

## 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 проєктування 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 проєктування 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 проєктування 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 проєктуванні, 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 глибокого аналізу взаємозв'язків кліматичних чинників. Наукова значущість роботи також підтверджується розробкою комплексного

набору критеріїв та індикаторів оцінювання ( $K_1$ – $K_5$ : 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 ШІ (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 ШІ 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.