

## АНОТАЦІЯ

*Бахтін Д. С. Принципи формування об'ємно-просторової організації енергоефективних громадських будівель* – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата архітектури (доктора філософії) за спеціальністю 191 – Архітектура та містобудування. – Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2023.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовано мету, задачі і методи дослідження, визначено результати дослідження, їх наукову новизну та практичну цінність і впровадження результатів в практику проєктування енергоефективних громадських будівель.

Перший розділ **«Передумови впровадження технологій енергоефективності в проєктування і будівництво громадських будівель»** присвячений дослідженню становлення, розвитку проєктування і будівництва енергоефективних громадських будівель, виникнення проблеми енергозбереження. У цьому розділі визначено основні тенденції проєктування та будівництва енергоефективних громадських будівель (ЕГБ), розглянуто та проаналізовано існуючий теоретичний та практичний досвід, проведено порівняльний аналіз застосування енергоефективних технологій в проєктуванні та будівництві ЕГБ.

У підрозділі 1.1 **«Науково-теоретичні дослідження і етапи розвитку енергоефективних громадських будівель»** на підставі аналізу та узагальнення спеціальної літератури та науково-дослідних робіт виявлено, що питання проблеми енергозбереження в архітектурі України розглядалися багатьма дослідниками.

У фундаментальній праці О. М. Берегового **«Будівлі з енергозберігаючими конструкціями»** розглянуто архітектурно-будівельні рішення, що забезпечують мінімізацію теплових втрат і сформовано засади створення комфортних умов мікроклімату в приміщеннях будівель в різних

кліматичних районах.

В області розробки розрахунків параметрів форми житлових будинків, що дозволяють підвищити енергоефективність та знизити тепловитрати присвячена дисертаційна робота Т. О. Кащенко на тему «Підвищення енергоефективності житлових будинків на основі оптимізації їх форм».

Дослідження виявили, що вивчені лише окремі аспекти, які стосуються формування архітектури енергоефективності будинків різних функціональних призначень, при цьому, фундаментальних досліджень і рекомендацій з проєктування ЕГБ на сучасному етапі не існує.

На основі історичного аналізу розвитку альтернативних джерел енергії та відношення до енергоресурсів виявлено 3 етапи, що охоплюють період з 1974 по нинішній час. Початком можна вважати світову енергетичну кризу 1973 року, коли перед суспільством з'явилася проблема виснаження природних енергетичних джерел (нафти, вугілля, газу). Таким чином, автором встановлено наступні етапи: 1 етап – Розділеність (1974-1998 рр.), характеризується непостійним використанням інноваційних технологій; 2 етап – Симбіоз (1998 -2008 рр.) характеризується появою у 1998 році рейтингової системи LEED; 3 етап – Цілісність (2008 р. – наш час), характеризується використанням з 2005 року методу аналізу життєвого циклу (LCA і LCC) на економічному та екологічному рівнях.

У підрозділі 1.2. **«Світовий та вітчизняний досвід розгортання програм з будівництва енергоефективних громадських будівель»** розглянуті міжнародні стандарти і програми енергоефективності та здійснено порівняльний аналіз міжнародних стандартів LEED, BREEAM і WELL, програм енергоефективності в зарубіжних країнах та програми енергоефективності в країнах СНД. Визначено, що Міжнародне партнерство зі співробітництва в галузі енергоефективності (IPEEC), Міжнародне енергетичне агентство (IEA) та Директива про енергоефективність будівель (2010/31/ ЄС) є ключовим нормативним інструментом, спрямованим на підвищення енергоефективності будівельного сектора. Автором розглянуті

основні концепції енергоефективних будівель в світовому досвіді, а саме: Концепція «пасивного будинку» (Passivhaus), Концепція будівлі з нульовим енергоспоживанням, концепція «активного будинку» (Active house). Встановлено, що базовим прийомом активного будинку є поєднання рішень, розроблених Інститутом пасивного будинку (Німеччина), технологій «розумного дому» та використанням альтернативної енергетики; будинки, споруджені за цією концепцією витрачають на власні потреби мінімум енергії.

Автором здійснений огляд української нормативної та правової бази та розглянуте законодавче закріплення політики впровадження технологій енергоефективності. Встановлено, що чинна нормативна база не забезпечує необхідної нормативної бази для проектування енергоефективних громадських будівель з використанням відновлюваних джерел енергії, а лише визначає параметри мікроклімату та моніторинг стандартизованих теплоенергетичних параметрів під час будівництва.

У підрозділі 1.3. **«Аналіз успішних об'ємно-просторових рішень енергоефективних громадських будівель»** розглянуто приклади практичного впровадження об'ємно-просторових рішень енергоефективних громадських будівель. На основі аналізу проектування та будівництва виявлена тенденція впливу застосування ПДЕ на формування об'ємно-просторових рішень громадських будівель. Для підвищення швидкості вітру з подальшим застосуванням його енергії застосовуються в об'ємно-планувальних рішеннях вертикальні, горизонтальні отвори, будівництво декількох корпусів для створення «пастки» для вітру; застосовуються форми будівель з похилими поверхнями, подвійними фасадами (включаючи динамічні), що мають впорядковану геометричну «текстуру» для використання фотоелектричних панелей і т. д. Встановлено, що включення в структуру ЕГБ електростанції, яка працює на поновлювальних джерелах енергії впливає на архітектуру будинку.

У результаті аналізу виявлено, що залежно від обраного джерела енергії,

об'ємно-просторове рішення будівлі набуває певної форми, яка сприяє отриманню шуканої енергії. Автором проведений порівняльний аналіз застосування енергоефективних технологій. Визначено відсоткове співвідношення застосування ПДЕ в енергоефективних будівлях: енергія сонця - 47,82%, енергія вітру - 31,52%, енергія води - 8,69%, енергія землі - 6,52%, енергія біомаси - 5,45%.

У другому розділі **«Методичні основи формування об'ємно-просторових рішень енергоефективних громадських будівель»** розглянуто провідні науково-дослідні методи, що виступають базою для формування методологічного апарату даного дослідження; розроблена методика проведення дослідження енергоефективності громадських будівель; проаналізовані фактори впливу на формування енергоефективних громадських будівель; надана методика ефективності вибору об'ємно-просторового рішення громадських будівель за критеріями екологічності; дана класифікація ЕГБ залежно від вибору типу джерел енергії.

У підрозділі 2.1 **«Методика дослідження енергоефективності громадських будівель»** викладені основні групи методів проведення дослідження ЕГБ: метод кількісних характеристик енергоефективності будівель; метод моделювання енергоефективних громадських будівель. Виявлено, що поєднання даних методів дає змогу визначити архітектурно-планувальні параметри громадської будівлі, створити базову архітектурну модель та провести розрахунки енергоефективності. Критерії оцінки архітектурних рішень для громадських енергоефективних будівель були розроблені з такими параметрами: висота будівлі, обриси плану, форма будівлі, яка впливає на енергоефективність та наявність відновлюваних джерел енергії.

У підрозділі 2.2 **«Методи оцінки факторів впливу на формування енергоефективних громадських будівель»** за допомогою методу факторного аналізу дана методична оцінка основних факторів впливу на формування ЕГБ. До групи зовнішніх факторів належать містобудівний, природно-

кліматичний, соціально-економічний, екологічний; до групи внутрішніх факторів - архітектурно-художній, функціонально-планувальний, конструктивний, інженерно-технічний. Аналіз факторів дозволяє запропонувати відповідні заходи щодо забезпечення оптимальної енергоефективності. Виявлено, що при проєктуванні енергоефективних громадських будівель недоцільно застосовувати типові проєкти. У кожному конкретному випадку дія факторів нерівнозначна і в залежності від конкретної ситуації мають значення різні складові, що індивідуально впливає на об'ємно-просторове рішення ЕГБ.

У підрозділі 2.3 **«Класифікація енергоефективних громадських будівель»** визначено класифікацію типів енергоефективних громадських будівель. Вона включає моноенергетичні і поліенергетичні типи будівель. Класифікація проведена на основі аналізу 45 будівель та проєктів. У п'ятьох моноенергетичних типах застосовуються такі джерела енергії, як сонце або вітер, в поліенергетичних типах застосовується комбінація джерел енергії.

Розділ III. **«Принципи підвищення енергоефективності будівель шляхом об'ємно-планувальних трансформацій»** присвячений пошуку ефективних шляхів формування енергоефективних громадських будівель; автором сформовано принципи підвищення енергоефективності ЕГБ; розроблено рекомендації щодо проєктування енергоефективних громадських будівель.

У підрозділі 3.1 **«Принципи проєктування енергоефективних громадських будівель»** на основі аналізу структурних елементів громадських будівель та засобів підвищення їх енергоефективності розроблені принципи підвищення енергоефективності при проєктуванні енергоефективних громадських будівель, а саме: принципи просторового розміщення, принцип формування архітектури залежно від природно-кліматичних факторів, принцип підбору функції залежно від типу джерел енергії, принцип вибору інженерного обладнання, що працює на основі поновлювальних джерел енергії, принцип включення джерел енергії в об'ємно-планувальну структуру

будівлі, принцип розміщення поновлювальних джерел енергії в об'ємно-планувальній структурі комплексу, принцип формоутворення поліенергетичних громадських будівель з поновлювальних джерел енергії та методи їх реалізації.

У підрозділі 3.2 *«Прийоми формування енергоефективних громадських будівель та теоретичні моделі об'ємно-просторового рішення за критеріями екологічності»* розроблена модель організації ЕГБ, яка умовно поділяється на два рівні відповідно до містобудівної ієрархії. Перший рівень містить такі підрівні як *містобудівний* (транспортні вузли, розміщення ділянки, інженерні мережі), *регіональний* (місцеві особливості, культурні, природно-кліматичні), *соціально-економічний* (економіка, соціальний, державні програми), *екологічний* (безвідходне будівництво, сталий розвиток, зменшення використання ресурсів). Другий рівень складається з наступних підрівнів: *функціонально-планувальний* (взаємозв'язок з внутрішнім та зовнішнім середовищем, взаємозв'язок з функціями та образом, організація групи приміщень), *конструктивний* (унікальність конструктивних рішень, енергоефективність конструктивних рішень, сучасні інженерні рішення), *архітектурно-художній* (естетика архітектурного образу, взаємозв'язок з місцевими умовами, якість, своєчасність, довговічність), *інженерні* (енергоефективні інженерні рішення, енергоефективні технічні рішення, інженерні рішення комбінованого типу).

Сформульовані об'ємно-просторові прийоми проектування енергоефективних громадських будівель: прийом застосування екологічних технологій, прийом вдосконалення планувальних рішень в контексті енергоефективності, прийом виразності архітектурно-художнього рішення, прийом концептуальності розробки.

У підрозділі 3.3 *«Пропозиції щодо розміщення енергоустановок в архітектурних рішеннях громадських будівель і перспективи розвитку даного типу об'єктів»* сформульовані прийоми об'ємно-просторових рішень громадських будівель та наведено опис впровадження в структуру

поліенергетичних громадських будівель технологій, які використовують енергію сонця і вітру, що впливає на об'ємно-просторове і архітектурно-художнє рішення.

Надано пропозиції щодо розташування поновлювальних джерел енергії (ПДЕ) в структурі ЕГБ: верхня частина будівлі, середня частина будівлі, нижня частина будівлі, комбіноване розташування. Автором запропоновані об'ємно-просторові прийоми використання альтернативних джерел енергії: активний силует, пластика об'ємів, орієнтація за сонцем, пластика фасаду, плавні форми, перфорація, висотність, розділення об'ємів. Виявлено, що перспективами розвитку ЕГБ є їх трансформація в поліфункціональні енергоефективні комплекси.

**Ключові слова:** громадські будівлі, енергетична ефективність, архітектурно-планувальна організація, об'ємно-просторові рішення, поновлювальні джерела енергії, технології енергоефективності, типологія будівель.

## ABSTRACT

*Bakhtin D. S.* Principles of forming volume-spatial solutions of energy-efficient public buildings. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of candidate of architecture (doctor of philosophy) in specialty 191 - Architecture and urban planning. – Odesa State Academy of Construction and Architecture, Odesa, 2023.

The **introduction** substantiates the relevance of the topic, defines the connection of the work with scientific programs, formulates the purpose, tasks and research methods, defines the research results, their scientific novelty and practical value, and the implementation of the results in the practice of designing energy-efficient public buildings.

The first section "**Prerequisites for the implementation of energy efficiency technologies in the design and construction of public buildings**" is dedicated to the study of the formation and development of the design and construction of energy efficient public buildings, the emergence of the problem of energy saving, the main trends in the design and construction of energy efficient public buildings (EGB) are defined, the existing theoretical and practical experience, conducted a comparative analysis of the use of energy-efficient technologies in the design and construction of EGB.

In subsection 1.1 "*Scientific and theoretical studies and stages of development of energy-efficient public buildings*" based on the analysis and generalization of special literature and scientific research works, it was found that the issue of the problem of energy saving in the architecture of Ukraine was considered by researchers: S. G. Buravchenko, G. V. Kazakov, T. O. Kashchenko, G. N. Khavhun, L. O. Shuldan, V. F. Hershkovich, V. L. Martynov, O. V. Farenjuk, R. A. Firt, L. P. Khokhlova, H. F. Chernykh, O. B. Vasylenko, O. V. Sergeychuk, I. N. Skryl, P. I. Skryl, I. P. Kozyatnik, and others.

In the fundamental work of O. M. Berehovoy "Buildings with energy-saving structures" consider architectural and construction solutions that ensure the minimization of heat losses and the principles of creating comfortable



microclimate conditions in the premises of buildings in different climatic regions are formed.

The dissertation work of T. O. Kashchenko on the topic "Increasing the energy efficiency of residential buildings based on the optimization of their shapes" is devoted to the development of calculations of the parameters of the shape of residential buildings, which allow to increase energy efficiency and reduce heat consumption.

The research revealed that only certain aspects of the formation of the energy efficiency architecture of buildings of various functional purposes have been studied, while there are no fundamental studies and recommendations on the design of EGB at the current stage.

As a result of the etymological analysis, the following interpretation of the concept of energy-efficient public buildings is proposed.

An energy-efficient public building is a building whose design, construction, and operation take into account the characteristics of efficient consumption of energy resources and provision of a comfortable microclimate, and contains all the essential features of an energy-efficient building.

Based on a retrospective analysis of the development of renewable energy sources and energy paradigms abroad, 3 stages were identified, covering the time period from 1974 to 2023. The world energy crisis of 1973 can be considered a starting point, when humanity faced the problem of depletion of traditional natural energy sources (oil, coal, gas). Thus, the author established the following stages: 1st stage - Separation (1974-1998), characterized by non-constant use of innovative technologies; Stage 2 – Symbiosis (1998-2008) is characterized by the appearance of the LEED rating system in 1998; The 3rd stage - Integrity (2008 - present time), is characterized by the use since 2005 of the life cycle analysis method (LCA and LCC) at the economic and ecological levels.

In subsection 1.2. ***"Global and domestic experience of deploying programs for the construction of energy-efficient public buildings"*** considered international standards and programs of energy efficiency and carried out a comparative analysis

of international standards LEED, BREEAM and WELL, energy efficiency programs in foreign countries and energy efficiency programs in the CIS countries. The International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), the International Energy Agency (IEA) and the Energy Performance of Buildings Directive (2010/31/EU) have been identified as key regulatory instruments aimed at improving the energy efficiency of the building sector. The author considers the key concepts of energy-efficient buildings in the world experience, namely: the concept of a "passive house" (Passivhaus), the concept of a building with zero energy consumption, the concept of an active house (Active house). It has been established that the basic technique of an active house is a combination of solutions developed by the Passive House Institute (Germany), "smart house" technologies and the use of alternative energy; houses built according to this concept use a minimum of energy for their own needs.

The author reviewed the Ukrainian regulatory and legal framework and considered the legislative consolidation of the policy of implementing energy efficiency technologies. It was found that the current system of rules and standards does not provide the necessary regulatory framework for the design of energy-efficient public buildings with PDE, but only establishes the parameters of the microclimate and the control of standardized thermal and energy parameters during the operation of the building.

In subsection 1.3. *"Analysis of successful volume-spatial solutions of energy-efficient public buildings"* examines examples of practical implementation of volume-spatial solutions of energy-efficient public buildings. Based on the analysis of design and construction, the trend of the influence of the use of renewable energy sources on the formation of volumetric and spatial solutions of public buildings was revealed. To increase the speed of the wind with the subsequent use of its energy, vertical and horizontal openings, construction of several buildings to create a "trap" for the wind are used in volume-planning solutions; forms of buildings with sloping surfaces, double facades (including dynamic ones) are used, which have an ordered geometric "texture" for the use of

photovoltaic panels, etc. It is established that the inclusion of a power plant operating on renewable energy sources in the structure affects the architecture of the building.

As a result of the analysis, it was found that depending on the chosen source of energy, the volumetric and spatial solution of the building acquires a certain form, which contributes to obtaining the desired energy. The author conducted a comparative analysis of the use of energy-efficient technologies. The percentage ratio of the use of renewable energy sources (RES) in energy-efficient buildings was determined: solar energy - 47.82%, wind - 31.52%, water - 8.69%, land - 6.52%, biomass 5.45%.

In the second chapter "**Methodical foundations of the formation of volume-spatial solutions of energy-efficient public buildings**"

The section provides for the use of a number of scientific and research methods that serve as a basis for the formation of the methodological apparatus of this study; developed a methodology for researching the energy efficiency of public buildings; an analysis of influencing factors on the formation of energy-efficient public buildings was carried out; provided a methodology for choosing the volumetric-spatial solution of public buildings according to environmental criteria; this classification of EGB depends on the type of choice of type of energy sources.

Subsection 2.1 "***Methodology for researching the energy efficiency of public buildings***" outlines the main groups of methods for conducting EGB research: the method of quantitative characteristics of the energy efficiency of buildings; method of modeling energy-efficient public buildings. It was found that the combination of these methods makes it possible to determine the architectural and planning parameters of a public building, create a basic architectural model and perform energy efficiency calculations. Criteria for evaluating the architectural solutions of public energy-efficient buildings were developed using the following parameters: object height, plan shape, openings for wind amplification, the shape of the building that captures the wind, the external blowing frame into which

photovoltaic modules are integrated, systems that monitor the trajectory of the sun, piezoelectric elements and the presence of renewable energy sources.

Subsection 2.2 *"Methods of assessment of influencing factors on the formation of energy-efficient public buildings"* using the method of factor analysis provides a methodical assessment of the main influencing factors on the formation of EGB. The group of external factors includes urban planning, natural-climatic, socio-economic, ecological; the group of internal factors includes: architectural-artistic, functional-planning, constructive, engineering-technical factors. The analysis of factors allows us to propose appropriate measures to ensure optimal energy efficiency. It was found that it is impractical to use standard designs when designing energy-efficient public buildings. In each specific case, the effect of the factors is not equal, and depending on the specific situation, different components are important, which individually affects the volumetric and spatial solution of the EGB.

Subsection 2.3 *"Classification of energy-efficient public buildings"* contains a classification of types of energy-efficient public buildings. It includes 5 mono-energy and 5 poly-energy types of buildings. The classification was formed based on the analysis of 55 objects and projects. Among the mono-energy types, the sun and wind became the most common renewable energy sources, and among the poly-energy types, type 1 (use of solar energy) is the leader.

Chapter III. **"Principles of increasing the energy efficiency of buildings through volume-planning transformations."** The section is dedicated to finding effective ways to form energy-efficient public buildings; the author formed the principles of increasing the energy efficiency of EGB; recommendations for the design of energy-efficient public buildings have been developed.

In subsection 3.1 *"Principles of designing energy-efficient public buildings"* based on the analysis of structural elements of public buildings and means of increasing their energy efficiency, the principles of increasing energy efficiency in the design of energy-efficient public buildings are developed, namely the principles of spatial arrangement, the principle of the formation of architecture

depending on natural and climatic factors, the principle function selection depending on renewable energy sources, the principle of accounting selection in the architectural and planning decision of engineering equipment operating on renewable energy sources, the principle of placing renewable energy sources in the volume-planning structure of an energy-efficient complex, the principle of placing renewable energy sources in the volume capacity-planning structure of the complex, the principle of forming multi-energy public buildings from renewable energy sources and methods of their implementation.

In subsection 3.2 "*Techniques for the formation of energy-efficient public buildings and theoretical models of volumetric-spatial solutions according to ecological criteria*" a model of the EGB organization was developed, which is conditionally divided into two levels according to the urban planning hierarchy. The first level includes such sub-levels as urban planning (transport hubs, location of the site, engineering networks), regional (local features, cultural, natural and climatic), socio-economic (economy, social, state programs), ecological (waste-free construction, sustainable development, reducing the use of resources). The second level includes the following sub-levels: functional-planning (relationship with the internal and external environment, relationship of functions and image, organization of a group of premises), constructive (uniqueness of constructive solutions, energy efficiency of constructive solutions, modern engineering solutions), architectural - artistic (e aesthetics of the architectural image, relationship with local conditions, quality, originality, durability), engineering (energy-efficient engineering solutions, energy-efficient technical solutions, combined engineering solutions).

Formulated volumetric and spatial methods of designing energy-efficient public buildings: the use of ecological technologies, the method of improving planning decisions in the context of energy efficiency, the use of the expressiveness of an architectural and artistic solution, the use of conceptual development.

Subsection 3.3 *"Proposals for the placement of power plants in the architectural solutions of public buildings and prospects for the development of this type of objects"* formulates the methods of volumetric and spatial solutions of public buildings and describes the introduction of technologies that use solar and wind energy into the structure of multi-energy public buildings. which affects the volume-spatial and architectural-artistic decision.

Proposals are provided for the location of renewable energy sources (RES) in the EGB structure: upper part of the building, middle part of the building, lower part of the building, combined location. The author proposed volumetric and spatial methods of using alternative energy sources: active silhouette, volume plasticity, sun orientation, facade plasticity, smooth forms, perforation, height, volume separation. It was found that the prospects for the development of EGB are the transformation of such in the field of functional energy-efficient complexes.

**Keywords:** public buildings, energy efficiency, architectural and planning organization, volumetric and spatial solutions, renewable energy sources, energy efficiency technologies, typology of buildings.