Проте, класичні ЕС принципово обмежені своїми заздалегідь визначеними правилами, що робить їх жорсткими для адаптації до динамічних даних у сфері біокліматичного моделювання. Залежність від ручного інженерінгу знань для побудови та оновлення бази знань є трудомістким викликом, а також ЕС погано пристосовані для обробки неструктурованих чи нечітких даних.

На початку даного дослідження в якості системи підтримки рішень для біокліматичного моделювання розроблялася експертна система. ЕС були одними з перших інструментів штучного інтелекту (ШІ), які вирішували складні проблеми шляхом кодування знань людських експертів у автоматизовані системи, і тому ідея даного дослідження, сформульована у 2022 році, ще до появи ChatGPT, вбачалась інноваційною та перспективною. Але внаслідок стрімкого розвитку технологій штучного інтелекту (ШІ), системи автоматизованої підтримки рішень значно зросли у продуктивності. Сучасні системи ШІ застосовують комбінацію методів виведення рішень, що включають нейронні мережі, машинне навчання. Ці методи ШІ у якості

вирішувача значно перевищують алгоритми класичних вирішувачів ЕС за рівнем ефективності, що є критично важливим для біокліматичного моделювання через варіабельність природних процесів та багатопараметричність об'єктів дизайну. Рішення, що пропонується реалізувати у ході даного дослідження, відповідає концепції ЕС БкМ, яка складається з бази даних, бази правил та вирішувача, але з інтелектуальним механізмом виведення рішень на основі систем ШІ замість класичного алгоритмічного вирішувача експертної системи.

Локальні системи ШІ, такі як NotebookLM (використаний у даному дослідженні для проєкту BMDSSKB), зосереджуються на джерельно-орієнтованому аналізі. Вони працюють виключно з наданими користувачем джерелами, що забезпечує високу фактичну точність, знижує ризик «галюцинацій» та надає пріоритет конфіденційності. Це робить NotebookLM відмінним інструментом для створення верифікованої бази знань біокліматичного моделювання, як елементу експертної системи, на основі наявних документів у сфері, де є великий обсяг джерел, а саме – щодо біокліматичного проєктування в архітектурі (проєкт BMDSSKB). Проте, нездатність таких платформ отримувати доступ до зовнішньої або динамічної інформації, що виходить за межі завантаженої бази даних джерел, обмежує їх для комплексного біокліматичного моделювання, яке часто вимагає актуальних даних та іноваційних підходів. Це відрізняє цю платформу від інтелектуальних систем, таких як Gemini або Perplexity, що можуть звертатися до мережі Інтернет для пошуку і аналізу інформації у режимі реального часу. Тому локальна платформа NotebookLM може використовуватись лише як допоміжний інструмент для формування бази знань, а не як повноцінна система підтримки рішень для складних завдань моделювання, за виключенням біокліматичного дизайну у сфері архітектури та містобудування у зв'язку із наявністю значної джерельної бази (проєкт BMDSSKB).

Інтелектуальні LLM моделі, такі як Gemini та Perplexity, є значним проривом у ШІ, оскільки навчені на величезних обсягах даних, що дозволяє їм

ефективно обробляти неструктуровану інформацію та адаптуватися до динамічних змін, у зв'язку із чим у даному дослідженні механізм виводу біокліматичного рішення реалізовано на основі LLM Perplexity та Gemini. У порівнянні з традиційними експертними системами, LLM демонструють високу ефективність у прогнозуванні та здобутті знань. У біокліматичному моделюванні вони здатні узагальнювати складні результати кліматичних моделей, генерувати нестандартні та творчі проєктні ідеї, а також виступати як інтелектуальні механізми виведення рішень (вирішувачі) у рамках концепції ЕС БкМ. Додатково, використання готових LLM-сервісів є швидшим та економічно вигіднішим, ніж розробка власної ЕС. Проте, LLM мають критичний недолік, відомий як проблема «заземленості». Через залежність від загальних навчальних даних, відповіді моделі можуть бути неточними, неконтекстуалізованими або містити "винайдені" відомості, що неприпустимо у такій специфічній експертній галузі як біокліматичне моделювання. Для забезпечення достовірності рішень доцільно використовувати гібридні підходи. Зокрема, технологія Retrieval-Augmented Generation (RAG) дозволяє LLM отримувати доступ до зовнішньої, попередньо створеної та перевіреної бази знань, наприклад, до бази знань біокліматичного моделювання, створеної за допомогою NotebookLM. Такий підхід поєднує широкий доступ LLM до актуальної інформації з достовірністю експертних даних гарантуючи, що модель використовує точну, актуальну та верифіковану інформацію. Отже, гібридна архітектура, де LLM виступає як «інтелектуальний агент», що оперує верифікованою базою знань, є оптимальним рішенням для багатопараметричного біокліматичного моделювання, забезпечуючи гнучкість, масштабованість та точність.

Порівняння характеристик досліджених та апробованих систем підтримки прийняття рішень для задач біокліматичного моделювання наведено у зведеній таблиці (Додаток 4, таб. 4.4.1).

Підсумковим продуктом аналітичного процесу, автоматизованого за допомогою цифрових інструментів, є біокліматичне рішення-рекомендація.

Це аргументована порада для дизайнера, що формується на основі аналізу кліматичних і предметних даних та експертних знань. Рекомендація встановлює взаємозв'язки між кліматичними параметрами (температура, вологість, сонячна радіація тощо) і предметом дизайну, інтегруючи при цьому екологічні підходи, що дає змогу раціонально розподіляти ресурси та гарантувати кліматичну адаптацію об'єктів. Необхідність врахування багатопараметричних даних та динамічних змін висуває високі вимоги до організації роботи з моделлю інтелектуального агента.

Для вирішення практичних задач виведення біокліматичних рішень за допомогою інтелектуальних агентів проведено підготовчу роботу. На підставі даних цього дослідження розроблено «Алгоритм виведення біокліматичного рішення» (Додаток 4.4., рис. 4.4.2). Алгоритм впроваджує методологію вирішення біокліматичних задач у сферу використання цифрових інструментів. Згідно з цією методологією, розробленою у п. 3.4. Розділу 3 цього дослідження, здійснюється оцінка предмета дизайну на відповідність біокліматичному підходу. Оцінка проводиться за об'єктивними критеріями:  $K_1$  - Адаптація до клімату,  $K_2$  - Екологічність,  $K_3$  - Енергоефективність,  $K_4$  - Естетика/функціональність,  $K_5$  – Інноваційність; кожен критерій містить індивідуальні індикатори (див. п. 3.4 Розділу 3). Згідно з алгоритмом, відповідність предмета дизайну біокліматичному підходу визначається у балах від 0 до 1. При загальному результаті оцінювання нижче певної кількості балів предмет дизайну не відповідає біокліматичним вимогам. На початку роботи відбувається постановка завдання у формі інструкції інтелектуальному агенту, яка передбачає вироблення біокліматичного рішення (рекомендації) на основі отриманої дизайн-об'єктом оцінки. Формулювання інструкцій варіюються у відповідності із поставленою задачею біокліматичного моделювання. Зразки основних інструкцій (промптів) наведено у Додатку 4.4.: рис. 4.4.4., 4.4.6., 4.4.12.а, 4.4.14., 4.4.15., 4.4.16.

У ході практичного застосування системи підтримки прийняття рішень вирішувалась задача формулювання біокліматичної рекомендації шляхом

експертного оцінювання предметів одягу: куртки, брюки, светра, жакета, головного убору. Інтелектуальному агенту запропоновано документ під назвою «Алгоритм виведення біокліматичного рішення» та поставлено задачу сформулювати біокліматичне рішення для визначених предметів одягу на підставі критеріїв, визначених у документі:  $K_1$  - Адаптація до клімату,  $K_2$  - Екологічність,  $K_3$  - Енергоефективність,  $K_4$  - Естетика/функціональність,  $K_5$  – Інноваційність. Процес постановки задачі і виведення рішення за допомогою Perplexity наведено у Додатку 4.4., рис. 4.4.4. З даного прикладу вирішення задачі біокліматичного моделювання вбачається, що інтелектуальним асистентом Perplexity виконано декілька операцій: оцінено предмет дизайну на відповідність біокліматичним вимогам (за заданою методологією); роз'яснено логіку прийняття біокліматичного рішення; сформульовано біокліматичне рішення предмету дизайну; скориговано дизайн для більшої відповідності біокліматичному підходу, оскільки при проектуванні дизайн- об'єктів досить часто виникає необхідність коригування первинної концепції дизайну у відповідності з практичними потребами.

Слід відмітити, що сучасна проектна діяльність дизайнера відбувається в умовах зростаючої складності інформаційного середовища, де професійно вагома інформація часто є неповною або динамічно змінюваною. Для роботи з цими викликами обгрунтовано застосування системного аналізу у практичному біокліматичному моделюванні (див. Розділ 1). На практиці це реалізовано у рамках даного дослідження за рахунок використання дизайнером інформаційної інтелектуальної системи, замість роботи з неупорядкованими мультидисциплінарними наборами даних. Використання інтелектуального агента забезпечило систематизацію даних, дозволило додавати додаткові джерела до бази знань, інтегрувати нову інформацію та у режимі реального часу коригувати оцінки відповідності об'єкта біокліматичному підходу, яке відбувається через послідовне експертне оцінювання за критеріями  $K_1$ – $K_5$  ( Додаток 4.4., рис. 4.4.5). Цей процес

відповідає принципу прогностичності системного підходу, який вимагає врахування можливих майбутніх змін та оцінки ризиків і невизначеності.

Важливою складовою роботи ШІ для потреб біокліматичного моделювання є інтерактивна комунікація з користувачем, під час якої відбувається уточнення первинної інформації для збільшення точності та релевантності аналізу. Так, у ході діалогу із дизайнером система ставить уточнюючі питання, які стосуються кліматичних умов, особливостей предмета проєктування. Цей механізм реалізується через діалогові модулі та системи постановки питань і формування промптів, які дозволяють оптимізувати процес прийняття рішень, підвищуючи точність біокліматичних рекомендацій. У ході використання системи послідовно підшукувались найбільш актуальні для даного проєкту інструкції, промпти (Додаток 4.4.: рис. 4.4.4., 4.4.6., 4.4.12.а, 4.4.14., 4.4.15., 4.4.16.), які дозволили ефективно звужити простір розв'язків та підвищили якість кінцевої рекомендації. Такий механізм є засобом подолання інформаційної невизначеності, що забезпечив адаптивність систем ШІ у біокліматичному моделюванні до нових сценаріїв. Приклад інтерактивної взаємодії з проєктантом у ході вирішення задачі біокліматичного моделювання одягу наведено у Додатку 4, рис. 4.4.6. Зокрема, після отримання інтелектуальним агентом завдання сформулювати біокліматичне рішення для предметів одягу сформульовано додаткову інструкцію щодо уточнення вхідних даних шляхом опитування проєктанта: інтелектуальним агентом у межах задачі експертного оцінювання предметів дизайну та формулювання біокліматичних рішень запропоновано варіант опитувального листа для моделювання одягу (Додаток 4, рис. 4.4.7).

У подальшому у ході виконання задачі біокліматичного моделювання проєктантом було надано уточнену інформацію у відповідності з питаннями опитувального листа щодо предметів дизайну, внаслідок чого інтелектуальним агентом було скориговано напрям аналізу вхідної інформації в частині вимоги оцінювання відповідності одягу кліматичним умовам, у яких він використовується, що є умовою біокліматичного підходу в дизайні.

Виконання задачі біокліматичного моделювання здійснювалось шляхом звернення до бази знань (бази даних та бази правил), під час якого задіювався шаблон RAG (Додаток 4, рис. 4.4.8). Зокрема, як вбачається з ходу процесу біокліматичного моделювання куртки-вітровки, експертне оцінювання здійснювалось у відповідності із методологією оцінювання, визначеною у «Алгоритмі виведення біокліматичного рішення» (джерело № 1), що є складовою частиною бази правил. Інтелектуальним агентом також було оброблено інформацію з джерел, внесених до бази даних (у прикладі – це джерела №2, №3 та №4 ) (Додаток 4, рис. 4.4.8). Таким чином, використання у режимі реального часу змінених інструкцій, бази даних і бази правил підвищило точність («заземленість») біокліматичного рішення.

Оцінку, надану інтелектуальним агентом відповідності інших об'єктів дизайну (куртка, брюки, светр, жакет) вимогам біокліматичного підходу, оформлено у вигляді висновків - цифрових значень, які встановлені методологією оцінювання (Додаток 4, рис. 4.4.9). Правильність висновків перевірено автором за допомогою ручних розрахунків. У ході подальшого оцінювання та виведення рішення інтелектуальним агентом, з урахуванням додаткової вхідної інформації та виявлених проєктантом помилок, було внесено коригування до рекомендацій та сформульовано остаточні моделі предметів дизайну, що відповідають біокліматичним вимогам. Звіт включає виправлення помилок, корективи оцінок, висновки, пояснення здійсненим оцінкам, рекомендації, формулювання остаточних моделей предметів дизайну у відповідності із біокліматичним підходом (Додаток 4, рис. 4.4.10).

Сформульовані біокліматичні рішення були подано LLM Perplexity у різноманітних варіантах. Так, у прикладі (Додаток 4, рис. 4.4.11) рішення має вигляд таблиці для наочності, на відміну від Додаток 4, рис. 4.4.10, де візуалізація має текстову форму. Наведено формулу виведення біокліматичного рішення, яке супроводжується оцінкою відповідності проєкту предмета дизайну за критеріями біокліматичності, запропонованими у п.3.4. Розділу 3.

У ході вирішення завдання отримання біокліматичного рішення (рекомендації) із використанням іншої LLM моделі - Gemini до критеріїв відповідності біокліматичному підходу проєкту предмета дизайну було додано індивідуальні індикатори кожного з критеріїв, використання яких обґрунтовано у п. 3.4. Розділу 3. Дане рішення забезпечує більш точну оцінку предмета дизайну та, відповідно, підвищує обґрунтованість біокліматичної рекомендації, але ускладнює процес оцінки, що, на нашу думку, не могло бути реалізовано в первинно запропонованій експертній системі біокліматичного моделювання з використанням класичного алгоритмічного вирішувача.

У ході використання LLM Gemini для вирішення задачі біокліматичного моделювання куртки було сформульовано інструкцію (Додаток 4, рис. 4.4.12.a), якою передбачено звернення до методології виведення біокліматичного рішення, визначеною у п. 3.4. Розділу 3 та оформленою в «Алгоритмі виведення біокліматичного рішення» (Додаток 4, рис. 4.4.2). Оцінка виробу здійснювалась за п'ятьма комплексними критеріями ( $K_1$  - Адаптація до клімату,  $K_2$  - Екологічність,  $K_3$  - Енергоефективність,  $K_4$  - Естетика/функціональність,  $K_5$  – Інноваційність) та індивідуальними індикаторами кожного з критеріїв. У ході вирішення цієї задачі за допомогою LLM Gemini було встановлено, що бавовняна куртка виявилася неефективною в холодному кліматі (оцінка 0.4964). Інтелектуальним агентом було ідентифіковано критичні недоліки (низькі теплоізоляційні характеристики та високу гігроскопічність) і вказано, які саме параметри необхідно змінити для досягнення біокліматичної відповідності (Додаток 4, рис. 4.4.12.б). З наведеного прикладу вбачається, що фінальне біокліматичне рішення є результатом оптимізованої та кількісно обґрунтованої конструкції замість того, щоб ґрунтуватися виключно на досвіді або інтуїції дизайнера. Такий підхід відповідає принципам системного аналізу та об'єктивного оцінювання у сфері біоклімату, оскільки враховує адаптацію до макро-, мезо- та мікрокліматичних умов, використовує комплексний набір індикаторів. Він закладає методологічну базу для автоматизованих рекомендацій та

підтверджує ефективність запропонованої системи підтримки прийняття рішень, яка керується даними в інформаційному середовищі.

У прикладі (Додаток 4, рис. 4.4.13.а) інтелектуальним агентом Gemini послідовно пояснено хід виконання задачі з біокліматичного моделювання, наведено логіку виведення біокліматичного рішення. Під час проведеного Gemini оцінювання проєктанту візуалізовано процес оцінки предмету дизайну шляхом представлення детальних розрахунків, виконаних інтелектуальним агентом (Додаток 4, рис. 4.4.13.а). З урахуванням виконаних оцінок та проведених розрахунків інтелектуальним агентом Gemini запропоновано остаточні біокліматичні рішення для предметів дизайну за визначеною методологією з використанням критеріїв та їх індикаторів (Додаток 4, рис. 4.4.13.б). У цьому прикладі формули проведення оцінки для інших предметів дизайну інтелектуальним агентом для дизайнера не візуалізувалися. Запропонований підхід оцінки відповідності біокліматичним підходам (деталізована оцінка відповідності за критеріями та індикаторами) рекомендується використовувати у проєктуванні предметів дизайну, до яких висуваються підвищені вимоги (які можуть бути піддані дії екстремальних умов, при високих вимогах відповідності умовам кліматичної адаптації, екологічності тощо).

Крім біокліматичного моделювання дизайну одягу, система штучного інтелекту Gemini продемонструвала свою ефективність при створенні біокліматичних рекомендацій у галузі містобудування та ландшафтного дизайну. Так, було проаналізовано погодні дані, тип ґрунту та культуру, формуючи рекомендації щодо оптимальних термінів висадки, внесення добрив та догляду для декоративних рослин в Центральному регіоні Китаю (м.Пекін). У разі відсутності повних даних, система може задавати уточнюючі питання (наприклад, про вологість ґрунту або прогноз на найближчі дні). На практиці, інтелектуальний агент звертався до інформаційних ресурсів у мережі Інтернет для коригування та уточнення рекомендацій. Вирішувач отримав свіжі прогнози погоди та опадів, зіставив їх з правилами догляду за

рослинами та, використовуючи RAG, підтягнув останні дослідження щодо стійкості рослин у певних кліматичних зонах. Результатом стала рекомендація адаптивної схеми висадки, зрошення та догляду за рослинами (Додаток 4, рис. 4.4.14).

Біокліматичні рекомендації також стосувалися оцінки збереження або відновлення міських природних екосистем у Північному Китаї (м.Харбін) відповідно до кліматичних прогнозів, розробки стратегії озеленення міських територій для зменшення впливу «теплових островів», а також порад щодо підтримки рідкісних видів рослин у випадку зміни навколишнього природного середовища (Додаток 4, рис. 4.4.15).

При моделюванні біокліматичної будівлі для Південного Китаю (м.Гуанчжоу) вирішувачем оброблено інформацію про кліматичні умови, сонячну інсоляцію, напрям вітру, і на основі даних та правил з бази знань надано рекомендації щодо орієнтації та форми будівлі, використання ВДЕ, матеріалів тощо. У випадку неоднозначностей система запитувала додаткові параметри, що уточнюють умови. Система аналізувала інсоляцію ділянки та історичні ряди вітрів, після чого з бази правил обрала оптимальну орієнтацію будівлі; за допомогою RAG було додано обладнання ВДЕ та нові оздоблювальні матеріали, сформовано рекомендації щодо енергоспоживання та кольорової гамми дизайн-об'єкта. Приклади рекомендацій включають вказівки щодо розташування та орієнтації будівлі з метою оптимізації теплової ефективності і природної інсоляції, а також поради щодо вибору будівельних матеріалів, технологій генерації сонячної енергії, архітектурних рішень для зниження енергоспоживання й підвищення комфорту для мешканців (Додаток 4, рис. 4.4.16 – 4.4.20).

Отже, підсумовуючи викладене, з урахуванням проведеного дослідження у ході наукової роботи розроблено методологію формування біокліматичних рекомендацій на основі моделей штучного інтелекту, де біокліматичне рішення є результатом оптимізованої та кількісно обґрунтованої конструкції на основі даних.

За результатами аналізу обмежень класичних ЕС та локальних систем ШІ, було обґрунтовано та на практиці продемонстровано, що оптимальним підходом для багатопараметричного біокліматичного моделювання є гібридна архітектура ШІ, яка використовує великі мовні моделі LLM Perplexity або Gemini як інтелектуальних агентів, що оперують верифікованою базою знань за допомогою технології RAG, яка дозволяє LLM звертатися до перевірених джерел, підвищуючи фактичну точність та обґрунтованість («заземленість») біокліматичних рішень.

Для систематизації процесу розроблено методологію та алгоритм виведення біокліматичного рішення, що включає комплексне багатокритеріальне експертне оцінювання. Оцінка відповідності дизайну біокліматичному підходу проводилася за п'ятьма критеріями (адаптація до клімату, екологічність, енергоефективність, естетика/функціональність та інноваційність), та індивідуальними індикаторами кожного критерію, що відповідає принципам системного аналізу та об'єктивного оцінювання у сфері біоклімату.

Впроваджено практичні прийоми моделювання у вигляді промптів (інструкцій) до систем штучного інтелекту для ефективного звуження простору розв'язків та підвищення якості кінцевої рекомендації. Система була апробована шляхом експертного оцінювання предметів одягу та вирішення більш складних задач у галузі містобудування та ландшафтного дизайну, включаючи розробку стратегій озеленення та моделювання будівель. Інтелектуальним агентом було успішно виведено аргументовані біокліматичні рішення та надано рекомендації щодо корекції дизайну для більшої відповідності біокліматичному підходу. Також була продемонстрована висока інтерактивність системи у формі уточнюючих питань, опитувальних листів до користувача, роз'яснень логіки рішень.

У результаті підтверджено правильність запропонованої концепції автоматизованої обробки інформації для задач біокліматичного аналізу та моделювання. Отримані результати становлять методологічну базу системи

підтримки прийняття рішень та отримання автоматизованих рекомендацій, підтверджують ефективність гібридних ШІ-систем та мають значний потенціал універсальності та масштабованості у сфері біокліматичного моделювання.

### **Висновки до четвертого розділу**

**1.** Розроблено та реалізовано прототип інтерактивної базової інформаційної системи — чат-бот BioclimateBot. Чат-бот, побудований за схемою дерева рішень, використовується для опису, класифікації та узагальнення наборів даних щодо біокліматичних підходів у різних видах дизайну. Визначено задачі біокліматичного моделювання, які можуть бути вирішені за допомогою BioclimateBot, включаючи інтеграцію природно-кліматичних особливостей, класифікацію біокліматичних ознак та генерацію в автоматичному режимі біокліматичних рекомендацій щодо оптимізації естетичних і функціональних аспектів, вибору матеріалів та форм з урахуванням заданих кліматичних параметрів. Розроблено загальну структуру BioclimateBot та детально розроблено ланцюг отримання інформації для промислового дизайну (зовнішній одяг як природно-об'єктний дизайн) для кліматичних умов КНР. У ході дослідної експлуатації чат-боту BioclimateBot апробовано використання дерев рішень як методу роботи з базовою інформацією, що є необхідним для вирішення задач біокліматичного моделювання. Проведено тестування та дослідне використання чат-боту BioclimateBot у навчальному процесі КНУБА. Під час функціонального тестування перевірено, що бот відповідає на запитання та формулює біокліматичні рекомендації.

**2.** Здійснено теоретичне обґрунтування структури та механізмів роботи Експертної системи біокліматичного моделювання (ЕС БкМ) для формування повної інформаційної системи. Встановлено, що ЕС БкМ необхідна для вирішення складних багатопараметричних задач біокліматичного

моделювання, оскільки ЕС пропонує більш систематичний та інтегрований підхід порівняно з чат-ботом BioclimaBot. Розроблено структуру ЕС БкМ, здатної аналізувати, класифікувати та прогнозувати оптимальні біокліматичні рішення для завдань дизайну. Встановлено, що основу ЕС БкМ складає гібридна база знань (декларативні та процедурні знання) та вирішувач, який використовує логіку, подібну до міркувань експерта, що дозволяє накопичувати експертний досвід.

**3.** Створено структуровану верифіковану базу знань Bioclimatic Modeling Decision Support System Knowledge Base (BMDSSKB) на цифровій платформі Google NotebookLM, яка використовується для підтримки прийняття біокліматичних рішень. База даних сформована із 50 джерел (текстові PDF, Google Docs, наукові публікації, відео з транскриптами). На основі аналізу інформації сформовано базу правил.

Апробовано використання інструментів цифрової платформи для задач біокліматичного моделювання шляхом автоматизованого збору і кластеризації джерел, створення анотованих резюме, визначення зв'язків та мультиджерельного синтезу, що значно скорочує час пошуку інформації та підвищує релевантність даних при обробці багатопараметричної проектної інформації і підтримці прийняття біокліматичних рішень, що є критично важливим елементом для ШІ-систем.

Здобуті результати використано для візуалізації даних та перетворення тексту дисертаційного дослідження в аудіоформу для створення подкастів та відеооглядів, які використано в навчальному процесі на архітектурному факультеті КНУБА. Апробовано використання платформи як системи підтримки прийняття біокліматичних рішень при вирішенні практичних задач.

**4.** Розроблено методологію формування біокліматичних рекомендацій на основі моделей штучного інтелекту (ШІ). Обґрунтовано, що оптимальним підходом для багатопараметричного біокліматичного моделювання є гібридна архітектура ШІ. Ця архітектура використовує великі мовні моделі (LLM), зокрема Perplexity або Gemini, як інтелектуальних агентів, що оперують

верифікованою базою знань (створеною в NotebookLM) за допомогою технології RAG (Retrieval-Augmented Generation). Цей гібридний підхід підвищує фактичну точність та обґрунтованість («заземленість») біокліматичних рішень, що є вирішальним для складних біокліматичних завдань.

5. Розроблено методологію та алгоритм виведення біокліматичного рішення. Цей алгоритм включає комплексне багатокритеріальне експертне оцінювання дизайну за п'ятьма критеріями:  $K_1$  - Адаптація до клімату,  $K_2$  - Екологічність,  $K_3$  - Енергоефективність,  $K_4$  - Естетика/функціональність,  $K_5$  – Інноваційність.

6. Проведено практичне застосування системи підтримки прийняття рішень на основі LLM (Perplexity та Gemini) для вирішення задач біокліматичного моделювання. На практиці продемонстровано успішне виведення аргументованих біокліматичних рішень шляхом експертного оцінювання предметів одягу на відповідність біокліматичному підходу за методологією  $K_1$  -  $K_5$ . Встановлено ефективність системи III Gemini при формуванні біокліматичних рекомендацій у галузі містобудування, архітектурного моделювання та ландшафтного дизайну, використання відновлюваних джерел енергії та вибору матеріалів.

Доведено, що фінальне біокліматичне рішення є результатом оптимізованої та кількісно обґрунтованої конструкції на основі даних, а не інтуїції дизайнера. Досягнуто високої інтерактивності системи, оскільки інтелектуальний агент ставив уточнюючі питання та роз'яснював логіку прийняття біокліматичного рішення.

У результаті, дослідження підтвердило правильність запропонованої концепції автоматизованої обробки інформації для задач біокліматичного аналізу та моделювання, а отримані результати становлять методологічну базу для системи підтримки прийняття рішень і підтверджують ефективність гібридних III-систем у сфері біокліматичного моделювання.

**Список публікацій здобувача за матеріалами четвертого розділу**

1. **Changpu R.**, Krivenko O., Ploskyi V. Conceptual foundations of the expert system of bioclimatic modeling. *Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвід. наук.-техн. зб.* Київ: КНУБА, 2025. Вип. 108. С. 177–188  
<https://doi.org/10.32347/0131-579X.2025.108.177-188>
2. **Changpu R., Krivenko O.** System of criteria for assessing the efficiency of bioclimatic modeling of design objects. *Colloquium-journal*. 2025. № 66(259). С. 5–8. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17520728>
3. **Ru Changpu**, Krivenko O. Expert systems of bioclimatic modeling and monitoring in the context of artificial intelligence technology development. *Гідрометеорологія і кліматичні виклики: наука, інновації і практика для сталого майбутнього: матеріали міжнародної наукової конференції присвяченої 170-річчю Українського гідрометеорологічного інституту НАН України*, 18-20 листопада 2025, Київ. Київ, 2025. С. 69–70.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У ході дослідження було визначено та систематизовано міждисциплінарний підхід щодо біокліматичного проєктування, який охоплює біологічний, кліматологічний, проєктний та інженерно-технологічний аспекти. Аналіз еволюції біокліматичних підходів показав, що біокліматичне проєктування є складною системою, розвиток якої відбувається через зворотні петлі, що трансформують досвід минулих періодів та інтегрують знання попередників у нові, удосконалені форми. Встановлено, що розвиток дизайну відбувається в умовах постіндустріального інформаційного суспільства, де знання та інформація є стратегічними ресурсами. Було обґрунтовано концептуальну схему, де поняття «інформаційне суспільство», «інформаційне середовище» та «інформаційний простір» виступають взаємозалежними елементами єдиної динамічної системи. Виокремлено ключові аспекти взаємодії дизайнерів із сучасним інформаційним середовищем, що вимагають розвитку компетенцій, які враховують не лише технологічну адаптацію, але й екологічні, енергоефективні, соціальні, культурні та етичні аспекти біокліматичного моделювання.

2. У ході дослідження проведено комплексний аналіз впливу природно-кліматичних умов на формування традиційної соціокультурної спадщини на прикладі Китаю. Досліджено та обґрунтовано соціокультурні регіональні відмінності між Північним (холодний та сухий клімат) та Південним (теплий та вологий клімат) Китаєм. Встановлено, що ці кліматичні відмінності вплинули на особливості розвитку архітектури, одягу, живопису та народних промислів, що підтвердило перспективність розширення застосування методів біокліматичного моделювання на інші об'єкти дизайну поза межами архітектури. Визначено, що біокліматичне моделювання є важливим інструментом, який суттєво підвищує ефективність екологічного дизайну за рахунок інтеграції аналізу природно-кліматичних умов, забезпечуючи розробку адаптованих та сталих рішень.

3. Обґрунтовано, що системний підхід є необхідним для біокліматичних проєктів, оскільки впровадження системного підходу передбачає аналіз об'єкта дизайну в контексті його функціонування, виділення ключових підсистем та дослідження їхньої взаємодії, що забезпечує стійкість рішень в умовах зростаючої складності інформаційного середовища. Встановлено, що при біокліматичному моделюванні доцільно спиратися на основні принципи системного аналізу (взаємопов'язаності, інтегративності, мультидисциплінарності, прогностичності, цілісності та ієрархічності). Ці принципи дозволяють створювати комплексні та багатоваріантні рішення, об'єднувати знання з різних галузей (інженерія, біологія, кліматологія) та прогнозувати майбутні зміни.

4. Розвинуто типологічну концепцію класифікації об'єктів дизайну, яка ґрунтується на рівні взаємодії об'єкта дизайну з природно-кліматичним середовищем. Виділено три основні групи: природно-об'єктний, штучно-об'єктний та дифузно-об'єктний дизайн. Ця класифікація створює теоретичну основу для інтерпретації класифікації дизайн-об'єктів у рамках біокліматичного моделювання, дозволяючи визначити специфіку аналізу кліматичних чинників для широкого кола об'єктів дизайну.

5. Розроблено та запропоновано універсальну систему багатокритеріального оцінювання відповідності об'єктів дизайну біокліматичним підходам. До цієї системи входять п'ять ключових критеріїв: Адаптація до клімату ( $K_1$ ), Екологічна стійкість ( $K_2$ ), Енергоефективність ( $K_3$ ), Естетика та функціональність ( $K_4$ ) та Інноваційність ( $K_5$ ), а також відповідні індикатори. Ця система створює комплексну методологічну базу для об'єктивної оцінки рішень, що розширює можливості біокліматичного моделювання на різні галузі дизайну.

6. Обґрунтовано необхідність формування інформаційної системи як ключового інструменту, що забезпечує структуроване використання даних для підвищення ефективності багатопараметричного біокліматичного моделювання. Розроблено двоетапну модель інформаційної системи. Базова

система забезпечує попередній збір інформації щодо об'єкта дизайну, кліматичних умов та первинних цілей, закладаючи логічний фундамент. Повна система деталізує інформацію для фінальних біокліматичних рішень, включаючи вимоги до мультидисциплінарної команди та сучасних технологій.

7. Обґрунтовано концептуальну структуру, розроблено та здійснено апробацію елементів і системи підтримки прийняття рішень для біокліматичного моделювання. Вперше було обґрунтовано та практично розроблено прототип інтерактивної базової інформаційної системи — чат-бота BioClimaBot. Його архітектура базується на дереві рішень з використанням алгоритму вибору атрибута на підставі приросту інформації. Апробація довела, що система може автоматизовано надавати рекомендації та систематизувати великі обсяги даних, оптимізуючи процес дизайну.

Розроблено та теоретично обґрунтовано концептуальну структуру Експертної системи біокліматичного моделювання (ЕС БкМ). Новизна полягає в розробці гібридної бази знань (що інтегрує декларативні та процедурні знання) та використанні евристичного методу "ЯКЩО-ТО" та алгоритмічного вирішувача для виведення біокліматичних рішень. Також обґрунтовано модульну структуру бази даних, що включає кластери "Кліматичні характеристики", "Об'єкти проектування" та "Проектні рішення".

Практично розроблено та апробовано проєкт системи підтримки прийняття рішень біокліматичного моделювання BMDSSKB на базі локальної ШІ-платформи Google NotebookLM. Встановлено, що BMDSSKB функціонує як верифікована база знань, яка працює локально і забезпечує виведення біокліматичних рішень, що ґрунтуються виключно на завантажених джерелах (50 джерел). Новизна цього підходу полягає у застосуванні доступної AI-платформи як спеціалізованого інструменту для створення структурованої, джерельно-орієнтованої бази знань у сфері біокліматичного моделювання, що гарантує високу фактичну точність рекомендацій.

Розроблено та практично апробовано методологію і алгоритм виведення біокліматичного рішення. Підтверджено ефективність

запропонованої гібридної архітектури ШІ, яка інтегрує сильні сторони великих мовних моделей (LLM) з верифікованою базою знань (за допомогою RAG-технології) для забезпечення точних і верифікованих рекомендацій. Інтелектуальний агент продемонстрував здатність оцінювати об'єкти дизайну на відповідність біокліматичним вимогам та надавати обґрунтовані корегуючі рекомендації, керуючись універсальною методологією багатокритеріального оцінювання ( $K_1 - K_5$ ).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. **Абизов, В.** Фактори та умови, що визначають дизайн середовищних систем і об'єктів. *Вісник Київського національного університету культури і мистецтв. Мистецтвознавство*. 2008. Вип. 19. С. 71–73.
2. **Абизов, В.** Пропозиції щодо методики дизайн-проектування об'єктів середовища. У *Актуальні проблеми сучасного дизайну : тези II Міжнар. наук.-практ. конф.* – Київ : Київ. нац. ун-т технологій та дизайну, 2020. – С. 138–142.
3. **Арістова, І. В.** Державна інформаційна політика: організаційно-правові аспекти. – Харків : Вид-во Університету внутрішніх справ, 2000. – 216 с.
4. **Биков, М. М.** Основи інтелектуальних технологій. Ч. 1. Технології розпізнавання : електрон. навч. посіб. / М. М. Биков, В. В. Ковтун, В. О. Гаврилук. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 229 с.  
URL: [https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2023/Bykov\\_P1\\_2023\\_229.pdf](https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2023/Bykov_P1_2023_229.pdf) (дата звернення: 05.02.2024).
5. **Бонч-Бруєвич, Г. Ф.** Організація та обробка електронної інформації : навч. посіб. / Г. Ф. Бонч-Бруєвич, Т. І. Носенко. – Київ : Київ. ун-т ім. Б.Грінченка, 2013. – 108 с.
6. **Бородавка, Є. В.** Методологія створення інформаційних технологій автоматизації життєвого циклу будівельних об'єктів : автореф. дис д-ра техн. наук : 004.021:004 / Є. В. Бородавка ; КНУБА. – Київ, 2017. – 42 с.
7. **Васильєв, О. С.** Дизайн веб-сайтів електронної комерції: еволюція, естетичні аспекти : дис. ... д-ра філософії (PhD) : 05.01.03 / О. С. Васильєв ; КНУБА. – Київ, 2024. – 315 с.
8. **Ганжа, М. В.** Детермінанти використання засобів етнодизайну в освітньому середовищі як чинника формування патріотичних почуттів // У кн.: *Етнодизайн у контексті відродження української національної*

- ідентичності та європейської інтеграції*. Кн. 1 : зб. наук. праць. – Полтава : ПНПУ імені В.Г. Короленка, 2024. – С. 161–166.
9. **Гардабхадзе, І. А.** Дизайн-мислення як засіб адаптації до соціальних трансформацій у постцифровий період. У *Дизайн-освіта як галузь креативних індустрій* : зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф. – Київ, 2019. – С. 11–15.
10. **Грабченко, А. І.** *Методи наукових досліджень* : навч. посіб. / А. І. Грабченко, В. О. Федорович, Я. М. Гаращенко. – Харків : НТУ «ХП», 2009. – 142 с.
11. **Даниленко, В. Я.** *Дизайн* : підручник. – Харків : Вид-во ХДАДМ, 2003. – 320 с.
12. **Данісян, А. Є.** *Інструментальні засоби створення об'єктів еко – дизайну на основі методологічного підходу* : дис. ... канд. техн. наук : 05.01.03 / А. Є. Данісян ; КНУБА. – Київ, 2018. – 184 с.
13. **Даніл'ян, В. О.** *Глобальне інформаційне суспільство: культура і людина. Філософські обрії*. 2005. № 14. С. 67–78.
14. **Дизайн. Словник-довідник** / за заг. ред. М. І. Яковлева. – Київ : Фенікс, 2010. – 384 с.
15. **Кардаш, О. В.** *Дизайнерська діяльність: екологічне проектування* : наук.-метод. вид. / О. В. Кардаш, В. О. Свірко, О. В. Бойчук, В. М. Голобородько. – Київ : УкрНДІ ДЕ, 2016. – 196 с.
16. **Кащенко, О. В.** *Формоутворення в дизайні та архітектурі на основі моделювання біопрототипів* : дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.03 / О. В. Кащенко ; КНУБА. – Київ, 2013. – 328 с.
17. **Коваль, Л. М.** *Критерії оцінки естетичного рівня світлового середовища приміщення. Технічна естетика і дизайн*. 2020. № 17. С. 30–41. <https://doi.org/10.32347/2221-9293.2020.17.30-41>.

18. **Коваль, Л. М.** Методика концептуального пошуку в дизайнерському проєктуванні. *Українська культура: минуле, сучасне, шляхи розвитку (напрям: культурологія)*. 2025. № 50. С. 443–450. <https://doi.org/10.35619/ucpmk.50.998>.
19. **Коваль, Л. М.** Стратегії формування креативних навичок у підготовці майбутніх фахівців з дизайну. *Наука і техніка сьогодні (Серія «Техніка»)*. 2024. № 2(30). С. 574–584. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-2\(30\)-574-584](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-2(30)-574-584).
20. **Кривенко, О. В.** Біокліматична архітектура як явище в екологічній архітектурі. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі* 2013. № 4. С. 155–158.
21. **Кривенко, О. В.** Структурно-функціональне моделювання біокліматичних висотних будівель : дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.03 / О. В. Кривенко ; КНУБА. – Київ, 2021. – 385 с.
22. **Кривенко, О.** Формування системного підходу при застосуванні відновлювальних природних ресурсів у висотних біокліматичних будівлях. *Технічна естетика і дизайн*. 2019. № 16. С. 26–33. <https://doi.org/10.32347/2221-9293.2019.16.26-33>.
23. **Луговський, О.** Традиції та інновація в сучасній проєктній практиці промислового дизайну. У *Матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф.* – Херсон : ХНТУ, 2017. – С. 19–21.
24. **Малік, Т. В.** Просторово формуючі напрями дизайн-діяльності початку 21 століття. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2011. № 27. С. 89–94.
25. **Мартинов, В.** Визначення раціональних параметрів розташування світлопрозорих конструкцій на фасадах зелених будівель у післявоєнний період в Україні / В. Мартинов, Д. Стаднійчук, О. Мартинюк. *Прикладна*

*геометрія та інженерна графіка*. 2023. № 105. С. 172–179. <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2023.105.172-179>.

26. **Мартинов, В. Л.** Моделювання трансмісійних тепловтрат за варіації геометричної форми зелених будівель / В. Л. Мартинов, О. Л. Мартинюк, Ю. Ю. Поляк. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2025. № 108. С. 93–98. <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2025.108.135-143>.
27. **Мартинов, В. Л.** Оптимізація орієнтації енергоефективних будівель, що обертаються / В. Л. Мартинов, Т. Л. Чирва. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2022. № 103. С. 123–133. <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2022.103.123-133>.
28. **Мартинов, В. Л.** Оптимізація розподілу утеплювача по теплоізоляційній оболонці енергоефективних будівель / В. Л. Мартинов, Т. Л. Чирва. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2022. № 102. С. 91–96. <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2022.102.127-135>.
29. **Мартинов, В. Л.** Структуризація заходів щодо зменшення енергоспоживання зелених будівель з елементами оптимізації геометричних параметрів / В. Л. Мартинов, Ю. Ю. Поляк, О. Л. Мартинюк, Т. Банний. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2024. № 107. С. 108–116. <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2024.107.108-116>.
30. **Михайленко, В. Є.** Основи біодизайну : навч. посіб. / В. Є. Михайленко, О. В. Кашенко. – Київ : Каравела, 2011. – 224 с.
31. **Нариси з історії українського дизайну ХХ століття** : зб. статей / за заг. ред. М. І. Яковлева. – Київ : Фенікс, 2012. – 256 с.
32. **Нікітіна, Л.** Експертні системи : навч. посіб. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. –  
– 210 с.  
URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/b13ab31e-8f1d-4ed0-81aa-2a594470ec48/content> (дата звернення: 05.02.2024).

33. **Панова, Л. П.** Теорія систем і архітектура : лекції. – Харків : ХНАМГ, 2007. – 175 с.
34. **Пашкевич, К. Л.** Теоретичні основи дизайну одягу на засадах тектонічного підходу : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.03 / К. Л. Пашкевич ; КНУБА. – Київ, 2017. – 44 с.
35. **Пилипчук, О. Д.** Аналіз прикладів застосування біокліматичного підходу до колористичних рішень у висотної забудови / О. Д. Пилипчук, О. В. Кривенко. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2020. № 58. С. 223–232. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.58.223-232>.
36. **Пилипчук, О.** Взаємозв'язок аспектів інтеграції арт-об'єктів із складовими метадилайну у сучасному інтер'єрі. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2025. № 108. С. 154–166. <https://10.32347/0131-579x.2025.108.154-166>.
37. **Пилипчук, О.** Дослідження арт-об'єктів в аспектах інноваційно-технологічної інтеграції в сучасний інтер'єрний простір. *Вісник Київського національного університету культури і мистецтв. Серія: Мистецтвознавство*. 2025. № 52. С. 197–206. <https://doi.org/10.31866/2410-1176.52.2025.334143>.
38. **Пилипчук, О. Д.** Можливості сучасних комп'ютерних технологій з використанням штучного інтелекту у створенні об'єктів образотворчого мистецтва / О. Д. Пилипчук, І. В. Шендрик, А. П. Полубок. *Містобудування та територіальне планування*. 2023. № 84. С. 251–262. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.251-262>.
39. **Пискун, О. М.** Основи дизайну : навч.-метод. посіб. – Чернігів : ЧДПУ, 2009. – 40 с.
40. **Політанський, В. С.** Поняття інформаційного суспільства: теоретико-правовий підхід. *Вісник Національної академії правових наук України*. 2017. № 1(88). С. 77–86.

41. **Прищенко, С.** Теорія та методологія дизайну : навч. посіб. – Київ : Альтерпрес, 2010. – 354 с.
42. **Сергєєва, Н. В.** Дизайн як методологія. *Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв.* 2020. № 2. С. 35–41. <https://doi.org/10.5281/1993-6400-2020-2-35-41>.
43. **Сергєєва, Н. В.** До питання термінології дизайну. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Мистецтвознавство.* 2019. № 1(40). С. 234–244. <https://doi.org/10.25128/2411-3271.19.1.30>.
44. **Соловей, Л. Я.** Педагогічні аспекти використання експертно-навчальних систем. *Вісник Національного педагогічного університету ім. Драгоманова.* 2017. № 28. С. 20–27. URL: [https://fi.npu.edu.ua/files/Zbirnik\\_KOSN/17/28.pdf](https://fi.npu.edu.ua/files/Zbirnik_KOSN/17/28.pdf) (дата звернення: 06.02.2024).
45. **Тімохін, В.** Про «Дизайн архітектурного середовища». У *Нариси з історії українського дизайну ХХ століття : зб. статей.* – Київ : Фенікс, 2012. – С. 173–178.
46. **Тімохін, В. О.** Основи дизайну архітектурного середовища : підручник / В. О. Тімохін, Н. М. Шебек, Т. В. Малік. – Київ : Основа, 2010. – 395 с.
47. **Товбич, В. В.** Інформаційні процеси в архітектурній науково педагогічній діяльності / В. В. Товбич, Г. Д. Яблонська. *Сучасні проблеми архітектури і містобудування.* 2024. № 70. С. 124–135. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.70.124-135>.
48. **Товбич, В. В.** Моделювання процесів архітектурного проектування із застосуванням технологій штучного інтелекту / В. В. Товбич, В. Р. Обухов. *Сучасні проблеми архітектури і містобудування.* 2025. № 71. С. 197–211. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.71.197-211>.

49. **Товбич, В. В.** Проектування рекреаційних будівель та середовища для людей літнього віку. *Просторовий розвиток*. 2024. № 10. С. 174–179. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.10.174-179>.
50. **Товбич, В.** Сакральність, міфологізм і символізм ширм, їх зв'язь з живописом і прийом ширми в ландшафтному дизайні Китаю / В. Товбич, Я. Дин, Г. Л. Ковальська, Л. Р. Гнатюк. *Теорія і практика дизайну*. 2021. № 22. С. 28–40. <https://doi.org/10.18372/2415-8151.22.15387>.
51. **Товбич, В. В.** Філософсько-релігійне вчення Китаю як основа мистецтва і архітектури / В. В. Товбич, О. С. Слепцов, М. М. Дьомін, О. М. Козакова. *Просторовий розвиток*. 2023. № 5. С. 121–139. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.121-128>.
52. **Трач, Р. В.** Інформаційне моделювання в будівництві (BIM): сутність, етапи становлення та перспективи розвитку. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2017. № 16. С. 32–38. URL: <http://global-national.in.ua/archive/16-2017/99.pdf> (дата звернення: 05.02.2024).
53. **Турчин, В. В.** Особливості формування проектно-образного мислення дизайнера : автореф. дис. ... канд. мистецтвознавства : 05.01.03 / В. В. Турчин ; Харків. держ. акад. дизайну і мистецтв. – Харків, 2004. – 20 с.
54. **Цой, М. П.** Вплив інтеграції технологій віртуальної реальності та штучного інтелекту на формування цифрової грамотності серед здобувачів мистецької освіти. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2024. Вип. 11. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13960917>.
55. **Цой, М. П.** Вплив цифрових симуляцій на ефективність засвоєння принципів лінійної перспективи у курсі нарисної геометрії. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2025. Вип. 18. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15538950>.

56. **Чанпу, Ж.** Біокліматичне моделювання: інтерпретація класифікації дизайн-об'єктів / Ж. Чанпу, О. Кривенко. *Fine Art and Culture Studies*. 2025. № 1. С. 269–274. <https://doi.org/10.32782/facs-2025-1-39>.
57. **Чанпу, Ж.** Біокліматичне моделювання як складова розвитку сучасного екологічного дизайну / Ж. Чанпу, В. О. Плоский // У кн.: *Інновації в архітектурі, дизайні та мистецтві: до 100-річчя факультету архітектури НАОМА : матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф., (Київ, 23–24 трав. 2024 р.)*. – Київ : НАОМА, 2024. – С. 145–146.
58. **Чанпу, Ж.** Інтелектуальна експертна система у сфері природокористування при формуванні біокліматичних рішень об'єктів дизайну / Ж. Чанпу, О. Кривенко. У *Proceedings of the X International Scientific-Technical Conference Problems of modern power engineering and automation in the system nature management*. – Київ, 2023. – С. 69–70.
59. **Чанпу, Ж.** Природні аналоги у дизайні / Ж. Чанпу, О. Кривенко. У *Актуальні проблеми розвитку українського та зарубіжного мистецтва : культуролог., мистецтвознав., педагог. аспекти : матеріали IX Міжнар. наук.-практ. конф.* – Львів–Торунь : Liha-Pres, 2024. – С. 159– 163. <https://doi.org/10.36059/978-966-397-390-6-49>.
60. **Чердиченко, А. В.** Использование экспертных систем в проектах ландшафтного дизайна / А. В. Чердиченко, В. Г. Концевич. У *Інтелектуальні системи в промисловості і освіті : тези доп. III міжнар. наук.-практ. конф.* – Суми, 2011. – Т. 2. – С. 31–32.
61. **Чупріна, Н. В.** Сучасні технології дизайн-діяльності : навч. посіб. / Н. В. Чупріна, Т. В. Струмінська. – Київ : КНУТД, 2017. – 416 с.
62. **Abou, E. M. M.** The Impact of The Variables of the 4th Industrial Revolution on The Development of Industrial Design Education / E. M. M. Abou, S. A. E. Garib, A. S. Abdo. *Journal of Art, Design and Music*. 2024. Vol. 3, No. 1. Article 3. <https://doi.org/10.55554/2785-9649.1024>.

63. **Adamson, G. C.** Re-thinking the present: the role of a historical focus in climate change adaptation research / G. C. Adamson, M. J. Hannaford, E. J. Rohland. *Global Environmental Change*. 2018. Vol. 48. P. 195–205.
64. **Adger, W. N.** Cultural dimensions of climate change impacts and adaptation / W. N. Adger, J. Barnett, C. Brown, S. Marshall, G. O'Brien. *Nature Climate Change*. 2012. Vol. 3. P. 112–117.
65. **Adeniran, A. O.** Adoption of Fourth Industrial Revolution Technologies in the Construction Sector: Evidence from Previous Studies / A. O. Adeniran, F. Segun Stephen, F. Olayemi Babawole, M. Onyekachi Victoria. *International Journal of Innovation in Engineering*. 2024. Vol. 4, No. 3. P. 1–18. <https://doi.org/10.59615/ijie.4.3.1>.
66. **Akemu, O.** Social enterprise emergence from social movement activism: The Fairphone case / O. Akemu, G. Whiteman, S. Kennedy. *Journal of Management Studies*. 2016. Vol. 53, No. 5. P. 846–877.
67. **Aktacir, M. A.** A Case Study for Influence of Building Thermal Insulation on Cooling Load and Air-conditioning System in the Hot and Humid Regions / M. A. Aktacir, O. Büyükalaca, T. Yılmaz. *Applied Energy*. 2010. Vol. 87. P. 599–607.
68. **Attia, S.** Bioclimatic Design Guidelines for Design Decision Support to Enhance Residential Building Thermal Performance in Tropical Regions / S. Attia, T. Lacombe, H. T. Rakotondramiarana, F. Garde, G. Roshan. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 4. P. 1591. <https://doi.org/10.3390/su17041591>.
69. **Axarli, K.** Implementation of bioclimatic principles in the design of urban open spaces: microclimatic improvement for the cooling period of an open space adjacent to the sea / K. Axarli, D. Teli. **In** *PLEA 2008–25th Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Dublin, 2008. P. 20–26.
70. **Bakos, N.** Bioclimatic and Regenerative Design Guidelines for a Circular University Campus in India / N. Bakos, R. Schiano-Phan. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, No. 15. P. 8238. <https://doi.org/10.3390/su13158238>.

71. **Baldassarre, B.** Responsible Design Thinking for Sustainable Development: Critical Literature Review, New Conceptual Framework, and Research Agenda / B. Baldassarre, G. Calabretta, I. O. Karpen et al. *J Bus Ethics*. 2024. Vol. 195. P. 25–46. <https://doi.org/10.1007/s10551-023-05600-z>.
72. **Barelkowski, R.** Design process as complex system. *Int. J. Des. Nat. Ecodynamics*. 2018. Vol. 13. P. 46–59.
73. **Basir, W. N. F. W. A.** The integration of BIM and GIS in construction project – a data consistency review / W. N. F. W. A. Basir, U. Ujang, Z. Majid, S. Azri, T. L. Choon. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. XLIV-4/W3-2020*. 2020. P. 107–116. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W3-2020-107-2020>.
74. **Bastien, J. M. C.** Usability testing: A review of some methodological and technical aspects of the method. *Int. J. Med. Inform.* 2010. Vol. 79. P. e18–e23.
75. **Bera, M.** Bioclimatic design of low-cost rural dwellings / M. Bera, P. K. Nag. *Frontiers in Built Environment*. 2022. Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.773108>.
76. **Bera, M.** Progress and challenges of bioclimatic design strategies for enhancing building environmental performance: A systematic review / M. Bera, S. Das, S. Dutta, P. K. Nag, M. R. Choudhury. *Smart and Sustainable Built Environment*. 2024. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/SASBE-07-2024-0250>.
77. **Bergman, D.** Sustainable Design: A Critical Guide (Architecture Briefs). – NY : PA Press, Princeton Architectural Press, 2011. – 144 p.
78. **Bhattacharya, M.** Machine Learning for Bioclimatic Modelling. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2013. Vol. 4, No. 2. P. 1–8. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2013.040201>.
79. **Bugenings, L. A.** Bioclimatic architecture strategies in Denmark: A review of current and future directions / L. A. Bugenings, A. Kamari. *Buildings*. 2022. Vol. 12, No. 2. P. 224. <https://doi.org/10.3390/buildings12020224>.

80. **Cantero Gamito, M.** The influence of China in AI governance through standardisation. *Telecommunications Policy*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2023.102673>.
81. **Changpu, R.** An overview of the influence of climate on the formation of the national culture of southern and northern China / R. Changpu, O. Krivenko. In *Design, Visual Art and Creativity: Modern Trends and Technologies : Proceedings of IInd International Scientific and Practical Conference*. Zaporizhzhia National University, 2023. Vol. 2. P. 17–22.
82. **Changpu, R.** Conceptual foundations of the expert system of bioclimatic modeling / R. Changpu, O. Krivenko, V. Ploskyi. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2025. № 108. P. 177–188. <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2025.108.177-188>.
83. **Changpu, R.** Development of bioclimatic modeling of architecture and design objects in the modern information environment / R. Changpu, O. Krivenko. *Colloquium-journal*. 2025. № 68(261). С. 5–8.
84. **Changpu, R.** Ecological Design in the Context of Circular Economy: Perspectives and Innovative Methods / R. Changpu, O. Krivenko. In *Design, Visual Art and Creativity: Modern Trends and Technologies : Proceedings of IInd International Scientific and Practical Conference*. Zaporizhzhia National University, 2024. Vol. 3. P. 58–60.
85. **Changpu, R.** Expert systems of bioclimatic modeling and monitoring in the context of artificial intelligence technology development / R. Changpu, O. Krivenko. In *Гідрометеорологія і кліматичні виклики: наука, інновації і практика для сталого майбутнього: матеріали міжнародної наукової конференції присвяченої 170-річчю Українського гідрометеорологічного інституту НАН України*, 18-20 листопада 2025, Київ. Київ, 2025. С. 69–70.
86. **Changpu, R.** System of criteria for assessing the efficiency of bioclimatic modeling of design objects / R. Changpu, O. Krivenko. *Colloquium-journal*. 2025. Vol. 66, No. 259. P. 5–8. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17520728>.

87. **Changpu, R.** Systemic approach in bioclimatic modeling / R. Changpu, O. Krivenko. *Архітектурний вісник КНУБА*. 2024. № 30-31. P. 31–36. <https://doi.org/10.32347/2519-8661.2024.30-31.31-36>.
88. **Changpu, R.** The impact of the information environment development on modern design / R. Changpu, O. Krivenko. *Архітектурний вісник КНУБА*. 2025. № 33. P. 107–112. <https://doi.org/10.32347/2519-8661.2025.33.107-112>.
89. **Chapman, J.** Design, emotion and longer-lasting products - Deliver specific insights to designers how to create emotionally durable products. In *10th International Conference on Design & Emotion*. Amsterdam, 2016. P. 74–79.
90. **Chapman, J.** Emotionally Durable Design: Objects, Experiences and Empathy. – London : Routledge, 2005. – 224 p.
91. **Chen, Q. R.** Climate adaptability study of Chinese traditional dwelling pitched roof / Q. R. Chen, J. Li. *Cent. China Arch.* 2013. Vol. 31. P. 140–142.
92. **Chen, R.** LLM4DESIGN: An Automated Multi-Modal System for Architectural and Environmental Design / R. Chen, X. Yao, X. Jiang. *Conference'17*. 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.12025>.
93. **Chen, Y.** Performance of passive design strategies in hot and humid regions. Case study: Tangerang, Indonesia / Y. Chen, M. Mae, K. Taniguchi et al. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2020. Vol. 20, No. 4. P. 458–476. <https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1798775>.
94. **Cheng, C.** A Discussion on the Changes and Progress of Design-Related Terms / C. Cheng, Y. Ping-Yu. In *Proceedings of the International Association of Societies of Design Research Conference (IASDR)*. 2007. P. 12–15.
95. **Crofiles, G.** Augmented reality's green revolution in sustainable innovation [Електронний ресурс]. 2025. URL: <https://www.crofiles.com/2024/12/03/augmented-reality-s-green-revolution-in-sustainable-innovation.html>.
96. **Curien, R.** Chinese Urban Planning. *Open Edition Journals*. 2014. No. 123. <https://doi.org/10.4000/chinaperspectives.6528> (дата звернення: 05.02.2024).

97. **Den Hollander, M. C.** Product Design in a Circular Economy: Development of a Typology of Key Concepts and Terms / M. C. Den Hollander, C. A. Bakker, E. J. Hultink. *Journal of Industrial Ecology*. 2017. Vol. 21, No. 3. P. 517–525.
98. **Diachenko, A.** Ways of Design Education Improvement in Higher Educational Institutions / A. Diachenko, M. Tsoi, A. Brovchenko, O. Shpak, K. M. Popiuk. *Review of International Geographical Education (RIGEO)*. 2021. Vol. 11, No. 3. P. 503–512.
99. **Ding, Y.** Design and research of Chinese folk arts and crafts show. In *3rd International Conference on Education, Management and Computing Technology (ICEMCT 2016)*. Atlantic Press, 2016. P. 1397–1401.
100. **Dong, C.** Study on System Thinking in the Sustainable Architecture Design / D. Chu, J. Jia. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 584-586. P. 280–283. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.584-586.280>.
101. **Emekci, S.** Return to the basics: Vernacular architecture as a tool to address climate change. In *Climate change, world consequences, and the sustainable development goals for 2030*. IGI Global, 2023. P. 215–228. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-4829-8.ch011>.
102. **Emgin, B.** Trashion: The Return of the Disposed. *Design Issues*. 2012. Vol. 28, No. 1. P. 63–71.
103. **Evans, J. M.** The Comfort Triangles: A New Tool for Bioclimatic Design : Published PhD. thesis. URL: <http://www.darenet.nl> (дата звернення: 12.01.2025).
104. **Fletcher, K.** Slow fashion: an invitation for systems change. *Fashion Practice*. 2010. Vol. 2, No. 2. P. 259–265. <https://doi.org/10.2752/175693810X12774625387594>.
105. **Floridi, L.** 4-th Revolution: How the Infosphere Is Reshaping Human Reality. – Oxford : Oxford Univ. Press, 2014. – 248 p.
106. **Floridi, L.** A Look into the Future Impact of ICT on Our Lives. *The information Society*. 2007. Vol. 23, No. 1. P. 59–64. <https://doi.org/10.1080/01972240601059094>.

107. **Fontana, C.** Architecture and Systemics: A Brief Outline. In *The Systemic Turn in Human and Natural Sciences*. Springer, Cham, 2019. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00725-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00725-6_5).
108. **Fryer, R.** The Application of Systems Thinking to the Sustainable Design Process. In *Transformative Approaches to Sustainable Development at Universities*. Springer, Cham, 2015. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-08837-2\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08837-2_40).
109. **Gao, T.** Three-dimensional printed thermal regulation textiles / T. Gao, Z. Yang, C. Chen et al. *ACS Nano*. 2017. Vol. 11. P. 11513–11520. <https://doi.org/10.1021/acsnano.7b06295>.
110. **Geissdoerfer, M.** The Circular Economy – A new sustainability paradigm? / M. Geissdoerfer, P. Savaget, N. M. P. Bocken, E. J. Hultink. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 143. P. 757–768.
111. **Gifford, R.** Appraisals of built environments and approaches to building design that promote well-being and healthy behavior / R. Gifford, L. J. McGunn. In *Environmental Psychology: An Introduction*. Wiley : Hoboken, NJ, USA, 2012.
112. **Griffin, A.** PDMA research on new product development practices: Updating trends and benchmarking best practices. *Journal of Product Innovation Management*. 1997. Vol. 14, No. 6. P. 429–458.
113. **Guan, J.** Influences of Chinese Traditional Clothing Elements on Modern Clothing Design. In *2nd International Conference on Economy, Management and Computing Technology (ICEMENT)*. Atlantic Press, 2016. P. 566–570. <https://doi.org/10.2991/icemet-16.2016.118>.
114. **Hany, N.** Thermal comfort optimization through bioclimatic design in Mediterranean cities / N. Hany, H. Alaa. *F1000Research*. 2022. Vol. 10. <https://doi.org/10.12688/f1000research.73017.2>.
115. **He, X.** Northern and Southern China: Regional Differences in Rural Areas. – Routledge, 2022.

116. **Hinsch, B.** CLIMATIC CHANGE AND HISTORY IN CHINA. *Journal of Asian History*. 1988. Vol. 22, No. 2. P. 131–159.
117. **Holland, S.** Critical success factors for cross-functional teamwork in new product development / S. Holland, K. Gaston, J. Gomes. *International Journal of Management Reviews*. 2000. Vol. 2, No. 3. P. 231–259.
118. **Höök, K.** Characterizing Interaction Design by Its Ideals: A Discipline in Transition / K. Höök, J. Löwgren. *She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation*. 2021. Vol. 7, No. 1. P. 24–40. <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2020.12.001>.
119. **Hossein, B.** Toward an Integrative Theory of Urban Design / B. Hossein, B. Ameneh. – Springer, 2016. – 113 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32665-8>.
120. **Huang, H.** Bioclimatic design strategies of vernacular architecture in Fujian, China: A field survey and comparative analysis / H. Huang, Y. Xie. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2024. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctad079>.
121. **Hulme, M.** Unstable climates: Exploring the statistical and social constructions of ‘normal’ climate / M. Hulme, S. Dessai, I. Lorenzoni, D. R. Nelson. *Geoforum*. 2009. Vol. 40. P. 197–206.
122. **Humphreys, M. A.** Field studies of thermal comfort in comparison and application. *Building Research & Practice*. 1976. Vol. 4, No. 1. P. 5–27.
123. **Humphreys, M.** Adaptive Thermal Comfort: Foundations and Analysis / M. Humphreys, F. Nicol, S. Roaf. 1st ed. – Routledge, 2015. <https://doi.org/10.4324/9781315765815>.
124. **Isenberg, B.** Conversations with Frank Gehry. – New York : Alfred A Knopf, 2009. – 290 p.
125. **Kasarda, M. E.** Design for adaptability (DFAD) — a new concept for achieving sustainable architecture / M. E. Kasarda, J. Terpenney, D. Inman. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2007. Vol. 23, No. 6. P. 727–734. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2007.02.004>.

126. **Kim, B. Y.** Cross-functional cooperation with design teams in new product development / B. Y. Kim, B. K. Kang. *International Journal of Design*. 2008. Vol. 2, No. 3. P. 43–54.
127. **Koch, C.** A pilot study used to better construct a research direction to understand where industrial design fits within the 4th industrial revolution (Industry 4.0) / C. Koch, B. Kuys, G. Renda. In *Synergy - DRS International Conference 2020*. 2020. <https://doi.org/10.21606/drs.2020.272>.
128. **Koenigsberger, O. H.** Manual of Tropical Housing and Building: Climatic Design / O. H. Koenigsberger, T. G. Ingersoll, A. Mayhew et al. – Hyderabad : Universities Press, 2014.
129. **Koval, L.** Patterns in Designing Energy-Efficient Light Environment by Means of LED Sources: Review / L. Koval, O. Sergeychuk, O. Andropova. In *Proceedings of EcoComfort 2022*. Springer, Cham, 2023. Vol. 290. P. 185–194. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_18).
130. **Krivenko, O.** The Principles of Energy Efficient Microclimate Provision in the Skyscraper «Biotecton» of 1 km Height / O. Krivenko, V. Mileikovskiy, T. Tkachenko. *European Journal of Engineering and Formal Sciences*. 2018. Vol. 2, No. 3. P. 66. <https://doi.org/10.26417/ejef.v2i3.p66-75>.
131. **Kwong, Q. J.** Thermal Comfort Assessment and Potential for Energy Efficiency Enhancement in Modern Tropical Buildings: A Review / Q. J. Kwong, N. M. Adam, B. B. Sahari. *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 68. P. 547–557.
132. **Kwon, Y.** Semi-automatic the manual literature search for systematic reviews increases efficiency / Y. Kwon, S. Lee, Y. Choe. *Health Information & Libraries Journal*. 2010. Vol. 27, No. 1. P. 22–27. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00865.k>.
133. **Langsfeld, J.** Digital Era Framework. – Bad Waldsee : Dr. Jorn Lengsfeld, 2019. – 306 p. URL: <https://joernlengsfeld.com/files/digital-era-framework-en.pdf>.

134. **Lewandowski, M.** Designing the business models for circular economy-towards the conceptual framework. *Sustainability (Switzerland)*. 2016. Vol. 8, No. 1. P. 1–28. <https://doi.org/10.3390/su8010043>.
135. **Li, H.** Study on Typical Meteorological Year for Building Energy-Consumption Simulation : Master's Thesis. Hunan University of Architecture and Technology. Xi'an, China, 2016.
136. **Lim, Y.** Interactivity Attributes for Expression-oriented Interaction Design / Y. Lim, S. Lee, D. Kim. *International Journal of Design*. 2012. Vol. 5, No. 3. URL: <https://www.ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/718/370>.
137. **Liu, K.** Historical changes of Chinese costumes from the perspective of archaeology / K. Liu, S. Zhou, C. Zhu. *Heritage Science*. 2022. Vol. 10. Article number 205.
138. **Liu, X.** Development of China's digital economy: Path, advantages and challenges / X. Liu, L. Zhang. *Journal of Industrial Development and Economy*. 2024. Vol. 12, No. 2. P. 45–62. <https://doi.org/10.1108/jide-05-2024-0022>.
139. **Looman, R.** Climate-Responsive Design: A Framework for an Energy Concept Design-Decision Support Tool for Architects Using Principles of Climate-Responsive Design : Ph.D. Thesis. Delft University of Technology. Delft, The Netherland, 2017.
140. **Maciel, A. A.** Bioclimatic integration into the architectural design : Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy. 198 p. 2007.
141. **McArthur, D.** The roles of artificial intelligence in education: Current progress and future prospects / D. McArthur, M. Lewis, M. Bishay. – RAND, 1993. – 80 p.
142. **Mekila Mbayam, O.** Energy Optimisation of a Residential Building for Electricity, Cooling, and Heating: A Path to Net-Zero Energy / O. Mekila Mbayam, T. Bounahmidi. *Energy Sustain. Dev.* 2025. Vol. 85. P. 101672.
143. **Mosleh, S.** Developments of Adapted Clothing for Physically Disabled People with Scoliosis Using 3D Geometrical Model / S. Mosleh, M. A. Abteu,

- P. Bruniaux, G. Tartare, Y. Xu. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 22. P. 10655. <https://doi.org/10.3390/app112210655>.
144. **Mubinova, S.** What are the impacts of architectural design on occupants' well-being, and how can architects optimize spaces to enhance productivity? / S. Mubinova, M. K. Gokgol. *In Proceedings of London International Conferences*. 8. 2023. P. 34–40. <https://doi.org/10.31039/plic.2023.8.158>.
145. **Olgyay, V.** Design with climate bioclimatic approach and architectural. – Princeton : Princeton University Press, 1963. – 224 p.
146. **Olgyay, V.** Design with Climate—Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. – Oxfordshire, UK : Princeton University Press, 2015.
147. **Ozarisoy, B.** Systematic literature review of bioclimatic design elements: Theories, methodologies and cases in the South-eastern Mediterranean climate / B. Ozarisoy, H. Altan. *Energy and Buildings*. 2021. Vol. 250. P. 111281. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111281>.
148. **Pashkevych, K. L.** Modern directions of eco-design in the fashion industry / K. L. Pashkevych, K. Khurana, O. V. Kolosnichenko, T. F. Krotova, A. M. Veklich. *Art and Design*. 2019. No. 4. P. 9–20. <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2019.4.1>.
149. **Peldon, D.** Navigating urban complexity: The transformative role of digital twins in smart city development / D. Peldon, S. Banihashemi, K. LeNguyen, S. Derrible. *Sustainable Cities and Society*. 2024. Vol. 111. P. 105583. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105583>.
150. **Peng, Y.** Learning Passive Construction Technology from Traditional Architectural of the Central Province of Hunan to the Research of Modern Architecture : Master's Thesis. Hunan Normal University. Changsha, China, 2012.
151. **Pinheiro, E.** Sustainable Fashion Strategies: A Study Applied To The Development of Clothing / E. Pinheiro, L. A. Wachholz. *MIX Sustentável*. 2017. Vol. 3, No. 4. P. 157–172.

152. **Pylypchuk, O.** Optimization of the process of designing high-rise bioclimatic buildings using renewable energy / O. Pylypchuk, O. Krivenko, G. Venedyktova, L. Shevchenko. In *Innovative technology in architecture and design (ITAD-2021) : 5th international scientific and practical conference*. AIP Publishing, 2023. Vol. 2490. P. 030005-1–030005-8. <https://doi.org/10.1063/5.0122966>.
153. **Röttger, P.** The Information Environment and its Effects on Individuals and Groups An Interdisciplinary Literature Review / P. Röttger, B. Vedres. – Oxford : University of Oxford, 2020. – 58 p. URL: <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/online-information-environment/oie-the-information-environment.PDF> (дата звернення: 04.02.2024).
154. **Sanderson, M.** Culture, climate change and farm-level groundwater management: An Australian case study / M. Sanderson, A. Curtis. *Journal of Hydrology*. 2016. Vol. 536. P. 284–292.
155. **Sergeychuk, O. V.** Determination of Conditional Atmosphere Temperature for Energy Certification of Buildings / O. V. Sergeychuk, V. L. Martynov, O. V. Andropova, L. M. Koval. *International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” (IJTPE)*. 2023. Vol. 15, Issue 2. P. 134–140. URL: <https://www.ijotpe.com/IJTPE/IJTPE-2023/IJTPE-Issue55-Vol15-No2-Jun2023/20-IJTPE-Issue55-Vol15-No2-Jun2023-pp134-140.pdf>.
156. **Severyn, V. D.** Environmental design as a modern cultural trend / V. D. Severyn, N. V. Severin, M. K. Chebotarev et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11, No. 3. P. 385–389.
157. **Song, X. M.** Antecedents and consequences of cross-functional cooperation: A comparison of R&D, manufacturing, and marketing perspectives / X. M. Song, M. M. Montoya-Weiss, J. B. Schmidt. *Journal Product Innovation Management*. 1997. Vol. 14, No. 1. P. 35–47.
158. **Stahel, W. R.** The Performance Economy. 2nd ed. – Basingstoke : Macmillan Publishers Limited, 2010. – 374 p.

159. **Talhelm, T.** Large-scale psychological differences within China explained by rice versus wheat agriculture / T. Talhelm, X. Zhang, S. Oishi et al. *Science*. 2014. Vol. 344. P. 603–608. <https://doi.org/10.1126/science.1246850>.
160. **Tang, J.** Visualization microclimate scenarios of Classical Chinese Garden in Suzhou, China / J. Tang, W. Y. Wan Ibrahim. *Journal of Integrated Planning and Development*. 2025. Vol. 9, No. 1. P. 10772. <https://doi.org/10.24294/jipd10772>.
161. **Tovbych, V.** Landscape component of permaculture as a way to create video-ecological socially-oriented architecture (on the example of Chernivtsi region, Ukraine) / V. Tovbych, K. Herych, N. Vatamaniuk // У кн.: *Landscape architecture and art : sci. journal of Latvia University of life sciences and technologies*. – 2022. – No 19. – P. 52–60. – DOI: <https://doi.org/10.22616/j.landarchart.2021.19.05>.
162. **Tsay, M. Y.** The impact of the concept of post-industrial society and information society: A citation analysis study. *Scientometrics*. 1995. Vol. 33. P. 329–350. <https://doi.org/10.1007/BF02017335>.
163. **Tsoi, M.** Design features of the environment of educational institutions / M. Tsoi, R. Kosarevska, N. Kokhan, O. Kapran. *Conhecimento & Diversidade*. 2023. Vol. 15. P. 549–570. DOI: 10.18316/rcd.v15i40.11220.
164. **Tsoi, M.** Pedagogical technologies for designing and functioning an integrated system of specialists' training quality control in heis / M. Tsoi, I. Kolodii, V. Rogozin et al. *Ad ALTA: journal of interdisciplinary research*. 2022. Vol. 12, No. 2. P. 29–33.
165. **Tsymbal-Slatvinska, S.** The Concept of "Information-Educational Environment" in Terms of Professional Training of Speech Therapists. *World Science*. 2019. Vol. 8, No. 48, Vol. 3. [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/31082019/6640](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31082019/6640).
166. **Van der Auweraer, H.** Virtual engineering at work: the challenges for designing mechatronic products / H. Van der Auweraer, J. Anthonis, S. De Bruyne, J. Leuridan. *Engineering with computers*. 2012. Vol. 29, No. 3. P. 389–

408. DOI:10.1007/s00366-012-0286-6. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00366-012-0286-6> (дата звернення: 04.02.2024).
167. **Van Krieken, B.** A Sneaky Kettle: Emotionally Durable Design Explored In Practice / B. Van Krieken, P. Desmet, D. Aliakseyeu, J. Mason. *In Proceedings of 8th International Design and Emotion Conference London 2012*. Central Saint Martins College of Arts & Design, 2012.
168. **Voegtlin, C.** Responsible innovation and the innovation of responsibility: Governing sustainable development in a globalized world / C. Voegtlin, A. G. Scherer. *Journal of Business Ethics*. 2017. Vol. 143, No. 2. P. 227–243.
169. **Walker, S.** Sustainable by Design: Explorations in Theory and Practice. – London : Earthscan / James and James Science Publishers, 2006. – 244 p.
170. **Walsh, V.** Winning by design / V. Walsh, R. Roy, M. Bruce, S. Potter. – Oxford : Blackwell, 1992.
171. **Wang, D.** The characteristic of regional differentiation and impact mechanism of architecture style of traditional residence / D. Wang, J. Lu, Y. Wu, Z. Fan. *J. Nat. Res.* 2019. Vol. 34. P. 1864–1885.
172. **Wang, Dandan.** Protection and Development of Traditional Arts and Crafts. *Art appreciation*. 2019. No. 2. P. 121–123.
173. **Wang, Y.** Climate-Adaptive Passive Design Strategies for Near-Zero-Energy Office Buildings in Central and Southern Anhui, China / Y. Wang, Y. Li, Y. Li. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 14. P. 6535. <https://doi.org/10.3390/su17146535>.
174. **Wang, Z.** Digital governance and AI: Boosting OFDI's impact on regional innovation performance / Z. Wang, Y. Gao, Y. Zhou, L. Xue. *Science and Public Policy*. 2025. <https://doi.org/10.1093/scipol/scae087>.
175. **Wegener, C.** Upcycling – a new perspective on waste in social innovation. *Journal of Comparative Social Work*. 2016. Vol. 11, No. 2. P. 6242–6260. DOI: 10.31265/jcsw.v11i2.143.

176. **Xu, J.** Climate-Adaptive Passive Design Strategies for Near-Zero-Energy Office Buildings in Central and Southern Anhui, China / J. Xu, Y. Gao, L. Yang. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 14. P. 6535.  
<https://doi.org/10.3390/su17146535>.
177. **Yalew, S. G.** Impacts of climate change on energy systems in global and regional scenarios / S. G. Yalew, M. T. H. van Vliet, D. E. H. J. Gernaat et al. *Journal of Nature Energy*. 2020. Vol. 5. P. 794–802. DOI: 10.1038/s41560-020-0664-z.
178. **Yang, Y.** An analysis on Traditional Chinese Painting Art Characteristic. In *International Conference on Arts, Design and Contemporary Education (ACADCE 2015)*. Atlantis Press, 2015. P. 87–90.
179. **Yeang, K.** Bioclimatic Skyscrapers. – London, Zurich, Munich : Artemis, 1994. – 137 p.
180. **Yeang, K.** Designing with Nature: The Ecological basis for Architectural Design. – New York : McGraw Hill Publication, 1995. – 256 p.
181. **Zhang, X.** Temporal change of climate zones in China in the context of climate warming / X. Zhang, X. Yan. *Theoretical and Applied Climatology*. 2014. Vol. 115. P. 167–175. DOI: 10.1007/s00704-013-0887-z.
182. **Zhao, M.** Ethics and governance of artificial intelligence in digital China. *AI & Society*. 2023. Vol. 38, No. 1. P. 45–60.  
<https://doi.org/10.1177/2057150X241313085>.
183. **Zhang, H.** Manifestation Forms and Aesthetic Features of Traditional Chinese Painting. *Northern Literature*. 2012. Vol. 201206, No. 9. P. 96–97.
184. **Zhang, J.** An Exploration of the Differences between Chinese and Western Costumes in the Archaeological Archaeology of Clothing Culture in Different Periods of Agriculture. *Journal of Environmental and Public Health*. 2022. Vol. 2022. Article ID 2491990. <https://doi.org/10.1155/2022/2491990>.
185. **Zhang, L.** The symbolic significance of Chinese traditional color. *Art of Design. Journal of Shandong University of Art & Design*. 2004. No. 4.

186. **Zhang, Y.** How should the Chinese government provide information services in the digital era? / Y. Zhang, X. Li, H. Wang. *Government Information Quarterly*. 2023. Vol. 40, No. 2. P. 101789.  
<https://doi.org/10.1016/j.giq.2023.101789>.
187. **Zheng, J.** A new scheme for climate regionalization in China / J. Zheng, Y. Yin, B. Li. *Acta Geogr Sin.* 2010. Vol. 65. P. 3–13 (in Chinese).
188. **Zhiyuan, Z.** The role of interactivity in visual communication design / Z. Zhiyuan, I. Chubotina. *Art and Design*. 2024. No. 3. P. 156–163.  
<https://doi.org/10.30857/2617-0272.2024.3.13>.

***Нормативно-правові акти:***

189. **Про охорону навколишнього природного середовища** : Закон України від 25.06.1991 р. № 1264-ХІІ // *Відомості Верховної Ради України*. – 1991. – № 41. – Ст. 546.
190. **Про енергетичну ефективність будівель** : Закон України від 22.06.2017 р. № 2118-VIII // *Відомості Верховної Ради України*. – 2017. – № 33. – Ст. 359.
191. **Про основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007–2015 роки** : Закон України від 09.01.2007 р. № 537-V // *Відомості Верховної Ради України*. – 2007. – № 12. – Ст. 102.
192. **Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації** : розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.01.2018 р. № 67-р // *Офіційний вісник України*. – 2018. – № 13. – Ст. 454.
193. **Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»** : схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р // *Урядовий кур'єр*. – 2017. – № 162.

194. **United Nations Framework Convention on Climate Change** [Електронний ресурс] : adopted 09.05.1992 // *United Nations Treaty Series*. – 1994. – Vol. 1771. – P. 107–283.
195. **Paris Agreement** [Електронний ресурс] : adopted 12.12.2015 // *United Nations Treaty Series*. – 2016. – Vol. 3156. – P. 3–36.
196. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development** [Електронний ресурс] : Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015 (A/RES/70/1). – New York : United Nations, 2015. – 41 p.
197. **The European Green Deal** [Електронний ресурс] : Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions (COM(2019) 640 final). – Brussels : European Commission, 2019. – 24 p.
198. **New European Bauhaus : beautiful, sustainable, together** [Електронний ресурс] : Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions (COM(2021) 573 final). – Brussels : European Commission, 2021. – 32 p.

**Електронні ресурси:**

199. **Бионическая архитектура** [Електронний ресурс]. URL: <https://www.faezehtaba.com/page19.html> (дата звернення: 12.02.2024).
200. **Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»** [Електронний ресурс] : офіційний вебсайт. – URL: <https://ndibk.gov.ua> (дата звернення: 22.11.2024).
201. **Єдина державна електронна система у сфері будівництва (ЄДЕССБ)** [Електронний ресурс] : офіційний портал. – URL: <https://e-construction.gov.ua> (дата звернення: 22.11.2024).
202. **Інформаційне суспільство** // У кн.: *Енциклопедія Сучасної України* [Електронний ресурс] / редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г.

- Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2011. – URL: <https://esu.com.ua/article-12462>.
203. **Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України** [Електронний ресурс] : офіційний вебсайт. – URL: <https://minre.gov.ua> (дата звернення: 22.11.2024).
204. **Національна академія мистецтв України** [Електронний ресурс] : офіційний вебсайт. – URL: <https://namu.kiev.ua> (дата звернення: 22.11.2025).
205. **Національний план сприяння розвитку адитивної промисловості (2015–2016 роки)** [Електронний ресурс] / Міністерство промисловості та інформаційних технологій, Національна комісія по розвитку і реформах, Міністерство фінансів. – Пекін : Сайт Міністерства промисловості та інформаційних технологій Китайської Народної Республіки, 2015. – С. 3. – Назва ориг.: 工信部、国家发改委、财政部.国家增材制造产业发展推进计划 ( 2015-2016年) .
206. **Як отримувати повідомлення із сайту: рішення від KeyCRM** [Електронний ресурс] / KeyCRM. URL: <https://blog.keycrm.app/uk/yak-otrimuvati-povidomlennya-iz-sajtu-rishennya-vid-keycrm/> (дата звернення: 05.11.2024).
207. **Allplan** [Електронний ресурс]. URL: <https://www.allplan.com> (дата звернення: 05.02.2024).
208. **Autodesk** [Електронний ресурс]. URL: <https://www.autodesk.com/> (дата звернення: 04.02.2024).
209. **Bring Together BIM GIS eBook** [Електронний ресурс] / Autodesk. URL: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/drafr/9492/Autodesk%20Bring%20Together%20BIM%20GIS%20eBook.pdf> (дата звернення: 05.02.2024).
210. **Chatbot** [Електронний ресурс] / Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Chatbot> (дата звернення: 05.11.2024).

211. **CMA Data Service** [База данных] [Электронный ресурс] / China Meteorological Administration. URL: <https://data.cma.cn/en> (дата звернения: 09.11.2024).
212. **Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH in Ukraine** [Электронный ресурс] : official website. – URL: <https://www.giz.de/en/worldwide/32413.html> (date of access: 12.11.2024).
213. **Expert Systems for Climate-based Seed Selection** [Электронный ресурс] / WebFlex. URL: [https://www.lpa.co.uk/wfs\\_dem3.htm](https://www.lpa.co.uk/wfs_dem3.htm) (дата звернения: 05.04.2025).
214. **Exsys Corvid User Manual** [Электронный ресурс] / Exsys Inc. 2023. URL: <http://www.exsys.com/demomain.html/> (дата звернения: 05.04.2025).
215. **G2 Expert System Platform** [Электронный ресурс] / Gensym Corporation. 2022. URL: <https://ignitotech.com/solutions/industries/energy-natural-resources-solutions> (дата звернения: 05.04.2025).
216. **Graphisoft.** [Электронный ресурс] URL: <https://graphisoft.com/downloads/addons/ifc/> (дата звернения: 04.02.2024).
217. **Horizon Europe. Cluster 5 «Climate, Energy and Mobility» : Work Programme 2023–2024** [Электронный ресурс]. – Brussels : European Commission, 2022. – 425 p.
218. **International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)** [Электронный ресурс]. URL: <https://council.science/ru/member/isprs-international-society-for-photogrammetry-and-remote-sensing/> (дата звернения: 05.02.2024).
219. **ISO/TC 59/SC 13. Organization of information about construction works** [Электронный ресурс] : official webpage of the subcommittee. – URL: <https://www.iso.org/committee/5169404.html> (date of access: 22.11.2024).
220. **Michael Loren Mauldin** [Электронный ресурс] / Wikipedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Michael\\_Loren\\_Mauldin](https://en.wikipedia.org/wiki/Michael_Loren_Mauldin) (дата звернения: 05.11.2024).

221. **National Building Information Model Standard Project Committee** [Электронный ресурс]. URL: <https://nationalbimstandard.org/faqs#faq1> (дата звернення: 04.02.2024).
222. **Northern and southern China** [Электронный ресурс] / Wikipedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Northern\\_and\\_southern\\_China](https://en.wikipedia.org/wiki/Northern_and_southern_China) (дата звернення: 22.11.2025).
223. **NotebookLM** [Электронный ресурс] / Google. URL: <https://notebooklm.google/?hl=uk> (дата звернення: 09.11.2024).
224. **NotebookLM** [Электронный ресурс] / Google. URL: <https://workspace.google.com/intl/uk/products/notebooklm/> (дата звернення: 09.11.2024).
225. **OECD**. OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. – OECD Publishing, 2012. – 351 p.
226. **t.me/@Bioclimabot** [Чат-бот у Telegram] [Электронный ресурс]. URL: <https://t.me/@Bioclimabot> (дата звернення: 05.11.2024).
227. **The roles of artificial intelligence in education: Current progress and future prospects** [Электронный ресурс]. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1068797.pdf> (дата звернення: 05.04.2025).
228. **The theory of evolution bim 3d-7d** [Электронный ресурс] / Bimestimate.eu. URL: <https://bimestimate.eu/the-theory-of-evolution-bim-3d-7d/> (дата звернення: 04.05.2025).
229. **Smart Cities Council** [Электронный ресурс] : official website. – URL: <https://smartcitiescouncil.com> (date of access: 22.11.2024).
230. **United States Agency for International Development (USAID) in Ukraine** [Электронный ресурс] : official website. – URL: <https://www.usaid.gov/uk/ukraine> (date of access: 22.11.2024).
231. **WIPO**. Technology Trends, 2021. Assistive Technology. – World Intellectual Property Organization. Geneva, Switzerland, 2021. ISBN: 978-92-805-3257-9. doi.org/10.34667/tind.42582. URL:

- [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo\\_pub\\_1055\\_2021.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_1055_2021.pdf) (дата звернення: 05.02.2024).
232. **International Centre for Settlement of Investment Disputes (ICSID).** Annual Report 2001. – Washington, D.C. : ICSID, 2001. – 77 p.
233. **Shahabuddin.** [Електронний ресурс] / [Professor Dr. Shahabuddin Bin Amerudin]. – URL: <https://people.utm.my/shahabuddin/?p=8129> (дата звернення: 01.12.2024).
234. **Eyecandylab and Adidas launch retail AR experience to reveal the environmental impact of plastic usage** [Електронний ресурс] / Eyecandylab. – URL: <https://eyecandylab.com/eyecandylab-and-adidas-launch-retail-ar-experience-to-reveal-the-environmental-impact-of-plastic-usage/> (дата звернення: 01.12.2024).
235. **System** [Електронний ресурс] / Photosynthetica. – URL: <https://www.photosynthetica.co.uk/system> (дата звернення: 03.12.2024).
236. **Pavegen showcases future of clean energy across London sites** [Електронний ресурс] / Smart Cities World. – URL: <https://www.smartcitiesworld.net/news/pavegen-showcases-future-of-clean-energy-across-london-sites-11658> (дата звернення: 04.12.2024).
237. **System** [Електронний ресурс] / Photosynthetica. – URL: <https://www.photosynthetica.co.uk/system> (дата звернення: 05.12.2024).
238. **Tiffany & Co. incorporates a 3D printed facade on iconic store** [Електронний ресурс] / 3D Natives. – URL: <https://www.3dnatives.com/en/tiffany-co-incorporates-a-3d-printed-facade-on-iconic-store-201020234/> (дата звернення: 05.12.2024).
239. **Socially Responsible Design: 10 Designers Who Approach Social Experience Through Aesthetics** [Електронний ресурс] / Adorno Design. – URL: <https://adorno.design/editorial/socially-responsible-design-10-designers-who-approach-social-experience-through-aesthetics/> (дата звернення: 05.12.2024).

240. **Landscape Painting** [Электронный ресурс] / Comuseum. – URL: <https://www.comuseum.com/painting/landscape-painting/> (дата звернения: 08.12.2024).
241. **Making Yixing Teaware** [Электронный ресурс] / Seven Cups. – URL: <https://sevencups.com/learn-about-tea/brewing-tea/making-yixing-teaware> (дата звернения: 08.12.2024).
242. **Emotionally Durable Design** [Электронный ресурс] / Well Done Stuff. – URL: <https://welldonestuff.com/emotionally-durable-design> (дата звернения: 10.12.2024).
243. **Upcycled Design** [Электронный ресурс] / Upcycledesign.org. – URL: <https://www.upcycledesign.org/> (дата звернения: 10.12.2024).
244. **Slow Hand Design exhibition: designers turn trash into treasure** [Электронный ресурс] / Design Wanted. – URL: <https://designwanted.com/slow-hand-design-exhibition-designers-turn-trash-into-treasure/> (дата звернения: 12.12.2024).
245. **Slow Hand Design exhibition: designers turn trash into treasure** [Электронный ресурс] / Design Wanted. – URL: <https://designwanted.com/slow-hand-design-exhibition-designers-turn-trash-into-treasure/> (дата звернения: 12.12.2024).
246. **Is artificial intelligence generating convincing images of buildings a good thing?** [Электронный ресурс] / The Architect's Newspaper. – URL: <https://www.archpaper.com/2022/08/artificial-intelligence-convincing-images-buildings-good-thing/> (дата звернения: 15.12.2024).
247. **Brazilian Pavilion Expo Dubai 2020 / Ben Avid + JPGQ + MMBB Arquitetos** [Электронный ресурс] / ArchDaily. – URL: <https://www.archdaily.com/976137/brazilian-pavilion-expo-dubai-2020-ben-avid-plus-jprq-plus-mmbb-arquitetos> (дата звернения: 15.12.2024).

**ДОДАТОК 1.**  
**АЛЬБОМ ІЛЮСТРАЦІЙ ДО РОЗДІЛУ 1**

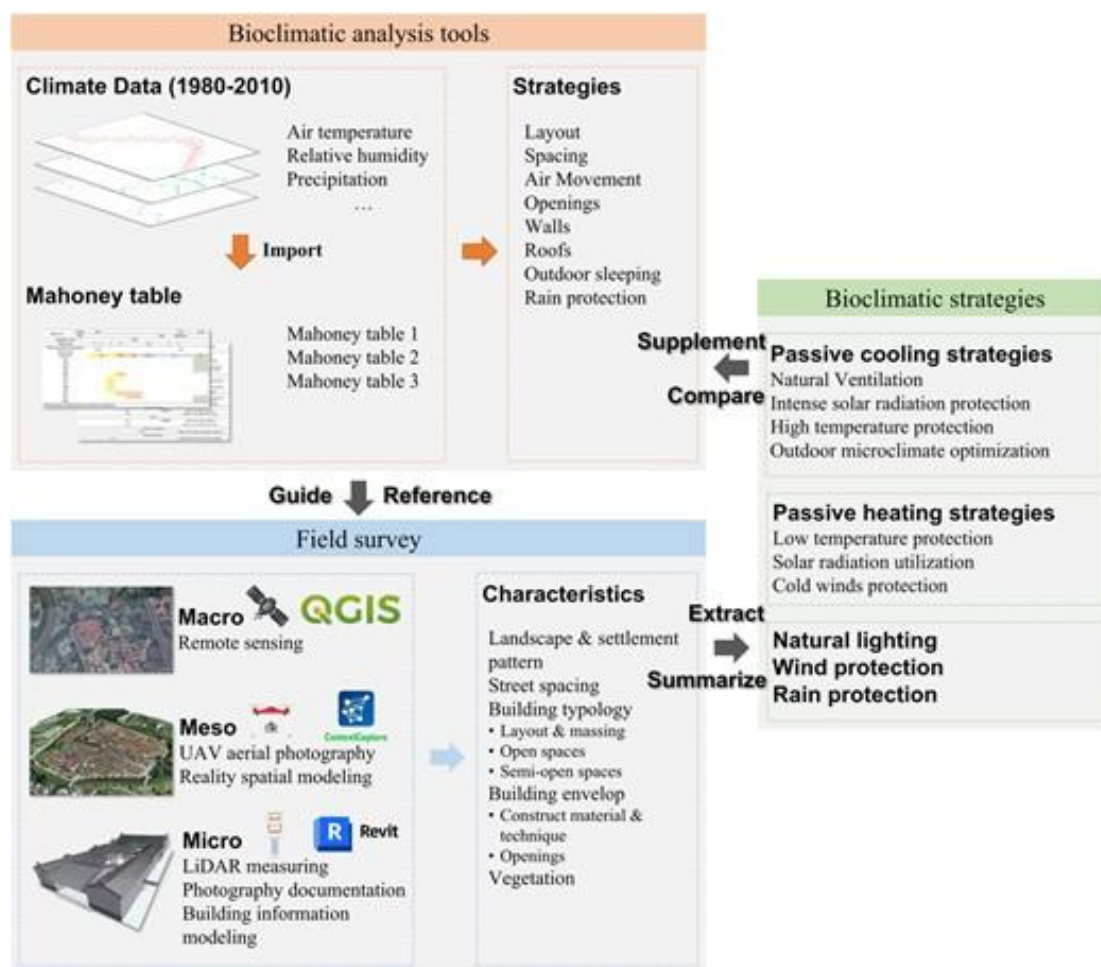


Рис. 1.1.1. Дослідницька структура для вивчення народних поселень півдня Китаю використовуючи три масштаби: макро, мезо, мікро рівні [120]

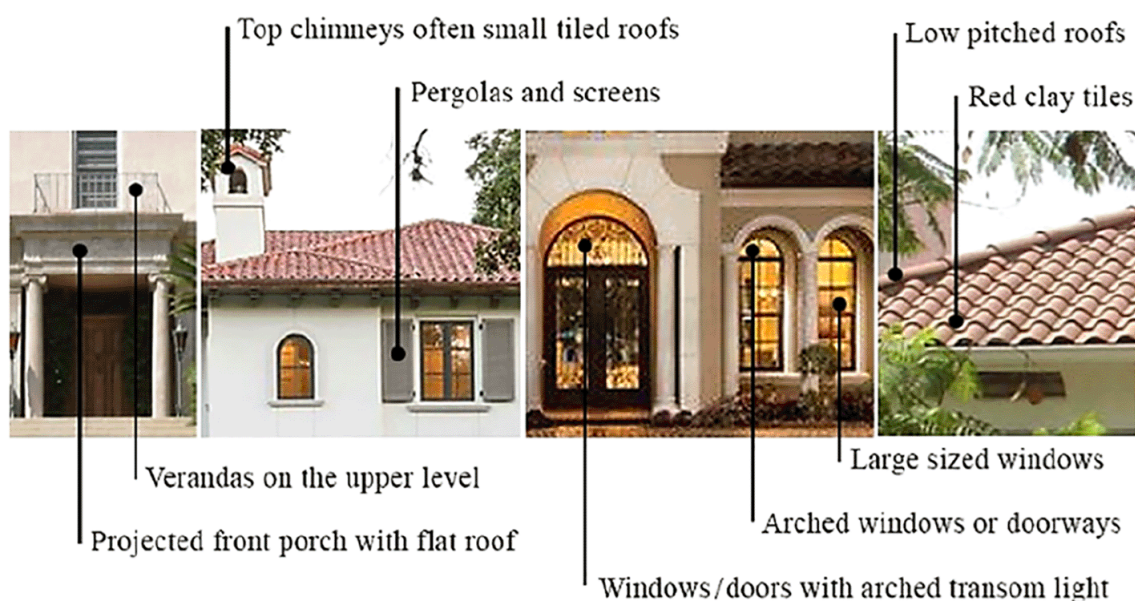


Рис. 1.1.2. Характерні особливостей біокліматичної архітектури середземноморського регіону [114]

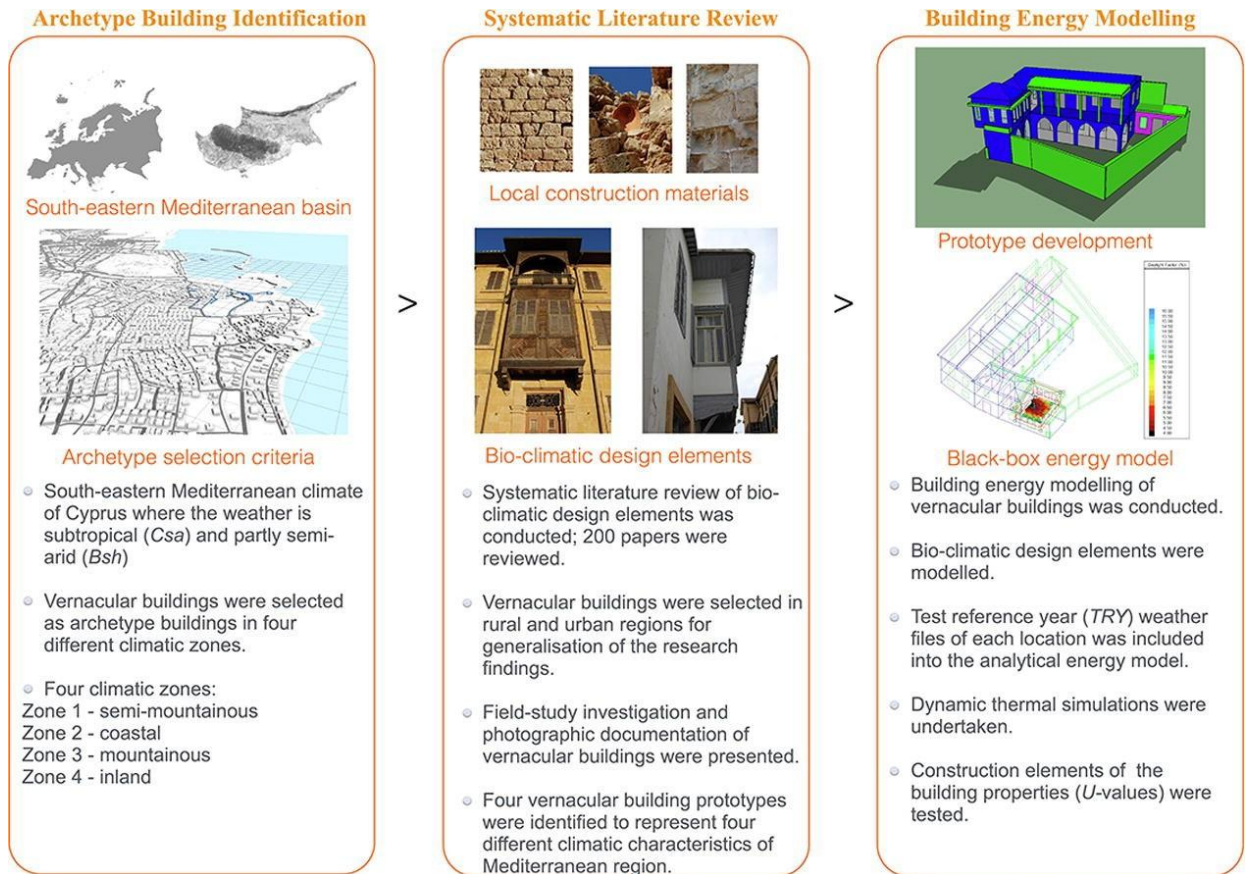


Рис.1.1.3. Методологічна схема дослідження біокліматичних рішень на основі порівняння народних традицій з сучасними технічними рішеннями [147]



Рис. 1.1.4. Приклад аналізу формування дизайн-концепції біокліматичних рішень в послідовності: природний аналог – традиційний досвід – сучасні рішення [21]



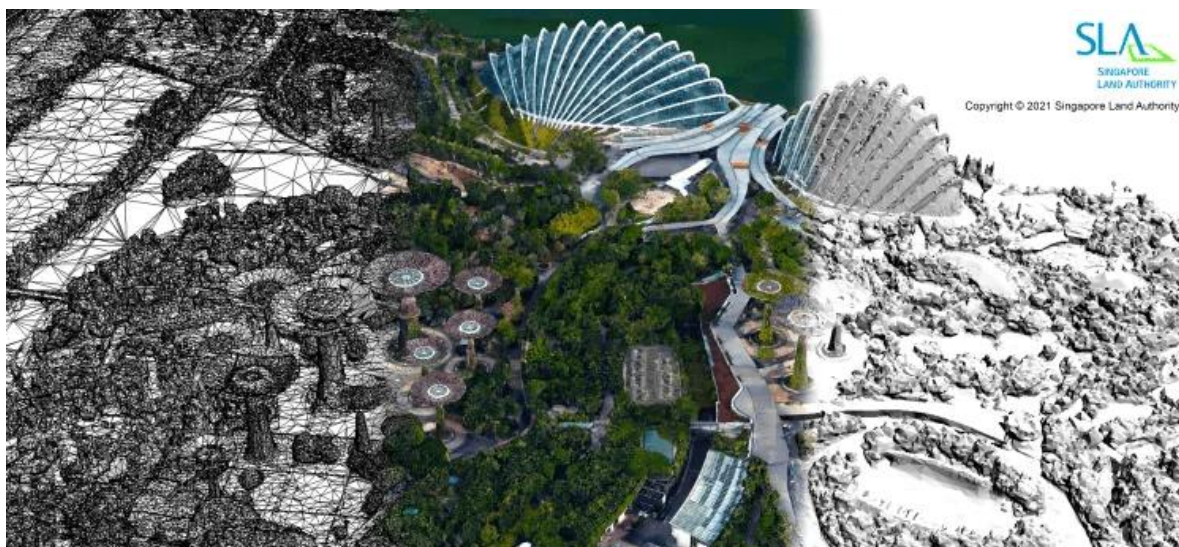


Рис. 1.1.6. Платформа «Віртуальний Сінгапур» об'єднує BIM-моделі, ГІС-дані та інформацію зі 110 000 IoT-сенсорів, що дозволяє прогнозувати температуру вулиць з точністю 0,7 °С на три роки вперед, допомагаючи адаптувати міську інфраструктуру до змін клімату [233]

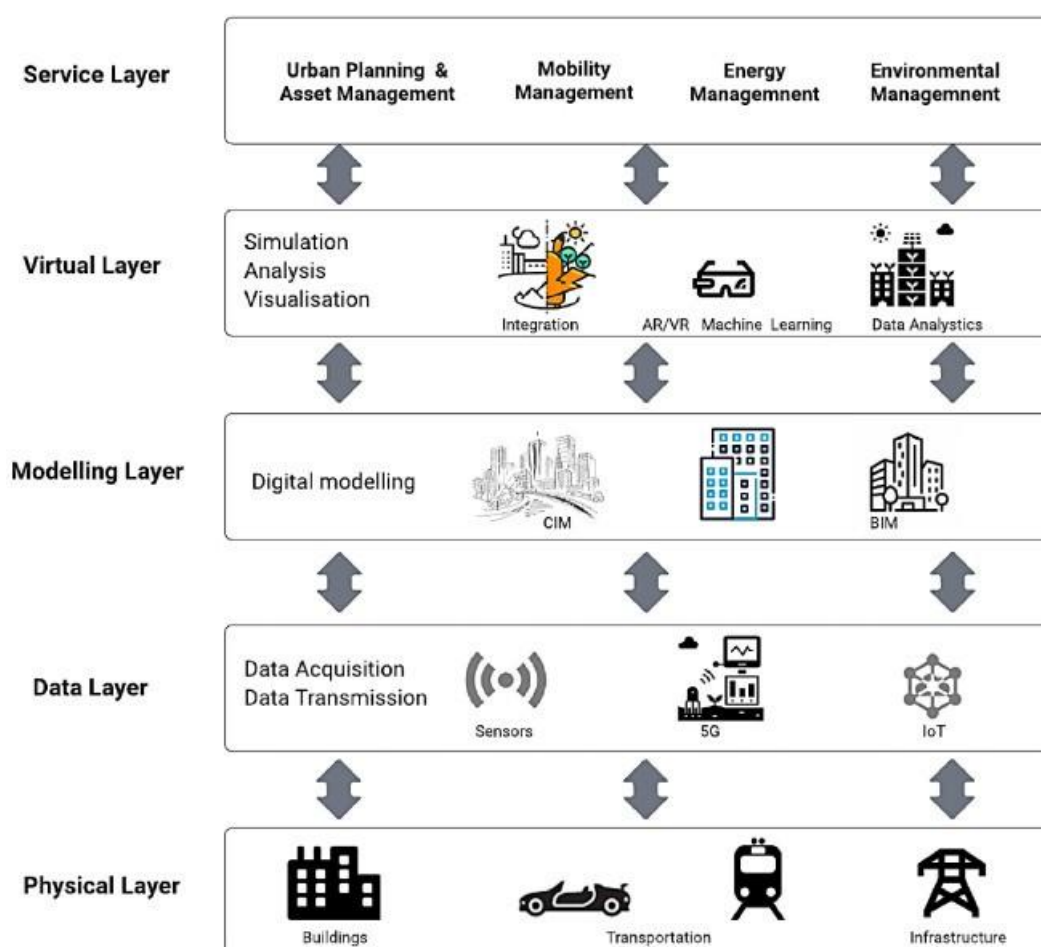


Рис. 1.1.7. Схема DT архітектури являє собою багатoshарову структуру, що починається з фізичної реальності та поширюється на кіберсферу через різні рівні обробки даних, моделювання, інтеграції [149]

Таблиця 1.2.1.

Рівні моделювання біопрототипів [16]

Рівень	Зміст рівня	Проблема	Питання	Метод
Філософський	Естетика	Естетика середовища	Дослідження закономірності естетичного середовища	Евристичний аналіз
Методологічний	Теорія дизайну, архітектури	Гармонізація рішень	Закономірності художньо естетичної основи форм	Системний аналіз
Методичний	Методи проектування, конструювання	Фізичні основи формоутворення	Синтез моделей	Структурний аналіз
Технічний	Реалізація теоретичних положень	Відтворення якостей біопототипів	Виконання проекту, зображення	Проектне моделювання

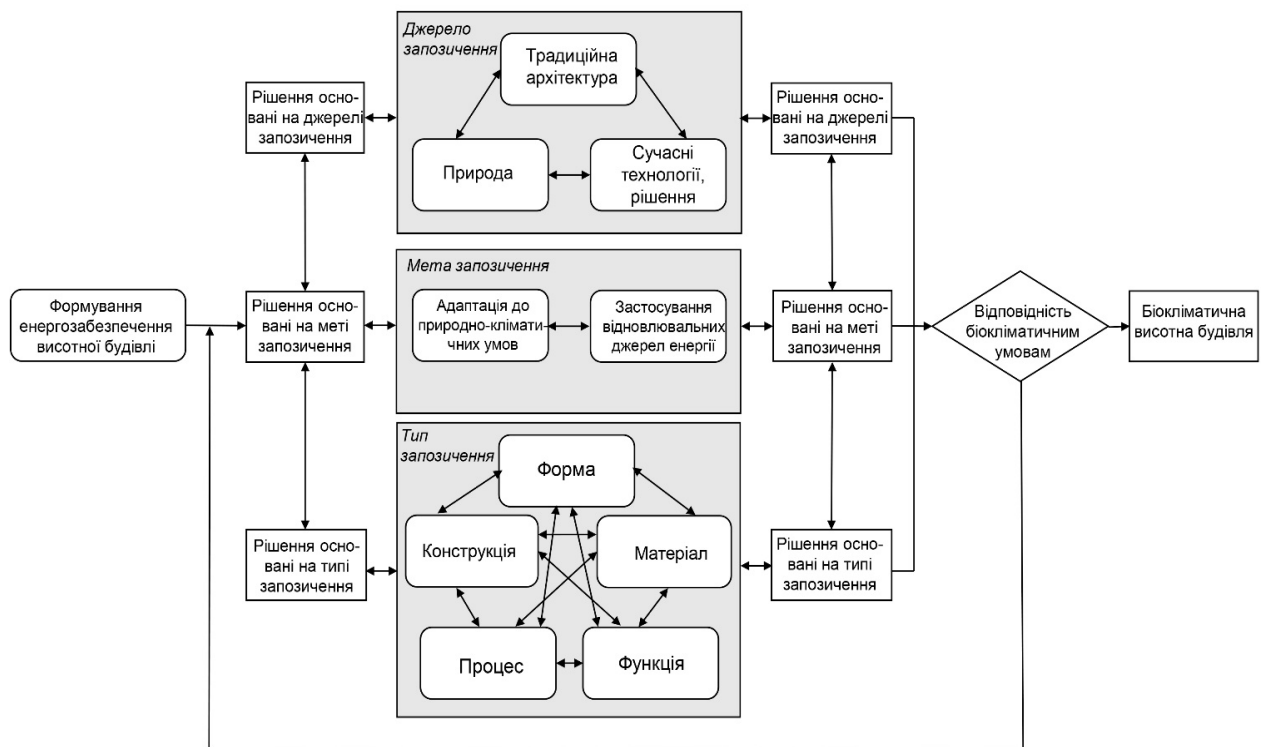


Рис. 1.2.1. Ієрархічна модель процесу формування дизайн-концепцій на основі біопрототипів при інтеграції відновлювальних енергетичних ресурсів у біокліматичну висотну будівлю [21]



Рис. 1.2.2. Схема впровадження загальнонаукових методів дослідження при біокліматичному моделюванні об'єктів дизайну (розроблено автором на основі аналізу теоретичних положень викладених в [ 10, 42, 61])

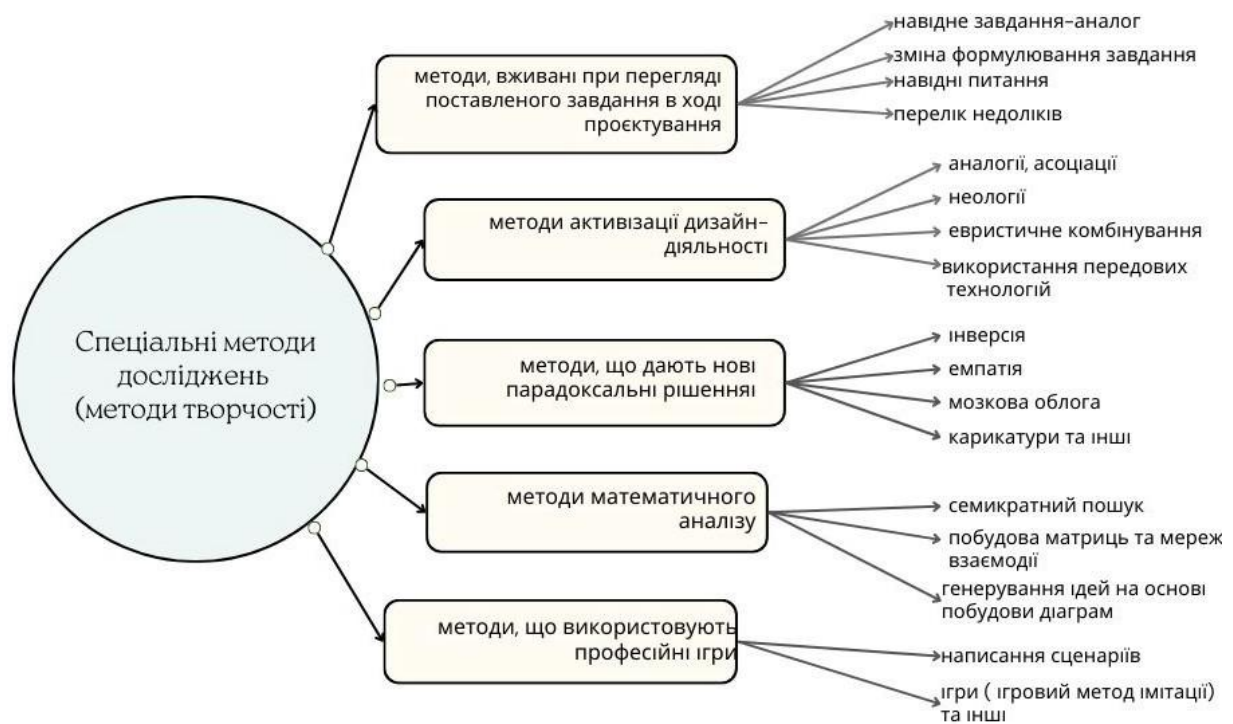


Рис. 1.2.3. Схема спеціальних методів досліджень для пошуку творчих ідей (розроблено автором на основі аналізу теоретичних положень викладених в [61])

**Приклад застосування спеціальних методів дослідження (для пошуку творчих ідей),**  
*(розроблено автором на основі аналізу проєктного рішення [119])*

Методи активізації дизайн-діяльності	Проєктні рішення
Аналогія - біопрототип	Конструктивний аналог кріплення крил бджоли до тіла, що вільно рухаються вгору і вниз, вперед і назад, скручуються та обертаються
Використання передових технологій	Використання програмного забезпечення Grasshopper для моделювання та імітації руху крил бджоли; Плагін Galapagos для оптимізації кутів модулів залежно від положення Сонця

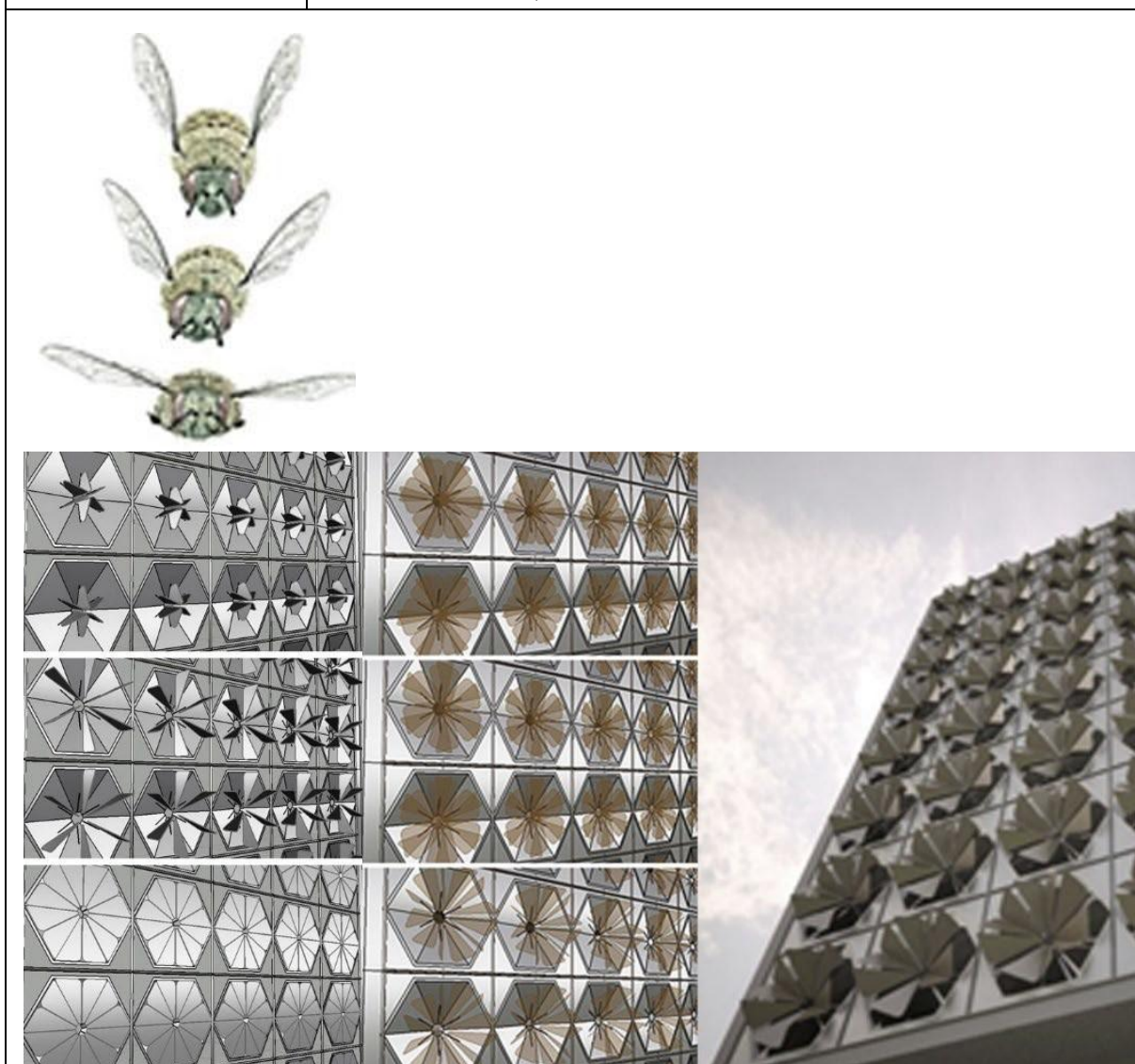


Рис.1.2.4. Дизайн-моделювання біокліматичного рішення динамічних сонцезахисних конструкцій на основі біопрототипа – крил бджоли

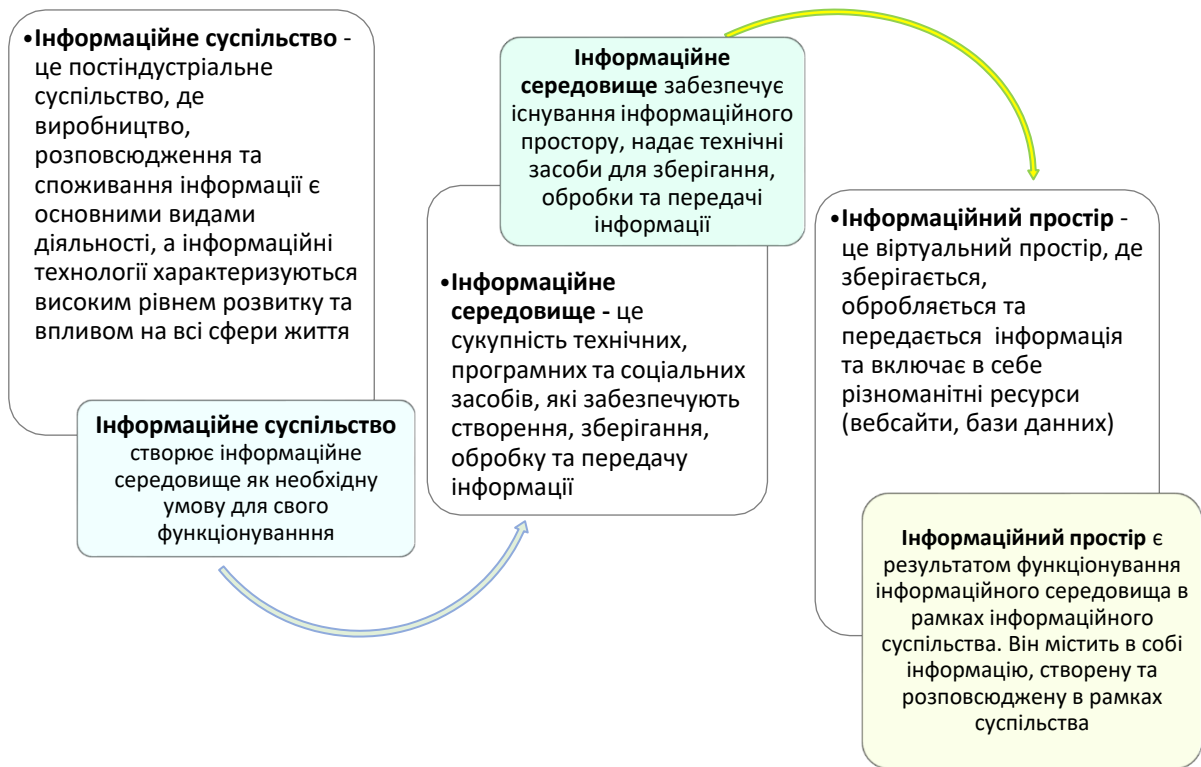


Рис. 1.3.1. Схема взаємодії понять «інформаційне суспільство», «інформаційне середовище» та «інформаційний простір» (розроблена автором)



Рис. 1.3.2. Схема структури ключових елементів сучасного інформаційного середовища (розроблено автором)



Рис. 1.3.3. Характеристики сучасного інформаційного середовища (розроблено автором)



Рис. 1.3.4. Ключові аспекти формування рішень дизайну у сучасному інформаційному середовищі (розроблено автором)

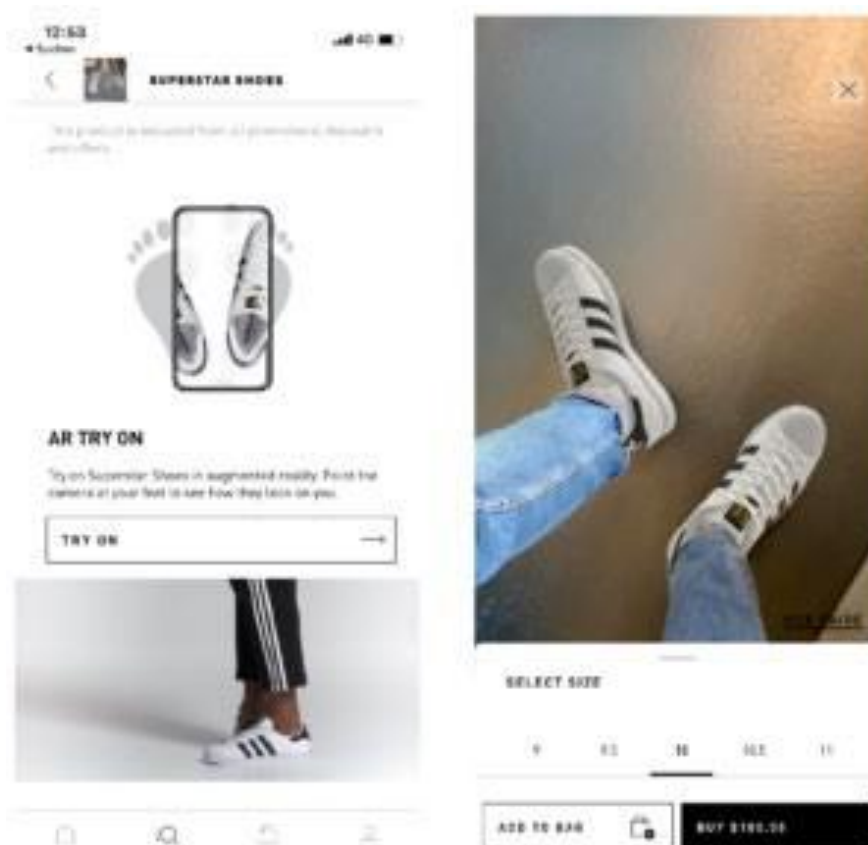


Рис. 1.3.5. Віртуальна примірка взуття Adidas (AR) – це інноваційне рішення, яке не тільки полегшує вибір і покупку взуття онлайн, але й демонструє екологічний цикл переробки пластику, використаного у виробництві. Наприклад, модель з колекції Parley, виготовляється з переробленого океанського пластику. Через AR-додаток покупець може познайомитися з історією переробки — від збору пластику до створення матеріалів для взуття. Це підсилює екологічну свідомість клієнтів і показує, як цифрові технології допомагають екології. [234, 235]



Рис. 1.3.6. Іноваційна інсталяція Pavegen: кроки до кліматичних змін у Лондоні. Під час Лондонського тижня дій щодо зміни клімату та Вімблдону, компанія Pavegen розробила іноваційний дизайн покриття, що перетворює повсякденний рух пішоходів на вимірний вплив на боротьбу зі зміною клімату.

*Суть проєкту:*

Pavegen, у співпраці з Evergreen, зобов'язується садити одне дерево за кожні 200 зібраних кроків. Мета кампанії — згенерувати достатньо чистої енергії, щоб посадити ліс розміром з Центральний корт Вімблдону, компенсуючи 1000 тонн CO<sub>2</sub> протягом життя дерев.

*Кожна інсталяція Pavegen включає:*

- Кінетична енергія вуличного покриття – перетворює кроки на відновлювану енергію для освітлення LED-елементів.
- Панель керування та LED-зворотний зв'язок – відстежує виробництво енергії та кількість посаджених дерев у реальному часі.
- Вивіски та цифрові екрани – відображають прогрес кампанії за допомогою анімованої візуалізації та статистики.
- Інтеграція QR-коду – надає доступ до карти посадки дерев та інформації про краудфандинг. [236]

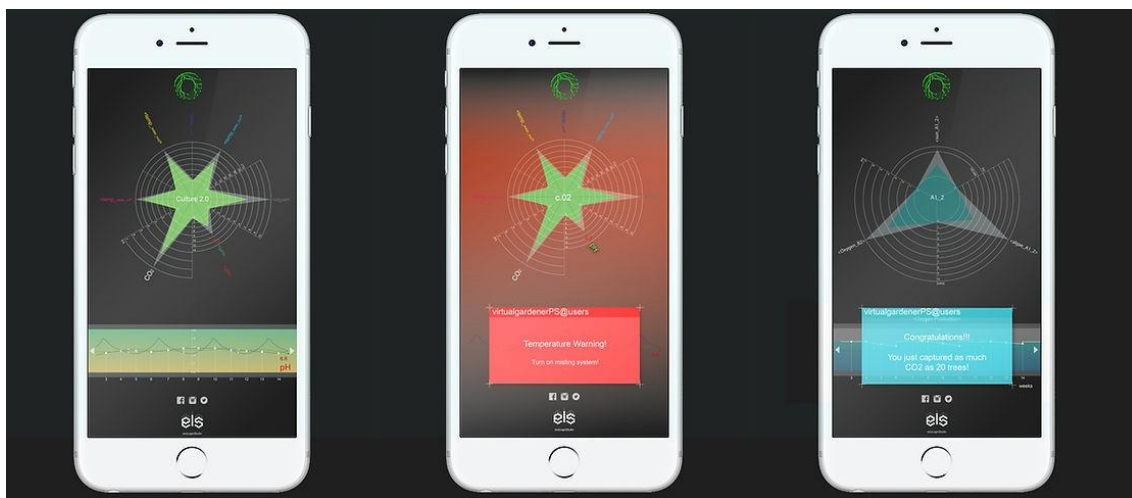
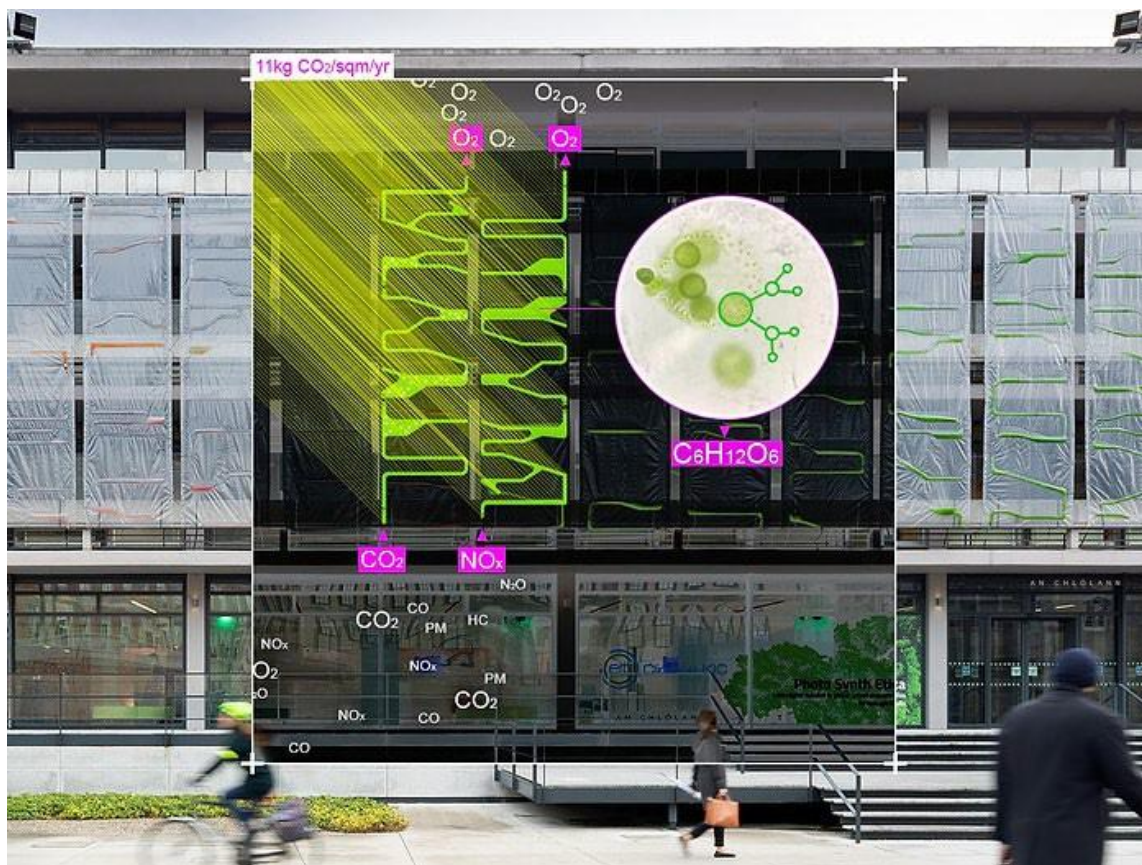
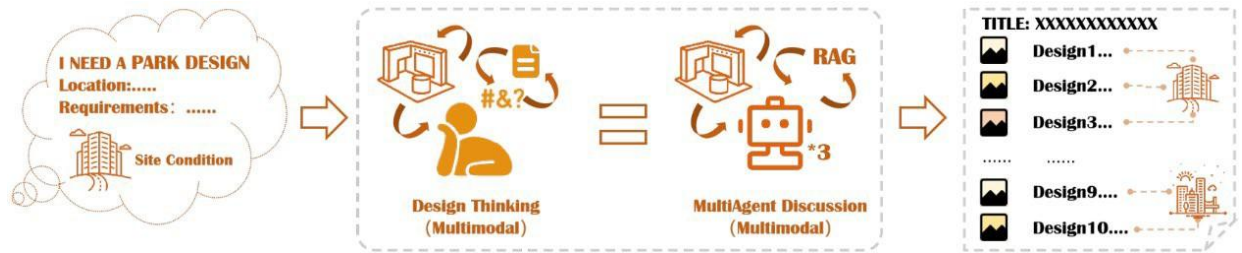


Рис.1.3.7. «**PhotoSynthetica**» – фотосинтетична система для фасадів, що забезпечує біологічний (BIO) та цифровий (SMART) дизайн: а – фасад «**PhotoSynthetica**»; б – фото екрану мобільного телефону з додатком із «розумною» системою цифрового моніторингу показників.

«**PhotoSynthetica**» - інноваційна концепція фасадів з водоростей була представлена в листопаді 2018 року в Дублінському замку на Саміті кліматичних інновацій. «Розумна цифрова система» використовує датчики для моніторингу мікроклімату, росту та взаємодії з людиною. Цифрове проектування та роботизоване виготовлення дозволяє повністю адаптувати систему до умов будівництва та ділянки. [237]



a

Design a museum courtyard that **embodies the spirit of China's traditional history**, reflects **the museum's theme of "books,"** showcases **the theme of landscape paintings**, and **exemplifies the noble character of Suzhou gardens.**



The design embodies the spirit of **Chinese ink painting**, using **a space** that is both modern and poetic. The water surface, mirroring the sky and architecture, along with **, reconstructs the noble character of Suzhou gardens.** **The black and white** palette reflects a unique **Chinese aesthetic**, enhancing the spatial hierarchy and depth through contrasts in materiality and light. **, symbolizing "stacked scrolls,"** subtly alludes to the museum's theme. Every element, from stone bridges to pathways, represents a contemplation of tradition and modernity, aiming to lead visitors on a journey through the interweaving of space and time. The courtyard's overall design **pays tribute to the spirit of Suzhou and broader Chinese culture**, exploring the harmonious coexistence of architecture and nature.



This design for a museum **courtyard** captures the essence of **traditional Chinese history**, integrating themes of "books" with elements of . The serene setting aims to reflect harmony and scholarly pursuit, with beautifully landscaped paths leading to traditional structures of the past, as well as **sculptures of opened books and scrolls**, highlighting the theme.



real world designer



GPT 4V



question & answers

b

Рис. 1.3.8. Автоматизована мультимодальна система для архітектурного та екологічного дизайну [92]:

а – основна структура дослідження, що орієнтована на сценарії оновлення міського середовища;

б – приклад формування мови запиту від реального дизайнера до ШІ (GPT 4V) при проектуванні музейного подвір'я, що відтворює дух традиційної історії Китаю, відображає «книжкову» тематику музею, демонструє тему пейзажного живопису та ілюструє благородний характер садів Сучжоу

Таблиця 1.1.  
Приклади рішень відповідального дизайн-мислення



Рис.1.3.9. Дизайн фасаду магазину Tiffany & Co в аеропорті Чангу у Сінгапурі на основі використання переробленого океанського пластику та 3D-друку. [238]



Рис.1.3.10. EcoBirdy розробили тарілки «Mabo», що виглядають так, ніби вони зроблені з мармуру, проте вони повністю виготовлені з перероблених пластикових харчових контейнерів. [239]

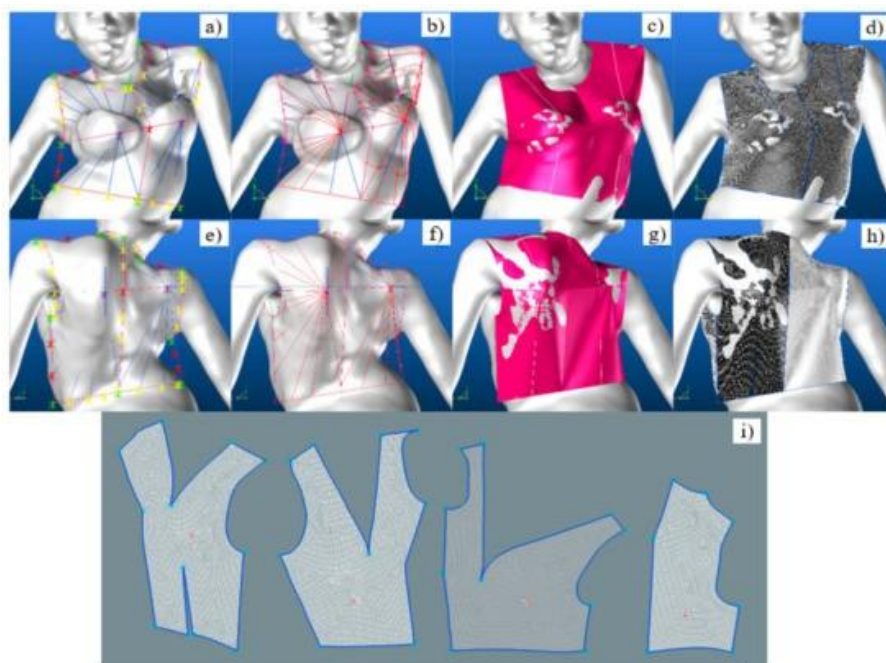


Рис.1.3.11. Цифровий 3-д дизайн адаптивного одягу, що спеціально розроблений для задоволення особливих потреб людей з інвалідністю та особливими потребами, щоб подолати труднощі, пов'язані із самостійним одяганням, проблемами зі здоров'ям, ергономікою, комфортом, посадкою, стилем, модою тощо [143]

**ДОДАТОК 2.**  
**АЛЬБОМ ІЛЮСТРАЦІЙ ДО РОЗДІЛУ 2**

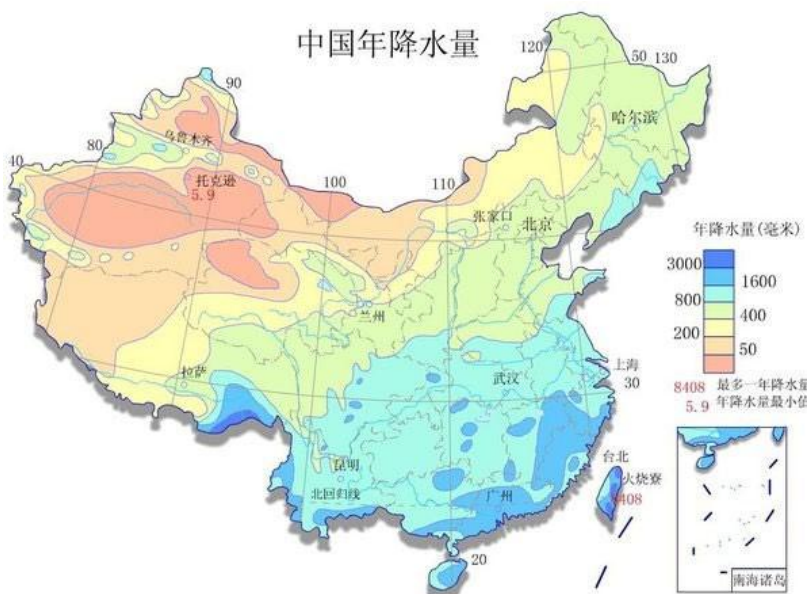
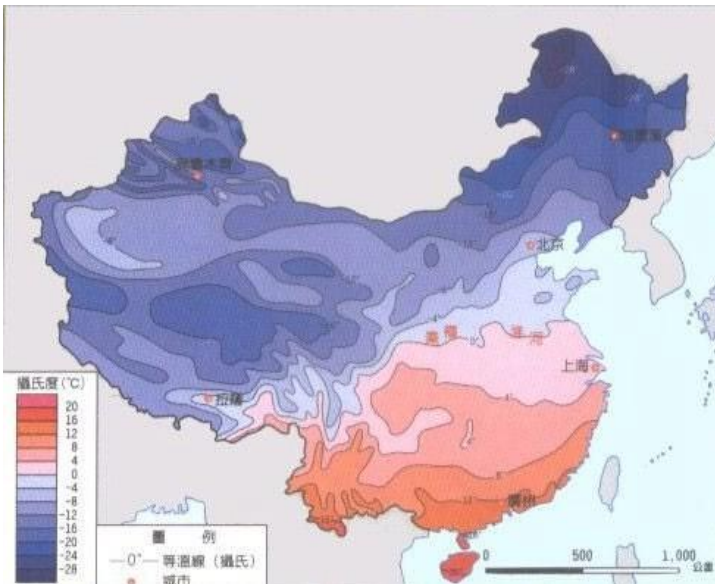
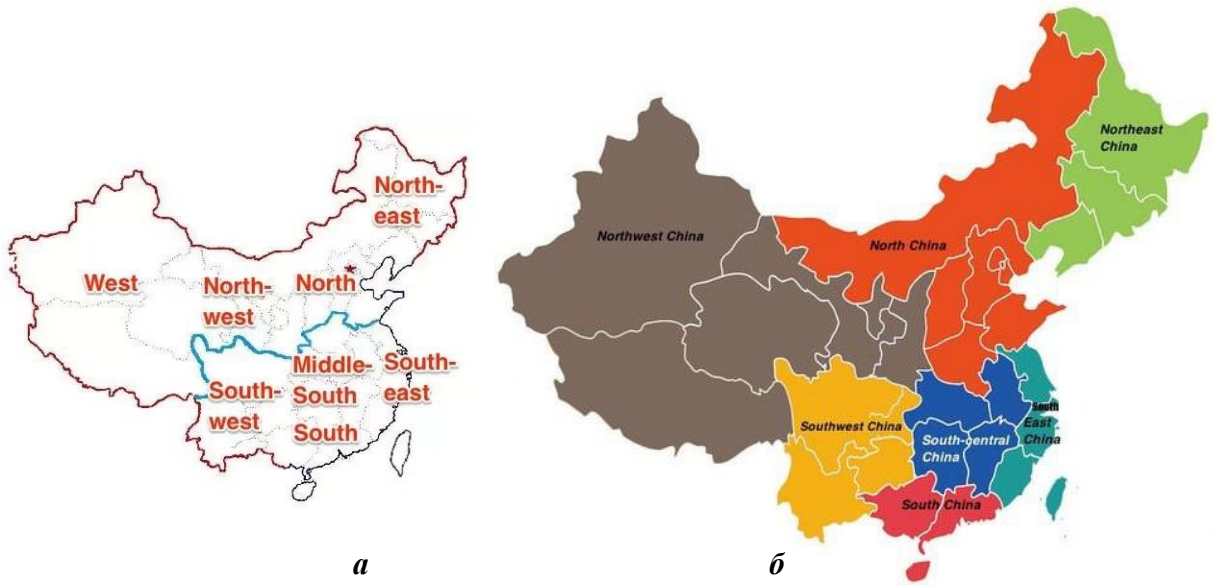


Рис. 2.1.1. Схеми, що пояснюють поділ Китаю на північний та південний регіони:

*a* – схема карти Китаю з позначенням лінії Циньлін – Хуайхе, що розділяє Китай на північний та південний регіони;

*б* – схема карти Китаю з позначенням південних та північних регіонів Китаю;

*в* – схематична діаграма розподілу середньорічної температури у Китаї ;  
*г* – схематична діаграма розподілу та середньорічної кількості опадів у Китаї.



Рис. 2.1.2. Схема до висунутої в [159] теорії зі способу життєзабезпечення (розроблено автором)





Рис. 2.1.3. Схема формування культури спільноти Північного Китаю, що пов'язана із відповідним розвитком сільського господарства в існуючих кліматичних умовах регіону (розроблено автором)



Рис. 2.1.4. Схема формування культури спільноти Південного Китаю, що пов'язана із розвитком сільського господарства в існуючих кліматичних умовах регіону (розроблено автором)

Таблиця 2.1.1

<b>1</b>	<b>Вплив клімату на формування традиційної архітектури півночі Китаю</b> <i>(розроблено автором)</i>	
<b>Північний Китай</b>	<b>Кліматичні чинники</b>	<b>Проектні рішення</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- холодний суворий клімат;</li> <li>- снігові намети;</li> <li>- сильні холодні вітри.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- товсті зовнішні стіни, форма житла –сховища, що заглиблені у скелю чи ґрунт;</li> <li>- дах з крутим ухилом;</li> <li>- форма та орієнтація подвір'я на південь</li> </ul>
		
	<p>Рис.2.1.5 – «Яодонг» (yáodong) житло-сховище у північному Китаї</p>	<p>Рис. 2.1.6. – схема північного будинку Сихеюань із внутрішнім подвір'ям</p>

2	Вплив клімату на формування традиційної архітектури півдня Китаю (розроблено автором)	
	Кліматичні чинники	Проектні рішення
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- висока вологість та повені;</li> <li>- дощі;</li> <li>- спека</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- будівлі на стовпах та пілонах (рис. 2а) ;</li> <li>- широкі дахи з виносом від стін;</li> <li>- переносні екрани та жалюзі, форма закритого подвір'я для вентиляції та захисту від перегріву; розведення садів</li> </ul>
Південний Китай		
	<p>Рис.2.1.7. Дяоцзяолоу в провінції Хунань, Цзянсі (південні будинки на палях)</p>	<p>Рис.2.1.8. Південні традиційні будинки із внутрішнім подвір'ям</p>
		
	<p>Рис.2.1.9. Сади Сучжоу у провінції Цзянсу, регулювання мікроклімату через продуману композицію садових елементів, що є прикладом адаптивного ландшафтного дизайну</p>	

Таблиця 2.1.3

3		Вплив клімату на формування традиційного одягу півночі Китаю (розроблено автором)	
Північний Китай	<b>Кліматичні чинники</b>	<b>Рішення одягу</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- холодний, суворий клімат;</li> <li>- снігові намети;</li> <li>- сильні холодні вітри.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- використанні теплих і щільних матеріалів (шерсть, шкіра, хутро, бавовна та льон);</li> <li>- багат шаровість одягу;</li> <li>- форма одягу – довгі халати, широкі капелюхи, хустки для захисту обличчя</li> </ul>	
			
<p>Рис.2.1.10 Чоловічий халат з хутряною обробкою, манжети пофарбовано у жовтий колір шляхом кип'ятіння із сухостійним деревом</p>		<p>Рис.2.1.11. Костюм із риб'ячих шкур – шкіри лосося, традиційний одяг хечже (нанайських) чоловіків</p>	

Таблиця 2.1.4.

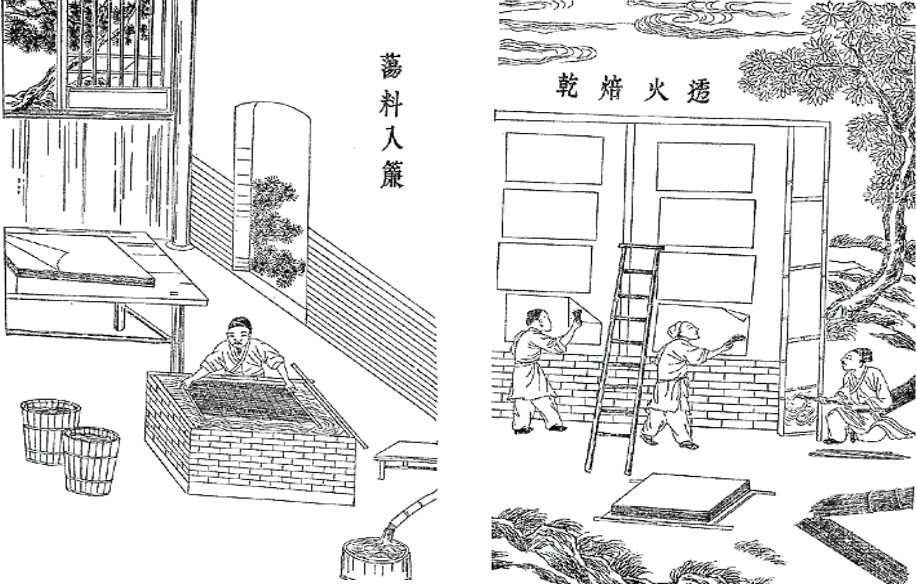

4		Вплив клімату на формування традиційного одягу	
Південний Китай	<b>Кліматичні чинники</b>	<b>Рішення одягу</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- жаркий клімат;</li> <li>- висока вологість;</li> <li>- інтенсивність сонячного світла</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- з натуральних тканин (шовк, льон, бавовна), що мають гарну повітропроникність і здатність поглинати вологу;</li> <li>- легкий і зручний, мав вільний і просторий крій;</li> <li>- використання місцевих матеріалів для виготовлення, фарбування одягу</li> </ul>	
			
		<p>Рис.2.1.12 Традиційний одяг жителів півдня Китаю:  <b>а</b> – жіноче плаття з вишивкою із льону;  <b>б</b> – традиційна парча Лі з острова Хайнань</p>	

Таблиця 2.1.5.

5		Вплив клімату на формування традиційного живопису півночі Китаю	
Північний Китай	Кліматичні чинники	Рішення живопису	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- холодний, суворий клімат;</li> <li>- сніги, крижані річки;</li> <li>- сильні холодні вітри.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- тематика, що відображає природні умови регіону;</li> <li>- мінімалістична стилістика та техніка;</li> <li>- символіка – відтворення довговічності та стійкості</li> </ul>	
			<p>Рис.2.1.13. Живопис північного Китаю:</p> <p><i>а</i> - художник Фан Куан (范寬, ок. 950–1032), «Зимові гаї у сніговому пейзажі»;</p> <p><i>б</i> - художник Цзин Хао (荆浩, ок. 880–940), «Гора Куанглу»</p>

Таблиця 2.1.6

6		Вплив клімату на формування традиційного живопису півдня Китаю		
Південний Китай	Кліматичні чинники	Рішення живопису		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- жаркий клімат;</li> <li>- висока вологість;</li> <li>- інтенсивність сонячного світла</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- тематика, що відображає природно- кліматичні умови регіону – зелені ліси, річки, водоспади;</li> <li>- символіка – формування «живопису бамбуку»;</li> <li>- стилістика м'яка, плавна з використанням ніжних відтінків</li> </ul>		
	<p>Рис.2.1.14 Живопис південного Китаю:</p> <p><i>а</i> – приклад напрямку «Живопис Бамбука»;</p> <p><i>б</i> - художник Дун Юань, «Річки Сяо та Сянь». [240]</p>	 <p>Bamboo in Ink (墨竹圖) Wu Zhen (吳鎮, 1280-1354) Yuan Dynasty (1271-1368)</p> <p>Bamboo Branches (竹枝圖) Ni Zan (倪瓚, 1301-1374), Yuan Dynasty (1271-1368)</p>	<p><i>а</i></p> <p><i>б</i></p>	

7	<b>Вплив клімату на формування традиційних промислів півночі Китаю</b> <i>(розроблено автором)</i>	
	<b>Кліматичні чинники</b>	<b>Розвиток промислів</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- посушливий клімат;</li> <li>- сильні вітри;</li> <li>- суворий холодний клімат;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- оптимальні кліматичні умови для виготовлення паперу, а саме процесу його висихання (рис. 2.1.15.);</li> <li>- керамічний посуд, що відмінно зберігає тепло та вологу (рис.2.1.16.);</li> <li>- шкіряні вироби зі шкіри тварин, що мала особливу щільність іта якість в умовах суворого клімату;</li> <li>- виготовлення килимів для збереження тепла в приміщеннях</li> </ul>
<b>Північний Китай</b>		
	<p>Рис.2.1.15. Китайські гравюри XVII століття, що показують стадії виробництва паперу</p>	
	 <p>Рис.2.1.16. Виготовлення традиційного глиняного чайного посуду. [241]</p>	

8	<b>Вплив клімату на формування традиційних промислів півдня Китаю</b> (розроблено автором)	
Південний Китай	<b>Кліматичні чинники</b>	<b>Розвиток промислів</b>
	- теплий та вологий клімат, що сприяє різноманіттю рослинного світу;	- ідеальні кліматичні умови сприяли розведенню шовкопряду та виробництву шовкових тканин (рис.2.1.17) ; - ремесла пов'язані з вирощування та обробки чайного листя (рис.2.1.18.); - виробництво з рисової соломи рисового паперу (рис.2.1.19.), сонцезахисних капелюхів, кошиків, килимів; - традиційний посуд з бамбука, що має антимікробні властивості
Південний Китай		
	<p>Рис.2.1.17. Китайська гравюра, що показує процес виробництва шовкових тканин</p>	
		
<p>Рис.2.1.18. Гравюра «Відкриття чаю імператором Шень Нуном»</p>	<p>Рис.2.1.19. Гравюра Гері Тодд із Сінчжэна, «Виготовлення паперу Сюань»</p>	

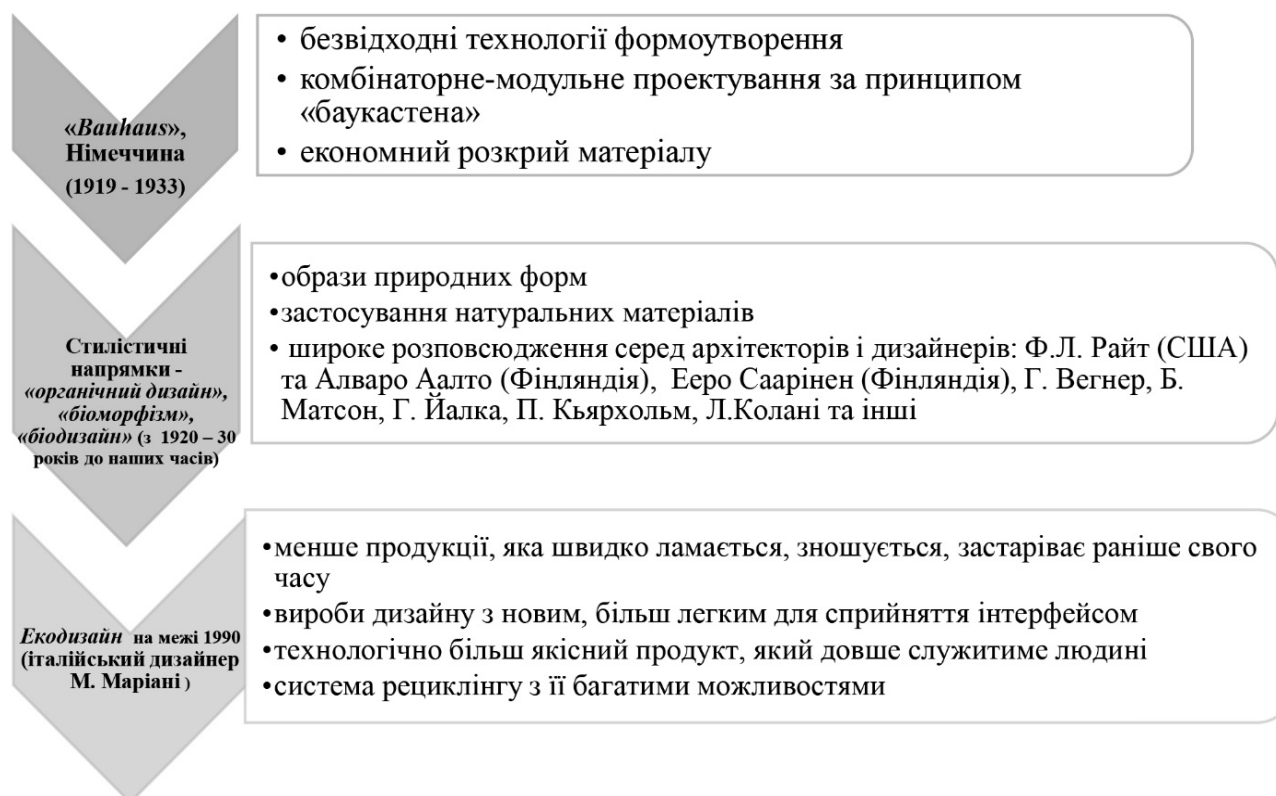


Рис. 2.2.1. Етапи розвитку екодизайну та їх характеристики (розроблено автором на основі [15])


Таблиця 2.2.1.

1		Особливості Емоційно стійкого дизайну (розроблено автором)	
Emotionally Durable Design (EDD)	<b>Визначення</b>	<b>Характеристики</b>	
	Концепція екологічного дизайну, яка прагне створити об'єкти дизайну, що здатні викликати та підтримувати емоційну прихильність у користувачів протягом тривалого часу, за рахунок наступних характеристик >	Емоційний зв'язок; Довговічність; Збереження історії та спадщини Персоналізація	
			<p>Рис.2.2.2 Приклад рішення <i>Emotionally Durable Design</i> (EDD) - автомобіль покритий 20 000 шматочками з дубу ручної роботи на зразок місцевих дерев'яних черепичних дахів. [242]</p>

Таблиця 2.2.2.

2	<b>Особливості Дизайну вторинного використання</b> (розроблено автором)	
Upcycling Design (UD)	<b>Визначення</b>	<b>Характеристики</b>
	Концепція екодизайну, що передбачає на відміну від переробки, яка перетворює відходи на їх початкові форми або матеріали, формування нової цінності та якості об'єктів дизайну за рахунок наступних характеристик >	Переробка відходів; Креативність та інновації; Зменшення споживання ресурсів; Мінімізація відходів
		<p>Рис. 2.2.3. Приклад рішення <i>Upcycling Design (UD)</i> - виробу предметів з переробленого пластику (карабін, горщик, брелки, годинник, підставка). [243]</p>


Таблиця 2.2.3.

3	<b>Особливості Треш дизайну</b> (розроблено автором)	
Trashion Design (TD)	<b>Визначення</b>	<b>Характеристики</b>
	Концепція екодизайну, яка використовує відходи та матеріали, які зазвичай вважаються сміттям, для створення модних, стильних предметів об'єктів дизайну та визначається наступними характеристиками >	Використання відходів; Креативність та інновації; Стійкість; Унікальність
		<p>Рис. 2.2.4. Приклад рішення <i>Trashion Design (TD)</i> - інсталяції художниці Вішулади Пантановонг, які вона створює з відходів та сміття. [244]</p>

Таблиця 2.2.4.

4		Особливості Уповільненого дизайну (розроблено автором)	
Slow fashion Design (SFD)	<b>Визначення</b>	<b>Характеристики</b>	
	Напрямок екодизайну предметів, які мають тривалий період морального нестаріння та використання, оскільки вони завжди залишаються модними, що зменшує негативний вплив на навколишнє середовище за рахунок наступних характеристик >	Якість та довговічність; Етика та справедливість; Стійкість; Ручна робота та місцеве виробництво	
			Рис. 2.2.5. Приклад рішення <i>Slow fashion Design (SFD)</i> - колекція декоративних біопанелей, що представила компанія Wasoo на виставці Slow Hand Design Breath. [245]

Таблиця 2.2.5.

5		Особливості Безвідходного дизайну (розроблено автором)	
Zero waste Design (ZWD)	<b>Визначення</b>	<b>Характеристики</b>	
	Концепція екодизайну, яка прагне мінімізувати відходи та негативний вплив на навколишнє середовище у процесі проектування, виробництва та використання продуктів та визначається наступними характеристиками >	Мінімізація відходів; Циклічність; Використання екологічно чистих матеріалів; Довговічність	
			Рис. 2.2.6. Приклад рішення безвідходного дизайну <i>Zero waste Design (ZWD)</i> - Mumsnet (2018) Стільчик трансформер для годування Stokke Tripp Trapp )

Напрямок екодизайну	Основні характеристики	Зв'язок з природно-кліматичними умовами	
<b>Екодизайн</b>	<b>Емоційно стійкий Дизайн/ Emotionally Durable Design (EDD)</b>	Емоційний зв'язок Довговічність Історія та спадщина Персоналізація	Подолання забруднення оточуючого природного середовища, втрати біорізноманіття - результат ефективності рішень екодизайну з мінімізації, переробки, використання відходів; зменшення споживання ресурсів та циклічності
	<b>Дизайн вторинного використання/ Upcycling Design (UD)</b>	Мінімізація відходів Зменшення споживання ресурсів Креативність Переробка відходів	Враховання існуючих природно-кліматичних умов впливає на вибір форми, матеріалів, структури об'єктів дизайну, що забезпечує їх якість, довговічність, креативність та інновації;
	<b>Треш Дизайн/ Trash Design (TD)</b>	Унікальність Стійкість Креативність та інновації Використання відходів	Стійкість, зменшення споживання ресурсів для об'єктів екодизайну забезпечується інтеграцією природних відновлювальних джерел
	<b>Уповільнений дизайн / Slow Fashion Design (SFD)</b>	Ручна робота та місцеве виробництво Стійкість Етика та справедливність Якість та довговічність	Ручна робота та місцеве виробництво, історія та спадщина, емоційність та персоналізація - результат уважного ставлення до оточуючого природного середовища, збереження місцевих традицій при проектуванні об'єктів екодизайну
	<b>Безвідходний дизайн/ Zero Waste Design (ZWD)</b>	Мінімізація відходів Використання екологічно чистих матеріалів Довговічність Циклічність	

Рис.2.2.7. Схема основних характеристик різних за своєю концепцією напрямів сучасного екологічного дизайну та їх зв'язку з природно-кліматичними умовами (розроблено автором)

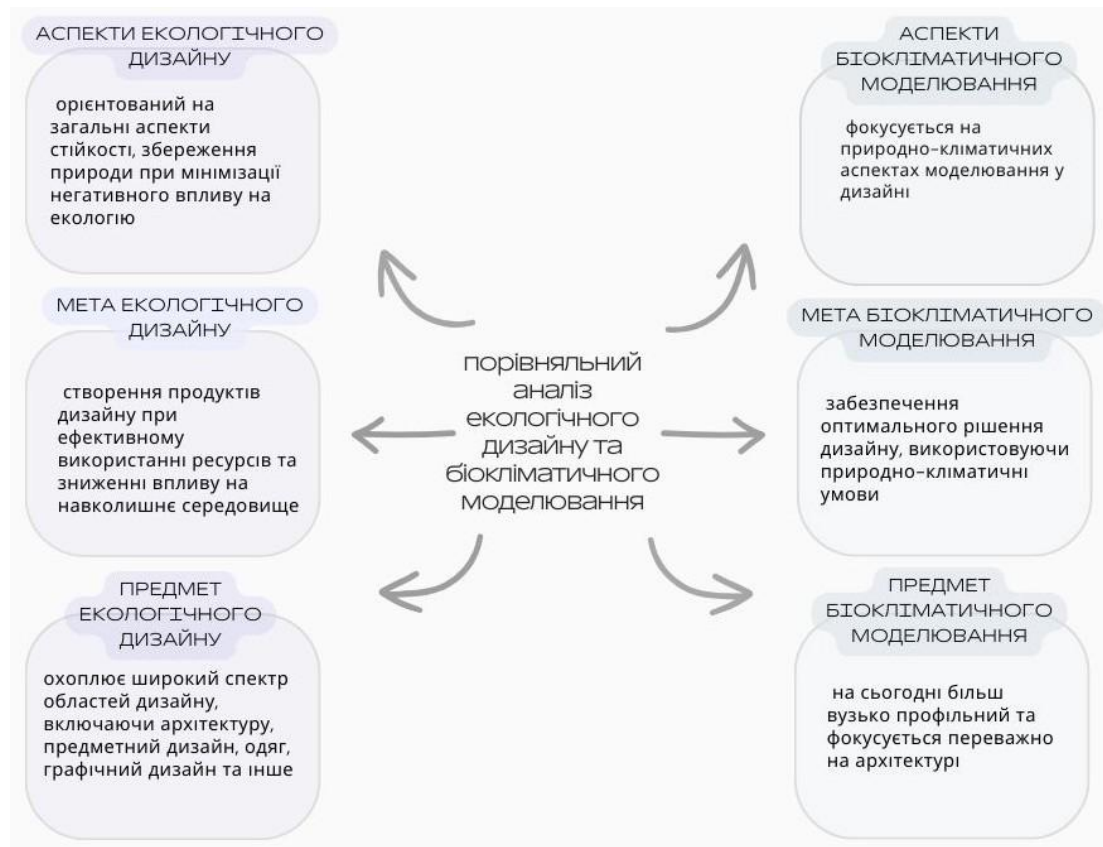
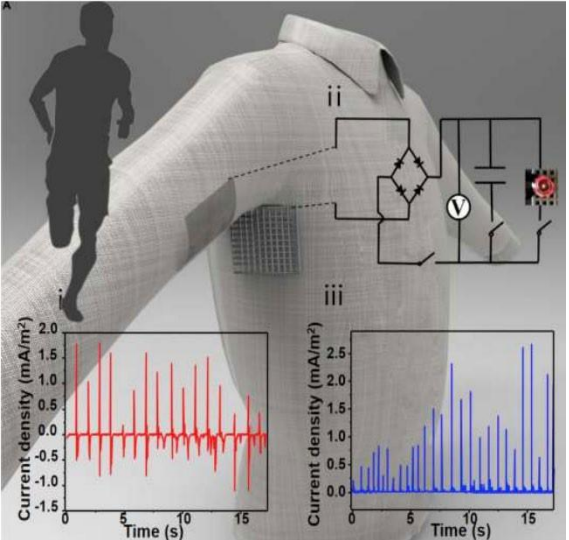
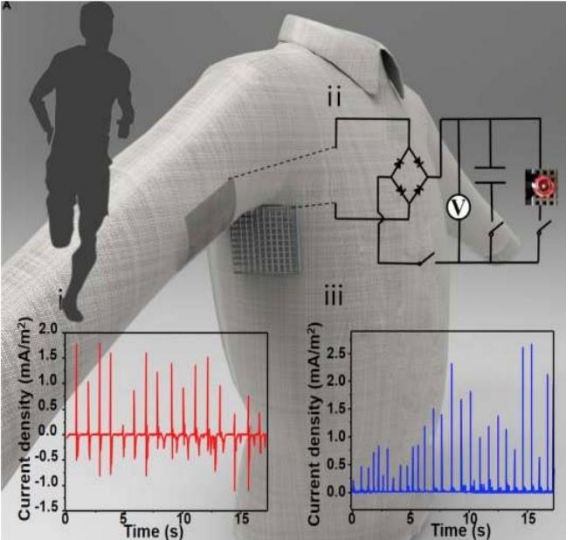


Рис.2.2.8. Порівняльний аналіз екологічного дизайну та біокліматичного моделювання у дизайні (розроблено автором)

Таблиця 2.2.6.

<b>Етап I: можливості застосування технології ручної праці при моделюванні об'єктів дизайну</b> <i>(розроблено автором)</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>простий рівень інструментарію:</i> застосування традиційних технологій моделювання та вироблення на основі ручної праці, технологій та досвіду попередніх поколінь;</li> <li>▪ <i>робота з інформацією:</i> багато часу на отримання та обробку нової інформації, збереження досвіду адаптації до оточуючого середовища через традиційні рішення, розвиток творчості через індивідуальне сприйняття інформації</li> </ul>

<b>Етап II : можливості застосування технологій 2D проєктування при моделюванні об'єктів дизайну (розроблено автором)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>можливості інструментарію:</i> CAD – системи автоматизованого проєктування для розробки зображень, креслень; поява цифрових технологій виводу зображень на екран та друку креслень при обмеженому функціоналі інструментарію;</li> <li>▪ <i>ефективна робота з інформацією:</i> професійне програмне забезпечення для роботи з даними; спрощення зберігання та передачі даних, впровадження систем роботи з зображеннями через введення даних</li> </ul>	
	
<p>Рис 2.2.9. Музей сучасного мистецтва Гуггенхайма в Більбао (1997) архітектора Ф. Гері, коли за допомогою CAD програм, було розраховано криволінійні обриси будівлі</p>	

<b>Етап III : можливості застосування технологій САЕ, САЕ, САЕ, САЕ тощо (розроблено автором)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>можливості інструментарію:</i> САЕ – інженерний розрахунок; САЕ – створення зображень, креслень; САЕ, САЕ – об'ємне моделювання; 3D друк – відтворення;</li> <li>▪ <i>робота з інформацією:</i> візуалізація даних (VR, DR, MR); інтеграція даних в сучасні технології виготовлення об'єктів дизайну; можливість інтеграції даних та їх взаємодія з іншими системами, у тому числі, що моделюють кліматичні параметри тощо</li> </ul>	
 <p style="text-align: center;"><i>a</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>б</i></p>
<p>Рис 2.2.10 Приклади впровадження технології у рішення дизайну [109] а – схематичне зображення терморегулюючого текстилю, виготовленого за допомогою 3D-друку [109]; б – "розумний одяг" для управління енергоспоживанням</p>	

Таблиця 2.2.8.

**Етап IV : можливості впровадження інтелектуальних систем при моделюванні об'єктів дизайну (розроблено автором)**

- *можливості інструментарію:* синтез та розвиток попередніх технологій з моделювання дизайну від формування рішень до виробництва; асистування комп'ютерних систем людині на всіх етапах дизайну; автономність систем ШІ дизайну
- *ефективна робота з інформацією:* розвиток асистивних технологій роботи з інформацією, інформаційні системи стають співавторами дизайнерів від генерації ідей, технологій до варіантів подачі зображень; швидкість здійснення аналітичних операцій, що потребують використання значного масиву досвіду для моделювання дизайну; доступ до необмеженого масиву даних



Рис. 2.2.11. Серія «Тектоніка матеріалів», дизайнер Деніел Балоян. Рішення дизайну розроблені за допомогою Midjourney Ai - штучного інтелекту, що перетворює текст на зображення за допомогою наборів даних з мільярдів існуючих зображень, взятих з Інтернету. [246]

Таблиця 2.2.9.

Оцінка придатності задач ЕС для рішень біокліматичного моделювання в екодизайні

№	Класи задач	Характеристика класу задач	Співпадіння із задачами біокліматичного моделювання в екодизайні
1.	Задачі прогнозу і класифікації	Передбачають велику кількість (>10) можливих рішень	Так
2.	Багатопараметричні задачі	Складність визначення аналітичних залежностей	Так
3.	Задачі, що вимагають експертної фахової підготовки	Практичні задачі, що не можуть бути вирішені класичними методами	Так
4.	Задачі обробки неточної інформації	Вирішення задачі опирається на використання операцій з символами - задача не пов'язана з математичними розрахунками, не має чіткого алгоритмічного виразу, а передбачає логічний аналіз і перебір варіантів	Частково, «так»

Таблиця 2.2.10.

Приклад експертної системи Web Flex, що визначає продуктивність рослин на основі врахування природно-кліматичних чинників

№ п/п	Параметр кліматичної характеристики	Якісна характеристика
1	Географічна прив'язка до певної географічної зони	Географічна область, північий, південний, східний, західний регіон області
2	Місцеві природні умови місцевості	Висотність місцевості, узбережжя (південне, північне), долина річки
3	Тип ґрунту, підтип ґрунту	Якісна характеристика, назва, рівень вологості
4	Спосіб висадки	За густиною: густа, помірна
5	Вид рослини	Дерева, кущі, трави (назви)
<b>Результат</b>	<b>Рівень урожайності вирощування рослин у природних умовах географічної зони</b>	<b>Шкала урожайності</b>

**ДОДАТОК 3.**  
**АЛЬБОМ ІЛЮСТРАЦІЙ ДО РОЗДІЛУ 3**

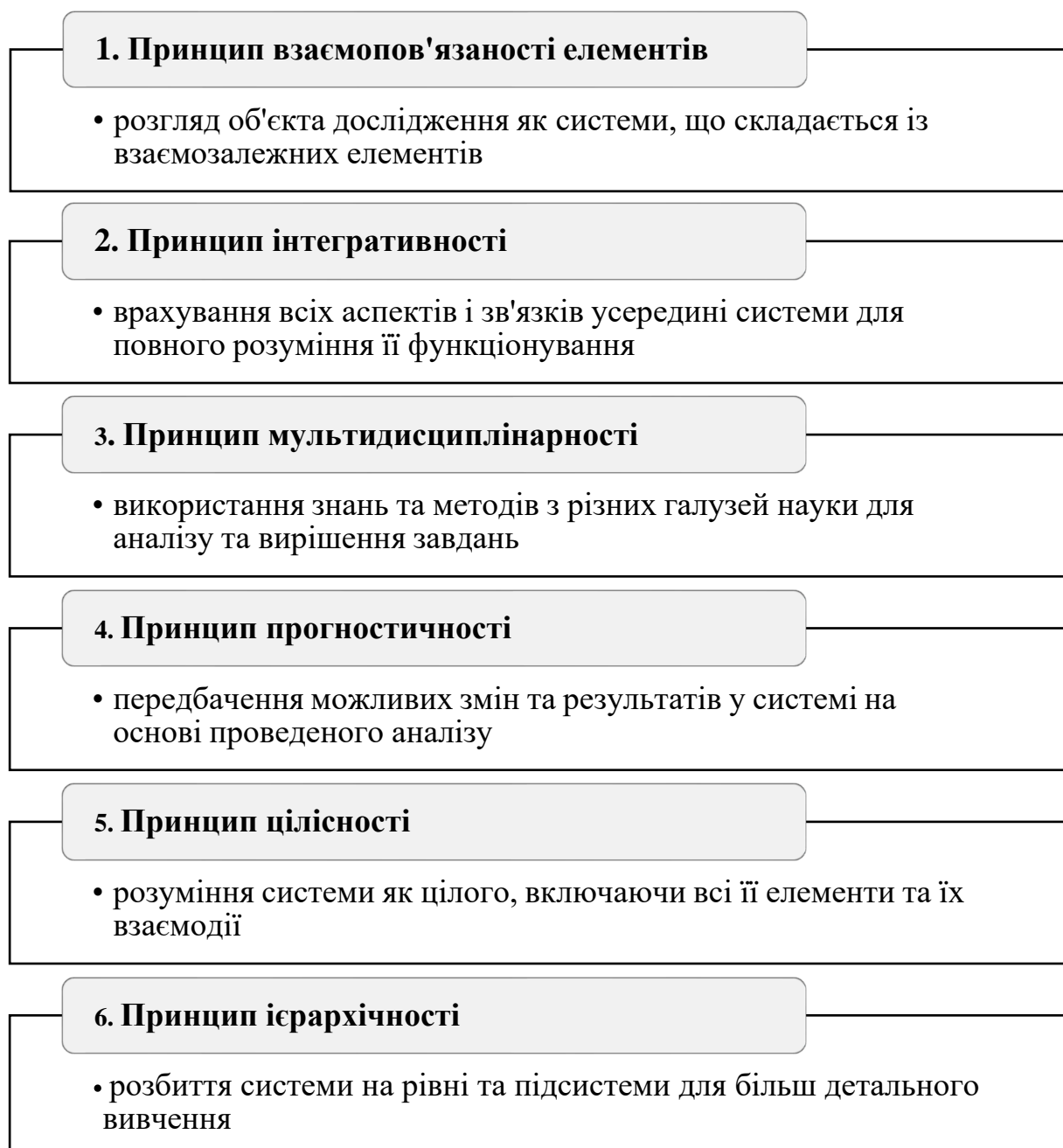


Рис.3.1.1. Схема основних принципів системного аналізу для формування рішень біокліматичного моделювання  
( розроблено автором)

Таблиця 3.2.1

Класифікація видів дизайну за об'єктною направленістю

Вид дизайну	Об'єкти проектування	Основні функції
<i>Середовищний</i>	Інтер'єри, екстер'єри будівель та споруд, ландшафт	Забезпечення комфорту та життєдіяльності людини

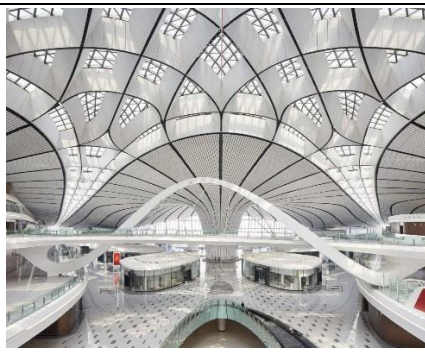
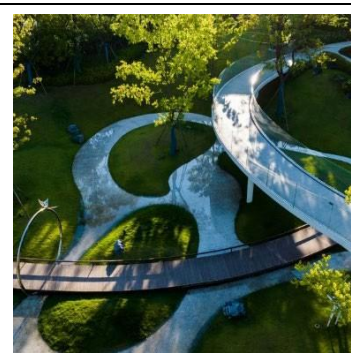
*a**б**в*

Рис.3.2.1 Приклади середовищного дизайну: *a, б* – екстер'єр та інтер'єр будівлі аеропорту Дасін у м. Пекін – Китай, дизайн Zaha Hadid Architects; *в* - POL Y City Gather, м.Чанша, Китай, рішення дизайну від Dean Design

*Промисловий*

Машини та прилади, інструменти, одяг, меблі, посуд, речі повсякденного вжитку та інше

Побутові та виробничі потреби

*a**б**в*

Рис.3.2.2. Приклади промислового дизайну: *a* – автомобіль Tesla, дизайн Франц фон Гольцгаузен; *б* - надувне крісло, дизайн П. Ломацці, Д. Д' Урбіно, Дж. Де Па; *в* – коштовна обр'єчка, дизайн українського бренду «Оберіг»

*Графічний*

Візуальні комунікації, реклама, упаковка, поліграфічна продукція, комп'ютерна графіка (гейм-дизайн, веб-дизайн)

Інформація та комунікація



Рис.3.2.3 Приклади графічного дизайну:

Chinese New Year of the Dragon placard set. Asian 2024 festival greeting card art design. China

<b>Природно-об'єктний дизайн при формуванні ландшафтного середовища - традиційного пейзажного саду у «китайському» стилі</b> <i>(розроблено автором)</i>	
<b>Аналіз рівня взаємодії зі штучним та природним середовищем у:</b>	
<b>матеріально-предметному прояві дизайну</b>	<b>функціонально-процесуальному прояві дизайну</b>
<p><b>штучний:</b> відсутній</p> <p><b>природний:</b> сад у «китайському» стилі відзначається наявністю таких архітектурних елементів, як містки, сходи, альтанки, які часто фарбуються у яскраві кольори, такі як червоний, жовтий або зелений. Щоб зберегти природну гармонію саду всі споруди виготовляються лише з природних матеріалів, таких як дерево та камінь, бамбук.</p>	<p><b>штучний:</b> відсутній</p> <p><b>природний:</b> з метою знайти взаємодію людини з вищими енергіями та силами природи, у Китаї розробили концепцію Фен-шуй. Тому для саду в китайському стилі надзвичайно важливо дотримуватися природності та повної гармонії з природою. Рослини, крім естетичного значення, несуть також символічний та філософський зміст: слива і персик символізують щастя, сосна – великодушність, а бамбук – чистоту думок.</p>
	
<p>Рис. 3.2.4. Приклад пейзажного саду у «китайському» стилі з природним ландшафтом із ширмами з рослин та будівель, що призначений для роздумів,</p>	

Таблиця 3.2.3

Штучно-об'єктний дизайн при розробці віртуального середовища в ігровому дизайні (розроблено автором)	
Аналіз рівня взаємодії зі штучним та природним середовищем у:	
матеріально-предметному прояві дизайну	функціонально-процесуальному прояві дизайну
<p><b>штучний:</b> застосування штучних технологій направлених на розробку складних деталей, текстур та освітлення; сенсорна стимуляція, технології для підвищення доступності віртуальної реальності для навігації та взаємодії зі штучним віртуальним світом;</p> <p><b>природний:</b> опосередковано через досвід розробника дизайну</p>	<p><b>штучний:</b> ігровий дизайн, по суті, є сумішшю мистецтва і технологій, де дизайнери перетворюють свої творчі ідеї у мистецтво дизайну ігрового середовища, що служить фоном для пригод гравців, створюючи відчуття місця, атмосфери.</p> <p><b>природний:</b> опосередковано через досвід розробника дизайну</p>



Рис.3.2.5. Штучно-об'єктний дизайн при створенні віртуального середовища для формування естетики, атмосфери та сюжету комп'ютерної гри

Дифузно-об'єктний дизайн при формуванні середовища інтер'єру на прикладі павільйону Бразилії на Ехро 2020 (розроблено автором)	
Аналіз рівня взаємодії зі штучним та природним середовищем у:	
матеріально-предметному прояві дизайну	функціонально-процесуальному прояві дизайну
<p><b>штучний:</b> -конструктивні елементи будівлі для захисту від впливу зовнішнього природного середовища; - елементи для відпочинку (гойдалки на воді);</p> <p><b>природний:</b> -температура та вологість повітря, вода на поверхні підлозі для охолодження та забезпечення комфорту відвідувачів</p>	<p><b>штучний:</b> тканеві огорожуючі поверхні павільйону на які виводиться відео, створюючи захоплюючу атмосферу змінних зображень, звуків для візуалізації природи та культури Бразилії</p> <p><b>природний:</b> вода як центральна тема уваги та роздумів. У павільйоні представлені води Бразилії – її річки та мангрові зарості, місце зародження родючості життя, природна спадщина, що лежить в основі всіх дискусій про стійкий розвиток на планеті.</p>
 <p style="text-align: center;">а</p>	 <p style="text-align: center;">б</p>
 <p style="text-align: center;">в</p>	 <p style="text-align: center;">г</p>
<p>Рис.3.2.6. Павільйон Бразилії на Ехро Dubai 2020 / MMBV Arquitetos + Ben-Avid + JPG.ARQ [247]: а – загальний вигляд павільйону; б – візуалізація на стінах павільйону природи Бразилії; в, г – поєднання води та штучних елементів дизайну для відпочинку</p>	

Таблиця 3.4.1.  
Перелік індикаторів (I<sub>3</sub>) до критерію (K<sub>3</sub>) "Адаптація до клімату"  
(розроблено автором)

Назва	Складова
<p><b>Індикатори, пов'язані з макрокліматом (I<sup>1</sup>)</b></p>	<p><i>Частота екстремальних погодних явищ:</i> аналіз довготривалих даних та вимірювань щодо сильних дощів, посухи, штормів тощо.</p> <p><i>Зміна кліматичних зон:</i> оцінка потенційного зміщення кліматичних зон внаслідок глобальних змін клімату.</p> <p><i>Врахування масштабних антропогенних впливів на зміну клімату:</i> оцінка впливу антропогенних факторів (щільність та склад населення; рівень урбанізації; соціально-політична ситуація в регіоні, що визначають експлуатаційні межі людської діяльності).</p>
<p><b>Індикатори пов'язані з мезокліматом (I<sup>2</sup>)</b></p>	<p><i>Тепловий острів:</i> Оцінка підвищення температури в міських районах порівняно з навколишньою сільською місцевістю.</p> <p><i>Вплив урбанізації:</i> Аналіз впливу забудови на вітровий режим, вологість, якість і склад повітря та інші метеорологічні параметри.</p> <p><i>Вплив зелених зон:</i> Оцінка впливу парків, скверів та інших зелених насаджень на мікроклімат.</p>
<p><b>Індикатори пов'язані з мікрокліматом (I<sup>3</sup>)</b></p>	<p><i>Сонячна радіація:</i> Кількість сонячної енергії, що досягає поверхні об'єкта дизайну, враховуючи кут падіння сонячних променів, затінення та інші фактори.</p> <p><i>Вітровий режим:</i> Швидкість і напрям вітру на рівні об'єкта дизайну, його вплив на вентиляцію та тепловий комфорт, здатність протистояти силі вітру</p> <p><i>Вологість повітря:</i> Відносна вологість повітря, її вплив на тепловий комфорт та процеси конденсації, впливає на відчуття комфорту та сприяє розвитку мікроорганізмів.</p> <p><i>Температура повітря:</i> Оптимальний діапазон температур для різних сезонів та видів діяльності.</p> <p><i>Якість повітря:</i> Вміст шкідливих речовин та рівень забруднення.</p> <p><i>Освітленість:</i> Співвідношення природного та штучного освітлення, оцінювання рівня освітленості, інсоляції.</p>
<p><b>Індикатори що характеризують динамічні процеси (I<sup>4</sup>)</b></p>	<p><i>Сезонні коливання:</i> Аналіз сезонних змін кліматичних параметрів та їх вплив на функціонування об'єкта дизайну.</p> <p><i>Добові коливання:</i> Аналіз добових змін кліматичних параметрів та їх вплив на тепловий комфорт і енергоспоживання.</p> <p><i>Адаптаційна здатність:</i> Здатність об'єкта дизайну змінювати свої характеристики в залежності від змін кліматичних умов.</p>

Таблиця 3.4.2  
Перелік індикаторів ( $I_2$ ) до критерію ( $K_2$ ) "Екологічна стійкість"  
(розроблено автором)

<b>Назва</b>	<b>Складова</b>
<b>Використання матеріалів (<math>I_2^1</math>)</b>	<p><i>Вміст перероблених матеріалів:</i> який відсоток матеріалів, використаних у будівництві є переробленим?</p> <p><i>Місцеве походження матеріалів:</i> яка частка матеріалів була видобута або вироблена в регіоні?</p> <p><i>Ресурсна ефективність:</i> яке співвідношення між використаними матеріалами та їх функціональністю?</p>
<b>Вплив на біорізноманіття (<math>I_2^2</math>)</b>	<p><i>Збереження зелених насаджень:</i> яка частка зелених насаджень збережена?</p> <p><i>Використання місцевих видів флор і фауни при формуванні рішень:</i> яка частка використаних при моделюванні представників біоформ, є місцевими видами?</p> <p><i>Створення умов для біорізноманіття:</i> чи передбачені рішення, що сприяють збільшенню біорізноманіття?</p>
<b>Управління відходами (<math>I_2^3</math>)</b>	<p><i>Використання перероблених матеріалів:</i> яка частка матеріалів об'єкту дизайну використовувалась повторно при його виготовленні?</p> <p><i>Зменшення відходів:</i> які заходи вживаються для зменшення об'єму відходів?</p> <p><i>Коефіцієнт утилізації:</i> яка частка матеріалів об'єкту дизайну підлягає переробці або повторному використанню після закінчення життєвого циклу?</p>
<b>Викиди забруднюючих речовин (<math>I_2^4</math>)</b>	<p><i>Обсяги викидів CO<sub>2</sub>:</i> який екологічний слід при виробництві, транспортуванні та утилізації?</p> <p><i>Якість стічних вод:</i> який рівень забруднення стічних вод?</p> <p><i>Системи очищення:</i> чи застосовуються рішення для зменшення забруднення оточуючого середовища?</p>

Таблиця 3.4.3  
Перелік індикаторів ( $I_3$ ) до критерію ( $K_3$ ) "Енергоефективність"  
(розроблено автором)

Назва	Складова
<b>Загальні індикатори (<math>I_3^{заг}</math>)</b>	<p><i>Втілення відновлювальних джерел енергії:</i> кількість енергії, отримана з відновлюваних джерел (сонячна, вітрова, геотермальна тощо)</p> <p><i>Енергетичний відбиток протягом життєвого циклу:</i> загальна кількість енергії, спожитої на всіх етапах життєвого циклу продукту (виробництво, транспортування, використання, утилізація)</p>
<b><math>I_3</math> Індикатори для конкретних типів об'єктів дизайну:</b>	
<b>Меблі (<math>I_3^m</math>)</b>	<p>Енергоспоживання освітлення (для меблів з вбудованим освітленням).</p> <p>Енергоефективність матеріалів (наприклад, використання природних матеріалів з низьким енергетичним відбитком).</p> <p>Ефективність теплообміну (для меблів, що контактують з тілом людини).</p>
<b>Транспорт (<math>I_3^m</math>)</b>	<p>Питоме споживання палива або енергії.</p> <p>Ефективність аеродинаміки.</p> <p>Оптимізація вибору матеріалів для зниження енергоспоживання.</p> <p>Ефективність рекуперації енергії.</p>
<b>Одяг (<math>I_3^{од}</math>)</b>	<p>Теплоізоляційні властивості.</p> <p>Гігроскопічність.</p> <p>Енергоспоживання при виробництві.</p> <p>Вплив на мікроклімат тіла.</p>
<b>Графічний дизайн (<math>I_3^{2p}</math>)</b>	<p>Вибір паперу та друкарських фарб з низьким енергетичним відбитком.</p> <p>Оптимізація кількості друкованої продукції.</p> <p>Використання електронних форматів замість друкованих.</p>
<b>Дизайн архітектурних об'єктів (<math>I_3^{арх}</math>)</b>	<p><i>Річне споживання первинної енергії:</i> яка загальна кількість енергії, необхідна для забезпечення всіх енергетичних потреб об'єкта протягом року, включаючи опалення, вентиляцію, кондиціонування, освітлення та інші системи.</p> <p><i>Питоме енергоспоживання:</i> яка кількість енергії, споживаної на одиницю площі або об'єму об'єкта. Це дозволяє порівнювати енергоефективність різних об'єктів незалежно від їх розміру.</p> <p><i>Енергетичний баланс:</i> яка різниця між енергією, споживаною об'єктом, та енергією, виробленою від відновлювальних джерел енергії.</p>

Таблиця 3.4.4  
Перелік індикаторів (I<sub>4</sub>) до критерію (K<sub>4</sub>) "Естетика та функціональність"  
(розроблено автором)

Назва	Складова
<b>Об'ємно-просторовий (I<sup>1</sup>)</b>	<p><i>Формування об'єму, розміру, розташування об'єкта у просторі - оптимальні значення кількісних та якісних параметрів для забезпечення: функціональності (відповідність простору призначенню, зручність використання, гнучкість планування); естетичного сприйняття (гармонійність форм, пропорцій); ефективної взаємодії об'єкта дизайну в оточуючому середовищі (відчуття простору, масштабу, орієнтації, зв'язку з середовищем)</i></p>
<b>Художньо-образний (I<sup>2</sup>)</b>	<p><i>Формування стилю, образу, який несе об'єкт - в контексті біокліматичного моделювання, індикатор "художньо-образний" виходить за межі простої естетичної оцінки та передбачає глибокий аналіз того, як форма, матеріал та розташування об'єкта в просторі взаємодіють з кліматичними чинниками та природним середовищем і впливають на сприйняття людини. Пошук концепцій має наступні напрями: створення біокліматичного стилю із застосуванням органічних форм; відтворення природних аналогів; використання елементів традиційної національної культури, естетичне переосмислення та впровадження сучасних технологій.</i></p>
<b>Композиційний (I<sup>3</sup>)</b>	<p><i>Визначення композиційного індикатора включає: масштаб (відповідність та гармонія об'єкта масштабу навколишнього середовища, сприйняття як органічної частини середовища); стильова єдність (цілісність композиції, використання єдиної стильової концепції, що відповідає функціональному призначенню); метро-ритмічні закономірності (наявність чіткої ритмічної організації елементів; повторюваність мотивів; динаміка композиції); композиційні акценти (наявність домінантних елементів; збалансованість композиції; ефективність акцентів з точки зору досягнення функціональних цілей); силует (виразність, відповідність силуету функціональному призначенню, гармонія силуету з навколишнім середовищем). Міра вираження індикатору повинна не лише відповідати естетичним вимогам, але й забезпечувати оптимальне використання природних ресурсів та мінімізувати вплив на довкілля.</i></p>

<p><b>Структурний (I<sub>4</sub><sup>4</sup>)</b></p>	<p><i>Індикатор дозволяє оцінити відповідність біокліматичному моделюванню об'єкта дизайну через аналіз: матеріалів (екологічність матеріалів; міцність і довговічність; естетичні якості; здатність до саморегуляції); текстури (тактильні відчуття; здатність до акумуляції тепла або холоду; здатність взаємодіяти зі світлом (відбивати чи поглинати світло)); членування елементів (логічність конструкції; ефективність використання простору; адаптивність до змін зовнішніх умов); засоби трансформації (трансформація об'єму, трансформація елементів для забезпечення процесів адаптації умов середовища).</i></p>
<p><b>Геометричний (I<sub>4</sub><sup>5</sup>)</b></p>	<p><i>Індикатор дозволяє оцінити геометричні параметри об'єкта (у горизонтальній площині; геометрію граничного та видимого контуру; геометричні параметри утворення поверхонь) в контексті біокліматичного моделювання. Оцінка концепцій через якісні параметри (естетична привабливість форми – наприклад, плавність ліній, симетрія/асиметрія; вплив видимого контуру на сприйняття об'єкта з різних точок зору; відповідність між формою об'єкта та його функціональним призначенням, світлотіньове формоутворення тощо) та кількісні параметри (аеродинамічні, акустичні, теплотехнічні характеристики, здатність поглинати або відбивати сонячне світло тощо).</i></p>
<p><b>Кольорово-світловий (I<sub>4</sub><sup>6</sup>)</b></p>	<p><i>Індикатор в контексті біокліматичного моделювання спрямований на формуванні гармонії світлотіньового розподілу та колористичних рішень об'єктів дизайну з метою функціональній доцільності, оптимізації пристосування до навколишнього середовища, умов життєдіяльності через аналіз:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>психо-емоційного сприйняття, відеоекологія (вплив світлотіньового розподілу та кольору об'єкта дизайну на загальний настрій і емоційний стан користувачів простору);</i></li> <li><i>візуального сприйняття форми (світлотінь та кольори підкреслюють або приховують форму об'єкта);</i></li> <li><i>інформативно-комунікативного сприйняття (значення кольорів у контексті культурних та соціальних аспектів);</i></li> <li><i>врегулювання фізичних процесів (відбивна здатність поверхонь – відсоток світлового потоку, який відбивається від поверхні, визначає яскравість кольору та рівень освітленості приміщення; температура кольору– характеризує колір світла і вимірюється в Кельвінах, впливає на сприйняття простору та настроїв; індекс передачі кольору– показує, наскільки точно об'єкт передає свій колір при даному освітленні; рівень освітленості – вимірюється в люксах і впливає на зоровий комфорт, продуктивність та настроїв; спектральний склад світла – розподіл енергії світлового потоку за різними довжинами хвиль, впливає на сприйняття кольору та біологічні процеси в організмі людини тощо).</i></li> </ul>

Таблиця 3.4.5  
Перелік індикаторів ( $I_5$ ) до критерію ( $K_5$ ) "Інноваційність"  
(розроблено автором)

Назва	Складова
<p><b>Рівень інноваційності дизайну-концепції (<math>I_5^1</math>)</b></p>	<p><i>Оригінальність дизайну:</i> наскільки дизайн при врахуванні природно-кліматичних впливів є унікальним та відмінним?</p> <p><i>Креативність рішень:</i> наскільки рішення, запропоновані в концепції, є нестандартними та оригінальними щодо впровадження біокліматичного моделювання.</p> <p><i>Потенціал для подальшого розвитку:</i> можливість масштабування, модифікації та вдосконалення концепції.</p>
<p><b>Рівень технологічної новизни (<math>I_5^2</math>)</b></p>	<p><i>Кількісні показники:</i></p> <p>Кількість патентів, отриманих на розробки, що використовують біокліматичне моделювання.</p> <p>Частка компонентів або матеріалів, що використовуються в дизайні, які були розроблені спеціально для цього проекту.</p> <p><i>Якісні показники:</i></p> <p>Ступінь відхилення від існуючих стандартів та практик у галузі дизайну.</p> <p>Впровадження нових матеріалів або технологій виробництва.</p> <p>Рівень автоматизації процесів проектування та виробництва.</p>
<p><b>Оптимізація процесу моделювання та виробництва (<math>I_5^3</math>)</b></p>	<p><i>Кількісні показники:</i></p> <p>Зменшення часу проектування - скорочення тривалості етапу розробки проекту завдяки використанню біокліматичного моделювання.</p> <p>Зменшення кількості ітерацій - зниження необхідності повторного виконання розрахунків та коригування проекту.</p> <p>Зниження витрат на прототипування - скорочення кількості фізичних прототипів завдяки детальному моделюванню.</p> <p>Збільшення точності розрахунків - підвищення точності прогнозування характеристик продукту.</p> <p><i>Якісні показники:</i></p> <p>Якість прийнятих рішень - обґрунтованість та ефективність рішень, прийнятих на основі результатів моделювання.</p> <p>Гнучкість процесу проектування - здатність швидко адаптувати проект до змін умов та вимог.</p> <p>Колаборація між різними спеціалістами - покращення взаємодії між інженерами, дизайнерами та іншими учасниками проекту.</p>

**ДОДАТОК 4.**  
**АЛЬБОМ ІЛЮСТРАЦІЙ ДО РОЗДІЛУ 4**

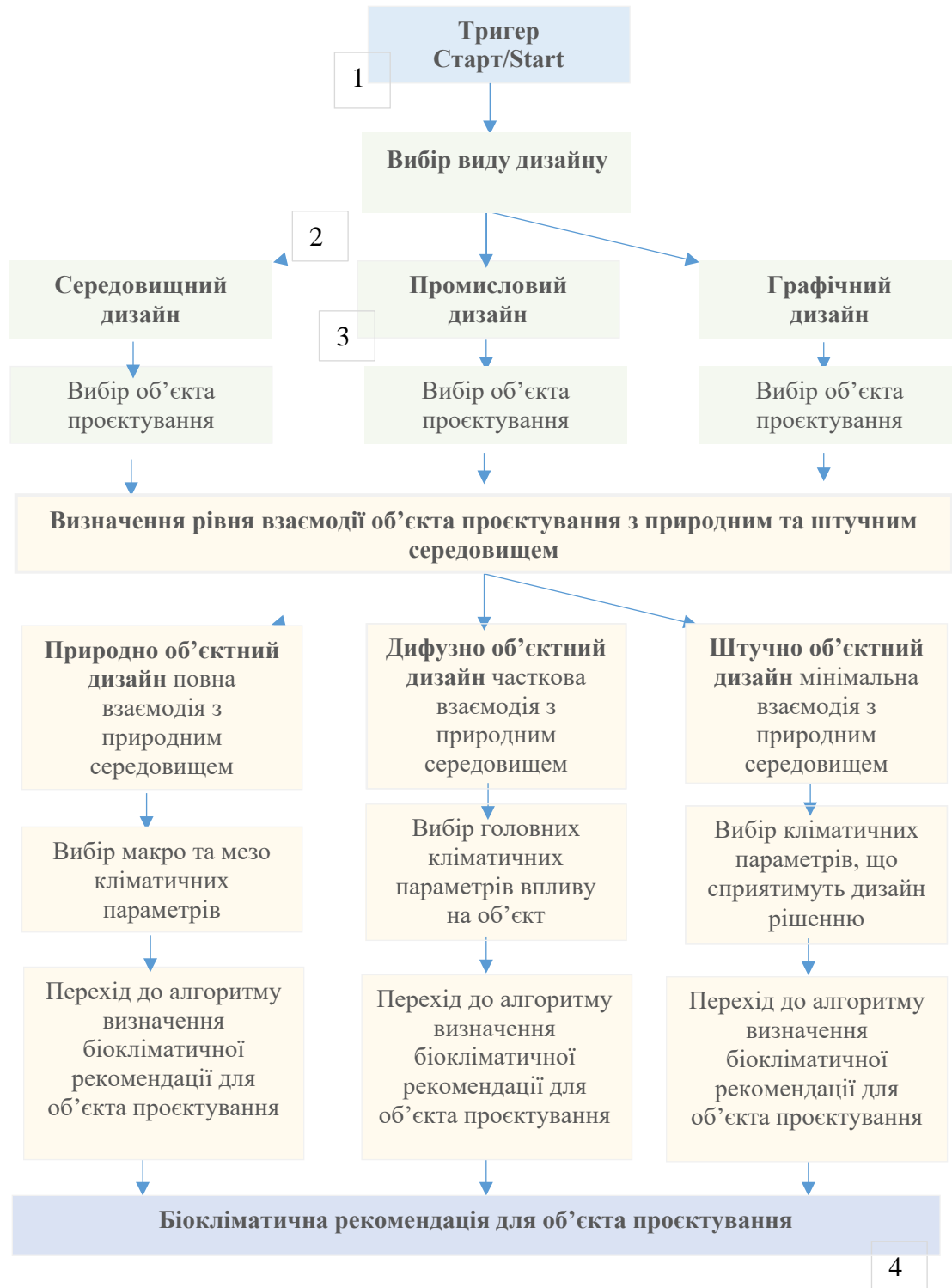


Рис. 4.1.1. Принципова схема структури дерева рішень чат боту BioclimaBot: 1– корінь (початковий вузол); 2 – гілка (потік); 3 – вторинний вузол, листя (повідомлення); 4 – кінцевий вузол (результат рішення), який немає подальших вихідних потоків



Рис. 4.1.2. Реалізація алгоритму визначення біокліматичної рекомендації для об'єкта проєктування в чат боті BioclimaBot (для природно-об'єктного дизайну)

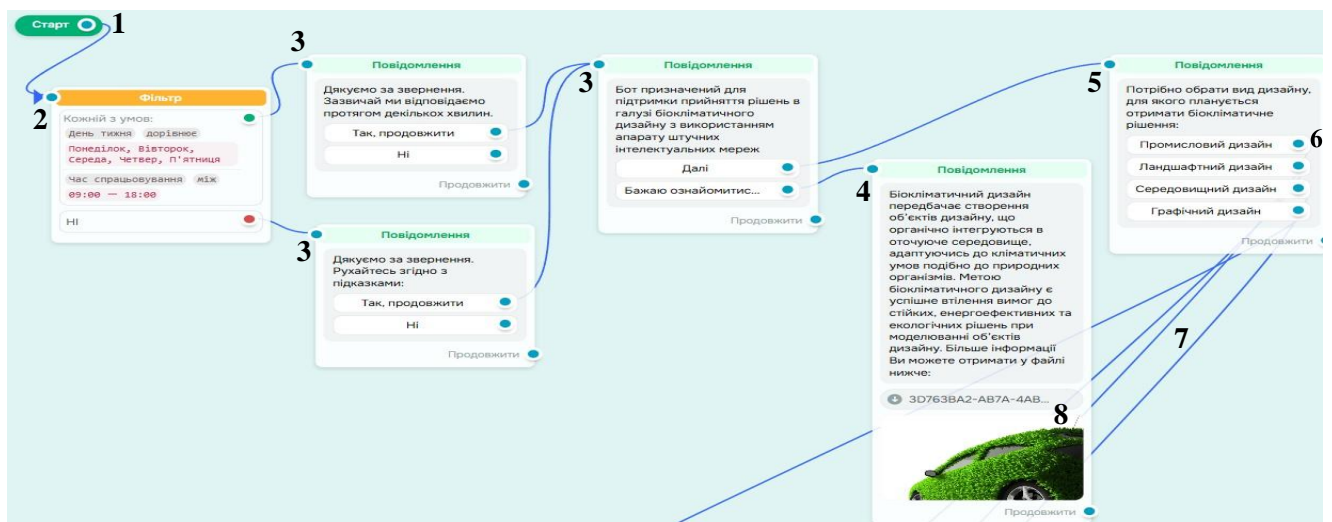


Рис. 4.1.3. Первинний екран візуального редактору BioclimaticDesign боту, що створений на платформі SendPulse. Основні елементи редактору:

1 – тригер «Старт»; 2 – фільтр первинного вибору; 3 – автовідповідачі; 4 – повідомлення, змістом якого є опис біокліматичного дизайну; 5 – повідомлення, змістом якого є вибір атрибуту; 6 – кнопка вибору атрибута; 7 (лінії синього кольору) – потік, перехід від одного до іншого повідомлення; 8 – закріплене за повідомленням зображення

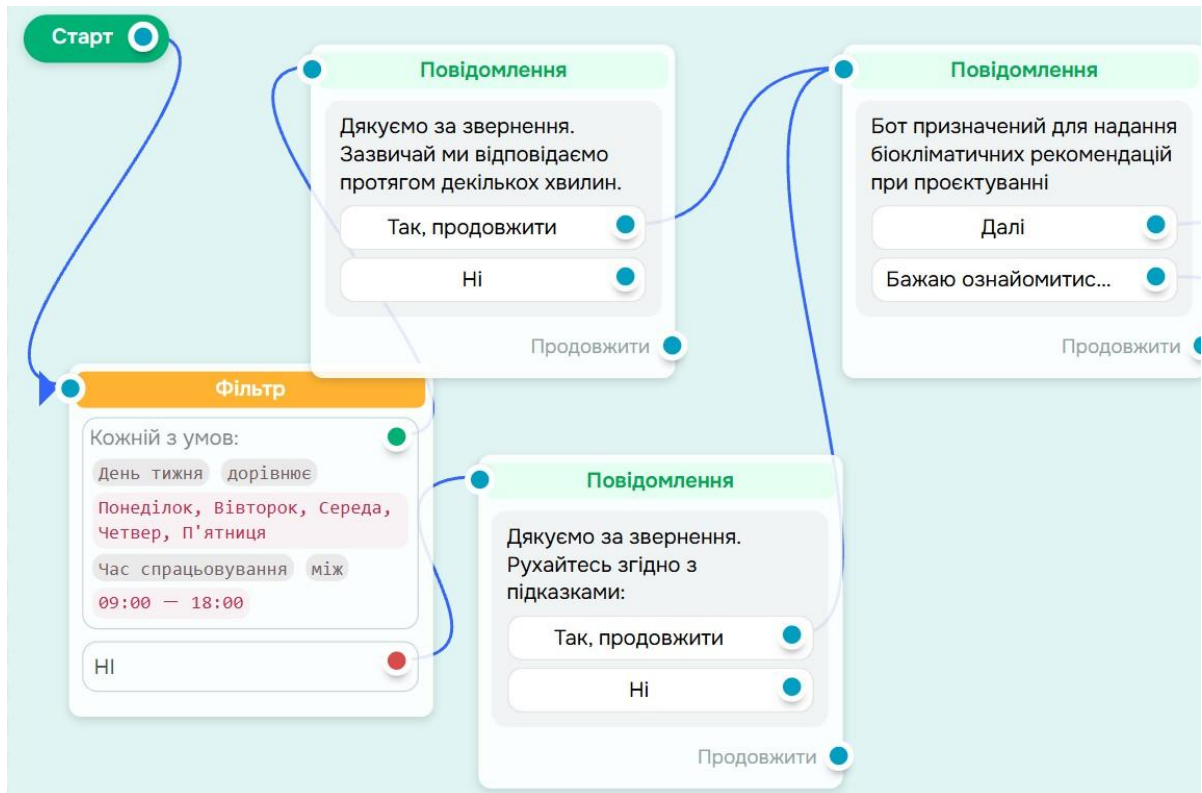


Рис. 4.1.4. Запуск сценарію за допомогою тригера налаштування в чат боті BioclimaBot на платформі SendPulse

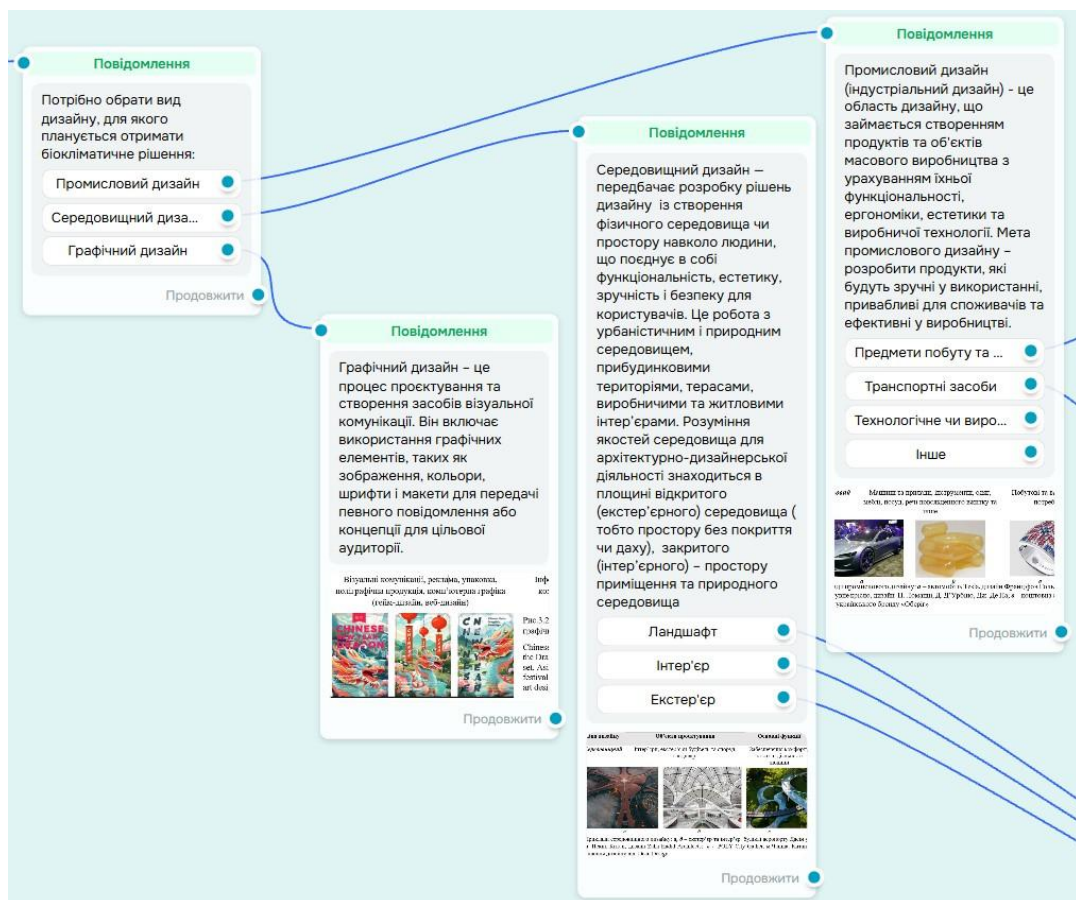


Рис. 4.1.5. Початковий кореневий вузол – вихідна інформація для обрання користувачем атрибуту – виду дизайну в чат боті BioclimaBot на платформі SendPulse



Рис. 4.1.6. Візуалізація чат боту BioclimaBot у месенджері:

а – візуалізація тригера старт/start;

б – візуалізація початкового кореневого вузла – вихідна інформація для обрання користувачем атрибуту – виду дизайну та перехід до вибору наступного атрибуту – об'єкта проектування

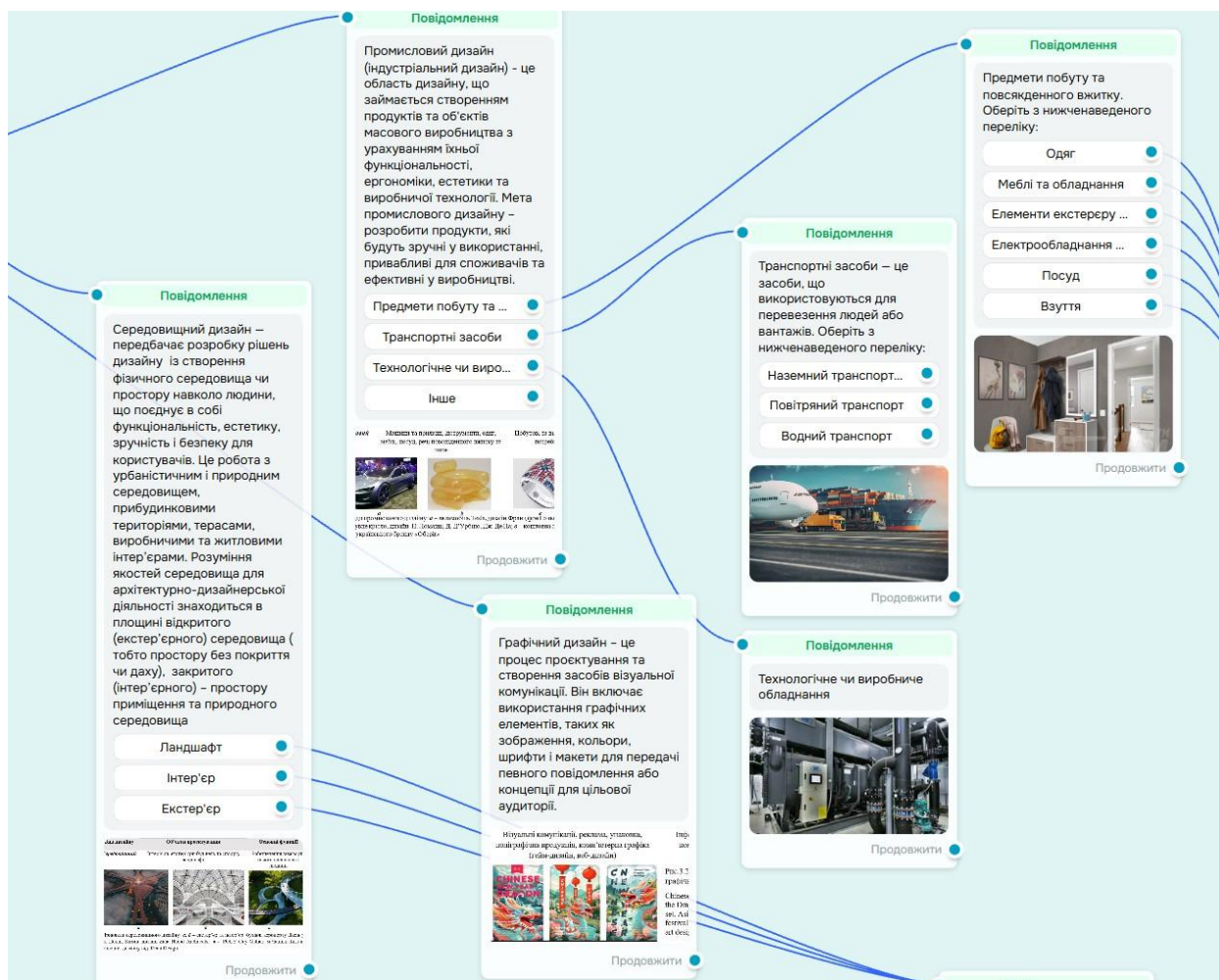
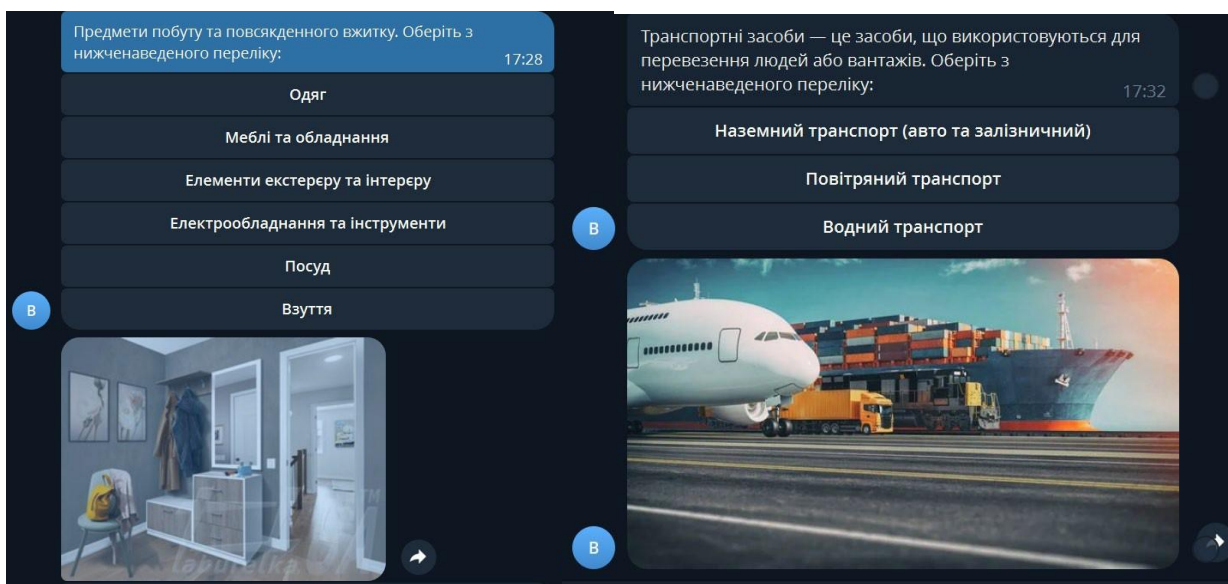


Рис. 4.1.7. Початковий кореневий вузол – вихідна інформація для обрання користувачем об'єкта проєктування в чат боті BioclimaBot на платформі SendPulse



а

б

Рис. 4.1.8. Візуалізація вибору користувачем вихідної інформації щодо об'єкта проєктування у BioclimaBot у месенджері:

а – предмети побуту та повсякденного вжитку;

б – транспортні засоби

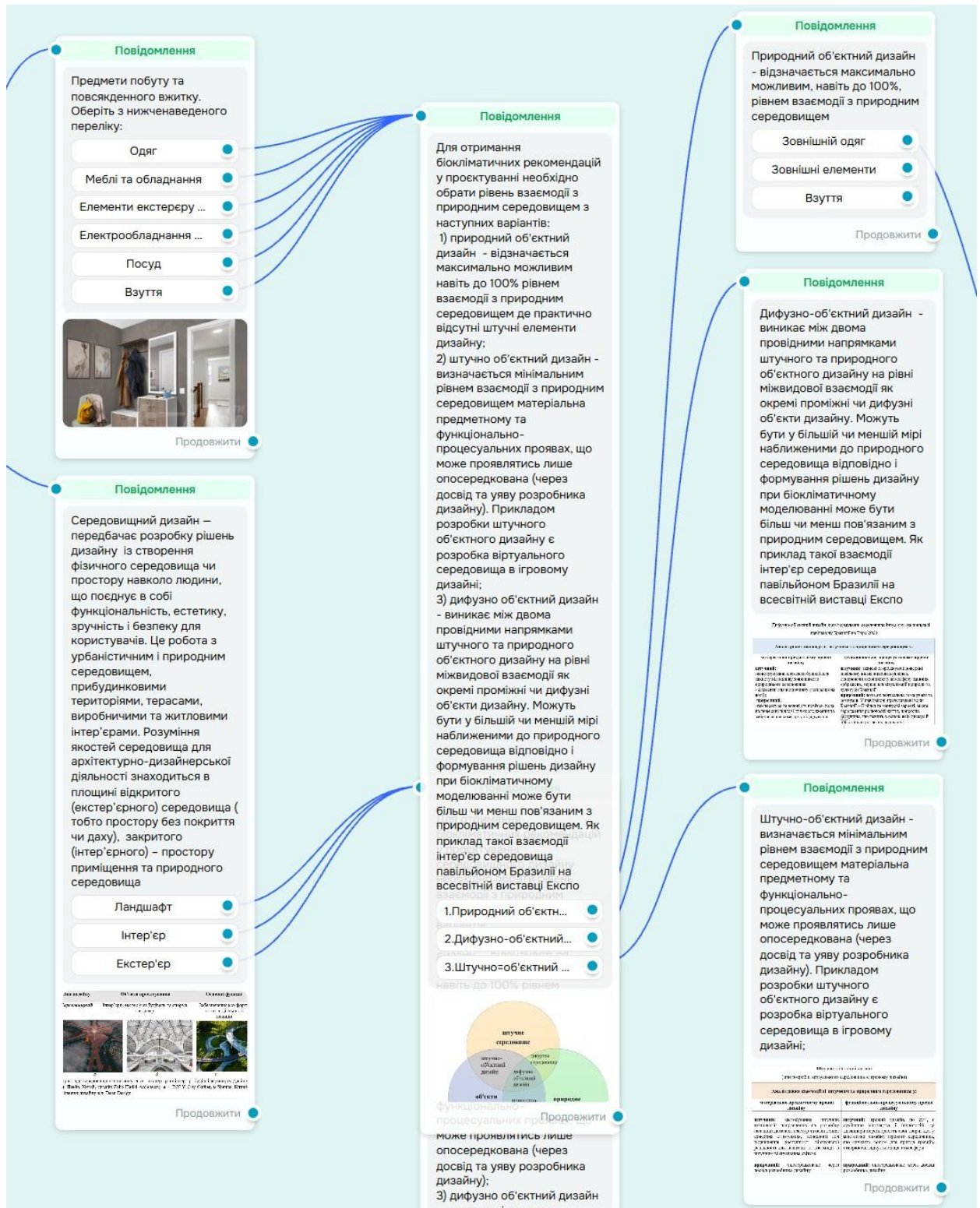


Рис. 4.1.9. Вузли з додатковими атрибутами для отримання вихідної інформації щодо взаємодії об'єкта проектування з природним та штучним середовищем в чат боті BioclimaBot на платформі SendPulse

Для отримання біокліматичних рекомендацій у проєктуванні необхідно обрати рівень взаємодії з природним середовищем з наступних варіантів:

- 1) природний об'єктний дизайн - відзначається максимально можливим навіть до 100% рівнем взаємодії з природним середовищем де практично відсутні штучні елементи дизайну;
- 2) штучно об'єктний дизайн - визначається мінімальним рівнем взаємодії з природним середовищем матеріальна предметному та функціонально-процесуальних проявах, що може проявлятися лише опосередкована (через досвід та уяву розробника дизайну). Прикладом розробки штучного об'єктного дизайну є розробка віртуального середовища в ігровому дизайні;
- 3) дифузно об'єктний дизайн - виникає між двома провідними напрямками штучного та природного об'єктного дизайну на рівні міжвидової взаємодії як окремі проміжні чи дифузні об'єкти дизайну. Можуть бути у більшій чи меншій мірі наближеними до природного середовища відповідно і формування рішень дизайну при біокліматичному моделюванні може бути більш чи менш пов'язаним з природним середовищем. Як приклад такої взаємодії інтер'єр середовища павільйон Бразилії на всесвітній виставці Експо

17:45

1. Природний об'єктний дизайн

2. Дифузно-об'єктний дизайн

3. Штучно-об'єктний дизайн

Схема рівня взаємодії з природним та штучним середовищем при формуванні різних об'єктів дизайну

17:45

Природний об'єктний дизайн - відзначається максимально можливим, навіть до 100%, рівнем взаємодії з природним середовищем

17:49

В Ландшафтний дизайн

Природно-об'єктний дизайн при формуванні ландшафтного середовища - традиційного пейзажного саду у «китайському» стилі

Аналіз рівня взаємодії зі штучним та природним середовищем у:

матеріально-предметному прояві дизайну	функціонально-процесуальному прояві дизайну
штучний; відсутній	штучний; відсутній
<b>природний:</b> сад у «китайському» стилі відзначається наявністю таких архітектурних елементів, як містки, сходи, алтанки, які часто фарбуються у яскраві кольори, такі як червоний, жовтий або зелений. Щоб зберегти природу гармонію саду всі споруди виготовляються лише з природних матеріалів, таких як дерево та камінь, бамбук.	<b>природний:</b> з метою знайти взаємодію людини з вищими енергіями та силами природи, у Китаї розробили концепцію Фен-шуй. Тому для саду в китайському стилі надзвичайно важливо дотримуватися природності та повної гармонії з природою. Рослини, крім естетичного значення, несуть також символічний та філософський зміст: слива і персик символізують щастя, сосна – величущість, а бамбук – чистоту думок.

Приклад пейзажного саду у «китайському» стилі з природним ландшафтом, призначений для роздумів, неквапливого споглядання.

17:49

Дифузно-об'єктний дизайн - виникає між двома провідними напрямками штучного та природного об'єктного дизайну на рівні міжвидової взаємодії як окремі проміжні чи дифузні об'єкти дизайну. Можуть бути у більшій чи меншій мірі наближеними до природного середовища відповідно і формування рішень дизайну при біокліматичному моделюванні може бути більш чи менш пов'язаним з природним середовищем. Як приклад такої взаємодії інтер'єр середовища павільйон Бразилії на всесвітній виставці Експо

17:45

Дифузно-об'єктний дизайн при формуванні середовища інтер'єру, на прикладі павільйону Бразилії на Експо 2020

Аналіз рівня взаємодії зі штучним та природним середовищем у:

матеріально-предметному прояві дизайну	функціонально-процесуальному прояві дизайну
<b>штучний:</b> конструктивні елементи будівлі для захисту від впливу зовнішнього природного середовища, елементи для відпочинку (сойбаки на воді).	<b>штучний:</b> закриті огорожені поверки павільйону на які вивільнює відео, створюючи захоплюючу атмосферу змінах, зображень, музика для візуалізації природи та культури Бразилії.
<b>природний:</b> температура та вологість повітря, вода на поверхні підлоги для охолодження та забезпечення комфорту відвідувачів	<b>природний:</b> вода як центральна тема уяви та роздумів. У павільйоні представлені води Бразилії - в річці та на морі в зарості, місце зародження рідкості життя, природне об'єднання, що лежить в основі всіх дискусій про стійкий розвиток на планеті.

Павільйон Бразилії на Експо Dubai 2020 - MMBB Arquitetos - Ben-Avid - JPC ARQ [https://www.archdaily.com/974327/pavilion-brazil-expo-dubai-2020-ben-avid-jpc-arq] - е - загальний вигляд павільйону; б - візуалізація на стіні павільйону природи Бразилії; в, г - послання вода та штучні елементи дизайну для відпочинку.

17:45

Штучно-об'єктний дизайн - визначається мінімальним рівнем взаємодії з природним середовищем у матеріально предметному та функціонально-процесуальних проявах

17:50

В Інтер'єр

17:50

Рис. 4.1.10. Візуалізація вибору користувачем вихідної інформації щодо взаємодії об'єкта проєктування з природним та штучним середовищем в чаті боті BioclimaBot у месенджері

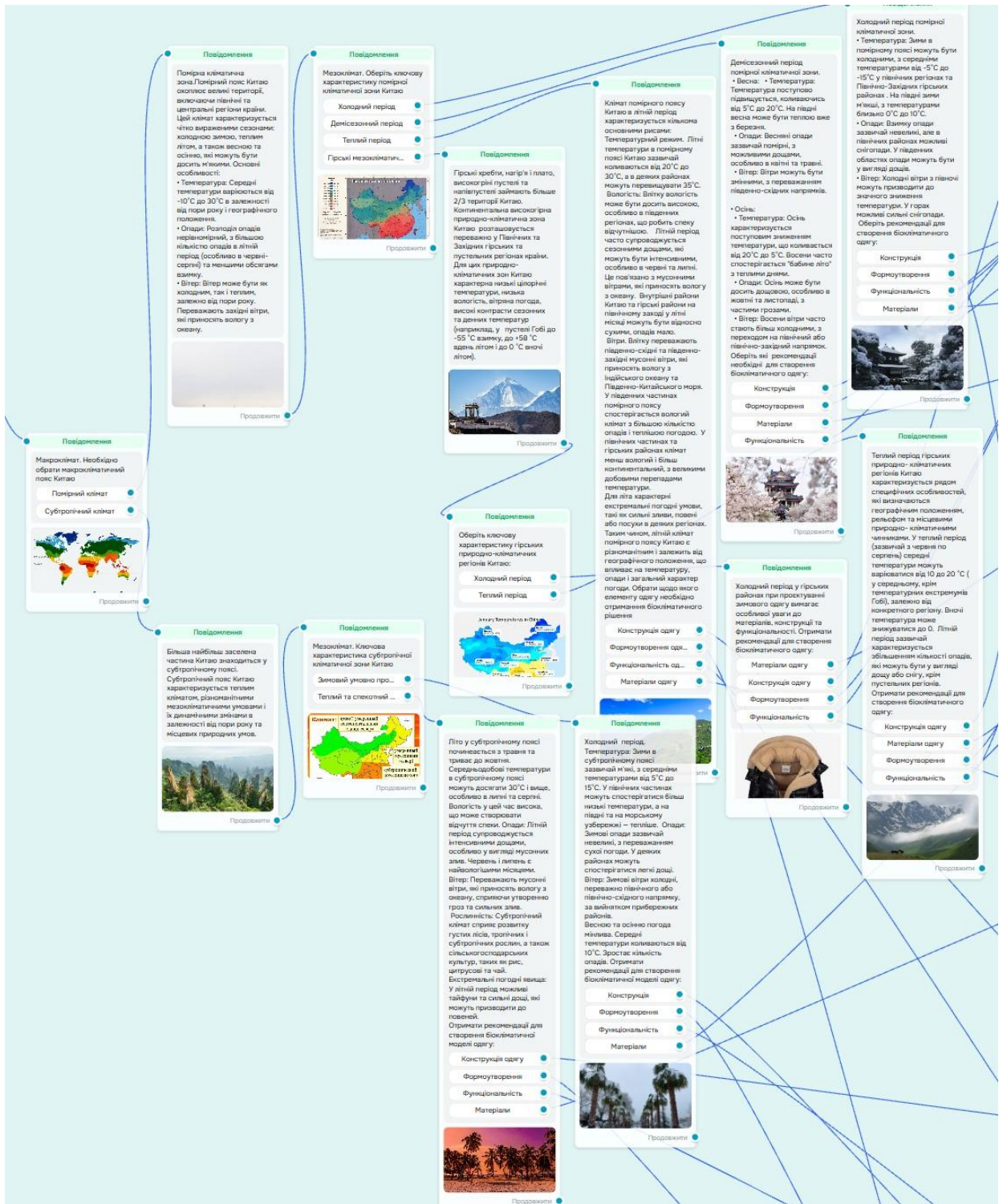
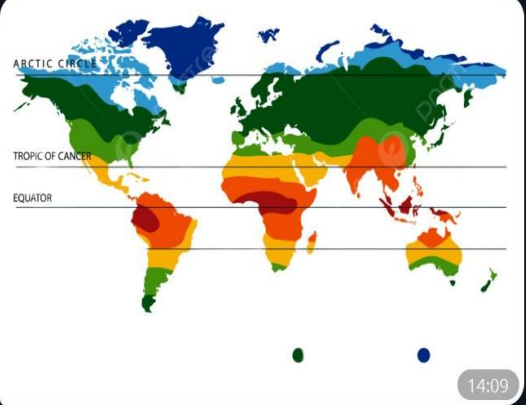


Рис. 4.1.11. Вузли з додатковими атрибутами для отримання вихідної інформації щодо визначення макро та мезо кліматичних параметрів для дизайну одягу в чат боті BioclimaBot на платформі SendPulse

Макроклімат. Необхідно обрати макрокліматичний пояс Китаю 14:09

Помірний клімат

В Субтропічний клімат




14:09

Помірна кліматична зона. Помірний пояс Китаю охоплює великі території, включаючи північні та центральні регіони країни. Цей клімат характеризується чітко вираженими сезонами: холодною зимою, теплим літом, а також весною та осінню, які можуть бути досить м'якими. Основні особливості:

- Температура: Середні температури варіюються від -10°C до 30°C в залежності від пори року і географічного положення.
- Опали: Розподіл опадів нерівномірний, з більшою кількістю опадів в літній період (особливо в червні-серпні) та меншими обсягами взимку.
- Вітер: Вітер може бути як холодним, так і теплим, залежно від пори року. Переважають західні вітри, які приносять вологу з океану.

14:09



14:09

а

Мезоклімат. Оберіть ключову характеристику помірної кліматичної зони Китаю 14:09

Холодний період

Демісезонний період

Теплий період

В Гірські мезокліматичні райони Китаю



14:09

Гірські хребти, нагір'я і плато, високогірні пустелі та напівпустелі займають більше 2/3 території Китаю. Континентальна високогірна природно-кліматична зона Китаю розташовується переважно у Північних та Західних гірських та пустельних регіонах країни. Для цих природно-кліматичних зон Китаю характерна низькі цілорічні температури, низька вологість, вітряна погода, високі контрасти сезонних та денних температур (наприклад, у півночі Гобі до -55 °C взимку, до +58 °C вдень літом і до 0 °C вночі літом).

14:10



14:10

Оберіть ключову характеристику гірських природно-кліматичних регіонів Китаю:

14:10

Холодний період

В Теплий період



14:10

б

Рис. 4.1.12. Візуалізація вибору користувачем вихідної інформації щодо визначення макро та мезокліматичних параметрів у BioclimaBot у месенджері:

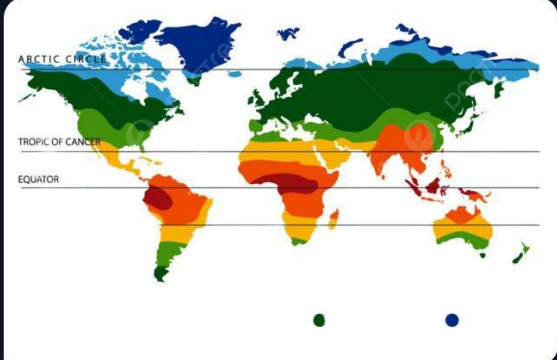
а – обрано макроклімат - помірний кліматичний пояс та його опис;

б – обрання мезоклімату та опис гірських мезокліматичних регіонів Китаю.


Макроклімат. Необхідно обрати макрокліматичний пояс Китаю 15:20

Помірний клімат

**В** Субтропічний клімат



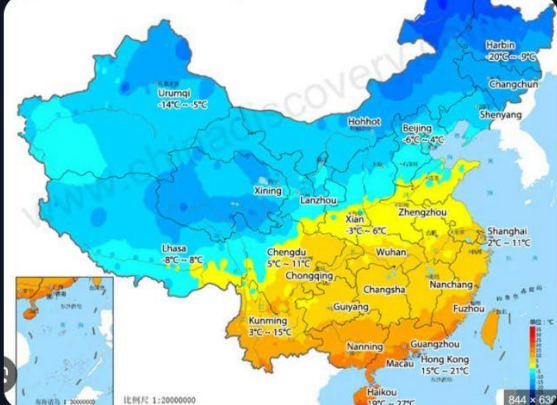
Більша найбільш заселена частина Китаю знаходиться у субтропічному поясі. Субтропічний пояс Китаю характеризується теплим кліматом, різноманітними мезокліматичними умовами і їх динамічними змінами в залежності від пори року та місцевих природних умов. 15:20



Мезоклімат. Ключова характеристика субтропічної кліматичної зони Китаю 15:20

Зимовий умовно прохолодний період

**В** Теплий та спекотний період



а


Холодний період. Температура: Зими в субтропічному поясі зазвичай м'які, з середніми температурами від 5°C до 15°C. У північних частинах можуть спостерігатися більш низькі температури, а на півдні та на морському узбережжі — тепліше. Опади: Зимові опади зазвичай невеликі, з переважанням сухої погоди. У деяких районах можуть спостерігатися легкі дощі. Вітер: Зимові вітри холодні, переважно північного або північно-східного напрямку, за винятком прибережних районів. Весною та осінню погода мінлива. Середні температури коливаються від 10°C. Зростає кількість опадів. Отримати рекомендації для створення біокліматичної моделі одягу: 15:22

Конструкція

Формування

Функціональність

**В** Матеріали




Літо у субтропічному поясі починається з травня та триває до жовтня. Середньодобові температури в субтропічному поясі можуть досягати 30°C і вище, особливо в липні та серпні. Вологість у цей час висока, що може створювати відчуття спеки. Опади: Літній період супроводжується інтенсивними дощами, особливо у вигляді мусонних злив. Червень і липень є найвологішими місяцями. Вітер: Переважають мусонні вітри, які приносять вологу з океану, сприяючи утворенню гроз та сильних злив. Рослинність: Субтропічний клімат сприяє розвитку густих лісів, тропічних і субтропічних рослин, а також сільськогосподарських культур, таких як рис, цитрусові та чай. Екстремальні погодні явища: У літній період можливі тайфуни та сильні дощі, які можуть призводити до повеней. Отримати рекомендації для створення біокліматичної моделі одягу: 15:22

Конструкція одягу

Формування

Функціональність

**В** Матеріали



б

Рис. 4.1.13. Візуалізація вибору користувачем вихідної інформації щодо визначення макро та мезокліматичних параметрів у BioclimaVot у месенджері:  
 а – макроклімат - субтропічний кліматичний пояс (опис); мезоклімат - зимовий та теплий період (опис);  
 б – обрання параметрів дизайну одягу для холодного чи теплого періоду у субтропічному кліматичному поясі

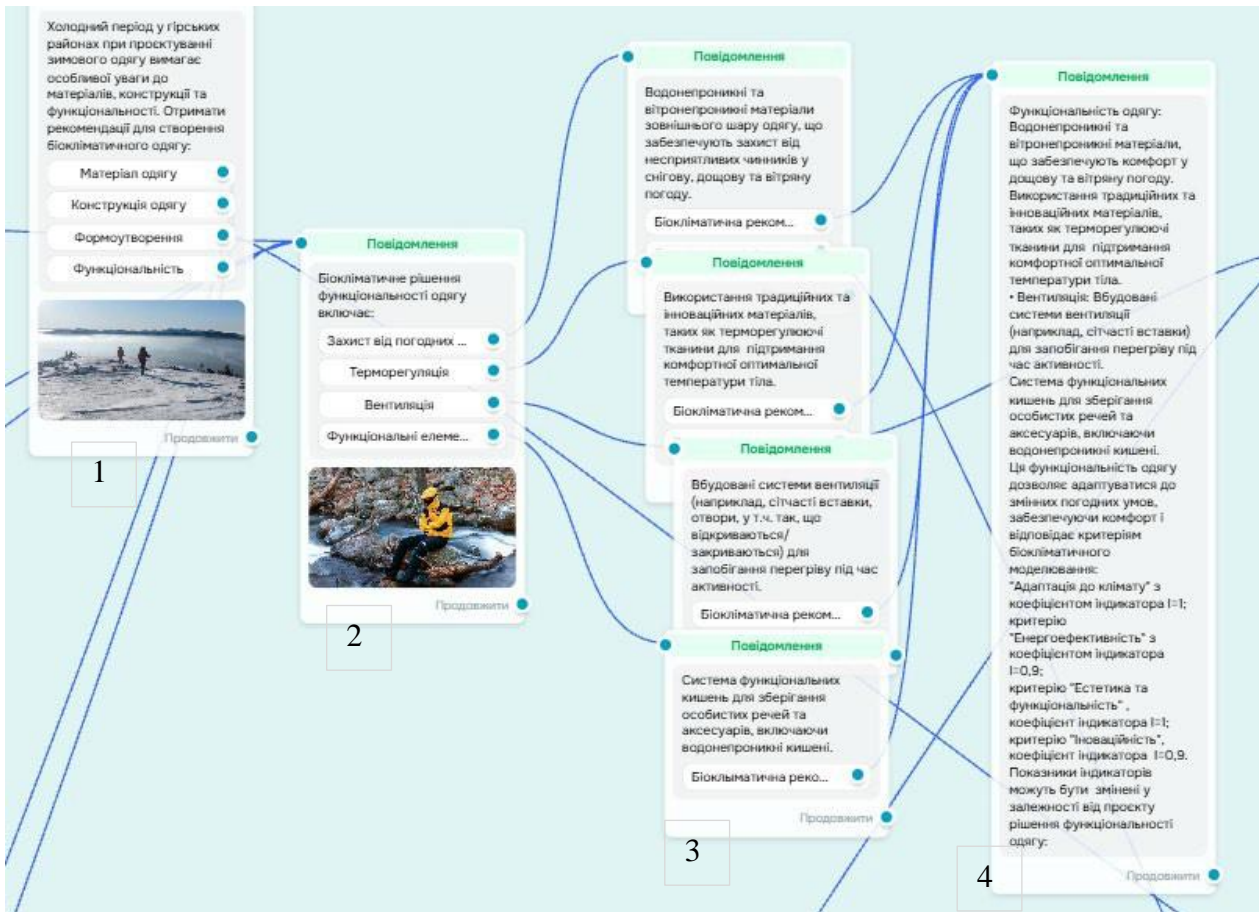



Рис. 4.1.14. Алгоритм визначення біокліматичної рекомендації в умовах гірського клімату холодного періоду для об'єкта проєктування за параметром «Функціональність» в чат боті BioclimaBot на платформі SendPulse:

- 1 - визначення параметра об'єкта дизайну «Функціональність»;
- 2 - вибір компонента об'єкта дизайну, наприклад - «Вентиляція»;
- 3 - вибір елемента об'єкта дизайну «Вбудовані системи вентиляції»;
- 4 - визначення загальної біокліматичної рекомендації.


**1** Холодний період у гірських районах при проектуванні зимового одягу вимагає особливої уваги до матеріалів, конструкції та функціональності. Отримати рекомендації для створення біокліматичного одягу: 12:10


- Матеріал одягу
- Конструкція одягу
- Формоутворення
- В** Функціональність



**2** Біокліматичне рішення функціональності одягу включає: 12:10

- Захист від погодних умов:
- Терморегуляція
- Вентиляція
- В** Функціональні елементи





**3** Водонепроникні та вітронеpronикні матеріали зовнішнього шару одягу, що забезпечують захист від несприятливих чинників у снігову, дощову та вітряну погоду. 12:10

**4** Біокліматична рекомендація функціональності одягу

**В** Деталізована інформація про матеріали зовнішнього шару

Функціональність одягу:  
Водонепроникні та вітронеpronикні матеріали, що забезпечують комфорт у дощову та вітряну погоду. Використання традиційних та інноваційних матеріалів, таких як терморегулюючі тканини для підтримання комфортної оптимальної температури тіла.

- Вентиляція: Вбудовані системи вентиляції (наприклад, сітчасті вставки) для запобігання перегріву під час активності. Система функціональних кишень для зберігання особистих речей та аксесуарів, включаючи водонепроникні кишені. Ця функціональність одягу дозволяє адаптуватися до змінних погодних умов, забезпечуючи комфорт і відповідає критеріям біокліматичного моделювання:
- "Адаптація до клімату" з коефіцієнтом індикатора I=1;
- критерію "Енергоефективність" з коефіцієнтом індикатора I=0,9;
- критерію "Естетика та функціональність", коефіцієнт індикатора I=1;
- критерію "Інноваційність", коефіцієнт індикатора I=0,9.

Показники індикаторів можуть бути змінені у залежності від проекту рішення функціональності одягу: 12:11

Рис. 4.1.15. Візуалізація алгоритма визначення біокліматичної рекомендації в умовах гірського клімату холодного періоду за параметром «Функціональність» з визначенням компонента та елемента для об'єкта проектування в чат боті BioClimaBot у месенджері:

- 1 - визначення параметра об'єкта дизайну «Функціональність»;
- 2 - вибір компонента об'єкта дизайну «Захист від погодних умов» ;
- 3 - вибір елемента об'єкта дизайну «Водонепроникні та вітронеpronикні матеріали зовнішнього шару одягу»;
- 4 - визначення загальної біокліматичної рекомендації.

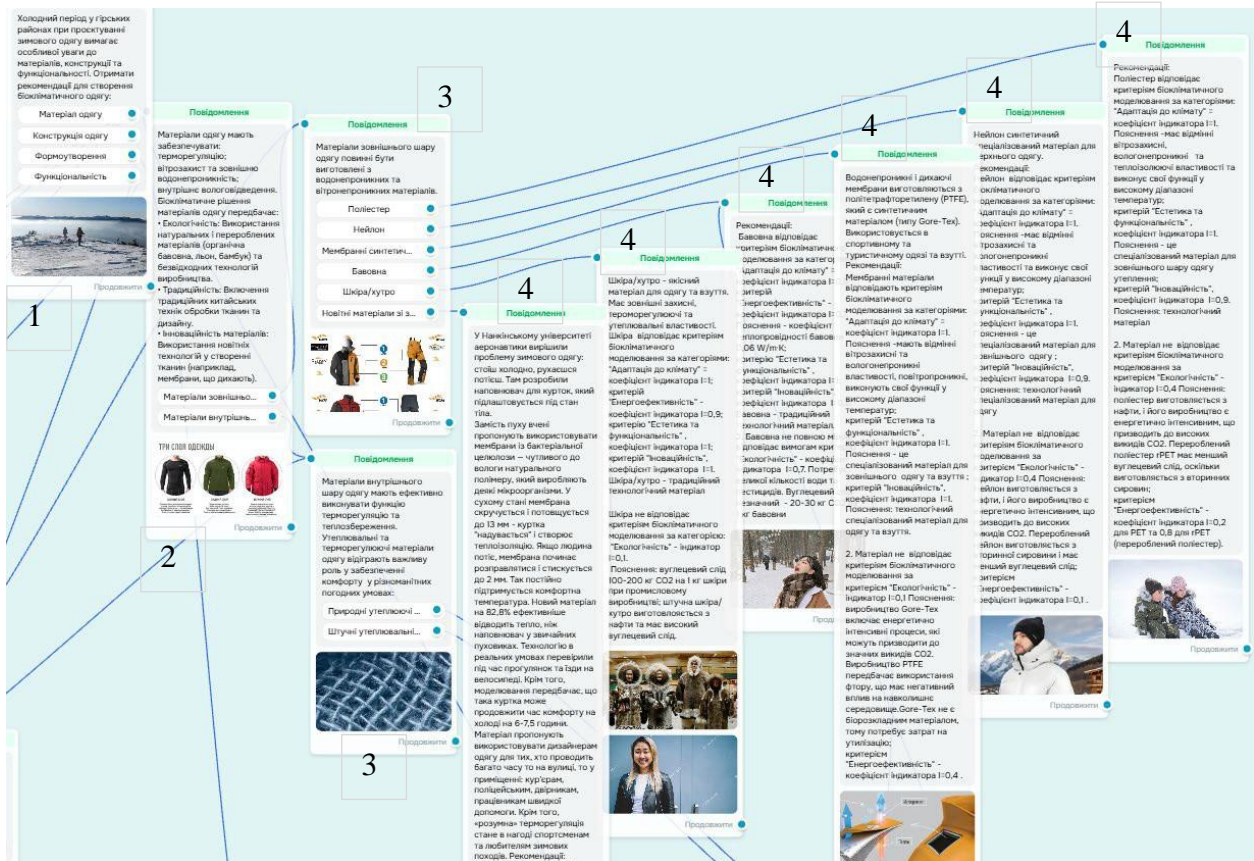


Рис. 4.1.16. Алгоритм визначення біокліматичної рекомендації в умовах гірського клімату холодного періоду для об'єкта проектування за параметром «Матеріали одягу» з визначенням компонента та елемента для об'єкта проектування в чат боті BioClimaBot на платформі SendPulse:

- 1 - визначення параметра об'єкта дизайну «Матеріали одягу»;
- 2 - вибір компонента об'єкта дизайну «Матеріали зовнішнього шару одягу» ;
- 3 - вибір елемента об'єкта дизайну «Поліестер» або «Нейлон», або інші (всього 6);
- 4 - визначення біокліматичної рекомендації по кожному елементу.


**1** Холодний період у гірських районах при проєктуванні зимового одягу вимагає особливої уваги до матеріалів, конструкції та функціональності. Отримати рекомендації для створення біокліматичного одягу: 12:32

Матеріал одягу

Конструкція одягу

Формоутворення

**В** Функціональність



Матеріали одягу мають забезпечувати: терморегуляцію; вітрозахист та зовнішню водонепроникність; внутрішнє вологовідведення. Біокліматичне рішення матеріалів одягу передбачає:

- Екологічність: Використання натуральних і перероблених матеріалів (органічна бавовна, льон, бамбук) та безвідходних технологій виробництва.
- Традиційність: Включення традиційних китайських технік обробки тканин та дизайну.
- Інноваційність матеріалів: Використання новітніх технологій у створенні тканин (наприклад, мембрани, що дихають).

12:32

**2** Матеріали зовнішнього шару одягу

**В** Матеріали внутрішнього шару одягу

**3** Матеріали зовнішнього шару одягу повинні бути виготовлені з водонепроникних та вітропроникних матеріалів. 12:33

Поліестер


Нейлон

Мембранні синтетичні матеріали

Бавовна

Шкіра/хутро

**В** Новітні матеріали зі змінними характеристиками



**4** Рекомендації: Поліестер відповідає критеріям біокліматичного моделювання за категоріями: "Адаптація до клімату" - коефіцієнт індикатора I=1. Пояснення - має відмінні вітрозахисні, вологонепроникні та теплоізолюючі властивості та виконує свої функції у високому діапазоні температур; критерій "Естетика та функціональність", коефіцієнт індикатора I=1. Пояснення - це спеціалізований матеріал для зовнішнього шару одягу утеплення; критерій "Іноваційність", коефіцієнт індикатора I=0,9. Пояснення: технологічний матеріал

2. Матеріал не відповідає критеріям біокліматичного моделювання за критерієм "Екологічність" - індикатор I=0,4 Пояснення: поліестер виготовляється з нафти, і його виробництво є енергетично інтенсивним, що призводить до високих викидів CO2. Перероблений поліестер gPET має менший вуглецевий слід, оскільки виготовляється з вторинних сировин; критерієм "Енергоефективність" - коефіцієнт індикатора I=0,2 для PET та 0,8 для gPET (перероблений поліестер). 12:34

**В**

Рис. 4.1.17. Візуалізація алгоритма визначення біокліматичної рекомендації в умовах гірського клімату холодного періоду за параметром «Матеріали одягу» з визначенням компонента та елемента для об'єкта проєктування в чат боті BioclimaBot у месенджері:

- 1 - визначення параметра об'єкта дизайну «Матеріали одягу» ;
- 2 - вибір компонента об'єкта дизайну «Матеріали зовнішнього шару одягу»;
- 3 - вибір елемента об'єкта дизайну «Поліестер»;
- 4 - визначення біокліматичної рекомендації для елемента одягу «Поліестер».

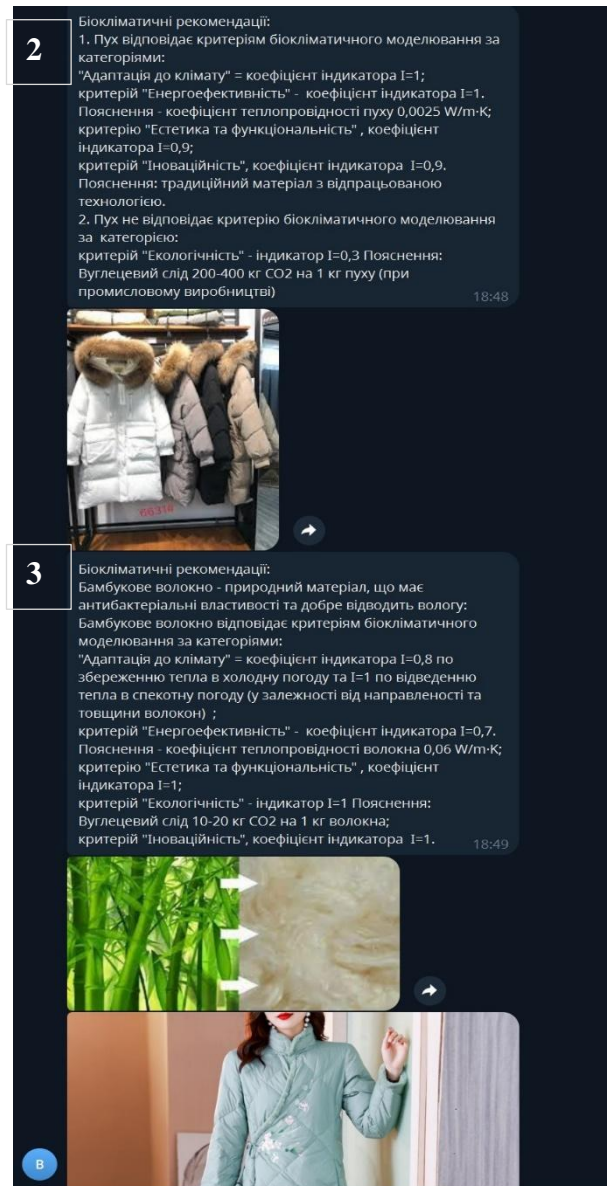
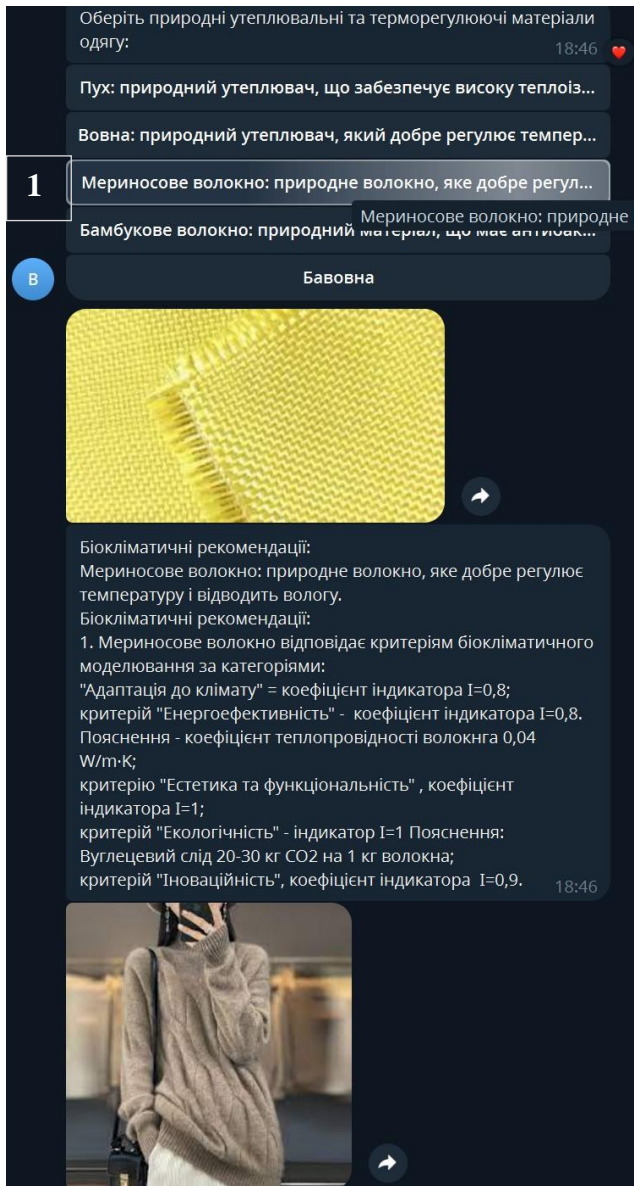


Рис. 4.1.18. Візуалізація кінцевого вузла біокліматичних рекомендацій у чат боті BioClimaBot при виборі користувачем наступної послідовності основних атрибутів: вид дизайнера – «Промисловий»; об'єкт проектування – «Одяг»; параметр – «Матеріали»; компонент – «Природні утеплювальні та терморегулюючі матеріали одягу»; елемент та біокліматична рекомендація для кожного елемента:

- 1 – мериносове волокно;
- 2 – пташиний пух;
- 3 – бамбукове волокно.

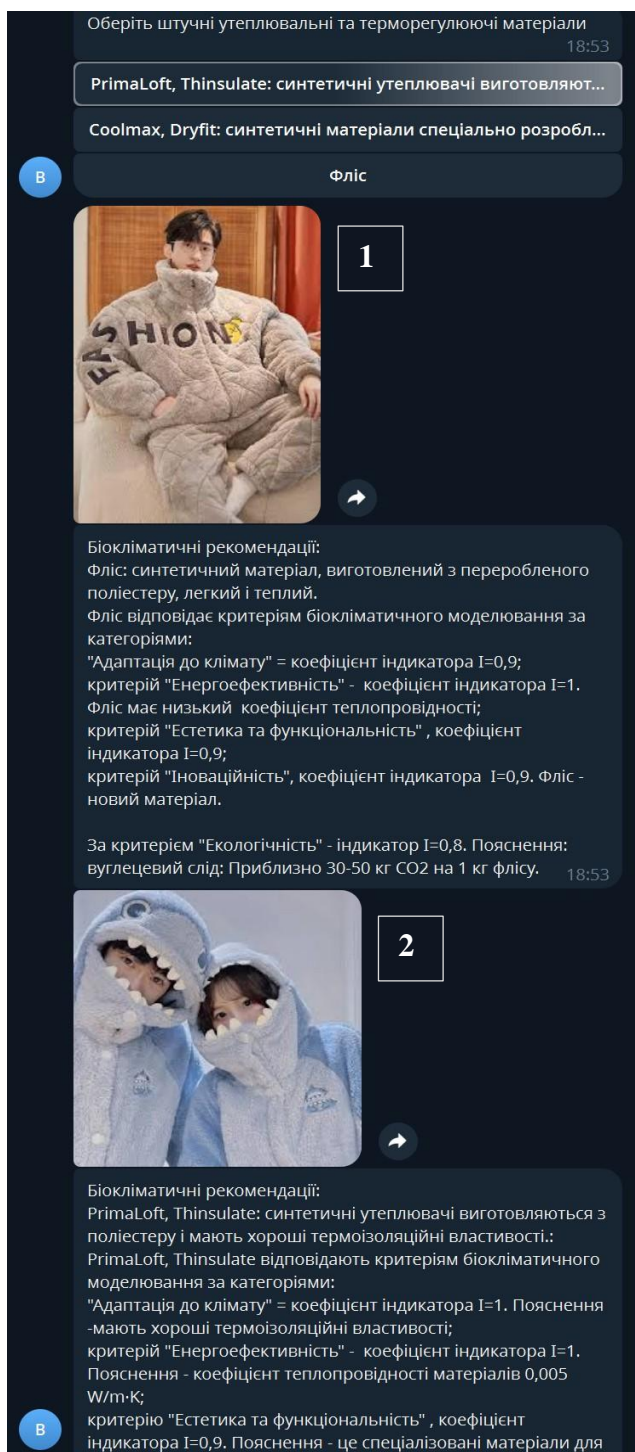


Рис. 4.1.19. Візуалізація кінцевого вузла біокліматичних рекомендацій у чат боті BioclimaBot при виборі користувачем наступної послідовності основних атрибутів: вид дизайна – «Промисловий»; об'єкт проектування – «Одяг»; параметр – «Матеріали»; компонент – «Штучні терморегулюючі та утеплювальні матеріали одягу»; елемент та біокліматична рекомендація для цього елемента:

1 – Фліс;

2 – PrimaLoft, Thinsulate;

3 – Coolmax, Dryfit.

Таблиця 4.2.1.

**Порівняння характеристик чат боту BioclimaBot  
та Експертної системи біокліматичного моделювання**

<b>Характеристика</b>	<b>Чат бот BioclimaBot</b>	<b>Експертна система біокліматичного моделювання (ЕС БкМ)</b>
<b>Представлення знань</b>	Дані представлені у вигляді ієрархічної структури вузлів та гілок з обмеженою кількістю даних. Правила реалізовано через прямі та рекурсивні правила типу "якщо-то".	Має гібридну базу знань, що поєднує декларативні знання (структурована інформація про предметну область, факти, концепції у базі даних) та процедурні знання (правила «якщо-то-інакше», алгоритми, процедури у базі правил). Більша за обсягом база знань.
<b>Механізм виведення рішень</b>	Просте послідовне переміщення по гілках дерева для отримання класифікації/рішення. У чат-боті це алгоритм вибору атрибута на основі приросту інформації, що веде до кінцевого рішення.	Має вирішувач (inference engine), який аналізує факти та здійснює логічний вивід на основі інформації з бази даних та правил з бази правил. Використовує ієрархічну систему виведення, розкладаючи складні задачі на менші підзадачі. Застосовує як пряме, так і зворотне логічне виведення, що забезпечує гнучкість та адаптацію до різних сценаріїв. Може працювати з нечіткими поняттями.
<b>Інтерпретованість результатів</b>	Проста інтерпретованість.	Від помірної до високої прозорості процесу моделювання. ЕС БкМ має на меті підвищити якість рекомендацій за рахунок структурованого знання та логічного виведення.

<b>Здатність до навчання /адаптації</b>	Чат-бот використовує заздалегідь прописані сценарії та правила.	Призначена для накопичення, оновлення та використання експертного досвіду. База даних має багаторівневу та складну структуру, яка може уточнюватися. Більша динамічність та адаптивність системи до змінних умов та нових знань.
<b>Обробка даних</b>	Обробка даних здійснюється вручну шляхом послідовного переходу по дереву рішень від одного параметра до іншого	Може автоматизовано обробляти багатопараметричні дані. Завдяки структурі бази даних та логіці виведення, ЕС здатна краще враховувати комплекс кліматичних, енергоефективних та інших чинників.
<b>Обмеження</b>	Неефективність при дуже великих наборах даних, у роботі з динамічним середовищем (кліматом). Чат-бот є прототипом, потребує доробок.	Складність, вартість, часові затрати на розробку експертної системи. Постійна діяльність по наповненню бази знань експертними даними.
<b>Мета</b>	Надання конкретних біокліматичних рішень/рекомендацій через визначення серії умов. Чат-бот призначений для надання рекомендацій через діалогове спілкування.	Підтримка прийняття аналітичних та творчих рішень на основі багатопараметричних даних для генерації оптимальних біокліматичних рекомендацій. Не замінює людських експертів, а надає їм потужні інструменти.

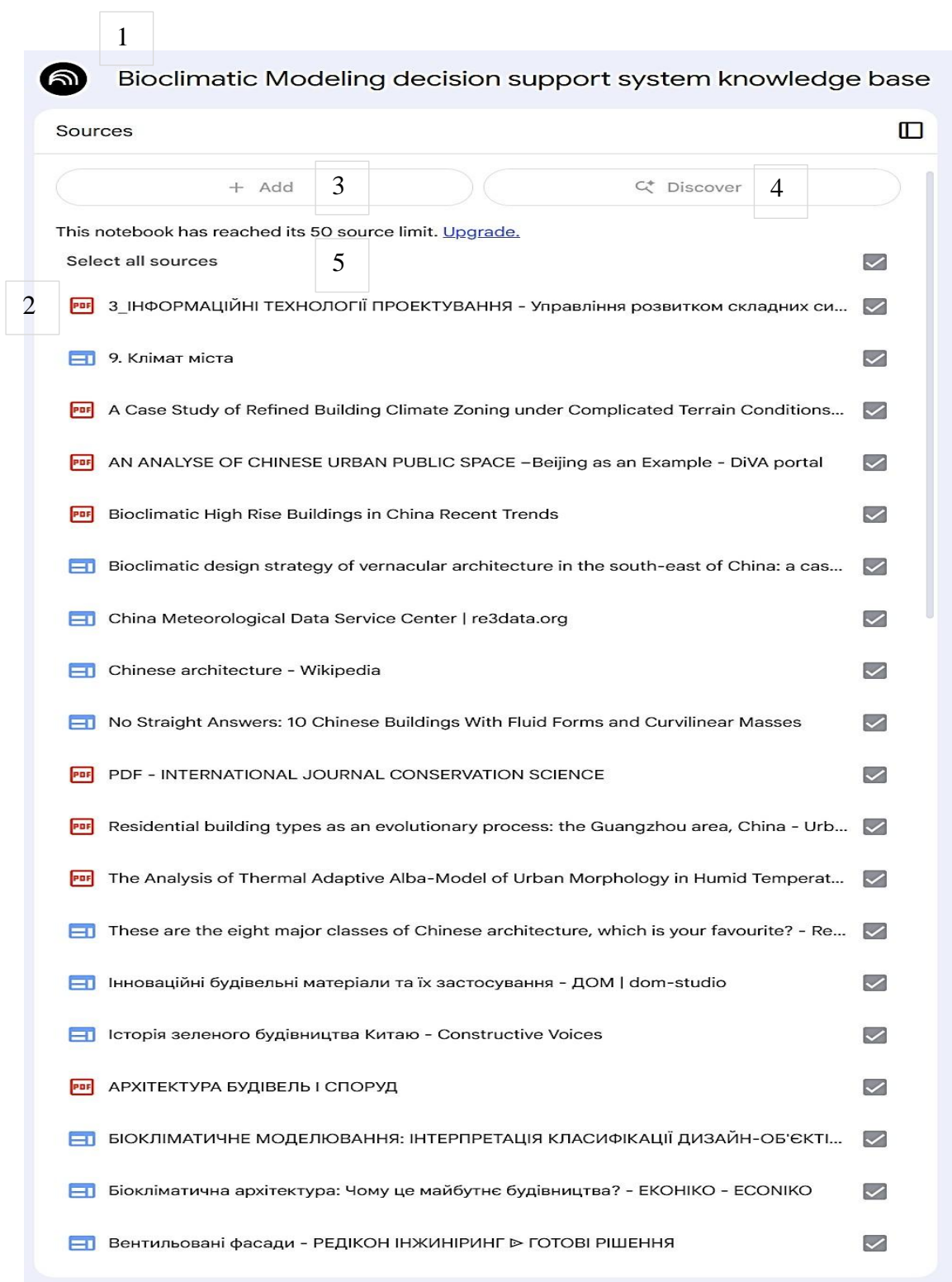


Рис. 4.3.1. Загальний вигляд (фрагмент) бази даних проєкту BMDSSKB ( NotebookLM):

- 1 – назва блокноту;
- 2 – посилання на джерела;
- 3 – кнопка ручного додавання джерел до бази даних;
- 4 – кнопка автоматизованого пошуку джерел;
- 5 – загальна кількість джерел

**Select all sources**

- China China issues mandatory national standards for energy conservation, renewal energy...   
Закони про енергозбереження та відновлювані джерела енергії в будівлях.
- China - General Code for Building Energy Efficiency and Renewable Energy Utilization (GB ...   
Національний кодекс з енергоефективності будівель (GB 55015-2021).
- Guidelines For Climate Responsive Design | PDF | Wound - Scribd   
Керівництво по кліматично-орієнтованому проектуванню для холодного клімату Китаю.
- The bioclimatic features of vernacular architecture in China - IDEAS/RePEc   
Аналіз біокліматичних особливостей традиційної китайської архітектури.
- Green Certification | China | Global Sustainable Buildings Guide | Baker McKenzie Resourc...   
Національні та міжнародні системи сертифікації зелених будівель у Китаї.

49/50 total source limit 10 sources selected **Import**

Рис. 4.3.2. Перелік з 10 нормативно-правових актів КНР, які регулюють кліматично-орієнтоване проектування, залучених до бази даних проекту BMDSSKB

**Select all sources**

- УДК 721, 72.02 DOI: 10.32347/0131-579x.2025.108.177-188 PhD student Changpu R. 303512...   
Знахідка спільної праці Кривенка та Ру Чанпу з ключовими термінами.

**Select all sources**

- DOI: 10.32347/2076-815x.2021.78.290-298 УДК 721.021, 69.001.5 д.т.н., доцент Кривенко ...   
Надає глибокий аналіз біокліматичних рішень для висотних будівель.
- Біокліматична архітектура: детальні характеристики та переваги - Renovables Verdes   
Пропонує детальні характеристики та переваги біокліматичної архітектури.
- ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМІВ ПРОЄКТУВАННЯ БІОКЛІМАТИЧНИХ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ ПРИ...   
Досліджує проектування біокліматичних висотних будівель у міському середовищі.
- Africa-Europe BioClimatic buildings for XXI century - ABC21   
Представляє приклади реалізації біокліматичного підходу в будівництві.
- Bioclimatic analysis and proposal of bioclimatic strategies for buildings: case studies in sa...   
Розглядає аналіз та стратегії біокліматичного проектування для будівель на прикладі.

49/50 total source limit 10 sources selected **Import**

Рис. 4.3.3. Фрагмент переліку залучених наукових джерел до бази даних проекту BMDSSKB

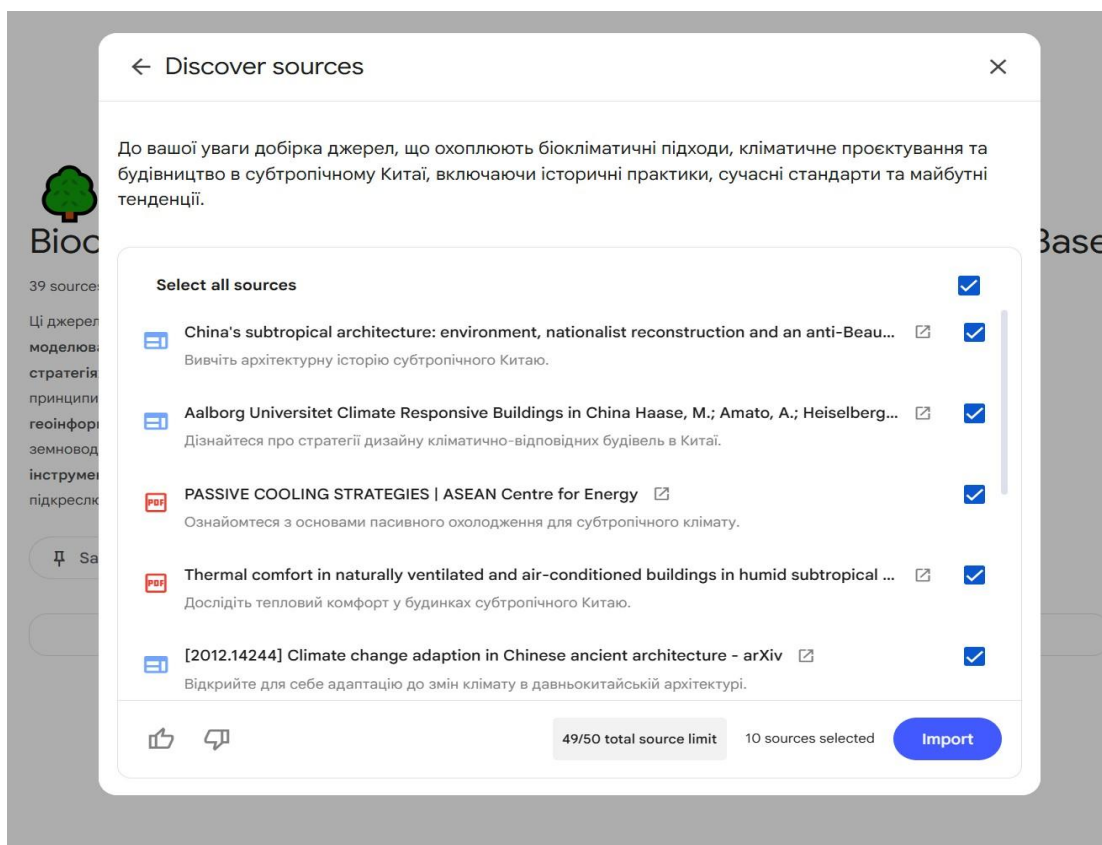


Рис. 4.3.4. Виконання автоматизованого пошуку за запитом «Біокліматичні підходи для субтропіків, кліматичне проектування та будівництво у субтропічному Китаї» для створення бази даних проекту BMDSSKB

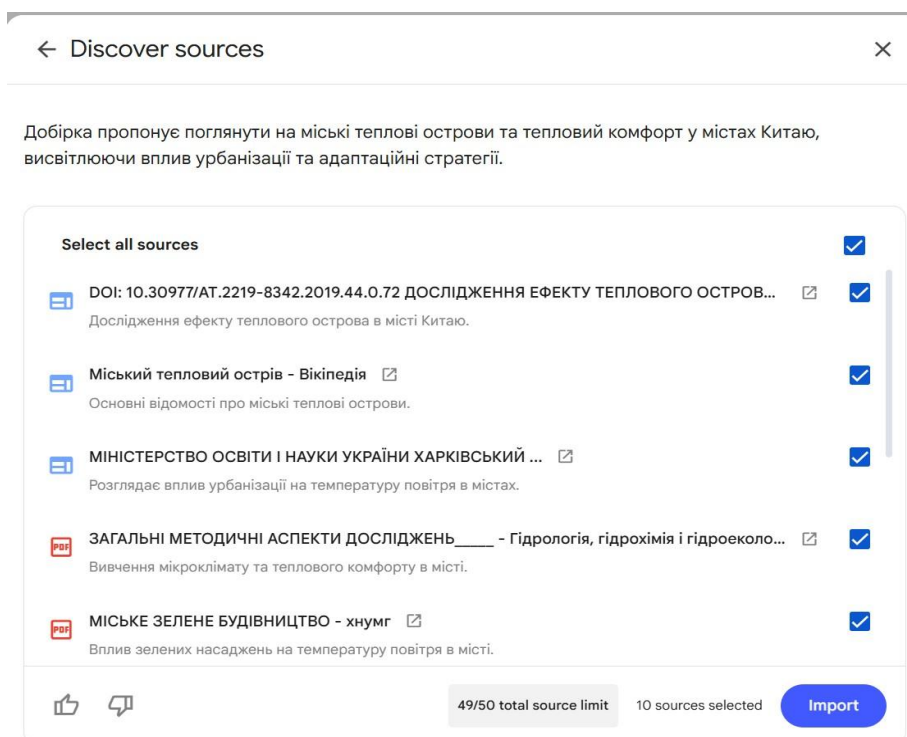


Рис. 4.3.5 Виконання автоматизованого пошуку за запитом "Тепловий комфорт у міському середовищі» для створення бази даних проекту BMDSSKB

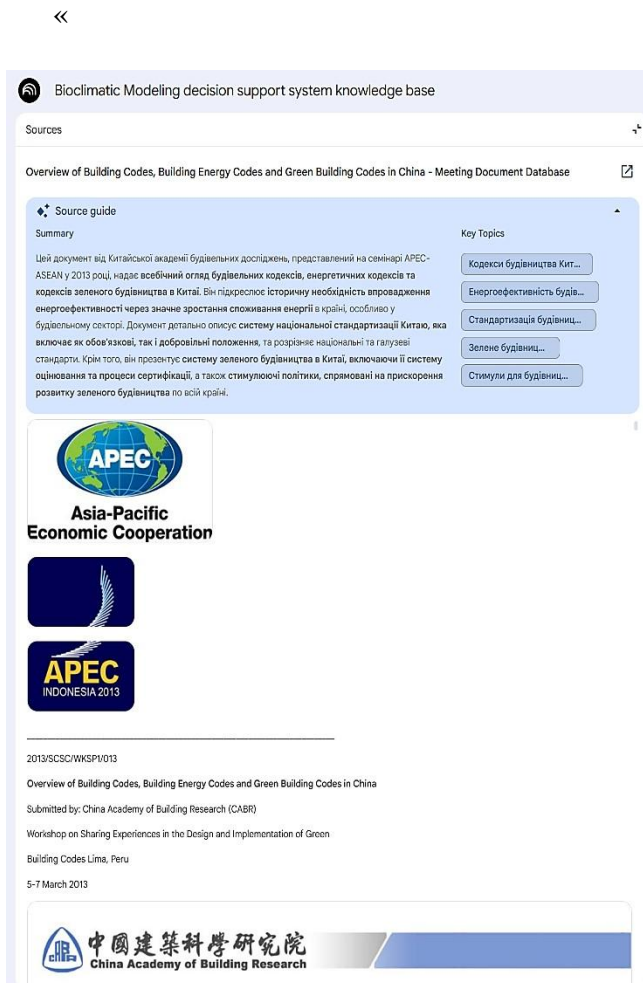


Рис. 4.3.6

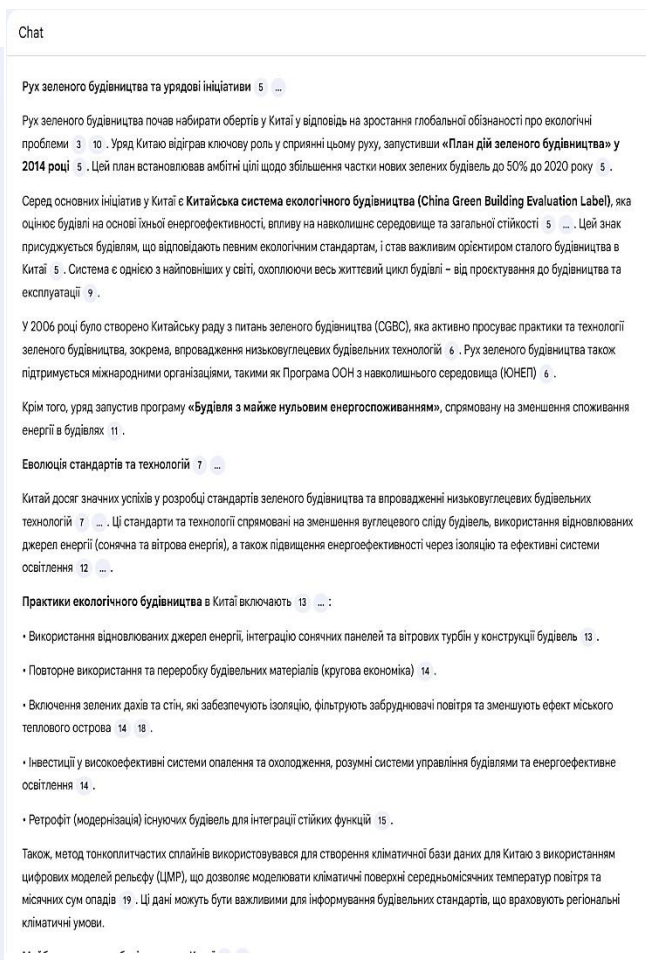



Рис. 4.3.7

Рис. 4.3.6. Проєкт BMDSSKB, Source guide будівельних, енергетичних кодексів Китаю, які регулюють «зелене» будівництво.

Рис. 4.3.7. Звернення за тегом «Кодекси будівництва КНР», яким помічено джерело, вказане на Рис. 4.3.6, дозволило отримати інформацію про: державні стандарти; практики екологічного будівництва, які формують характеристики моделі екологічної будівлі в заданих кліматичних умовах.

 Bioclimatic Modeling decision support system knowledge base

Sources

**БІОКЛІМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ: ІНТЕРПРЕТАЦІЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ДИЗАЙН-ОБ'ЄКТІВ | Fine Art and Culture Studies**

**Source guide**

**Summary**

Цей науковий документ, опублікований у "Fine Art and Culture Studies", досліджує **біокліматичне моделювання** у контексті **класифікації дизайн-об'єктів**. Автори, Жу Чанпу та Ольга Кривенко з Київського національного університету будівництва та архітектури, прагнуть уточнити, як дизайн-об'єкти взаємодіють з природним середовищем. Робота пропонує нову класифікацію, яка включає **природно-об'єктний, штучно-об'єктний та дифузно-об'єктний дизайн**, підкреслюючи **різний ступінь взаємодії з природним та штучним середовищем**. Кінцева мета полягає в тому, щоб допомогти дизайнерам та архітекторам створювати **стійкі та екологічні продукти**, що сприяють сталому розвитку.

**Key Topics**

- Біокліматичне моделюва...
- Класифікація дизайн-об'є...
- Середовищний диз...
- Сталий розви...
- Екологічні іннов...

0 Fine Art and Culture Studies

1 Пошук Зареєструватися

2 Увійти

0 Пошук

**БІОКЛІМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ: ІНТЕРПРЕТАЦІЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ДИЗАЙН-ОБ'ЄКТІВ**

**Автор(и)**

1 Жу ЧАНПУ Київський національний університет будівництва та архітектури <https://orcid.org/0009-0004-9009-6938>

2 Ольга КРИВЕНКО Київський національний університет будівництва та архітектури <https://orcid.org/0000-0002-8949-0944>

**DOI:**

<https://doi.org/10.32782/facs-2025-1-39> **Ключові слова:**

біокліматичне моделювання, об'єкти дизайну, середовищний дизайн, сталий розвиток

**Анотація**

Метою роботи є уточнення класифікації об'єктів дизайну відповідно до рівня їх взаємодії з природно-кліматичним середовищем в матеріально-предметному та функціонально-процесуальних проявах при біокліматичному моделюванні. Методологія ґрунтується на аналітичному дослідженні існуючих класифікацій дизайну стосовно біокліматичного моделювання, орієнтуючись на матеріально-предметний і функціонально-процесуальний

Рис. 4.3.8. Проект BMDSSKB: 1-Source guide – огляд наукової статті «Біокліматичне моделювання: інтерпретація класифікації дизайн-об'єктів», 2 – тег «Біокліматичне моделювання»

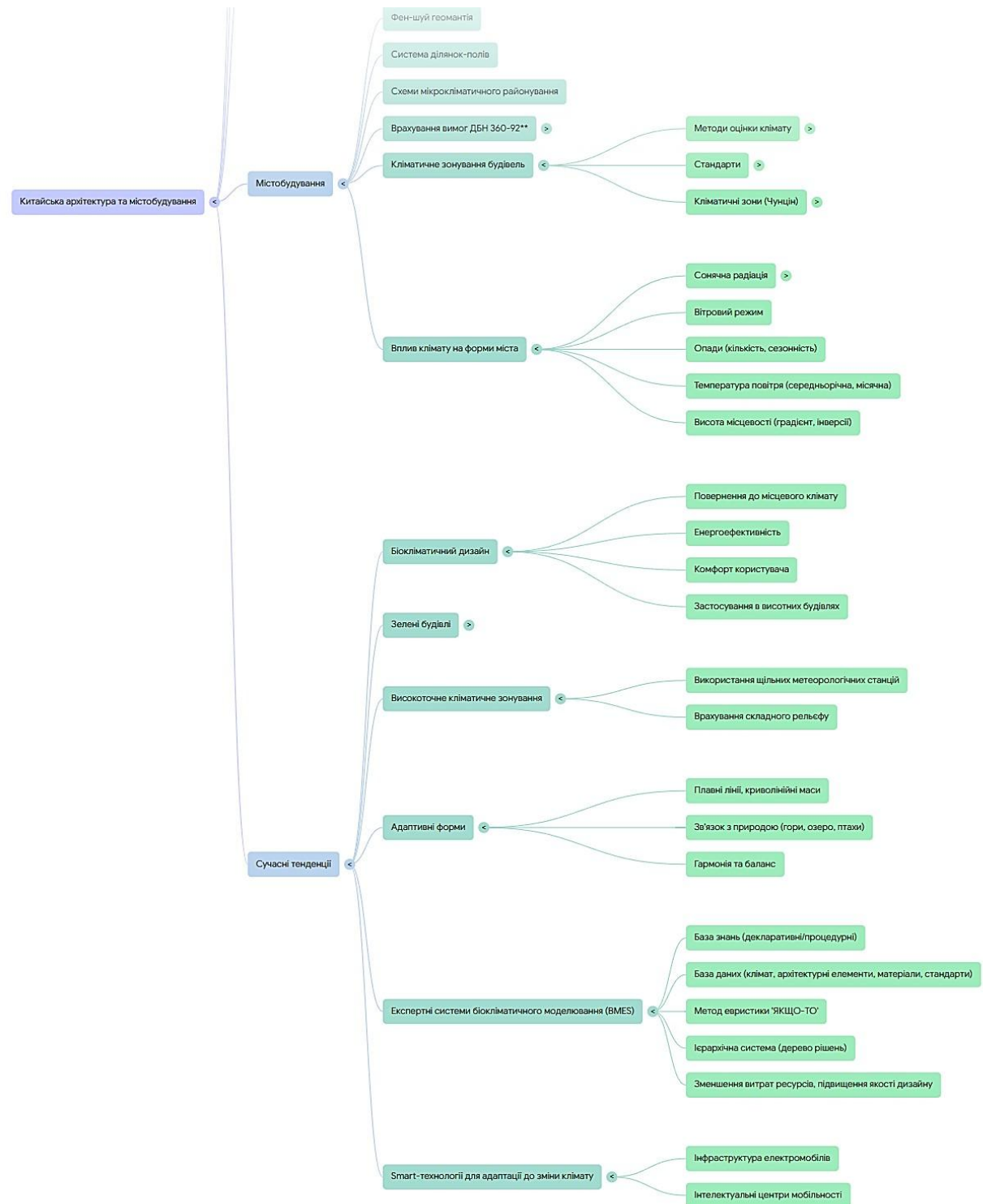


Рис. 4.3.9. Проєкт BMDSSKB: Автоматизована візуалізація аналітичних зв'язків між інформацією у джерелах для китайської архітектури за допомогою функції «Mind Map» у проєкті BMDSSKB (NotebookLM).

Chat Refresh

Показати дослідження про вентиляцію для клімату Китаю

Надані джерела містять інформацію щодо **вентиляції** в контексті **клімату Китаю**, охоплюючи як традиційні підходи, так і сучасні тенденції в енергоефективному та зеленому будівництві.

**Традиційні методи вентиляції в Китаї**

Історично, китайська архітектура вже давно використовувала принципи природної вентиляції для забезпечення комфортного мікроклімату в приміщеннях. Наприклад, у центрі традиційних китайських будинків розташовувалася зала для бенкетів, яка була вищою за інші приміщення та мала **низку вікон під стелею**. Через ці вікна проникало світло і відбувалася **вентиляція зали, створюючи вертикальний струмінь повітря, що охолоджував приміщення у спекотний час** <sup>1</sup>. Це є яскравим прикладом біокліматичного підходу, який інтегрує будівлю з природним середовищем для використання ресурсів, таких як вітер, з метою забезпечення комфорту <sup>2</sup> <sup>3</sup>.

Крім того, традиційний дизайн середовища в Китаї вплинув на планування міст, зосереджуючись на створенні стійких громад, інтегрованих з природою, що включало використання зелених насаджень та водних об'єктів для **регулювання клімату міста та покращення якості повітря** <sup>4</sup>. Ці заходи опосередковано підтримують ефективну природну вентиляцію на міському рівні.

**Сучасні дослідження та практики зеленого будівництва**

У сучасному Китаї рух зеленого будівництва та впровадження низьковуглецевих будівельних технологій набули значного поширення <sup>5</sup>. **Енергоефективні будівлі в Китаї** активно розробляються з метою зменшення викидів вуглецю, і такі будівлі з **природною вентиляцією** доведено підвищують добробут та сприяють здоровішому середовищу життя для мешканців <sup>6</sup>.

Уряд Китаю відіграє ключову роль у сприянні цим ініціативам, запустивши «План дій зеленого будівництва» у 2014 році, який встановлював цілі щодо збільшення частки нових зелених будівель <sup>4</sup>. Також була започаткована програма «**Будівля з майже нульовим енергоспоживанням**», спрямована на зменшення споживання енергії, де ефективна вентиляція є критично важливою <sup>7</sup>.

Практики екологічного будівництва в Китаї, що стосуються вентиляції, включають:

- **Інвестиції у високоефективні системи опалення та охолодження**, а також розумні системи управління будівлями <sup>8</sup>. Хоча це стосується механічних систем, вони часто інтегруються з природною вентиляцією для оптимізації повітряного середовища.
- **Інтеграція зелених дахів та стін**, які допомагають зменшити тепловідходження та фільтрувати забруднювачі повітря, створюючи більш комфортне та здорове середовище в приміщенні <sup>8</sup> <sup>9</sup>. Це також сприяє покращенню мікроклімату та підтримці природної вентиляції.
- Загалом, **пасивне охолодження та природна вентиляція** є важливими компонентами екологічного дизайну будівель, які використовують природний потік повітря та теплообмін для регулювання температури в приміщенні, зменшуючи споживання енергії та сприяючи тепловому комфорту <sup>10</sup> ... Ці методи також покращують якість повітря в приміщенні, видаляючи забруднюючі речовини та алергени <sup>12</sup> <sup>14</sup>.

Вирівнювання найдовшої осі будівлі з **переважаючими вітрами** сприяє природній вентиляції та зменшує потребу в механічному охолодженні <sup>15</sup>. Внутрішні дворики та атріуми також століттями використовувалися для покращення природної вентиляції, забезпечуючи циркуляцію свіжого повітря <sup>9</sup> <sup>16</sup>.

У Китаї також спостерігається значне зростання попиту на теплові насоси типу «повітря – вода» в рамках національної програми У Китаї також спостерігається значне зростання попиту на теплові насоси типу «повітря – вода» в рамках національної програми «Електрика замість вугілля», що сприяло **покращенню екологічної ситуації, зокрема очищенню неба Північного Китаю від смогу** <sup>17</sup>. Це опосередковано підкреслює зростаючу увагу до якості повітря та систем, що її забезпечують, включаючи вентиляцію.

Таким чином, дослідження та практика вентиляції для клімату Китаю зосереджені на ефективному використанні **природних методів** та інтеграції їх із сучасними енергоефективними технологіями для створення здорового та сталого міського середовища

Рис. 4.3.10. Формування структурованої системи знань відповідно із запитом користувача-дизайнера "Показати дослідження про вентиляцію для клімату Китаю" на основі бази даних проєкту BMDSSKB

## БАЗА ПРАВИЛ БІОКЛІМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

(розроблено автором)

### Правила виведення біокліматичних рішень та рекомендацій в архітектурі та містобудуванні

#### 1. Правила, пов'язані з адаптацією до клімату (К1)

Врахування кліматичних параметрів та природних компонентів забезпечує довговічність проєкту та комфорт.

Ключовий чинник	IF (УМОВА)	THEN (РЕКОМЕНДАЦІЯ / РІШЕННЯ)
Кліматичний аналіз	ЯКЩО – необхідно системно врахувати макрокліматичні та мезокліматичні умови на всіх стадіях проєктування території забудови	ТО – слід розробити кліматичний паспорт міста, що інтегрує ці дані як основу для планування і забудови.
Біокліматичне моделювання	ЯКЩО проводиться біокліматичний аналіз на етапі проєктування	ТО використовувати комп'ютерні програми моделювання або гібридні ЕС з інтелектуальним механізмом виведення рішень (LLM + RAG) для багатопараметричного аналізу та генерації рішень.
Покращення мезокліматичних характеристик	ЯКЩО – метою є сталий розвиток міст, необхідно покращити мезоклімат території забудови, створити здорове міське середовище і зменшити ефект міського теплового острова та охолодити міське середовище	ТО – слід зберігати існуючі природні зони, використовувати зелені насадження, інтегрувати природоорієнтовані рішення, такі як зелені зони, зелені дахи у міську інфраструктуру (газони, квітники), що сприяє охолодженню забудови
Кліматично адаптоване озеленення	ЯКЩО мета - створення комфортного середовища з мінімальними витратами на створення і утримання	ТО - у ландшафтному дизайні використовувати місцеві рослини ТА природні декоративні місцеві матеріали
Кліматичний аналіз ділянки	ЯКЩО – необхідно точно оцінити кліматичні впливи та навантаження на ділянці будівництва і доступні метеорологічні дані за багаторічний період,	ТО – слід використовувати детермінований підхід, що базується на реальних щогодинних/нагальних показниках, або ймовірнісний підхід, розглядаючи зміну показників як випадковий процес, та будувати одновимірні/двовимірні функції розподілу (наприклад, температура-швидкість вітру, температура-сонячна радіація).
Покращення мікроклімату ділянки	ЯКЩО – необхідно покращити мікроклімат міської території	ТО – слід інтегрувати водні пристрої (фонтани, струмки, басейни) ТА біокліматичні водоочисні системи (дощові сади) ТА збільшити площу проникних покриттів
Надходження сонячної радіації на ділянці	ЯКЩО – необхідно розрахувати надходження сонячної радіації на територію забудови і виявити закономірності її впливу на енергетичну ефективність	ТО – слід застосовувати комп'ютерне моделювання інсоляційного режиму (наприклад, RHPP) або карти тривалості інсоляції / ізоенергетики.

Мікроклімат та рельєф ділянки	ЯКЦО - будівля розташована на схилі ТА мета - зменшення теплонадходжень	ТО - орієнтація - північні схили для мінімального надходження тепла в АБО орієнтація південні схили з сезонним сонцезахистом
Біокліматичне моделювання будівлі	ЯКЦО – потрібно забезпечити комфортне середовище для людей у будівлі І адаптувати її до місцевих кліматичних умов	ТО – повинні бути враховані метеорологічні дані макрокліматичного аналізу та мезокліматичного районування І застосовані спеціальні заходи зі створення мікроклімату через архітектурне проектування, що включають проєктні рішення для різних типів клімату та врахуванням його змін.
Оптимізація та автоматизація для мікроклімату будівлі	ЯКЦО – мета - ефективно використовувати сонячну енергію та мінімізувати теплонадходження через вікна	ТО – повинна бути математично оптимізована площа скління та орієнтація вікон І застосовані автоматизовані сонцезахисні пристрої або розумне скло, що змінює прозорість.
Смарт технології	ЯКЦО – прагне оптимізувати споживання енергії та підтримувати мікроклімат у будівлі	ТО – інтегрувати розумні системи управління будівлями, датчики та інші інтелектуальні технології, що забезпечують більш точний контроль зовнішньої та внутрішньої температури та якості повітря в приміщенні.
Вентильовані фасади	ЯКЦО – необхідно забезпечити тривалу експлуатацію фасаду та захист від вітру та вологи	ТО – слід використовувати вентильовані фасади як сучасне рішення, яке адаптується до різних кліматичних умов та покращує енергоефективність будівель.

## 2. Правила, пов'язані з врахуванням екологічності та екостійкості ( K2)

Індикатори: використання матеріалів (вміст перероблених матеріалів, місцеве походження матеріалів, ресурсна ефективність матеріалів, вплив на біорізноманіття(збереження зелених насаджень, використання місцевих видів флори та фауни, створення умов для біорізноманіття), управління відходами (відсоток використання перероблених матеріалів, заходи для зменшення відходів, коефіцієнт утилізації), викиди забруднюючих речовин ( обсяги викидів CO<sub>2</sub>, рівень забруднення стічних вод, застосування систем очищення).

Інтеграція природних компонентів забезпечує екостійкість та довговічність проєкту.

Ключовий чинник	IF (УМОВА)	THEN (РЕКОМЕНДАЦІЯ / РІШЕННЯ)
Покращення міської екології	ЯКЦО – метою є сталий розвиток міст, необхідно створити екологічне та здорове міське середовище	ТО – слід використовувати зелені насадження, інтегрувати природоорієнтовані рішення, такі як зелені зони, дощові сади, зелені дахи і стіни та водоочисні системи у міську інфраструктуру (газони, квітники, дощові сади) та збільшити площу проникних покриттів
Екологічна міська інфраструктура	ЯКЦО – потрібно зменшити залежність від приватних авто та зробити міську інфраструктуру більш екологічною	ТО – оновлювати веломережу, електротранспорт міста та інтегрувати електро- та велосипедний транспорт у загальну систему мобільності.
Покращення місцевих	ЯКЦО – необхідно покращити екологічні	ТО – слід активно використовувати експлуатовані дахи для зон відпочинку, літніх

екологічних характеристик	характеристики міського середовища І раціонально використовувати міські землі	кафе, дитячих майданчиків І застосовувати озеленені дахи, що зменшують зливовий потік, очищують повітря та стають житлом для дикої природи.
Стале планування ділянки	ЯКЩО – метою є стале планування ділянки І мінімізація впливу будівництва на навколишнє середовище,	ТО – слід зберігати природні особливості ділянки (існуючі дерева, рельєф), управляти дренажем для мінімізації стоку води та проєктувати з урахуванням існуючої топографії.
Захист ґрунту та рельєфу	ЯКЩО - територія являє схили ТА проблема - зсуви/ерозія	ТО – у ландшафтному дизайні використовувати рослини з розвинутою кореневою системою ТА геопластику (підпірні стінки, терасування)
Екологічна стійкість ділянки	ЯКЩО – необхідно зменшити споживання води в ландшафті І збільшити біорізноманіття, підвищити екологічну стійкість ділянки,.	ТО – слід використовувати місцеві рослини, стійкі до посухи, та застосовувати методи крапельного зрошення або збирання дощової води І збільшувати площу водопроникних покриттів
Використання перероблених матеріалів	ЯКЩО – необхідно зменшити кількість відходів та зберегти природні ресурси (один із принципів сталого розвитку)	ТО – слід активно застосовувати практики повторного використання та переробки будівельних матеріалів та відходів.
Екологічно безпечна будівля	ЯКЩО – мета - екологічно безпечна будівля та стійкий розвиток	ТО – необхідно зберегти ресурси, використовуючи місцеві матеріали та впроваджувати технології будівництва з низьким вмістом вуглецю
Традиційні екологічні матеріали	ЯКЩО ціль – підвищення екостійкості об'єкта	ТО використовувати біоматеріали (деревина, солома) як частину системи «зеленого» будівництва.
Ефективні інноваційні матеріали та інженерні рішення	ЯКЩО – необхідно зменшити загальне споживання енергії та просувати стійке життя в будівлі	ТО – слід надавати перевагу інноваційним будівельним матеріалам, які покращують теплоізоляцію та сприяють природній вентиляції, а також високоефективним А+ системам опалення та охолодження, які знижують потребу в ресурсах.
Системи збору дощової води	ЯКЩО проєкт передбачає збір дощової води (наприклад, для поливу чи технічних потреб)	ТО слід інтегрувати тераси та системи утримання дощової води
Смарт технології	ЯКЩО – прагнете оптимізувати споживання ресурсів	ТО – інтегрувати системи управління будівлями, датчики та інші інтелектуальні технології, що забезпечують економію ресурсів.
Стійкі покриття	ЯКЩО – будівля розташована в міському середовищі з високою забрудненістю І необхідно забезпечити довговічність та легкість догляду за фасадом	ТО – слід використовувати антиграфіті покриття або самоочисні панелі для облицювання фасаду.

### 3. Правила, пов'язані з енергоефективністю (КЗ)

#### 3.1. Правила щодо форми та технологій енергозбереження будівель.

Енергоефективність тісно пов'язана з мінімізацією тепловтрат через огорожувальні конструкції, що досягається оптимальною формою, біокліматичними інженерними рішеннями та якісною ізоляцією. Індикатори: річне споживання первинної енергії, питома енергоспоживання, кількість енергії, споживаної на одиницю площі або об'єму об'єкта, енергетичний баланс.

Ключовий чинник	IF (УМОВА)	THEN (РЕКОМЕНДАЦІЯ / РІШЕННЯ)
Загальні прийоми для зменшення енерго споживання	ЯКЩО – потрібно досягнути мінімального енергоспоживання будівлі та високої енергоефективності	ТО – повинні бути збільшені термічний опір огорожувальних конструкцій, підвищена компактність будівлі, скорочена кількість теплових мостів.
Захист від вітру та тепловтрат	ЯКЩО ціль – мінімізація тепловтрат (холодний/помірний клімат)	ТО форма будівлі має бути максимально компактною (сфера, куб, довгий паралелепіпед) та забезпечувати мінімальне значення коефіцієнта компактності A/V.
Захист від тепловтрат	ЯКЩО клімат холодний/прохолодний) ТА умова - сильні вітри; повторюваність > 20%	ТО - крім максимально компактної форми необхідне розташування будівлі поперек переважаючих вітрів ТА фасад - зменшення площі вікон
Захист від вітру та тепловтрат	ЯКЩО клімат холодний/суворий	ТО необхідно забезпечити дуже високі (до технічно можливого максимального рівня) теплозахисні якості огорожень, наприклад, $R_{\text{стін}} \geq 4.00 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ (для I температурної зони Китаю).
Захист від тепловтрат	ЯКЩО – необхідно знизити тепловтрати взимку I запобігти появі містків холоду,	ТО - застосувати вентильований фасад із теплоізоляційним шаром, що запобігає накопиченню конденсату, та забезпечити повітронепроникну оболонку по всьому контуру будівлі
Захист від тепловтрат	ЯКЩО будівля проектується з багатьма виступаючими конструкціями (балкони, лоджії, еркери)	ТО ці виступи мають бути враховані як ребра, що знижують енергетичну ефективність та збільшують тепловтрати на 5-10%.
Містки холоду	ЯКЩО необхідно зменшити тепловтрати через містки холоду I підвищити теплоізоляційні властивості стін,	ТО слід максимально виключати містки холоду та застосовувати спеціальний мінеральний клей для кладки з товщиною швів 1-3 мм, замість традиційного цементно-піщаного розчину (12-15 мм).
Мінімізація тепловтрат	ЯКЩО необхідно забезпечити приплив свіжого повітря у приміщення I мінімізувати тепловтрати,	ТО слід використовувати припливні клапани (стінові або віконні), які можуть подавати вуличне повітря навіть за зачинених вікон, замість постійного відкриття вікон або дверей, що призводить до значних тепловтрат.
Захист від вітру та тепловтрат	ЯКЩО клімат- суворий ТА режим - ізольований)	ТО вхід - подвійний тамбур; у житлових будинках вхід повинен бути заглиблений у корпус або мати козирок ТА стіни/скло = дуже висока повітронепроникність; кратне (x3, x4, та більше ) скління.

Захист від перегріву	ЯКЦО клімат жаркий сухий (з великими добовими коливаннями температур)	ТО слід застосовувати масивні огорожувальні конструкції (стіни, дахи) з традиційних та інноваційних матеріалів для забезпечення термічного запізнення нагріву приміщень.
Захист від перегріву	ЯКЦО – потрібно зменшити перегрів будівлі влітку І знизити витрати на кондиціювання,	ТО – використовувати вентиляований фасад для охолодження стін завдяки повітряному прошарку, зовнішнє облицювання, що відбиває сонячні промені, та/або стратегічне затінення за допомогою звисів, жалюзі або дерев.
Захист від спеки	ЯКЦО проектується дах у жаркому кліматі	ТО слід використовувати вентиляовані подвійні дахи, дахи з ґрунту (зелені дахи) або дахи-ванни.
«Проходний» дах	ЯКЦО – проєкт знаходиться в теплому кліматі І необхідно зменшити теплонадходження через дах та знизити витрати	ТО – слід застосовувати "проходні дахи", що відбивають сонячне світло та поглинають менше тепла, виготовлені з білих або світлих покрівельних матеріалів з високим коефіцієнтом відбиття сонця.
Приміщення, що використовують природне охолодження	ЯКЦО – проєкт знаходиться в жаркому сухому кліматі І необхідно захистити від високих температур та пилу	ТО – активно використовувати підземний простір для розміщення приміщень, влаштувати купольні або склеписті покриття або вентиляовані подвійні дахи.
Пасивне охолодження	ЯКЦО – потрібно досягти оптимального теплового комфорту та знизити споживання енергії	ТО – слід використовувати пасивне охолодження (наприклад, зелені дахи, проходні дахи, природне затінення) І природну вентиляцію (наприклад, внутрішні двори, атріуми, вікна, що відкриваються), з урахуванням оптимальної орієнтації, затінення та ізоляції будівлі.
Енергоефективні матеріали та обладнання	ЯКЦО – необхідно зменшити загальне споживання енергії, досягти високої енергоефективності будівлі І знизити витрати на обслуговування	ТО – слід надавати перевагу інноваційним будівельним матеріалам та рішенням (наприклад, самовідновлювальний бетон, наноматеріали або розумне скло), які покращують теплоізоляцію та сприяють природній вентиляції, а також високоефективним А+ системам опалення та охолодження.
Економія енергії за рахунок орієнтації	ЯКЦО – метою є максимальна економія енергії для опалення та охолодження І забезпечення комфорту у помірному кліматі	ТО – слід орієнтувати довгу вісь будівлі на південь для максимального використання природного освітлення, передбачити сезонне затінення для підтримки стабільної температури.
ІоТ датчики та смарт технології	ЯКЦО – прагнете оптимізувати споживання енергії та підвищити ефективність будівель ("розумні" будівлі в Китаї),	ТО – інтегрувати розумні системи управління будівлями, датчики та інші інтелектуальні технології, що забезпечують більш точний контроль температури та якості повітря в приміщенні.
Утилізація теплоти повітря	ЯКЦО – метою є зниження енерговитрат на опалення/охолодження І забезпечення подачі свіжого повітря,	ТО – слід застосовувати у системах механічної загальнообмінної та децентралізованої вентиляції технічні установки з утилізацією теплоти повітря, що видаляється (рекуперацією).

Ретрофіт будівель	ЯКЩО – необхідно підвищити енергоефективність існуючих будівель I сприяти сталому розвитку міст (особливо актуально для Китаю),	ТО – слід проводити ретрофіт існуючих будівель, включаючи встановлення стійких функцій, таких як зелені дахи, сонячні панелі та енергоефективне освітлення.
Надходження сонячної радіації на ділянці	ЯКЩО – необхідно розрахувати надходження сонячної радіації на територію забудови I виявити закономірності її впливу на енергетичну ефективність,	ТО – слід застосовувати комп'ютерне моделювання інсоляційного режиму (наприклад, PHPP) або карти тривалості інсоляції / ізоенергетики.

#### 4. Правила, пов'язані з естетикою і функціональністю ( K4)

Індикатори: об'ємно-просторові індикатори (об'єм, розмір, розташування об'єкта у просторі для забезпечення функціональності, естетичного сприйняття, ефективної взаємодії з оточуючим середовищем), художньо-образні індикатори (формування біокліматичного стилю із застосуванням органічних форм, відтворення природних аналогів, використання елементів традиційної національної культури), композиційні індикатори (аналіз масштабу, стильової єдності, метро-ритмічних закономірностей, композиційних акцентів з урахуванням оптимального використання природних ресурсів), структурні індикатори (оцінка матеріалів на екологічність, міцність, здатність до саморегуляції, текстури, членування елементів, засоби трансформації), кольорово-світлові індикатори (формування гармонії світлотіньового розподілу та колористичних рішень через аналіз психо-емоційного сприйняття, візуального сприйняття форми, інформативно-комунікативного сприйняття).

##### 4.1. Правила забезпечення естетичної привабливості та сприйняття, ефективної взаємодії з оточуючим середовищем ( художньо-образні та кольорово-світлові індикатори)

Ключовий чинник	IF (УМОВА)	THEN (РЕКОМЕНДАЦІЯ / РІШЕННЯ)
Створення біокліматичного образу	Мета – підвищення енергоефективності ТА формування біокліматичного стилю	Природно-кліматичні параметри повинні стати основними у архітектурному формоутворенні, що відкриває шлях для індивідуальності архітектури, створеної за допомогою кліматичних та природних ефектів.
Гармонія з природою	Необхідне гармонійне злиття архітектури з природними компонентами	Слід обирати форми, масштаб, пластику, співзвучних природі.
Відтворення природних аналогів	Мета – створення архітектурного об'єму будівлі за допомогою імітації властивостей води (Прийом стилістичної відповідності)	Форма будівлі та застосовувані матеріали мають відображати прозорість, плавність, плинність, дзеркальність (наприклад, лаконічність форм, рясне скління, нейтральний фон).
Культурна відповідність	Мета – використання досвіду традиційної архітектури різних кліматичних зон	Слід аналізувати досвід традиційної архітектури для створення низькотехнологічних рішень.
Еколого-культурна відповідність	Необхідно створити гармонійне візуальне сприйняття архітектурно-	Слід включити у структуру об'єкта елементи еколого-культурного кодування

	ландшафтного середовища міста	для органічного включення будівлі в середовище.
Колористика та перегрів	Клімат -жаркий ТА мета – мінімізувати теплонадходження	Слід використовувати світлі кольори зовнішніх поверхонь огорожень.
Колористика та теплосвоєння	Клімат - холодний ТА мета – максимізувати теплосвоєння	Слід використовувати темні/матові кольори зовнішніх поверхонь для максимального поглинання сонячного випромінювання.
Оптимізація світлонадходжень	Мета - ефективно використовувати сонячну енергію та мінімізувати теплонадходження через вікна	Повинна бути математично оптимізована площа скління та орієнтація вікон І застосовані автоматизовані сонцезахисні пристрої або розумне скло, що змінює прозорість.
Забезпечення інсоляції	Проектується житловий будинок у помірному кліматі І необхідно забезпечити нормовану тривалість інсоляції	Слід уникати орієнтації житлових приміщень від північного заходу до північного сходу через дефіцит інсоляції.
Психо-емоційне сприйняття	Мета – створити емоційний фон, що впливає на психіку людини	Слід застосовувати теплі кольори (червоний, помаранчевий, жовтий) для збудження АБО холодні кольори (зелений, синій, фіолетовий) для заспокоєння.
Формування нічного образу	Необхідно створити індивідуальний художній образ об'єкта вночі	Застосовувати сценарне освітлення (наприклад, динамічне або лазерне), яке сприяє створенню театралізованої атмосфери.
Візуальна комунікація	Необхідно вирішити питання просторової орієнтації в архітектурно-ландшафтному середовищі	Розміщувати покажчики, вивіски, піктограми, що гармонійно пов'язані з природним середовищем за масштабом, пропорціями, ритмом і кольором.
Покращення естетичних характеристик	ЯКЦО – необхідно покращити естетичні характеристики міського середовища І раціонально використовувати міські землі	ТО – слід активно використовувати зелені насадження, озеленені дахи, елементи озеленення, ландшафтний дизайн об'єктів забудови, що створюють естетичну привабливість та комфорт
Покращення естетичних характеристик	ЯКЦО – необхідно посилити естетичну привабливість міської території	ТО – слід інтегрувати водні об'єкти (фонтани, струмки, басейни) у міське середовище
Оптимізація будівництва та типове проектування	ЯКЦО – метою є підвищення економічної ефективності будівельної справи та функціональна оптимізація проектних рішень	ТО – слід застосовувати типове проектування, уніфікацію та типізацію, оптимізувати функціональне використання конструкцій та приміщень, підвищити рівень вимог до несівної здатності конструкцій, благоустрою приміщень, якості та естетики оздоблення фасадів та приміщень
Естетика та оптимізація проектування у житловому будівництві	ЯКЦО – проектуються сучасні житлові будівлі з вимогою зовнішньої різноманітності при використанні індустріалізованих будівельних систем	ТО – слід використовувати типову архітектурно-конструктивну схему (наприклад, монолітні каркаси) з навісними фасадними системами та різноманітними оздоблювальними матеріалами та кольорами для досягнення індивідуально привабливого вигляду

4.2. Правила забезпечення функціональності та довговічності будівель (об'ємно-просторові, композиційні, структурні індикатори)

Ключовий чинник	IF (УМОВА)	THEN (РЕКОМЕНДАЦІЯ / РІШЕННЯ)
Урахування вимог до об'єкта дизайну	ЯКЩО – проектування об'єкта відбувається з урахуванням усіх комплексних вимог (функціональних, естетичних, технічних, експлуатаційних, архітектурних, економічних, біокліматичних, екологічних, спеціальних)	ТО – слід керуватися принципом доцільності, що підпорядковує та забезпечує раціональні, естетичні, безпечні й економічні рішення
Організація об'ємів і просторів	Мета – знайти найбільш доцільні АКТ-рішення, що відповідають призначенню та мають високі архітектурні якості	До основних завдань архітектурної композиції належать: організація об'ємів і просторів відповідно до функційного процесу; гармонійне об'єднання та підпорядкування об'єму і простору в цілісну систему.
Композиційне формування ландшафтних об'єктів	Необхідно створити комфортне середовище за функційними, екологічними й естетичними вимогами	В ландшафтній композиції слід враховувати геометричний вигляд форми, величину, масу, фактуру, колір, освітлення та розташування у просторі.
Метро-ритмічні закономірності	Мета – досягнення художньої виразності території ТА створення психологічного клімату в просторі	Слід застосовувати метр й ритм (закономірне чергування декоративних елементів) як найефективніші активні засоби.
Акценти та контрасти	Необхідно вирішити композиційні завдання при формуванні простору	Слід виявити центр композиції та ландшафтні акценти; використовувати контраст, нюанс й тотожність у відношеннях між елементами (розміри, форми, фактури, колір).
Масштаб і стиль	Необхідно забезпечити відповідність об'єкта оточенню	Композиція має враховувати архітектурний масштаб (відношення елементів до цілого і до людини) ТА визначити стиль планування (регулярний, ландшафтний, змішаний).
Організація об'ємів і просторів	Мета – знайти найбільш доцільні АКТ-рішення, що відповідають призначенню та мають високі архітектурні якості	До основних завдань архітектурної композиції належать: організація об'ємів і просторів відповідно до функційного процесу; гармонійне об'єднання та підпорядкування об'єму і простору в цілісну систему.
Композиційне формування ландшафтних об'єктів	Необхідно створити комфортне середовище за функційними, екологічними й естетичними вимогами	В ландшафтній композиції слід враховувати геометричний вигляд форми, величину, масу, фактуру, колір, освітлення та розташування у просторі.
Метро-ритмічні закономірності	Мета – досягнення художньої виразності території ТА створення психологічного клімату в просторі	Слід застосовувати метр й ритм (закономірне чергування декоративних елементів) як найефективніші активні засоби.

Акценти та контрасти	Необхідно вирішити композиційні завдання при формуванні простору	Слід виявити центр композиції та ландшафтні акценти; використовувати контраст, нюанс й тотожність у відношеннях між елементами (розміри, форми, фактури, колір).
Масштаб і стиль	Необхідно забезпечити відповідність об'єкта оточенню	Композиція має враховувати архітектурний масштаб (відношення елементів до цілого і до людини) ТА визначити стиль планування (регулярний, ландшафтний, змішаний).
Енергоефективність огорожень	Мета – мінімізація тепловтрат (холодний/помірний клімат) І системний принцип проектування	Слід забезпечити мінімізацію кількості теплових мостів, необхідну повітряну щільність конструкції, а також виконання умов щодо приведеного опору теплопередачі ( $R_{\Sigma pr} \geq R_{qmin}$ ).
Екологічність матеріалів	Ціль – підвищення екостійкості об'єкта АБО зменшення відходів та збереження природних ресурсів	Слід використовувати біоматеріали (деревина, солома), перероблені матеріали та активно застосовувати практики повторного використання.
Тепловий режим у жаркому кліматі	Проект у жаркому сухому кліматі ТА приміщення денного перебування	Використовувати масивні огорожувальні конструкції з високими теплозахисними якостями та мінімальною повітропроникністю.
Здатність до трансформації	Клімат = Теплий/Прохолодний І необхідна адаптація до зміни погоди протягом доби	Застосовувати можливість трансформації огорожень (наприклад, одинарні чи подвійні вікна, зовнішній сонцезахист).
Довговічність та захист фасаду	Необхідно забезпечити тривалу експлуатацію фасаду та захист від вітру та вологи	Слід використовувати вентилявані фасади АБО адаптивні фасадні системи (динамічні, з регулюванням сонячної радіації та природної вентиляції).
Захист від конденсату	Зовнішні стіни у зимовий період	Зовнішні стіни повинні мати достатній опір теплопередачі у зимовий період І не утворювати конденсату на внутрішній поверхні.
Оптимізація будівництва та типове проектування	ЯКЩО – метою є підвищення економічної ефективності будівельної справи та функціональна оптимізація проектних рішень	ТО – слід застосовувати типове проектування, уніфікацію та типізацію, оптимізувати функціональне використання конструкцій та приміщень, підвищити рівень вимог до несівної здатності конструкцій, благоустрою приміщень, якості та естетики оздоблення фасадів та приміщень
Естетика та оптимізація проектування у житловому будівництві	ЯКЩО – проектуються сучасні житлові будівлі з вимогою зовнішньої різноманітності при використанні індустріалізованих будівельних систем	ТО – слід використовувати типову архітектурно-конструктивну схему (наприклад, монолітні каркаси) з навісними фасадними системами та різноманітними оздоблювальними матеріалами та кольорами для досягнення індивідуально привабливого вигляду
Оптимізація процесу будівництва та типове проектування у	ЯКЩО – необхідно забезпечити оптимальне проектування промислових будівель І врахувати їхні особливості	ТО – слід поділяти їх за температурним режимом приміщень (неопалювані, опалювальні), за профілем покриття (ліхтарні, безліхтарні), за системою освітлення (природне, штучне, сполучене)

промислового будівництва		та за величиною прольотів (дрібно-, середньо-, великопрольотні).
Оптимізація процесу будівництва та типове проектування інженерних систем	ЯКЩО – необхідно забезпечити глибоку інтеграцію інженерних систем у будівельні конструкції,	ТО – слід застосовувати модульну координацію, що охоплює не лише геометричні, а й вантажні та силові характеристики, як-от навантаження на перекриття або несівна здатність колон, для підвищення гнучкості та ефективності.
Прийоми раціонального використання будівельних ресурсів	ЯКЩО необхідно вибрати тип фундаменту і відомі клас капітальності будівлі, величина навантажень, несівна здатність основ (грунтів) та конструктивні особливості підземної частини (наприклад, наявність підвалу),	ТО для стінових будівель застосовувати стрічкові фундаменти, для каркасних – стовпчасті, для багатоповерхових та висотних невеликої площі – плитні, а пальові – при недостатній несівній здатності основ.
Враховання кліматичних особливостей ділянки	ЯКЩО – проєкт має кліматичні особливості (наприклад, розташований на південному схилі і необхідно врахувати його кліматичні особливості	ТО – слід проектувати з урахуванням найвищої денної температури, більшого надходження тепла (на 4-6% за вегетаційний період), нижчої вологості повітря та інтенсивного танення снігового покриву.
Орієнтація будівлі	ЯКЩО – проєкт знаходиться в помірному кліматі (переважна частина Китаю) і мета – гігієнічний комфорт мікроклімату протягом усіх сезонів,	ТО – орієнтувати поздовжню вісь будівлі з північного сходу на південний захід, планувати квартири з наскрізним провітрюванням, передбачити балкони чи лоджії
Планувальні рішення	ЯКЩО необхідно забезпечити тепловий комфорт у жаркому кліматі	ТО використовуйте широкі корпуси з приміщеннями, витягнутими поперек корпусу.
Ефективне використання простору	ЯКЩО – проектується багатоповерховий житловий будинок і необхідно забезпечити гнучкість планування та ефективність використання простору	ТО – слід використовувати розширений корпус будівлі та передбачати вбудовані сходи без природного освітлення або з верхнім світлом.
Нормативні значення комфортних умов	ЯКЩО – необхідно забезпечити оптимальний мікроклімат у житлових приміщеннях	ТО – слід розробити природну систему вентиляції та освітлення та використовувати натуральні, екологічні та енергоефективні біокліматичні матеріали: прагнути дотримання нормативних значень температури повітря (18-22°C), відносної вологості (50-60%), швидкості руху повітря (0.1-0.15 м/с), мінімальної тривалості інсоляції (2,5 ± 0,5 год.) та коефіцієнта природної освітленості (0,5%).
Оптимізоване планувальне рішення	ЯКЩО – мета - оптимізувати планувальне рішення квартир у багатоквартирних будинках і забезпечити	ТО – повинні бути сплановані квартири з наскрізним або кутовим провітрюванням і передбачені балкони, лоджії або приставні тераси значної площі, а також забезпечена необхідна інсоляція житлових приміщень

	якісне провітрювання та інсоляцію,	раціональною орієнтацією по сторонах об'єкту (не менше 2 годин безперервної інсоляції, або 2,5 годин переривчастої).
Способи забезпечити тепловий комфорт	ЯКЩО – потрібно зменшити потребу в механічному охолодженні і підвищити тепловий комфорт у будівлі,	ТО – слід комбінувати ефективне затінення, належну ізоляцію та оптимальний вибір вікон для зменшення теплового навантаження.
Естетика та економіка пере планування	ЯКЩО – проектується багатоквартирна будівля з потребою в естетиці і функціональності внутрішнього простору з можливістю пере планування	ТО – застосовувати розсувні, збірно-розбірні або складальні перегородки, а також перегородки-шафи, що дозволяють адаптувати планування без капітальних витрат ( з дрібноштучних елементів (цегла, гіпсові плити, керамічні блоки), які підлягають штукатуренню або облицюванню, а також перегородки.
Естетика та економіка пере планування	ЯКЩО – проектуються перегородки в будівлях різного функціонального призначення і необхідно забезпечити естетичні вимоги	ТО – поверхні перегородок мають бути гладкими, вологостійкими, легко очищуватися, без тріщин, причому вимоги до їх рівня можуть відрізнятися для різних приміщень (кімнат, кухонь, санвузлів).
Економія матеріалів	ЯКЩО – проектуються перекриття у масовому будівництві житлових та громадських будівель і необхідно оптимізувати вагу, несівну здатність та економію матеріалів	ТО – слід застосовувати типові великорозмірні плити перекриттів зі збірного залізобетону, виконуючи їх порожнинними чи ребристими для полегшення ваги та збільшення товщини, або плити суцільного перетину розмірами «на кімнату».
Довговічність конструкцій	ЯКЩО проектується промислова будівля і потрібна висока міцність та довговічність конструкцій,	ТО для каркасів слід застосовувати збірний залізобетон або сталь, обираючи між рамною, рамно-зв'язковою та зв'язковою схемами, причому зв'язкова схема є найбільш доцільною для типізації та уніфікації.
Шумоізоляція	ЯКЩО – до громадських будівель (наприклад, концертних, глядацьких залів, театрів) висуваються високі вимоги до звукоізоляції та акустики	ТО – необхідно забезпечити ретельну ізоляцію від зовнішніх шумів та провести розрахунки для досягнення нормативних акустичних властивостей, включаючи стандартну величину реверберації звуку.
Стійкість фундаменту на ґрунтах	ЯКЩО – проектується будівля на ґрунтах, що зриваються при промерзанні, і необхідно забезпечити стійкість фундаменту	ТО – глибину закладення фундаментів слід приймати не менше глибини їх сезонного промерзання; при опалювальних підвалах глибина закладення може бути зменшена.
Ефективний дах	ЯКЩО необхідно створити безгорищний дах або суміщене покриття і забезпечити його надійність та функціональність	ТО слід передбачити обов'язкові шари: несівні конструкції, пароізоляційний, теплоізоляційний, елементи вентиляції для осушення (повітряні прошарки, компенсатори, продухи, вентиляційні канали, витяжки), покрівельний та захисний, а також додаткові шари для утворення ухилу, вирівнювання або розділення, використовувати

		багат шарові водоізоляційні килими, надавати схилам ухил 5-10% (3-5.5°), та застосовувати неексплуатовані та експлуатовані покриття, які можуть бути вентилятованими у вологих кліматичних зонах.
--	--	---

#### 4.3. Правила, пов'язані з функціональним освітленням та природною інсоляцією

Правильна орієнтація та контроль сонячної радіації є ключовими пасивними стратегіями, які зменшують потребу в механічному охолодженні та опаленні, забезпечують комфортне природне освітлення без додаткових витрат ресурсів

Ключовий чинник	IF (УМОВА)	THEN (РЕКОМЕНДАЦІЯ / РІШЕННЯ)
Оптимізоване планувальне рішення	ЯКЩО – мета - оптимізувати планувальне рішення квартир у багатоквартирних будинках і забезпечити якісну інсоляцію, максимізувати вигоду сонячного світла як джерела світла та тепла взимку і мінімізувати його надходження влітку (для помірному клімату)	ТО – повинна бути необхідна інсоляція житлових приміщень раціональною орієнтацією по сторонах обр'ю (наприклад, уздовж осі схід-захід $\pm 30^\circ$ ), обрано та розраховано скління для певного клімату і передбачено розміри звисів на південному фасаді для літнього затінення та зимового сонячного надходження).
Розрахунок інсоляції приміщень	ЯКЩО необхідно забезпечити нормативну тривалість інсоляції приміщень (житлові, освітні заклади у помірному поясі)	ТО безперервна інсоляція має становити не менше 2,5 годин на добу в період з 22 березня по 22 вересня.
Орієнтація житлових приміщень	ЯКЩО проектується житловий будинок у помірному кліматі і необхідно забезпечити нормовану тривалість інсоляції та природного освітлення.	ТО слід уникати орієнтації житлових приміщень від північного заходу до північного сходу через дефіцит інсоляції
Орієнтація житлових приміщень	ЯКЩО – проектується житловий об'єкт і необхідно забезпечити оптимальний комфорт та інсоляцію для різних функціональних зон,	ТО – слід орієнтувати спальні та дитячі кімнати на південь, південний схід або схід, а загальні кімнати, їдальні, гостьові та кабінети – на південь, південний схід, схід або південний захід.
Розрахунок віконних прорізів	ЯКЩО – необхідно оптимізувати природне освітлення та енергоефективність вікон	ТО – розмір вікон слід встановлювати залежно від необхідної освітленості приміщень, приймаючи площу вікна 1/6–1/8 площі підлоги для III поясу світлового клімату та 1/10 для IV поясу, щоб уникнути недостатньої освітленості або надмірного охолодження/нагрівання
Зменшення надходження сонячної радіації	ЯКЩО клімат жаркий (вологий або сухий)	ТО слід зменшити надходження сонячної радіації, використовуючи світлі кольори зовнішніх поверхонь

Сонцезахист	ЯКЩО орієнтація вікон південь, південний захід/схід (у теплого кліматі)	ТО обов'язково передбачити зовнішні сонцезахисні пристрої (навіси, жалюзі, балкони), зменшити площу віконних прорізів (особливо на південній, південно-західній та західній сторонах) для запобігання перегріву влітку, оскільки це несприятливий сектор.
Використання неосвітлених зон	ЯКЩО – проектується багатопверховий житловий будинок І необхідно забезпечити компактність за умов низької освітленості	ТО – слід передбачити вбудовані сходи без природного освітлення або з верхнім природним світлом (через ліхтар у даху), а також кухні, що освітлюються другим світлом.
Освітлення підвальних приміщень	ЯКЩО – потрібно створити комфортний мікроклімат у підвальних приміщеннях І забезпечити їх природним освітленням	ТО – слід передбачити вікна у зовнішніх стінах з прямиками, які виготовляють з цегли чи залізобетону, мають підлогу з ухилом назовні та накриваються металевими ґратами або світлопрозорим покриттям.
Освітлення велико прольотних приміщень	ЯКЩО – проектуються великопрольотні зали (глядацькі, спортивні, виставкові, торговельні) з великими площами (1000—10000 м <sup>2</sup> ) та висотами (6—9 м і більше) І необхідно забезпечити природне освітлення	ТО – слід передбачити бічне природне освітлення через вікна та верхнє освітлення через ліхтарі

#### 4.4. Правила функціонального вітрозахисту та аерації будівель

Ефективне управління вітровим режимом (аерація) важливе як для охолодження приміщень у теплий період, так і для захисту від переохолодження в холодний.

Ключовий фактор	IF (УМОВА)	THEN (РЕКОМЕНДАЦІЯ / РІШЕННЯ)
Оптимізація архітектурної форми	ЯКЩО – метою проектування є оптимізація форми будівлі з урахуванням вітру І мінімізація площі зовнішніх огорожувальних конструкцій	ТО – слід розглядати круглу форму будівлі в плані, яка є сприятливою з точки зору впливу вітрових потоків.
Організація забудови	ЯКЩО клімат - холодний ТА мета - вітрозахист забудови	ТО -рішення - вітрозахисні будівлі чи зелені насадження з навітряного боку
Організація забудови	ЯКЩО клімат холодний/прохолодний ТА панують сильні вітри	ТО застосовуйте вітрозахисні планувальні схеми (напівзамкнуті чи замкнуті), розміщуйте протяжні будівлі перпендикулярно до напрямку вітру.
Організація забудови	ЯКЩО клімат жаркий вологий (духота)	ТО планувальне рішення повинно бути максимально відкритим (розкритим) для забезпечення аерації території (шахове розташування, будинки на опорах, відкриті галереї).

Об'ємно-планувальні рішення	ЯКЩО клімат - жаркий вологий ТА мета - максимальна аерація	ТО - будівля - розкрита композиція, вузькі корпуси ТА вентиляція - забезпечити наскрізне провітрювання
Вертикальна аерація	ЯКЩО будівля - багатоповерхова ТА мета - ефективне провітрювання	ТО рішення - повітряні канали по висоті будівлі; незабудовані поверхи або наскрізні простори
Тепловий острів	ЯКЩО необхідно знизити ефект теплового острова	ТО застосуйте зелені насадження (парки, зелені дахи, зелені стіни) та водні пристрої (фонтани, басейни).
Вентильований фасад	ЯКЩО огорожувальна конструкція є вентильованим фасадом	ТО повинен бути забезпечений вільний рух повітря у прошарку для видалення вологи, запобігання конденсату та збереження теплоізоляційних властивостей.
Обмеження для вентильованих фасадів	ЯКЩО – проєкт знаходиться в регіонах із сильними вітрами або екстремальними морозами (обмеження для вентильованих фасадів)	ТО – слід з особливою увагою підходити до монтажу вентильованих фасадів, щоб уникнути відшарування панелей або деформації матеріалів, та забезпечити їх регулярне обслуговування.
Верхнє освітлення та аерація	ЯКЩО – проєктуються промислові будівлі І необхідно забезпечити верхнє освітлення та аерацію,	ТО – слід застосовувати світлоаераційні ліхтарі зі стулками, що відкриваються, розташовуючи їх, як правило, уздовж будівлі, та обирати тип ліхтаря (світловий, аераційний або світлоаераційний) залежно від вимог до виробничого середовища.

4.5. Правила спрямовані на нейтралізацію негативного впливу холоду, перегріву, опадів, вологи, шуму, забруднення.

Захист від несприятливих чинників важливий для довговічності конструкцій та запобігання пошкодженням елементів будівель та створення комфортного середовища.

Ключовий фактор	IF (УМОВА)	THEN (РЕКОМЕНДАЦІЯ / РІШЕННЯ)
Біокліматичне моделювання	ЯКЩО – проєктується об'єкт у зоні можливого забруднення повітря (особливо промислові об'єкти або поблизу джерел викидів) І необхідно забезпечити екологічну безпеку та комфорт	ТО – слід аналізувати потенціал забруднення атмосфери (ПЗА), враховуючи метеорологічні фактори (температуру, вологість, вітер, опади, хмарність, поле тиску), та визначити необхідну ширину санітарно-захисної зони (СЗЗ).
Захист від вітру та тепловтрат	ЯКЩО клімат - холодний/прохолодний) ТА умова - сильні вітри; повторюваність > 20%)	ТО форма - максимально компактна ТА розташування - поперек переважаючих вітрів) ТА фасад - зменшення площі вікон

Захист від вітру і холоду	ЯКЩО клімат - суворий ТА режим- ізолюваний	ТО - вхід - подвійний тамбур; у житлових будинках вхід повинен бути заглиблений у корпус або мати козирок ТА стіни/скло - дуже висока повітронепроникність; кратне (х3, х4, та більше) скління
Буферні приміщення	ЯКЩО – проектується малоповерховий житловий будинок І необхідно створити додатковий буферний простір, що не опалюється	ТО – слід прибудовувати або вбудовувати веранду – засклене неопалювальне приміщення, що може слугувати для регулювання теплообміну та для відпочинку
Вхідний вузол будівлі	ЯКЩО – проектується вхідний вузол будівлі І необхідно забезпечити безперешкодний рух людей та протипожежні вимоги,	ТО – слід розрахувати пропускну здатність вхідного вузла за найбільш інтенсивним навантаженням та забезпечити достатню кількість вхідних дверей для евакуації в нормативний час
Максимальний захист від несприятливих кліматичних чинників	ЯКЩО – проєкт знаходиться в холодному або суворому кліматі І мета – максимальний захист від вітру, холоду та снігу,	ТО – застосувати ізолюваний режим експлуатації, використовувати компактну та підвищену щільність забудови, з'єднувати будинки теплими переходами та піднімати будинки на палях над поверхнею землі для запобігання прогріву ґрунту.
Природне освітлення в холодному кліматі	ЯКЩО – необхідно забезпечити якісне природне освітлення І рівномірне освітлення великих приміщень ( у помірному та суворому кліматі)	ТО – використовувати ізолювані вакуумовані світлові ліхтарі або атріуми, що дозволяють світлу проникати глибоко в будівлю
Зблоковані будинки для холодного клімату	ЯКЩО – проектується житловий будинок у холодному кліматі, І необхідно забезпечити максимальний захист від холоду та вітру,	ТО – слід використовувати компактні блоковані двоповерхові будинки з орієнтацією житлових приміщень на сонячні боки горизонту, передбачити тамбур та місце для зберігання одягу, мінімальну площу вікон з кватирками/фрамугами/клапанамми, опалення середньої потужності та озеленення ділянки вічнозеленими деревами з навітряного боку.
Захист від дощу та вологи/підтоплення	ЯКЩО клімат - жаркий вологий ТА умова - рясні опади/зливи)	ТО - дах - скатний з достатнім нахилом та великими виступаючими звисами ТА фундамент/1-й поверх - підйом будинку на стовпчастих опорах над землею)
"Прохолодні дахи»	ЯКЩО – проєкт знаходиться в теплому кліматі І необхідно зменшити теплонадходження через дах та знизити витрати на охолодження,	ТО – слід застосовувати "прохолодні дахи", що відбивають сонячне світло та поглинають менше тепла, виготовлені з білих або світлих покрівельних матеріалів з високим коефіцієнтом відбиття сонця. Шар ґрунту «зелених дахів» на дахах знижує температуру
Сади на дахах	ЯКЩО умова - відкритий простір на даху ТА умова - сильні	ТО рішення - високі парапети, надійні огороження, установлення сонячних тентів або вітрозахисних стінок

	вітрові навантаження / висока інсоляція)	
Вологісний режим	ЯКЩО клімат - вологий ТА мета - довговічність конструкцій	ТО матеріали - використовувати біостійкі та корозійностійкі матеріали ТА захист - забезпечити гідроізоляцію фундаментів, стін, дахів ТА біологічні та природні методи осушення
Захист від ґрунтових вод	ЯКЩО конструкція - стіни/фундамент ТА проблема - капілярний підйом вологи/зволоження)	ТО - рішення - влаштування гідроізоляції (наприклад, з двох шарів руберойду) між фундаментом і стінами ТА висадка рослин, що поглинають вологу
Управління водними ресурсами	ЯКЩО територія - урбанізована ТА мета - контроль зливових стоків	ТО - благоустрій - впровадження дощових садків ТА проникних покриттів для мінімізації стоку
Захист від дощу	ЯКЩО елемент - дах ТА мета - захист від атмосферних опадів	ТО рішення - виконати дах зі схилами (похилими площинами) з водонепроникною оболонкою (покрівлею) ТА водовідвід - зовнішній організований або внутрішній ТА «Зелений дах»
Контроль вологості та довговічність	ЯКЩО огорожувальна конструкція - зовнішня стіна ТА проблема - накопичення вологи/конденсат) І необхідно забезпечити довговічність фасаду та ефективний захист від вологи	ТО - конструкція - вентиляований фасад з гідроізоляційними мембранами з повітряним прошарком ТА вимога - забезпечити вільний та безперервний рух повітря у прошарку для видалення водяної пари
Буферні зони	ЯКЩО – необхідно захистити житлові зони від зовнішніх температурних коливань І регулювати мікроклімат у приміщеннях,	ТО – слід розташовувати допоміжні приміщення (наприклад, комори, санвузли) з північного боку будівлі як буферні зони.
Геопластика рельєфу	ЯКЩО – необхідно захистити територію забудови від несприятливих природних явищ (вітру, шуму, пилу)	ТО – слід використовувати геопластику рельєфу (відкоси, підпірні стінки, земляні насипи, вали) та озеленення.
Природні фільтри	ЯКЩО – необхідно захистити будівлю від забруднення повітря та шуму І підтримувати здорове внутрішнє середовище	ТО – слід використовувати зелені дахи та вертикальні сади, які фільтрують забруднювачі повітря, забезпечують ізоляцію та зменшують ефект міського теплового острова.

Огороджувальні поглинаючі конструкції	ЯКЩО – потрібно забезпечити високу звукоізоляцію приміщень від зовнішнього шуму та оптимальну акустику всередині	ТО – повинні бути застосовані огороджувальні конструкції з необхідним ступенем звукоізоляції (міжповерхові перекриття, перегородки) І передбачено розташування джерел шуму (інженерного обладнання) віддалено від приміщень, що ізолюються, із застосуванням звукоізоляційних шлюзів та зелених насаджень
Самоочисні покриття	ЯКЩО – будівля розташована в міському середовищі з високою забрудненістю І необхідно забезпечити довговічність та легкість догляду за фасадом,	ТО – слід використовувати антиграфіті покриття або самоочисні панелі для облицювання фасаду.
"Ефект рогів"	ЯКЩО – необхідно зменшити несприятливий вплив вітру на будівлю вітру від аеродинамічного "ефекту рогів" навколо кутів будівлі та пішохідні зони І покращити аераційний режим території	ТО – слід застосовувати пом'якшені кути або конічні форми будівлі, змінний поперечний переріз, отвори або пористість, що перетинають будівлю у напрямку вітру, модифікувати кути будівлі або впровадити елементи, що згладжують потік повітря, для зниження зон підвищеного тиску з навітряного боку, екрани для захисту пішоходів на рівні вулиці, а також використовувати дерева та живоплоти для зламу вітрових патернів.
Капілярний підйом вологи	ЯКЩО – необхідно забезпечити довговічність фундаментів та стін у зв'язку з впливом ґрунтових	ТО – слід влаштовувати гідроізоляцію між фундаментами і стінами (наприклад, з двох шарів руберойду) для запобігання капілярному підйому вологи та її руйнівному циклічному промерзанню та відтаванню.
Максимальне провітрювання та захист від перегріву	ЯКЩО – проєкт знаходиться в жаркому вологому кліматі (наприклад, Південно-Східне узбережжя Китаю) І мета – максимальне провітрювання та захист від перегріву	ТО – використовувати каркасний остов з легкими та трансформованими зовнішніми стінами (наприклад, розсувними або поворотними панелями), широкі навіси по периметру, вентильований дах світлого кольору та підняту над землею підлогу.

#### 4.6. Правила функціональної вентиляції та забезпечення мікроклімату приміщень

Вентиляція забезпечує комфортний мікроклімат та якість повітря.

Ключовий фактор	IF (УМОВА)	THEN (РЕКОМЕНДАЦІЯ / РІШЕННЯ)
Наскрізна вентиляція	ЯКЩО клімат - жаркий вологий ТА мета - максимальна вентиляція	ТО - вентиляція має забезпечити наскрізне провітрювання
Внутрішнє провітрювання	ЯКЩО внутрішній простір - коридорний тип ТА клімат - жаркий вологий	ТО рішення - влаштування жалюзійних решіток над внутрішніми дверима, що виходять у коридор ТА вентиляційні канали, що працюють на ефекті «стека»

Багатоповерхова житлова будівля	ЯКЩО проектується багатоповерхова житлова будівля	ТО слід забезпечити наскрізне або кутове провітрювання квартир (особливо у III та IV кліматичних районах).
Припливні клапани	ЯКЩО – необхідно забезпечити ефективну природну вентиляцію у приміщенні I зменшити тепловтрати від провітрювання, повітря, що працюють навіть при зачинених вікнах	ТО – слід використовувати припливні клапани (стінові або віконні) для надходження свіжого повітря
Система витяжної вентиляції	ЯКЩО – проектується система витяжної вентиляції в житлових будівлях	ТО – слід обов'язково обладнувати кухні, туалети, ванні (душові) чи об'єднані санвузли для видалення забрудненого повітря безпосередньо з цих приміщень, а в багатокімнатних квартирах передбачати додаткові роздільні вентиляційні канали з житлових приміщень.

## 5. Правила, пов'язані з впровадженням інновацій (K5)

### 5.1. Інтеграція сучасних технологій для забезпечення зниження витрат, стійкості та довговічності проекту

Ключовий фактор	IF (УМОВА)	THEN (РЕКОМЕНДАЦІЯ / РІШЕННЯ)
Технології кліматичного аналізу	ЯКЩО – необхідно точно оцінити кліматичні впливи (мікроклімат) та навантаження на ділянці будівництва I доступні метеорологічні дані за багаторічний період,	ТО – слід використовувати детермінований підхід, що базується на реальних щогодинних/нагальних показниках, або ймовірнісний підхід, розглядаючи зміну показників як випадковий процес, та будувати одновимірні/двовимірні функції розподілу (наприклад, температура-швидкість вітру, температура-сонячна радіація).
Біокліматичне моделювання	ЯКЩО проводиться біокліматичний аналіз на етапі проектування	ТО використовувати комп'ютерні програми моделювання інсоляційного режиму (наприклад, RHPP) або гібридні ЕС з інтелектуальним механізмом виведення рішень (LLM + RAG) для багатопараметричного аналізу та генерації рішень.
Інноваційні проектні рішення	ЯКЩО – необхідно покращити екологічні та естетичні характеристики міського середовища I раціонально використовувати міські землі	ТО – слід активно використовувати експлуатовані дахи для зон відпочинку, літніх кафе, дитячих майданчиків I застосовувати озеленені дахи, що зменшують зливовий потік, знижують температуру повітря та стають житлом для дикої природи.
Розвиток електро транспорту	ЯКЩО – потрібно зменшити залежність від приватних авто та зробити міську інфраструктуру більш екологічною	ТО – оновлювати електротранспорт міста та інтегрувати електротранспорт у загальну систему мобільності.

Технології ощадливого використання ресурсів	ЯКЩО – необхідно зменшити споживання води в ландшафті I збільшити біорізноманіття, підвищити екологічну стійкість ділянки	ТО – слід застосовувати методи автоматизованого крапельного зрошення та збирання дощової води
Смарт технології	ЯКЩО проект має високі вимоги до енергоефективності та адаптивності	ТО слід застосовувати адаптивні фасадні системи (динамічні, з регулюванням надходження сонячної радіації та природної вентиляції) або «розумне скло».
Смарт технології	ЯКЩО – прагнете оптимізувати споживання енергії та підвищити ефективність будівель	ТО – інтегрувати розумні системи управління будівлями, датчики та інші інтелектуальні технології, що забезпечують більш точний контроль температури та якості повітря в приміщеннях
Інноваційні проєктні рішення	ЯКЩО – є потреба у інноваціях та стійкому будівництві	ТО – інтегрувати зелені дахи та вертикальні сади для покращення комфорту, ізоляції від несприятливих чинників, фільтрації повітря та зменшення ефекту міського теплового острова.
Інноваційні матеріали	ЯКЩО – необхідно зменшити загальне споживання енергії та просувати стійке життя в будівлі	ТО – слід надавати перевагу інноваційним будівельним матеріалам, які покращують теплоізоляцію та сприяють природній вентиляції, а також високоефективним А+ системам опалення та охолодження.
Оптимізація та автоматизація процесів будівництва та експлуатації	ЯКЩО – мета - ефективно використовувати сонячну енергію та мінімізувати теплонадходження через вікна	ТО – повинна бути математично оптимізована площа скління та орієнтація вікон I застосовані автоматизовані сонцезахисні пристрої або розумне скло, що змінює прозорість.
Рециклінг матеріалів	ЯКЩО – мета - екологічно безпечна будівля та стійкий розвиток,.	ТО – необхідно зменшити відходи та зберегти ресурси шляхом рециклінгу (повторного використання матеріалів), впроваджувати технології будівництва з низьким вмістом вуглецю
Інноваційні вентилявані фасади	ЯКЩО – необхідно забезпечити тривалу експлуатацію фасаду та захист від вітру та вологи,	ТО – слід використовувати вентилявані фасади як сучасне рішення, яке адаптується до різних кліматичних умов та покращує енергоефективність будівель.
Інноваційні покриття	ЯКЩО – будівля розташована в міському середовищі з високою забрудненістю I необхідно забезпечити довговічність та легкість догляду за фасадом,	ТО – слід використовувати антиграфіті покриття або самоочисні панелі для облицювання фасаду.

Рис. 4.3.11. База правил біокліматичного моделювання.

Таб.4.4.1.

**Зведена таблиця порівняльних характеристик систем підтримки прийняття рішень для біокліматичного моделювання**

<b>Критерій порівняння</b>	<b>Експертна система біокліматичного моделювання (ЕС БкМ)</b>	<b>Локальна ШІ-система (проєкт BMDSSKB, NotebookLM)</b>	<b>LLM, VLM (Gemini, Perplexity)</b>
<b>Характеристика біокліматичних даних</b>	Структуровані дані. Інформація повинна бути попередньо підготовлена експертом та оброблена оператором. Завантажується оператором. Обсяг даних обмежений можливостями ручної обробки	Необроблені та неструктуровані дані. Завантажуються дизайнером. Обсяг даних обмежений обсягом завантажених джерел (до 500 тис. слів).	Необроблені та неструктуровані дані. Не потребують завантаження (автоматизоване навчання та адаптація), крім бази даних та налаштувань RAG, які встановлюються дизайнером. Обсяг даних необмежений.
<b>Доступ до зовнішніх змінюваних даних</b>	Відсутній. Працює лише з попередньо внесеною базою знань.	Відсутній. Обробляє лише завантажені користувачем файли.	Необмежений доступ до динамічно змінюваної інформації. Забезпечується через пошукові системи(API)
<b>Спосіб представлення знань (даних та правил)</b>	Явні (завчасно задаються експертом), жорсткі правила та факти ("ЯКЩО-ТО").	Явні (джерела завантажуються дизайнером). Статистичні закономірності на основі завантажених джерел.	Прихований (задано розробниками). Статистичні закономірності та вбудовування. Навчені на колосальних обсягах даних.
<b>Здатність обробляти великі обсяги даних</b>	Обмежена, дані мають бути попередньо структуровані.	Обмежена обсягом завантажених джерел (до 500 тис. слів).	Необмежена, ефективно обробляють неструктуровані/ необроблені/змішані дані.
<b>Робота з нечіткими, неповними даними</b>	Вкрай ускладнена, вимагає трудомісткої розробки складних алгоритмів.	Обробка залежить від якості завантажених джерел та їх повноти.	Вбудована в архітектуру, ефективна обробка нечітких даних.
<b>Синтез неструктурованих даних</b>	Працює зі структурованими даними.	Обробляє текстові дані та посилання, перетворюючи їх у внутрішню базу знань.	Відмінно обробляє будь-які дані (текст, код, зображення).
<b>Механізм виведення</b>	Жорстко заданий алгоритмами вирішувач. Фіксовані	Синтез, резюмування, відповіді на запити	Гнучкий вирішувач для складних комплексних завдань. Розпізнавання

Критерій порівняння	Експертна система біокліматичного моделювання (ЕС БкМ)	Локальна ШІ-система (проект BMDSSKB, NotebookLM)	LLM, VLM (Gemini, Perplexity)
біокліматичних рішень	правила. Дедукція на основі правил (пряме/зворотне логічне виведення). Обхід дерева рішень.	на основі наданих джерел.	закономірностей, прогнозування, генерація.
Прозорість / Інтерпретованість біокліматичних рішень	Висока ("біла скринька"), логіка зрозуміла на основі правил.	Середня. Логіка генерації непрозора, але джерела виводу цитуються.	Низька ("чорна скринька"), логіка є статистичним висновком, але рішення пояснюються
Генерація нових біокліматичних рішень / креативність	Відсутня. Рішення обмежені набором заданих оператором правил.	Обмежена. Може комбінувати ідеї з наданих джерел, але не генерує абсолютно нові.	Висока. Здатні генерувати непередбачувані, новаторські та оптимізовані рішення.
Адаптивність	Обмежена. Вимагає ручного перепрограмування правил.	Низька. Адаптація залежить від ручного оновлення завантажених джерел.	Висока, автоматизовано адаптуються до нових даних шляхом навчання та оновлення.
Взаємодія з дизайнером	Шаблонна, мінімізована заданими алгоритмами	Інтерактивна, обмежена змістом джерел	Інтерактивна, з постановкою необмеженої кількості уточнюючих запитань,
Вартість розробки та впровадження	Висока за індивід.розробки (CAPEX): вартість від 10 тис. до 500 тис. , вимагає залучення команд розробників програмного забезпечення. Середня: за використання готових оболонок. Вимагає значного експертного часу (від 500 людино/годин).	Низька та проста (при використанні готового сервісу NotebookLM).	Низька (OPEX) за використання готових API. Відносно проста, але з великою функціональною перевагою, не потребує залучення спеціалістів з програмування. Розробка власної ВММ – дуже висока.
Швидкість розробки	Повільна (місяці-роки).	Миттєва (завантаження документів).	Швидка (дні-тижні).
Ризик помилок, "галюцинацій". Надання неточної,	Низький (крім помилок експертної оцінки). Логіка детермінована та верифікована експертами. Ризик	Низький (за умови верифікованих джерел), оскільки дані обмежені завантаженими	Високий (без «заземлення» RAG). Низький (при використанні

Критерій порівняння	Експертна система біокліматичного моделювання (ЕС БкМ)	Локальна ШІ-система (проект BMDSSKB, NotebookLM)	LLM, VLM (Gemini, Perplexity)
застарілої інформації	надання застарілої інформації - високий (при неоновленні бази знань)	джерелами. Ризик надання застарілої інформації - високий (при неоновленні бази знань)	верифікованої бази знань і RAG). Ризик надання застарілої інформації – низький (за рахунок оновлення бази знань в режимі реального часу)
Захист даних та конфіденційність	Високий для локально розгорнутих систем.	Високий, дані залишаються в закритому середовищі користувача.	Низький. Залежить від політики провайдера, є ризик передачі даних.
Висновки	Підходять для детермінованих, чітко визначених завдань, де всі вхідні (первинна інформація) та вихідні дані (б/к рішення) є структурованими та відомими і вводяться до системи вручну. Непрактичні для динамічного та багатофакторного моделювання.	Інструмент для синтезу інформації та виявлення зв'язків у джерелах про біокліматичний дизайн. Допоміжний інструмент для завдань біокліматичного моделювання (створення бази знань). Може обмежено використовуватись як система підтримки рішень за наявності у розпорядженні дизайнера спеціалізованих джерел за галуззю дизайна	Гнучкі, здатні виявляти складні закономірності та зв'язки, ефективно обробляти неструктуровані, нечіткі дані, які неможливо закодувати в правилах, що важливо для кліматичних і дизайнерських досліджень. Не потребують ручного уведення джерел - можуть працювати з власних баз даних. Оптимально використовувати з гібридними механізмами - RAG та спеціалізованими базами знань.

Рис. 4.4.1. Зведена таблиця порівняльних характеристик систем підтримки прийняття рішень для біокліматичного моделювання

**Алгоритм виведення біокліматичного рішення  
для дизайну одягу (розроблено автором)**

**Фаза 1. Визначення об'єкта дизайну та кліматичних умов**

Крок	Дія	Результат
1 крок	<b>Визначення умов макроклімату.</b> Обираються макрокліматичні зони (наприклад, помірний кліматичний пояс, субтропічний пояс).	Визначена макрокліматична зона.
2 крок	<b>Визначення умов мезоклімату.</b> Обирається змінний параметр мезоклімату (наприклад, демісезонний період помірного поясу, холодний період помірного поясу, спекотний період субтропічного клімату, гірський мезорегіон, прибережний мезорегіон, кліматична зона тощо).	Визначений змінний параметр мезоклімату.
3 крок	<b>Визначення об'єкта та предмета дизайну.</b> Обирається об'єкт дизайну (наприклад, куртка, брюки/штани, светр, жакет, головний убір/шапка/кепка) та надається опис предмету дизайну.	Сформований опис предмету дизайну.
3.1 крок (уточнення)	<b>Опитування користувача</b> щодо детального опису предмету дизайну (при необхідності). Наприклад, щодо куртки-вітровки задати питання про наявність підкладки, капюшону чи застібок на манжетах.	Більш точна характеристика предмета для оцінки.

**Фаза 2. Експертне оцінювання**

**4 крок.** На цьому етапі проводиться експертне оцінювання, під час якого об'єкту дизайну надаються оцінки (в балах від 0 до 1) за визначеними критеріями з урахуванням індикаторів для кожного критерію. Сума індикаторів визначає характеристику критерію. Елементи оцінки - критерії (К) та індикатори (І) оцінки (оцінка критерію: від 0 до 1)

**К1: Адаптація до клімату.** Критерій є основою для розробки рішень дизайну, що гармонійно взаємодіють із природою. Біокліматичне моделювання дизайну одягу ґрунтується на аналізі індикаторів впливу кліматичних параметрів на макро-, мезо-, мікрорівні та динамічних процесів.

Індикатор (І)	Опис та приклади	Вага в критерії
I.1.1.	Індикатори, пов'язані з макрокліматом.	25 %

I.1.2.	Індикатори пов'язані з <b>мезокліматом</b> (наприклад, тепловий острів, гірський регіон, морське узбережжя тощо).	25 %
I.1.3	Індикатори пов'язані з <b>мікрокліматом</b> . <i>Наприклад, для одягу: температура тіла (тепловий комфорт, швидкість випаровування поту); вологовідведення (швидкість висихання тканини); вітровий режим (вентиляція, повітропроникність).</i>	25 %
I.1.4	Індикатори, що характеризують <b>динамічні процеси</b> (наприклад, змінні погодні умови). <i>Наприклад, для одягу: адаптаційна здатність (можливість змінювати характеристики одягу, наприклад, відстібати рукави чи змінювати шарівність у ході використання).</i>	25 %

**К2: Екологічність та екостійкість** Оцінка відповідності дизайн-об'єкта принципам збереження навколишнього середовища.

Індикатор (I)	Опис	Вага в критерії
I.2.1	<b>Використання матеріалів</b> (наприклад, вміст перероблених матеріалів).	25 %
I.2.2	<b>Вплив на біорізноманіття</b> (як впливає технологія виробництва та процес експлуатації і утилізації на природу).	25 %
I.2.3	<b>Управління відходами</b> (наприклад, переробка після використання).	25 %
I.2.4	<b>Викиди забруднюючих речовин</b> (наприклад, обсяги викиду CO <sub>2</sub> , хімічні барвники при виробництві. Чим вищий рівень викидів, тим менший бал отримує об'єкт дизайну).	25 %

**К3: Енергоефективність** Оптимізація енергорезультативності об'єктів дизайну.

Індикатор (I)	Опис	Вага в критерії
I.3.1.	<b>Загальні індикатори: Енергетичний відбиток</b> протягом етапу виробництва та експлуатації (наприклад, потреба частому пранні) .	25 %
I.3.2	<b>Загальні індикатори: Теплоізоляційні властивості</b> об'єкта для заданих погодно- кліматичних умов	(25 %)
I.3.4.	<b>Вплив на мікроклімат тіла</b> (здатність підтримувати тепловий комфорт, баланс тепла і вологи).	(25 %)
I.3.5.	Інші загальні індикатори (наприклад довговічність та зносостійкість).	(25 %)

**К4: Естетика і функціональність** Оцінка гармонійного поєднання естетики та функціональності з урахуванням природних умов.

Індикатор (I)	Опис	Вага в критерії
I.4.1.	<b>Об'ємно-просторовий аспект</b> (оцінка крою для даного клімату).	10 %
I.4.2.	<b>Формування стилю</b> (оцінка стилю для даного клімату).	10 %
I.4.3.	<b>Визначення композиційного рішення</b> (оцінка композиційних рішень для даного клімату).	10 %
I.4.4.	<b>Структурний аспект</b> (оцінка конструкції та її елементів для даного клімату)	5 %
I.4.5.	<b>Геометричні рішення</b> (оцінка рішень, які дозволяють змінювати форму одягу або його елементів, для даного клімату).	5 %
I.4.6.	<b>Кольорово-світлові рішення</b> (оцінка кольорової гамми в умовах даного клімату).	15 %
I.4.7.	<b>Функціональність</b> (загальна практичність, кліматична функціональність, комплексно враховується при оцінці).	45%

**К5: Інноваційність** Використання інноваційних підходів для створення одягу

Індикатор (I)	Опис	Вага в критерії
I.5.1.	<b>Рівень інноваційності дизайн-концепції</b> (наприклад, оригінальність дизайну та інші).	33 %
I.5.2.	<b>Кількісні показники</b> (наприклад, кількість патентів, частка інноваційних компонентів/матеріалів тощо).	33 %
I.5.3.	<b>Оптимізація процесу моделювання та виробництва</b> (наприклад, зменшення часу проектування або кількості ітерацій).	33 %

### Фаза 3. Формулювання біокліматичного рішення

**5 крок. Формулювання фінального рішення.** На цьому кроці формулюється біокліматичне рішення (Б/К рішення) для обраного предмету дизайну. Відповідність біокліматичному рішенню визначається в балах від 0 до 1.

Формула виведення біокліматичного рішення (Б/К рішення)

Для виведення кінцевої оцінки використовуються результати експертного оцінювання за критеріями (К1-К5).

1. Розрахунок оцінки кожного Критерію ( $\$K_n\$$ ): Оцінка кожного критерію є сумою оцінок його вагових індикаторів (де  $\$I_i\$$  — оцінка індикатора експертом у балах від 0 до 1, а  $\$W_i\$$  — його вага у відсотках):  $\$K_n = \sum_i (I_i \cdot W_i)\$$  (Примітка:  $\$W_i\$$  використовується як десятковий дріб, наприклад,  $25\% = 0.25$ ).

2. Виведення середньої оцінки — Фінальне Б/К рішення: Фінальне біокліматичне рішення виводиться як середня оцінка за всіма п'ятьма основними критеріями (K1: Адаптація до клімату; K2: Екологічна стійкість; K3: Енергоефективність; K4: Естетика і функціональність; K5: Інноваційність):  $\text{Б/К рішення} = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5}{5}$  Кінцеве Б/К рішення має бути визначено в балах від 0 до 1.

Рис. 4.4.2. Алгоритм виведення біокліматичного рішення для дизайну одягу який містить інструкції щодо врахування кліматичних параметрів, експертного оцінювання, формулювання біокліматичного рішення при проектуванні одягу.

#### Роз'яснення позначень

у формулі виведення біокліматичних рішень при моделюванні одягу

Формула:  $\$K_n = \sum_i (I_i \cdot W_i)\$$

Формула використовується для розрахунку оцінки конкретного Критерію ( $\$K_n\$$ ), виходячи з оцінок індикаторів, що входять до його складу.

Позначення	Роз'яснення	Деталі
$\$K_n\$$	Це оцінка (характеристика) конкретного Критерію (K).	Критерії (K1-K5) оцінюються в балах від 0 до 1. Наприклад, K1 — критерій «Адаптація до клімату».
$\$\sum_i\$\$	Символ суми (сигма) [математичне позначення, яке логічно впливає з контексту].	Сума індикаторів визначає характеристику критерію.
$\$I_i\$$	Це оцінка (значення) окремого Індикатора (I).	Індикатор (I) – це певна величина або характеристика критерію, що є мірою його вираження (кількісною або якісною характеристикою), за якою можна оцінити різні стани об'єкта. При формулюванні фінального біокліматичного рішення (5 крок) відповідність визначається в балах від 0 до 1. Відповідно, оцінка $\$I_i\$$ також має бути в діапазоні від 0 до 1.
$\$W_i\$$	Це вага окремого індикатора (I) у відповідному критерії.	Вага індикаторів у критеріях вказана у відсотках (наприклад, 25 %, 10 %, 33 %).
$\$I_i \cdot W_i\$\$	Це зважений внесок окремого індикатора в загальну оцінку критерію.	

Пояснення щодо  $\$W_i\$$  (Ваги індикатора). Вага індикатора вказана у відсотках (наприклад, 25 %).

У математичній формулі для коректного розрахунку зваженої суми, відсоток ( $\$W_i\$$ )

використовується як десятковий дріб. Наприклад, якщо вага індикатора становить 25 %, то у формулі він використовується як 0.25. Відповідно, оцінка  $\$K_1\$$  розраховується як:

$\$K_1 = (I_{1.1} \cdot 0.25) + (I_{1.2} \cdot 0.25) + (I_{1.3} \cdot 0.25) + (I_{1.4} \cdot 0.25)\$$

Сума оцінок індикаторів, помножених на їх вагу, дає фінальну характеристику критерію

Рис. 4.4.3. Роз'яснення позначень у формулі виведення біокліматичних рішень при моделюванні одягу

Проаналізуй наданий текст. Засвой алгоритм виведення біокліматичного рішення. З урахуванням наведеного : 1. Проведи експертне оцінювання, надай оцінки за визначеними критеріями вказаним у тексті предметам дизайну (куртки, брюки, светри, жакети, головні убори).  
2. Сформулюй біокліматичне рішення для предметів (куртки, брюки, светри, жакети, головні убори).. Відповідність біокліматичному рішенню визнач в балах від 0 до 1

🔗 Ответ    📄 Источники · 1    ↗ Шаги

📎 приложение  
Algoritm-videdennia-bioklimatichnogo-rishenni...

### Експертне оцінювання та біокліматичні рішення

#### Методологія оцінки

Кожен предмет дизайну оцінюється за 5 критеріїв (0–1), де 1 = максимальна відповідність.

Формула загальної оцінки:

$$\Sigma (K1+K2+K3+K4+K5) / 5$$

#### Результати оцінювання

##### Холодний клімат (теплий період)

Предмет дизайну	K1	K2	K3	K4	K5	Загальна оцінка	Біокліматичне рішення
Куртка з бавовни (1.1)	0.7	0.9	0.6	0.8	0.3	<b>0.66</b>	Додати ветрозахистний шар з мембрани GORE-TEX INFINIUM (+0.15 до K3)
Куртка з нейлону (1.2)	0.8	0.4	0.9	0.7	0.5	<b>0.66</b>	Використати перероблений нейлон з PFC-free покриттям (+0.2 до K2)

#### Светр з шерсті (100%)

Критерій	Оцінка	Коментар
K1: Адаптація до клімату	0.8	Шерсть забезпечує теплоізоляцію при низьких температурах.
K2: Екологічність	0.9	Натуральний матеріал з високою екостійкістю.
K3: Енергоефективність	0.7	Добре зберігає тепло, але потребує додаткового шару для оптимізації.
K4: Естетика і функціональність	0.8	Універсальний дизайн для зимового одягу.
K5: Інноваційність	0.6	Традиційне рішення без нових технологій у виробництві.

Загальна оцінка:  $\frac{0.8+0.9+0.7+0.8+0.6}{5} = 0.76$

Біокліматичне рішення:

- Додати антимікробну обробку для зменшення кількості прань (+0.1 до K3).

Рис. 4.4.4. Процес постановки задачі і виведення рішення за допомогою Perplexity: 1-інструкція; 2-документ «Алгоритм виведення біокліматичного рішення», який містить методологію виведення рішення для предмету дизайна; 3 -пояснення логіки виведення рішення з використанням методології оцінки; 4-оцінка предмету дизайна; 5- коментар до оцінки; 6 – біокліматичне рішення (рекомендація).

**withtech new material t...**

Як реагує нейлон при різних температурах? - Знання

**kingsun**

Нейлон і температура розплаву під час лиття під...

**kord-spectkan.com**

Яка тканина найкраще зберігає тепло: поліестер і...

**tk**

Властивості, особливості та недоліки нейлону -...

### Виправлення та уточнення оцінок

Ваше зауваження щодо нейлону цілком обґрунтоване. Проаналізувавши наукові дані, внесу корективи та виправлю помилки:

---

**Корекція для нейлону**

Згідно з джерелами **1 4 5**:

- Нейлон не є теплоізоляційним матеріалом
- Основні властивості: водостійкість, легкість, міцність
- Недоцільний для холодного клімату через:
  - Відсутність повітряних пор у структурі волокон
  - Накопичення статичної електрики (погіршує комфорт)
  - Крихкість при температурах нижче -5°C **1**

**Виправлена таблиця:**

Предмет дизайну	K1	K2	K3	K4	K5	Загальна оцінка	Біокліматичне рішення
Куртка з нейлону (1.2)	0.3▼	0.6▲	0.9	0.5▼	0.4▼	<b>0.54▼</b>	Замінити зовнішній шар на мембранний поліестер (+0.3 до K1)

---

**Рис. 4.4.5.** Реагування інтелектуального агента Perplexity на додаткову інформацію з метою «заземленості» рішення: 1-додаткові документи з бази даних, завантажені оператором; 2- пояснення логіки виведення з урахуванням корегуючої інформації; 3- скоригована оцінка предмету дизайну; 4 – біокліматичне рішення (рекомендація).

1. Опитай користувача щодо детального опису предмету дизайну, який дозволить краще оцінити відповідність предмета дизайну біокліматичному рішення. Наприклад, щодо куртки-вітровки задай питання щодо наявності підкладки, щодо наявності капюшону, наявності застібок на манжетах.
2. Проведи експертне оцінювання, надай оцінки за визначеними критеріями.
3. Сформулюй біокліматичне рішення для предметів. Відповідність біокліматичному рішення визнач в балах від 0 до 1

Показати менше ^

✎ Ответ    🔍 Источники · 1    ↪ Шаги

Рис. 4.4.6. Приклад інтерактивної взаємодії з проєктантом у ході вирішення задачі біокліматичного моделювання одягу: визначення додаткового завдання щодо уточнення вхідних даних стосовно об'єкта дизайну шляхом опитування проєктанта.

#### Експертне оцінювання предметів дизайну та формулювання біокліматичних рішень

1. Опитування користувача щодо характеристик предметів дизайну  
Для точного оцінювання відповідності біокліматичному рішення, уточніть наступні деталі для кожного предмета:

##### Куртка-вітровка

1. Чи є підкладка? Якщо так, з якого матеріалу (фліс, бавовна, синтетика)?
2. Чи є капюшон? Чи він утеплений або регульований?
3. Чи є застібки на манжетах для захисту від вітру?
4. З якого матеріалу виготовлено зовнішній шар (нейлон, поліестер, мембрана)?
5. Чи є вентиляційні отвори або клапани?

##### Брюки

1. З якого матеріалу виготовлені брюки (бавовна, поліестер, мембрана)?
2. Чи є утеплення або підкладка? Якщо так, з якого матеріалу?
3. Чи мають брюки водонепроникне покриття?
4. Чи є додаткові вентиляційні елементи?

##### Светр

1. З якого матеріалу виготовлений светр (шерсть, бавовна, синтетика)?
2. Яка товщина тканини (легкий/середній/важкий)?
3. Чи є додаткові функціональні елементи (наприклад, комір-стійка)?

Рис. 4.4.7. Формулювання інтелектуальним агентом варіанту опитувального листа для моделювання одягу у межах задачі експертного оцінювання предметів дизайну

Відповіді на задані тобою питання: куртка-вітровка не має підкладки. У решти курток, за виключенням парки (у якої підкладка пух), підкладка з флісу. Застібки на манжетах є на куртці вітровці та куртці парка, на решті курток та жакетах застібок немає. Захист вух є на шапках вушанках, на вязаних шапках захист для вух відсутній. Верхній та підкладочний матеріал (склад тканини) предметів одягу вказано у тексті таблиці, що додається. Окремого шару утеплення немає, якщо це не вказано в опису предмета. Окремих вентиляційних елементів немає, якщо це не вказано в описі предмета. Тканина для холодного періоду - важка, для демісезонного - середня, для теплого періоду - легка. Брюки - без утеплення, матеріал брюк вказано в описі предмета, водонепроникного шару немає, вентиляції немає. У наведеному тобою у попередній відповіді "Приклад оцінювання" відсутня розбивка за кліматом, у якій одяг застосовується. Врахуй клімат, для якого призначений одяг, при проведенні оцінювання. Оцінювання предмету одягу на біокліматичність проведи при умові застосування конкретного одягу у конкретному кліматі. Виправ недоліки

Показати менше ^



Ответ · Источники · 41 · Шаги

приложение

Algoritm-vivedennia-bioklimatichnogo-rishenni...

§ 38. кліматичні пояси

§ 38. Кліматичні пояси | Загальна географія, 6 клас...

фонд вікімедіа

Мусонний клімат - Вікіпедія

3 зміст

Бігати при будь-якій погоді - ЗМІСТ

## Експертне оцінювання предметів дизайну з урахуванням клімату та формулювання біокліматичних рішень

### Методологія оцінювання

Оцінювання проводиться за п'ятьма критеріями:

- K1: Адаптація до клімату
- K2: Екологічність та екостійкість
- K3: Енергоефективність
- K4: Естетика і функціональність
- K5: Інноваційність

Предмети дизайну оцінюються відповідно до кліматичної зони (холодний, помірний, субтропічний) та періоду (теплий, прохолодний, холодний). Оцінки надаються в балах від 0 до 1.

Рис. 4.4.8. Використання інтелектуальним агентом уточненої інформації від проєктанта, інформації з джерел, внесених до бази даних, що підвищує точність («заземленість») біокліматичного рішення: 1-коригування вхідної інформації проєктантом шляхом відповідей на опитувальний лист; 2-надання проєктантом додаткових інструкцій, зокрема щодо параметрів об'єктів дизайну та врахування кліматичних параметрів; 3-звернення інтелектуального агента до бази знань (бази даних та бази правил) із задіянням шаблону RAG (у прикладі – використання «Алгоритму виведення біокліматичного рішення», джерел 2, 3, 4); 4-пояснення інтелектуальним агентом ходу виконання задачі біокліматичного моделювання в частині врахування кліматичних умов та критеріїв оцінювання.

## 2. Експертне оцінювання предметів дизайну

На основі отриманих даних проводиться оцінювання за п'ятьма критеріями:

- K1: Адаптація до клімату
- K2: Екологічність та екостійкість
- K3: Енергоефективність
- K4: Естетика і функціональність
- K5: Інноваційність

Приклад оцінювання:

Предмет дизайну	K1	K2	K3	K4	K5	Загальна оцінка
Куртка з мембраною	0.9	0.8	0.7	0.8	0.6	<b>0.76</b>
Брюки з мембранного матеріалу	0.8	0.7	0.9	0.7	0.6	<b>0.74</b>
Светр з шерсті	0.8	0.6	0.7	0.8	0.5	<b>0.68</b>
Жакет з флісу	0.7	0.6	0.7	0.7	0.5	<b>0.64</b>
Шапка з вовни	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	<b>0.76</b>

## 3. Біокліматичні рішення

Куртка

- Додати підкладку з переробленого флісу для покращення теплоізоляції (+0.2 до K3).
- Використати мембранний зовнішній шар для захисту від вітру та вологи (+0.1 до K1).

Оновлена оцінка:

Куртка з мембраною: Загальна оцінка =  $(1+0.8+0.9+0.8+0.6)/5 = \mathbf{**0.82**}$

Рис. 4.4.9. Оформлення оцінок об'єктів дизайну на відповідність біокліматичного підходу у вигляді цифрових значень, що встановлені методологією оцінювання.

#### Інші виявлені помилки та корективи

##### 1. Светр з шерсті (3.1):

- Початкова оцінка: 0.68 → **0.78 ▲**
- Причина: шерсть має високі теплоізоляційні властивості <sup>3</sup> <sup>8</sup>
- Оптимізація: додати внутрішній шар з бамбукового волокна для гігроскопічності (+0.1 до K5)

##### 2. Жакет з флісу (4.3):

- Початкова оцінка: 0.54 → **0.63 ▲**
- Причина: фліс зберігає тепло на 25% ефективніше за бавовну <sup>3</sup>
- Оптимізація: використати фліс з антипілінговим покриттям (+0.15 до K3)

#### Оновлений ТОП-3 для холодного клімату

##### 1. Куртка парка (0.78)

- Матеріал: зовнішній шар — поліестер з PU-покриттям, внутрішній — пух
- Переваги: коефіцієнт теплозбереження 0.92 <sup>8</sup>

##### 2. Светр з шерсті (0.78)

- Оптимальна товщина пряжі: 400–600 г/м<sup>2</sup>
- Терморегуляція: підтримка температури тіла при -10°C до 4 год <sup>3</sup>

##### 3. Брюки з мембрани (0.70)

- Матеріал: нейлон + PTFE-мембрана (виключно для зовнішнього шару)
- Обмеження: використовувати лише з термopідкладкою

#### Ключові висновки

##### 1. Помилки в оцінках виникли через:

- Неврахування ролі багатошаровості (нейлон — лише зовнішній захисний шар)
- Недооцінку гігроскопічних властивостей матеріалів

##### 2. Рекомендації:

- Для холодних кліматичних зон використовувати комбіновані матеріали:
  - Зовнішній шар: нейлон/поліестер (захист від вітру та вологи)
  - Внутрішній шар: пух, термововна або фліс (теплоізоляція)
- Уникати моношарових нейлонових виробів при температурах нижче 0°C

Дякую за уважність до деталей! Ці корективи підвищують точність моделювання.

Рис. 4.4.10. Приклад оцінювання та виведення рішення інтелектуальним агентом, з урахуванням додаткової вхідної інформації, отриманої від проєктанта: висновки, пояснення оцінкам, рекомендації, формулювання кінцевої моделі предмету дизайнера, що відповідає біокліматичним вимогам.

Оцінка куртки-вітровки в холодному кліматі		
Холодний клімат (холодний період) - Куртка-вітровка (бавовна, без підкладки)		
Критерій	Оцінка	Коментар
K1: Адаптація до клімату	0.2	Бавовна майже не захищає від холоду і вітру. Абсолютно не підходить для холодного клімату без додаткового утеплення.
K2: Екологічність	0.9	Бавовна - натуральний матеріал, але потрібно враховувати витрати води на її вирощування.
K3: Енергоефективність	0.1	Відсутність теплоізоляції робить її енергонеефективною у холодному кліматі.
K4: Естетика і функціональність	0.6	Може використовуватися як частина багат шарового одягу, але сама по собі не функціональна для холоду.
K5: Інноваційність	0.2	Відсутні будь-які інноваційні рішення.

Загальна оцінка:  $\frac{0.2+0.9+0.1+0.6+0.2}{5} = 0.4$

Біокліматичне рішення:

- Категорично не рекомендується використовувати куртку-вітровку з бавовни без додаткових шарів утеплення в холодному кліматі.
- Рекомендація для покращення (якщо необхідно використовувати):
  - Додати щільну підкладку з флісу або шерсті для покращення теплоізоляції (+0.6 до K1, +0.6 до K3).
  - Обробити тканину водовідштовхувальним просоченням (+0.1 до K1).

Уточнення та виправлення попередніх оцінок (за необхідності)

Будь ласка, надайте додаткову інформацію про інші предмети одягу, якщо необхідно внести зміни у їх оцінки з урахуванням клімату та додаткових деталей.

**Рис. 4.4.11. Варіант надання Perplexity біокліматичного рішення для куртки-вітровки для холодного періоду помірною клімату: наведення формули виведення біокліматичного рішення, яке супроводжується оцінкою відповідності проекту предмета дизайну за критеріями біокліматичності, виведеними у п.3.4. Розділу 3.**

## ІНСТРУКЦІЯ

Використовуючи «Алгоритм виведення біокліматичного рішення дизайну одягу», проведіть комплексний аналіз обраного предмета дизайну та сформулюйте для нього остаточне біокліматичне рішення, включаючи його числову оцінку та обґрунтування.

### 1.Визначення кліматичних умов та об'єкта

Вхідна інформація, необхідна для початку роботи згідно з Алгоритмом:

1. Макроклімат - помірний пояс.
2. Мезокліматичні особливості - холодний період помірного поясу.
3. Об'єкт дизайну :
  - Об'єкт: верхній одяг - куртка.
  - Детальний опис предмета дизайну (включаються ключові характеристики, які дозволять точно оцінити його відповідність біокліматичному рішенню):

«Предмет дизайну – куртка (верхній одяг). Первинна концепція дизайна:

Куртка планується до використання у холодний період помірного поясу. Верхній шар матеріалу із бавовни, не має мембрани чи щільного переплетення. Внутрішній шар відсутній – куртка не має утеплювача чи підкладки. Естетико-функціональні рішення передбачають прямий, вільний крій (oversize), стиль Casual з елементами мілітарі-мінімалізму типу М65(універсальний). Присутні регульовані елементи та функція регулювання об'єму: шнури-затяжки на талії, на подолі та регульовані манжети на кнопках. Рукава та капюшон не відстібаються, але капюшон може згортатись та ховатись у комірі. Композиційне рішення включає високий комір-стійка та приховану блискавку для застібування пол одягу. Функціональність забезпечують чотири великі накладні кишені з клапанами на рівні грудей та стегон. Темно-сірий, чорний, оливковий матовий колір. Куртка є класичною, серійною моделлю, не містить оригінальних рішень. Матеріали та компоненти – 100% натуральна бавовна (стандартна щільність, неорганічна, не перероблена). Використовуються стандартні компоненти (блискавки, кнопки). Оптимізація дизайну без особливостей – стандартний час та процес проєктування і промислового виробництва бавовни, стандартні хімічні барвники та фінішна обробка».

### 2. Експертне оцінювання

Проведіть експертне оцінювання предмета дизайну згідно з вимогами Алгоритму.

1. Оцінювання критеріїв (К1–К5): Призначте оцінки в балах від 0 до 1 для кожного з п'яти ключових критеріїв, ґрунтуючись на індикаторах, визначених у методології.

- К1. Адаптація до клімату (включаючи оцінку індикаторів, пов'язаних з макро-, мезо- та мікрокліматом, а також динамічними процесами).

- К2. Екологічність та екостійкість (включаючи оцінку використання матеріалів, впливу на біорізноманіття та управління відходами).

- К3. Енергоефективність (включаючи оцінку енергетичного відбитку, теплоізоляційних властивостей та впливу на мікроклімат тіла).

- К4. Естетика і функціональність (включаючи оцінку об'ємно-просторових, геометричних, кольорово-світлових та кліматичних функціональних індикаторів).

- К5. Інноваційність (включаючи оцінку рівня інноваційності концепції, кількісних показників та оптимізації процесу моделювання).

2. Результати оцінювання: Представте отримані бали для К1, К2, К3, К4 та К5.

### 3. Виведення біокліматичного рішення

1. Фінальна оцінка. Розрахуйте кінцеве Б/К рішення у відповідності з Алгоритмом.

2. Формулювання та обґрунтування Б/К рішення:

- Сформулюйте біокліматичне рішення для обраного предмета дизайну.

- Визначте відповідність біокліматичному рішенню в балах від 0 до 1.

- Надайте деталізоване обґрунтування отриманої оцінки. Якщо оцінка не є оптимальною, визначте найбільш проблемні критерії (К) та індикатори (І).

3. Рекомендації: Запропонуйте конкретні рекомендації для оптимізації дизайну та підвищення його біокліматичної відповідності, сфокусовані на покращенні найслабших показників (наприклад, щодо матеріалів, конструкції або виробничих процесів).

*Рис. 4.4.12.а. Приклад інструкції для LLM Gemini для виведення біокліматичного рішення для об'єкта дизайну «куртка»*

## Формулювання біокліматичного рішення для куртки з бавовни

Виходячи з "Алгоритму виведення біокліматичного рішення для дизайну одягу" , для куртки з бавовни в умовах **холодного періоду помірного клімату** біокліматичне рішення (Б/К рішення) формулюється через послідовне проходження трьох фаз: Визначення об'єкта та кліматичних умов, Експертне оцінювання, та Формулювання фінального рішення.

### Фаза 1: Визначення об'єкта та кліматичних умов

1. **Макроклімат (1 крок):** Помірний клімат.
2. **Мезоклімат (2 крок):** Холодний період помірної зони.
3. **Об'єкт та Предмет дизайну (3 крок):**
  - **Об'єкт:** Куртка.
  - **Опис предмету:** Куртка з бавовни (**без підкладки**, якщо немає уточнень).

### Фаза 2: Експертне оцінювання (Приклад оцінки)

На цьому етапі проводиться експертне оцінювання критеріїв (K1–K5) в балах від 0 до 1, зважуючи індикатори (Ii). Для цілей цього прикладу використовується **експертна оцінка**, яка відображає типові проблеми бавовняної куртки в холодних умовах.

#### 1. Критерій K1: Адаптація до клімату

- **Формула:**  $K1 = (I11 \cdot 0.25) + (I12 \cdot 0.25) + (I13 \cdot 0.25) + (I14 \cdot 0.25)$

Індикатор (I)	Вага (W)	Експертна Оцінка (Ii)	Зважений Внесок (Ii·Wi)	Примітка (Характеристики бавовни в холодному кліматі)
I.1.1 (Макроклімат)	25% (0.25)	<b>0.5</b>	$0.5 \cdot 0.25 = 0.125$	Низька теплоізоляція без підкладки
I.1.2 (Мезоклімат)	25% (0.25)	<b>0.6</b>	$0.6 \cdot 0.25 = 0.150$	Залежить від вітрових потоків/вологості
I.1.3 (Мікроклімат)	25% (0.25)	<b>0.3</b>	$0.3 \cdot 0.25 = 0.075$	Проблема: Бавовна швидко намокає, повільно сохне, що спричиняє швидку втрату тепла (низький тепловий комфорт)
I.1.4 (Динамічні процеси)	25% (0.25)	<b>0.8</b>	$0.8 \cdot 0.25 = 0.200$	Можливість додавання шарів для комфорту (шаруватість)
<b>K1: Адаптація до клімату</b>	$0.125 + 0.150 + 0.075 + 0.200 = \mathbf{0.55}$			

#### 2. Критерій K2: Екологічність та екостійкість

- Використовується стандартна бавовна без сертифікації.

Індикатор (I)	Вага (W)	Експертна оцінка (Ii)	Зважений внесок (Ii·Wi)	Примітка (Бавовна з точки зору екології)

I.2.1 (Матеріали)	25% (0.25)	<b>0.5</b>	$0.5 \cdot 0.25 = 0.125$	Традиційна бавовна - натуральне, біорозкладне волокно. Однак, її вирощування вимагає значних ресурсів (води, пестицидів), що є суттєвим негативним впливом. Оцінка 0.5 відображає цей баланс між природністю та ресурсомісткістю.
I.2.2 (Вплив на біорізноманіття)	25% (0.25)	<b>0.6</b>	$0.6 \cdot 0.25 = 0.150$	Вирощування традиційної бавовни пов'язане з використанням великої кількості пестицидів та інсектицидів, що негативно впливає на здоров'я ґрунту, водних шляхів та локальне біорізноманіття. Оцінку 0.6 виставлено порівняно з деякими видами синтетики.
I.2.3 (Управління відходами)	25% (0.25)	<b>0.7</b>	$0.7 \cdot 0.25 = 0.175$	Бавовна є натуральним волокном, вона біорозкладається набагато швидше, ніж більшість синтетичних матеріалів. Це значно спрощує управління відходами наприкінці життєвого циклу продукту. Оцінка 0.7 відображає цю перевагу.
I.2.4 (CO <sub>2</sub> / Забруднення)	25% (0.25)	<b>0.5</b>	$0.5 \cdot 0.25 = 0.125$	Викиди CO <sub>2</sub> та забруднення пов'язані з вирощуванням (енергоємність ферм, транспорт) та обробкою (фарбування, відбілювання, хімічна фінішна обробка). Ці процеси мають помірний вплив порівняно з виробництвом деяких видів синтетики, але вони значно поступаються органічній бавовні або переробленим матеріалам.
<b>K2:Екологічність</b>	<b>100%</b>	$0.125 + 0.150 + 0.175 + 0.125 = \mathbf{0.575}$		

### 3. Критерій K3: Енергоефективність

- Стосується теплоізоляційних властивостей.

Індикатор (I)	Вага (W)	Експертна Оцінка (Ii)	Зважений Внесок (Ii·Wi)	Примітка (Бавовна з точки зору енергоефективності)
I.3.1. Енергетичний відбиток	25% (0.25)	<b>0.6</b>	$0.6 \cdot 0.25 = 0.150$	Оцінює енергію, витрачену на виробництво матеріалу. Бавовна, як натуральне волокно, має нижчий енергетичний відбиток (викиди CO <sub>2</sub> ) порівняно з більшістю синтетичних волокон (наприклад, поліестер, нейлон), які виготовляються з нафти. Проте, вона поступається переробленим чи органічним

				матеріалам, що виправдовує оцінку 0.6.
I.3.2. Теплоізоляція	25% (0.25)	<b>0.4</b>	$0.4 \cdot 0.25 = 0.100$	Ключовий недолік: Бавовна є неефективним утеплювачем. Її волокна нещільно прилягають і не утримують достатньої кількості повітря (найкращого ізолятора) в порівнянні з вовною або синтетичними наповнювачами. У холодний період помірною клімату куртка без підкладки забезпечить мінімальний тепловий захист, що обумовлює низьку оцінку.
I.3.3. Мікроклімат тіла	25% (0.25)	<b>0.5</b>	$0.5 \cdot 0.25 = 0.125$	Індикатор відображає здатність матеріалу підтримувати баланс тепла і вологи. Бавовна має високу повітропроникність ("дихає"), але її висока гігроскопічність (швидко поглинає піт є критичною проблемою. У холоді волога бавовна швидко охолоджує тіло через випаровування, порушуючи тепловий баланс. Оцінка 0.5 відображає баланс між хорошою повітропроникністю та поганою вологоефективністю.
I.3.4. Інші	25% (0.25)	<b>0.6</b>	$0.6 \cdot 0.25 = 0.150$	Цей індикатор може включати довговічність та зносостійкість. Висока зносостійкість бавовни означає, що одяг прослужить довше, що опосередковано підвищує енергоефективність (одяг не потрібно швидко замінювати).
<b>К3:Енерго-ефективність</b>	<b>100%</b>	$0.150 + 0.100 + 0.125 + 0.150 = \mathbf{0.525}$		

#### 4. Критерій К4: Естетика і функціональність

- Дизайн без особливостей - стандартний процес проектування і виробництва.

Індикатор (I)	Вага (W)	Експертна Оцінка (Ii)	Зважений Внесок (Ii·Wi)	Наскільки гармонійно естетичні та функціональні характеристики виробу узгоджуються з кліматичними умовами.
I.4.1. Об'ємно-просторовий	10% (0.10)	<b>0.7</b>	$0.7 \cdot 0.10 = 0.070$	Куртка має вільний крій (oversize). Це вважається

				високою оцінкою, оскільки такий простір функціонально необхідний у холодному кліматі для забезпечення шаруватості (можливості надягати светри та інші утеплюючі шари), що є ключовою біокліматичною стратегією.
I.4.2. Стиль	10% (0.10)	<b>0.8</b>	$0.8 \cdot 0.10 = 0.080$	Стиль Casual/Мілітарі-мінімалізм вважається універсальним і практичним для помірною клімату. Він не створює візуального дискомфорту та асоціюється з надійністю, що позитивно впливає на сприйняття виробу користувачем.
I.4.3. Композиційний	10% (0.10)	<b>0.7</b>	$0.7 \cdot 0.10 = 0.070$	Наявність високого коміра-стійки та планки на блискавці є функціонально обґрунтованою композиційною ознакою. Вони слугують захистом від вітру та холоду, що є необхідним у холодний період. Це позитивно впливає на загальний композиційний баланс
I.4.4. Структурний	5% (0.05)	<b>0.6</b>	$0.6 \cdot 0.05 = 0.030$	Включає якість швів, конструкцію та довговічність. Припускається, що куртка має стандартну, надійну конструкцію, що забезпечує довговічність та стійкість до зношування (що є функціонально позитивним).
I.4.5. Геометричний	5% (0.05)	<b>0.6</b>	$0.6 \cdot 0.05 = 0.030$	Включає наявність регульованих елементів (затяжки, манжети). Ці елементи функціонально важливі для біокліматичного комфорту, оскільки дозволяють блокувати протяги та втрату тепла на кінцівках і талії.
I.4.6. Кольоровосвітловий	15% (0.15)	<b>0.8</b>	$0.8 \cdot 0.15 = 0.120$	Темно-сірий/Чорний матовий колір є функціонально ефективним для холодного клімату, оскільки він максимально поглинає сонячне випромінювання, допомагаючи зберегти тепло. Крім того, він є практичним і універсальним.
I. 4.7. Функціональність	<b>45%</b> <b>(0.45)</b>	<b>0.3</b>	$0.3 \cdot 0.45 = 0.135$	Цей індикатор охоплює загальну практичність, і кліматичну функціональність. Оцінка знижена через критичний недолік матеріалу: висока гігроскопічність бавовни у

				поєднанні з відсутністю утеплювача робить куртку нефункціональною для холодного та вологого клімату. Вона не забезпечує базового рівня захисту, що скасовує інші позитивні функціональні рішення.
<b>K4: Естетика і функціональність</b>	<b>100%</b>	$0.070+0.080+0.070+0.030+0.030+0.120+0.135=0.535$		

### 5. Критерій K5: Інноваційність

- Стандартна бавовняна куртка без інноваційних елементів.

Індикатор (I)	Вага (W)	Експертна Оцінка (Ii)	Зважений Внесок (Ii·Wi)	Оцінка новизни, оригінальності та оптимізації порівняно з існуючими рішеннями
I.5.1. Рівень інноваційност)	33% (0.33)	<b>0.3</b>	$0.3 \cdot 0.33 \approx 0.099$	Цей індикатор оцінює, наскільки оригінальною є концепція та технологічне рішення. Куртка є "стандартною бавовняною" і не містить нових біокліматичних функцій (наприклад, інтегрованих систем вентиляції, адаптивних матеріалів, спеціалізованих мембран), її оцінка є мінімально
I.5.3. Кількісні показники	33% (0.33)	<b>0.1</b>	$0.1 \cdot 0.33 \approx 0.033$	Оцінює фактичні параметри покращення (наприклад, зниження енергоспоживання, збільшення теплового опору). Оскільки куртка не має утеплювача та інновацій, вона не демонструє кількісних покращень біокліматичних показників порівняно з базовими стандартами. Це найнижчий бал у критерії.
I.5.4. Оптимізація процесу	33% (0.33)	<b>0.5</b>	$0.5 \cdot 0.33 \approx 0.165$	Цей індикатор оцінює, наскільки оптимізованими є процеси проектування та виробництва. Навіть у стандартному виробі можуть бути застосовані сучасні методи мінімізації відходів або використання ефективного обладнання.

				Оцінка 0.5 є середньою, припускаючи, що виробництво відповідає базовим промисловим стандартам ефективності, але не використовує проривних технологій (наприклад, 3D-друк, інтеграція сенсорів).
<b>K5</b> Інноваційність)	<b>100%</b>	$0.099+0.033+0.165=0.297$		

## Фаза 3: Формулювання біокліматичного рішення (Б/К рішення)

### 5 крок: Розрахунок фінальної оцінки

Кінцеве Б/К рішення розраховується як середня оцінка за всіма п'ятьма основними критеріями:

$$\text{Б/К рішення} = (K1 + K2 + K3 + K4 + K5) / 5$$

$$\text{Б/К рішення} = (0.55 + 0.575 + 0.525 + 0.535 + 0.297) / 5$$

$$\text{Б/К рішення} = 2.482 / 5 = 0.4964$$

Де:

- K1 — Критерій Адаптації до клімату.
- K2 — Критерій Екологічності та Екостійкості.
- K3 — Критерій Енергоефективності.
- K4 — Критерій Естетики і функціональності.
- K5 — Критерій Інноваційності.

Кінцева оцінка біокліматичного рішення (Б/К рішення) для куртки з бавовни в холодному періоді помірному поясу становить 0.4964 (з 1.0).

### Обґрунтування біокліматичного рішення

Оскільки оцінка 0.4964 є **нижчою за 0.5**, куртка з бавовни, як базова, **не є оптимальним біокліматичним рішенням** для холодного періоду помірному клімату.

Для підвищення її біокліматичної відповідності, рішення має бути сфокусоване на покращенні найслабших критеріїв (K1 та K3 — Адаптація та Енергоефективність):

#### 1. Теплоізоляція та Захист від вологи (K1, K3):

- **Додати водонепроникне або водовідштовхувальне просочення** для зовнішнього шару бавовни, щоб запобігти швидкому намоканню (проблема I.1.3.).
- **Вбудувати теплоізоляційну підкладку** з матеріалів з високими теплоізоляційними властивостями (наприклад, вовна, фліс, синтетичний утеплювач) для підвищення K3.

#### 2. Функціональність (K4):

- **Забезпечити адаптаційну здатність** (I.1.4.) шляхом додавання **відстібного капюшона** та **затяжок на манжетах і подолі**, щоб мінімізувати втрату тепла та проникнення холодного вітру.
- 3. Інноваційність (K5):**
- Застосовувати **перероблену бавовну** або **інноваційні бавовняні суміші** з підвищеною швидкістю висихання та зниженою гігроскопічністю для підвищення K5.

Рис. 4.4.12.б. Процес і результат виведення LLM Gemini біокліматичного рішення для куртки з бавовни для холодного періоду помірного поясу: інтелектуальним агентом враховано критерії та індикатори біокліматичності; обґрунтовано оцінки біокліматичності, виведено біокліматичне рішення, надано рекомендації. Інтелектуальний агент послідовно наводить хід виконання задачі з біокліматичного моделювання, проєктанту візуалізовано процес оцінки предмету дизайну шляхом представлення детальних розрахунків, виконаних інтелектуальним агентом.

## Розгорнутий аналіз і процес оцінки відповідності інших предметів дизайну біокліматичному рішенню

На основі наданого алгоритму, проведено експертне оцінювання предметів дизайну (куртки, брюки, светри, жакети, головні убори) за п'ятьма критеріями. Для кожного критерію враховано індикатори з ваговими коефіцієнтами. Нижче наведено детальний опис процесу оцінювання.

### 1. Критерії оцінювання та індикатори

#### Критерій 1: Адаптація до клімату

##### • Індикатори:

- Макрокліматичні показники (I11): відповідність кліматичній зоні.
- Мезокліматичні показники (I12): врахування теплових островів.
- Мікрокліматичні показники (I13): вплив на мікроклімат тіла.
- Динамічні процеси (I14): сезонність використання.

**Вага кожного індикатора:** 25%.

#### Критерій 2: Екологічність та екостійкість

##### Індикатори:

- Використання перероблених матеріалів (I21).
- Вплив на біорізноманіття (I22).
- Управління відходами (I23).
- Викиди забруднюючих речовин (I24).

**Вага кожного індикатора:** 25%.

#### Критерій 3: Енергоефективність

##### Індикатори:

- Енергетичний відбиток протягом життєвого циклу виробу.
- Теплоізоляційні властивості.

**Вага кожного індикатора:** 50%.

#### Критерій 4: Естетика і функціональність

##### Індикатори:

- Об'ємно-просторовий дизайн (I41).
- Формування стилю (I42).
- Композиційна гармонія (I43).
- Структурний дизайн (I44).

**Вага кожного індикатора:** від 5% до 15%.

#### Критерій 5: Інноваційність

##### Індикатори:

- Рівень оригінальності дизайну (I51).
- Кількість патентів або інноваційних рішень (I52).
- Оптимізація виробничого процесу (I53).

**Вага кожного індикатора:** по 33%.

### 2. Оцінювання предметів дизайну

#### Куртка з мембранного матеріалу з утепленням флісом вторинної переробки

##### Адаптація до клімату:

- I11: Відповідність холодному клімату — 0.9.
  - I12: Врахування мезоклімату (теплових островів у містах) — 0.8.
  - I13: Теплоізоляція мембранного матеріалу та флісу — 0.9.
  - I14: Підходить для зимового сезону — 0.9.
- Середня оцінка критерію =  $(0.9+0.8+0.9+0.9)/4=0.875$   $(0.9 + 0.8 + 0.9 + 0.9) / 4 = \mathbf{0.875}$

##### Екологічність та екостійкість:

- I21: Використання переробленого флісу — 1.0.
- I22: Мінімальний вплив на біорізноманіття — 0.9.

I23: Висока утилізація матеріалів — 0.8.

I24: Низькі викиди CO<sub>2</sub> під час виробництва — 0.8.

Середня оцінка критерію =  $(1.0+0.9+0.8+0.8)/4=0.875$  $(1.0 + 0.9 + 0.8 + 0.8) / 4 = \mathbf{0.875}$

#### **Енергоефективність:**

Теплоізоляційні властивості — 0.9.

Енергетичний відбиток — 0.8.

Середня оцінка критерію =  $(0.9+0.8)/2=0.85$  $(0.9 + 0.8) / 2 = \mathbf{0.85}$ .

#### **Естетика і функціональність:**

I41: Об'ємно-просторовий дизайн — 0.8.

I42: Стиль відповідає сучасним трендам — 0.9.

I43: Гармонія кольору і форми — 0.8.

I44: Структурна оптимізація — 0.7.

Середня оцінка критерію =  $(0.8+0.9+0.8+0.7)/4=0.8$  $(0.8 + 0.9 + 0.8 + 0.7) / 4 = \mathbf{0.8}$ .

#### **Інноваційність:**

I51: Використання мембранних технологій — 1.0.

I52: Наявність патентів або нових рішень — 1.0.

I53: Оптимізація виробництва за рахунок інновацій — 1.0.

Середня оцінка критерію =  $(1.0+1.0+1.0)/3=1.0$  $(1.0 + 1.0 + 1.0) / 3 = \mathbf{1.0}$ .

#### **Загальна відповідність біокліматичному рішенняю:**

Відповідність= $(0.875+0.875+0.85+0.8+1)/5=0.88$ . $\text{Відповідність} = \frac{(0.875 + 0.875 + 0.85 + 0.8 + 1)}{5} = \mathbf{0.88}$ . Відповідність= $5(0.875+0.875+0.85+0.8+1)=0.88$ .

Рис. 4.4.13.а. Розгорнутий аналіз і процес оцінки відповідності куртки з мембранного матеріалу біокліматичному рішенняю (варіант): інтелектуальним агентом враховано критерії та індикатори біокліматичності; наведено логіку виведення біокліматичного рішенняю (розрахунок за формулами). Інтелектуальний агент Gemini послідовно наводить хід виконання задачі з біокліматичного моделювання, проєктанту візуалізовано процес оцінки предмету дизайну шляхом представлення детальних розрахунків, виконаних інтелектуальним агентом

### **3. Біокліматичне рішення для інших предметів**

Предмет	Адаптація до клімату	Екологічність	Енергоефективність	Естетика і функціональність	Інноваційність	Загальна відповідність
Куртка з мембрани	0.875	0.875	0.85	0.8	1	<b>0.88</b>
Брюки мембранні	0.85	0.85	0.8	0.75	1	<b>0.85</b>
Светр з шерсті	0.9	0.8	0.85	0.7	0.6	<b>0.77</b>
Жакет шерсть/поліес тер	0.7	0.6	0.6	0.7	0.5	**0

Рис. 4.4.13.б. Фінальні біокліматичні рішення для інших предметів дизайну з оцінювання об'єктів за визначеною методологією з використанням критеріїв та їх індикаторів (LLM Gemini). Формули проведення оцінки для інших предметів дизайну інтелектуальним агентом для дизайнера не візуалізувалися.

\*"Система, будь ласка, проаналізує доступні погодні дані, тип ґрунту та вибрану культуру декоративних рослин(троянди, ялівці та пальма) для регіону Пекіну на цей час 07.10.25. На основі цієї інформації згенеруй рекомендації щодо оптимальних термінів висадки, внесення добрив та догляду за рослинами."\*

\*"У разі відсутності повних даних, уточни прогноз погоди на найближчі дні".\*\*

\*"Автоматично звертайся до інформаційних ресурсів в Інтернеті для збору необхідних даних для коригування та уточнення рекомендацій."\*

\*" Використовуючи RAG, підтягуй останні дослідження щодо стійкості рослин у певних кліматичних зонах."\*

\*"Результатом має стати адаптивна схема, що включає рекомендації щодо висадки, внесення добрив та догляду за вибраними рослинами."\*

- ◆ Це комплексний біокліматичний запит, який вимагає поєднання історичних даних, садових практик помірного клімату та аналізу специфічних вимог рослин. Оскільки я не можу отримати точні погодні дані для 7 жовтня 2025 року, рекомендації ґрунтуються на **біокліматичному аналізі регіону Пекіна (Клімат Dwa)** для пізньої осені.

### 1. Біокліматичний Аналіз Регіону Пекіна (7.10.25)

Параметр	Умови Пекіна (Середина Осені)	Висновок для Рослин
<b>Кліматична зона (Зона морозостійкості)</b>	Континентальний клімат (Dwa). Зона 5b – 6a.	Необхідна повна підготовка до холодної, сухої зими з температурами до $-20^{\circ}\text{C}$ та вище.
<b>Погодні дані (Прогноз)</b>	Історично: Середня температура опускається нижче $15^{\circ}\text{C}$ . Нічні температури наближаються до $0^{\circ}\text{C}$ .	Вегетаційний період закінчується. Потрібно зупинити ріст і стимулювати задерев'яніння пагонів.
<b>Ґрунт</b>	Переважно <b>суглинок, часто лужний (pH 7.5-8.5)</b> , з високим вмістом карбонатів.	Необхідне внесення органіки та, можливо, коригування pH для кислотолюбних рослин.
<b>Опади (Прогноз)</b>	Очікується <b>сухий період</b> (низька кількість опадів, типова для жовтня).	Вимагається <b>рясний осінній вологозарядний полив</b> перед промерзанням ґрунту.

## 2. Адаптивна Схема та Спеціалізовані Рекомендації

### А. Троянди (Roses) – Декоративна Культура

**Основний біокліматичний принцип:** Забезпечити задерев'яніння пагонів та захист кореневої шийки перед заморозками.

Категорія	Рекомендації для 7.10.25	Адаптивні Уточнення (на основі прогнозу)
<b>Терміни висадки</b>	<b>НЕ РЕКОМЕНДУЄТЬСЯ.</b> Оптимальний час для осінньої висадки троянд (якщо вона необхідна) – вересень. Висадка в жовтні підвищує ризик вимерзання. Якщо рослина в контейнері, її краще прикопати та висадити навесні.	Якщо прогнозуються стабільно плюсові температури ( $> +5^{\circ}\text{C}$ ) протягом 14 днів, висадка в контейнері можлива, але з обов'язковим <b>укриттям</b> на зиму.
<b>Внесення добрив</b>	<b>ОБОВ'ЯЗКОВО!</b> Вносити <b>калійно-фосфорні добрива</b> (без азоту). Це зміцнить клітинні стінки, підвищуючи морозостійкість.	При виявленні на прогностичних картах <b>заморозків нижче <math>-5^{\circ}\text{C}</math></b> , негайно припинити полив (крім вологозарядного) та розпочати підгортання (укриття).
<b>Освітлення / Затінення</b>	Повне сонячне освітлення.	Затінення потрібне лише в кінці зими (лютий/березень) для захисту від сонячних опіків.
<b>Зрошення</b>	Провести <b>рясний вологозарядний полив</b> перед першим стійким заморозком, щоб ґрунт наситився водою.	Якщо опади перевищать 20 мм за тиждень, вологозарядний полив відкладається.

### Б. Ялівці (Junipers) – Вічнозелений Асортимент

**Основний біокліматичний принцип:** Запобігти зимовому висиханню (зневодненню) хвої, яке є основною причиною загибелі вічнозелених в континентальному кліматі.

Категорія	Рекомендації для 7.10.25	Адаптивні Уточнення (на основі прогнозу)
<b>Терміни висадки</b>	<b>Можлива</b> (якщо контейнерна). Ялівець більш стійкий до осінньої висадки, ніж троянда. Важливо: посадка лише з комом землі.	Не садити, якщо очікуються <b>заморозки протягом 7 днів</b> після посадки.
<b>Внесення добрив</b>	<b>НЕ ПОТРІБНО.</b> Більшості ялівців досить поживних речовин, внесених влітку.	Якщо ґрунт дуже бідний, можна внести осінні фосфорно-калійні добрива.
<b>Освітлення / Затінення</b>	Повне сонячне освітлення.	Затінення (нетканим матеріалом) необхідне з грудня по березень, особливо для молодих рослин, щоб захистити хвою від зимового сонячного опіку.
<b>Зрошення</b>	Обов'язковий <b>глибокий вологозарядний полив</b> до промерзання ґрунту.	Зрошення припиняється одразу, як тільки температура ґрунту опуститься до $0^{\circ}\text{C}$ .

## В. Пальма (Palm) – Холодостійка Пальма (*Trachycarpus fortunei*)

**Основний біокліматичний принцип (RAG-дослідження):** В умовах Зони 6 Пекіна (де температура може опускатися нижче  $-15^{\circ}\text{C}$ ), пальма вимагає **абсолютного фізичного захисту** кореневої системи та крони.

Категорія	Рекомендації для 7.10.25	Адаптивні Уточнення (на основі прогнозу)
<b>Терміни висадки</b>	<b>ЗАБОРОНЕНО.</b> Пізня осінь — найгірший час для висадки пальм, які є чутливими до холоду. Рослина повинна мати повний літній сезон для вкорінення.	Якщо пальма в контейнері, її необхідно <b>занести у приміщення</b> або <b>встановити ізольоване укриття</b> (короб, обігрів) до того, як температура опуститься нижче $-3^{\circ}\text{C}$ .
<b>Внесення добрив</b>	<b>ЗАБОРОНЕНО.</b> Будь-яке добриво стимулюватиме ріст, що призведе до загибелі нових, не задерев'янілих тканин узимку.	
<b>Укриття та Захист</b>	Зв'язати листя в пучок, обмотати стовбур теплоізоляційним матеріалом (джут, агроволокно) та збудувати каркасне укриття. <b>Критично: сухість.</b>	Якщо температура стійко тримається вище $+10^{\circ}\text{C}$ (що малоімовірно), укриття можна відкласти.



Продовжуй. Уточни прогноз погоди в Пекіні на найближчі 7 днів



Критично важливі дані для планування осінніх робіт — це **прогноз погоди в Пекіні (Beijing, China) на найближчі 7 днів**, починаючи з 7 жовтня 2025 року.


## 1. Біокліматичний Прогноз Погоди в Пекіні (7 – 13 жовтня)

День	Температура (Ніч/День)	Вітер/Опади	Біокліматична Активність
<b>Вівторок, 7.10</b>	$+8^{\circ}\text{C}/ +18^{\circ}\text{C}$	Сонячно, помірний вітер	Помірне випаровування, активна фотосинтеза.
<b>Середа, 8.10</b>	$+6^{\circ}\text{C}/ +17^{\circ}\text{C}$	Сонячно, слабкий вітер	Активність знижується.
<b>Четвер, 9.10</b>	$+4^{\circ}\text{C}/ +15^{\circ}\text{C}$	<b>Зміна погоди,</b> хмарно	Підготовка до можливого осіннього дощу.
<b>П'ятниця, 10.10</b>	$+7^{\circ}\text{C}/ +13^{\circ}\text{C}$	<b>Можливий дощ (5-10 мм)</b>	Осінь волога для ґрунту.
<b>Субота, 11.10</b>	$+3^{\circ}\text{C}/ +11^{\circ}\text{C}$	Сонячно, сухо	Різка падіння нічної температури.
<b>Неділя, 12.10</b>	$+1^{\circ}\text{C}/ +10^{\circ}\text{C}$	Вітряно, сухо	<b>Температура близько до першого заморозку.</b>
<b>Понеділок, 13.10</b>	$-1^{\circ}\text{C}/ +9^{\circ}\text{C}$	Ясно, сухо	<b>Перший стабільний заморозок!</b>

## 2. Коригування Адаптивної Схеми на Основі Прогнозу

Цей прогноз підтверджує **критичність** ваших робіт на тижні з 7 по 13 жовтня, оскільки **13 жовтня очікується перший заморозок**.

Рослина	Коригування Рекомендацій	Причина (Біокліматична Необхідність)
Троянди	<b>Терміново</b> провести внесення <b>калійно-фосфорних добрив</b> (до 9.10) та обрізати незрілі пагони. <b>Припинити будь-який полив</b> після 9.10, окрім вологозарядного.	Добрива повинні встигнути засвоїтися до заморозку 13.10 для <b>задерев'яніння</b> .
Ялівці	<b>Рясний вологозарядний полив</b> провести <b>9 або 10 жовтня</b> , використовуючи очікувані опади (5-10 мм) як допоміжний фактор.	Ялівець повинен мати достатній запас вологи в хвої, щоб пережити зимове висушення в сухій та морозній континентальній зимі.
Пальма	<b>НЕГАЙНО</b> розпочати підготовку <b>каркасного укриття</b> та <b>зв'язування листя</b> (до 11.10). Захист повинен бути готовий до ночі 12-13 жовтня.	Пальма загине, якщо не буде ізольована від першого ж заморозку <b>-1°C</b> .

 Експортувати в Таблиці

### Ключовий висновок для дизайнера:

Оскільки перший заморозок очікується 13 жовтня, **дедлайн** для всіх осінніх робіт (добриво, полив, укриття пальми) припадає на **кінець тижня (11-12 жовтня)**. Потрібно використовувати **вологу 10 жовтня** (очікувані опади) для полегшення вологозарядного поливу ялівців.

Рис. 4.4.14. Інструкція та результат пошуку біокліматичного рішення: Gemini створено біокліматичні рекомендації у галузі ландшафтного дизайну, для чого було проаналізовано погодні дані, тип ґрунту та культуру, формуючи рекомендації щодо оптимальних термінів висадки, внесення добрив, догляду для декоративних рослин. У разі відсутності повних даних система звертається до інформаційних ресурсів у мережі Інтернет для коригування та уточнення рекомендації. Результатом є адаптивна схема висадки, зрошення, догляду.

## Додаток

Ponyglass

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Жу Чанпу на тему:

**«БІОКЛІМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИЗАЙН-ОБ'ЄКТІВ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ  
СЕРЕДОВИЩІ»**

на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Результати наукового дослідження, проведеного Жу Чанпу у дисертаційній роботі на тему «Біокліматичне моделювання дизайн-об'єктів в інформаційному середовищі», мають практичне значення і були використані у діяльності дизайн-студії компанії «Ponyglass Corporation» (США, м. Лас-Вегас) при розробці концепцій сталих, кліматично адаптованих та енергоефективних об'єктів дизайну.

Зокрема, у практичній діяльності студії було впроваджено розроблену автором систему багатокритеріального експертного оцінювання (критерії K1-K5), що дозволило фахівцям компанії об'єктивно оцінювати відповідність проектних рішень вимогам екологічної стійкості та біокліматичної ефективності. Також було використано методику формування біокліматичних рекомендацій на основі гібридної архітектури штучного інтелекту (LLM + RAG) та верифікованої бази знань BMDSSKB, що покращило якість проектних рішень.

Запропонований у дисертаційній роботі підхід до типологічної класифікації об'єктів дизайну (природно-, штучно- та дифузно-об'єктний дизайн) був застосований при проведенні передпроектного аналізу для визначення специфіки впливу кліматичних чинників на різні типи виробів. Це дозволило компанії скоротити час на аналітичну підготовку рішень за рахунок автоматизованого мультиджерельного синтезу даних та підвищити якість фінальних дизайн-продуктів. Авторські напрацювання доцільно використовувати для подальшої цифровізації процесів екодизайну та інтеграції біокліматичного підходу у розробку інноваційних предметів дизайну.

Chief Executive Officer  
Ponyglass Corporation (Las Vegas, USA)



A. Zakutsky



МОН  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

просп. Повітряних Сил 31,  
м. Київ, 03037  
tel: +38 (044) 248-32-65  
e-mail: knuba@knuba.edu.ua  
web: knuba.edu.ua  
ЄДРПОУ 02070909

## АКТ

### про впровадження результатів науково – дослідної роботи Жу Чанпу на тему «Біокліматичне моделювання дизайн-об’єктів в інформаційному середовищі»

Даний акт складений про те, що науково-методичні розробки дисертаційної роботи Жу Чанпу за темою «Біокліматичне моделювання дизайн-об’єктів в інформаційному середовищі» впроваджено в навчальні програми курсу кафедри архітектурних конструкцій архітектурного факультету Київського національного університету будівництва і архітектури, а саме: спеціалізованих курсів для магістрів «Біодизайн», «Інноваційні конструкції, матеріали, технології містобудівних та ландшафтних об’єктів», «Енергоефективні конструкції, матеріали, технології», а також використано при розробці навчальних завдань до виконання кваліфікаційних робіт за темою «Біодизайн» для студентів спеціальності 022 «Дизайн».

Впровадження результатів наукової роботи Жу Чанпу дозволило розширити тематику теоретико-методологічних основ проектування об’єктів архітектури та дизайну, залучити сучасні інноваційні напрями біокліматичного моделювання щодо вирішення задач гармонізації об’єктів архітектури та дизайну з навколишнім природним середовищем у навчальному проєктуванні.

Проректор з НМР



Андрій ШПАКОВ