

Расширение мегаполисов приводит к разделению повседневной городской деятельности и близлежащих экосистем, что приводит к фрагментации среды обитания и снижению доступности зеленых зон. Предлагается новый подход к проектированию зданий «Дышащая архитектура». Показано, как городские крыши, фасады и деревянные конструкции могут быть синхронизированы с сезонными ритмами и местным климатом. Используя концепции экологической психологии, культурной символики, биомимикрии, исследователи разрабатывают элементы, которые функционально соединят здания с природными системами.

**Ключевые слова:** дышащие здания; интеграция урбанистики с природой; фасады, отвечающие требованиям климата; адаптивные системы наружной оболочки; биофильные характеристики; биофильный дизайн. /

The ongoing expansion of metropolitan areas leads to a separation between daily urban activities and the nearby ecosystems, which fragments habitats and lowers the availability of green areas. Based on such challenges, Breathing Architecture proposes a new and cohesive approach to building design which would lead to buildings that actively breathe and would enable the flow of air, light, and energy through porous boundaries instead of rigid shells. The study investigates how urban roofs, facades, and joinery can be synchronized with seasonal rhythms and the local climate. Using concepts from environmental psychology, cultural symbolism, biomimicry, and the research formulates adjustable shading fins, daylight chimneys, adaptive cladding, and other processable design solutions which would functionally reconnect buildings with natural systems.

**Keywords:** breathing buildings; nature-integrated urbanism; climate-responsive facades; adaptive envelope systems; biophilic performance; biophilic design.

# Дышащая архитектура: интеграция природы и городов / Breathing architecture: Integrating nature and cities

текст

**Сайфиддин Джураев**

Ташкентский государственный университет востоковедения (Узбекистан)

**Санобар Шадманова**

Ташкентский государственный университет востоковедения (Узбекистан)

**Хамза Хайтов**

Бухарский государственный педагогический институт (Узбекистан)

**Дилобар Якубджанова**

Национальный педагогический университет Узбекистана им. Низами (Ташкент, Узбекистан)

**Гулзина Тулишева**

Джизакский государственный педагогический университет (Узбекистан)

**Мустафо Турсунов**

Термезский университет экономики и сервиса (Узбекистан)

text

**Sayfiddin Juraev**

Tashkent State University of Oriental Studies (Uzbekistan)

**Sanobar Shadmanova**

Tashkent State University of Oriental Studies (Uzbekistan)

**Xamza Xaitov**

Bukhara State Pedagogical Institute (Bukhara, Uzbekistan)

**Dilobar Yakubjanova**

National Pedagogical University of Uzbekistan named after Nizami (Tashkent, Uzbekistan)

**Gulzina Tulisheva**

Jizzakh State Pedagogical University (Uzbekistan)

**Mustafa Tursunov**

Termez University of Economics and Service (Uzbekistan)

## I. Введение

### 1.1. Определение дышащей архитектуры

Дышащая архитектура – это подход к проектированию, который имитирует естественные процессы – дыхание, кровообращение и постепенную адаптацию с целью создания зданий, которые реагируют на погоду и деятельность пользователей. Вместо герметичных помещений в нем используются подвижные панели, вентиляционные отверстия и подключенные датчики для автоматической регулировки освещенности, влажности и качества воздуха. Эти компоненты работают вместе, создавая контур обратной связи, который повышает комфорт при меньшем потреблении энергии и материалов и обеспечивает плавный переход между внутренним и наружным пространствами с низким энергопотреблением. Дышащая архитектура функционирует как живая оболочка в сочетании с соответствующими технологиями и правилами, позволяя зданиям взаимодействовать с окружающей средой, а не отделяться от нее [1].

### 1.2. Важность интеграции природы и городской жизни

На благополучие местных жителей и экосистем оказывает влияние растущее отделение людей от природных процессов, вызванное искусственными покрытиями в густонаселенных городах. Зеленые стены, пористые мембраны и адаптивные фасадные панели являются примерами атмосферных интерфейсов, которые возвращают восприятие всех аспектов природы – осязания, звука и запаха – в повседневную жизнь. Эти элементы способствуют информированности об окружающей экосистеме и смягчают острые углы бетонной застройки. Делая это, здания поддерживают город и его жителей, что способствует охране здоровья горожан. Данные меры имеют решающее значение для устойчивого и здорового образа жизни в условиях перенаселения городов [3, 5].

В статье мы проводим различие между «естественными» и «искусственными» элементами городской среды. «Естественные» относятся к экосистемам, которые остаются минимально измененными человеком (реки, заболоченные земли и оставшиеся леса), тогда как «искусственные» относятся к созданным человеком или интенсивно

управляемым зеленым системам (парки, ботанические сады и благоустроенные бульвары). Хотя то и другое способствует экологическому здоровью и общественному благополучию, важно признать активную роль человека в поддержании последнего [18].

На схеме (рис. 1) показан прототип дышащей архитектуры с вертикальными слоями. Средние слои содержат гибкие жилые помещения с подвижными экранами и вертикальными шахтами для воздушного потока, верхние секции регулируют приток ветра и солнечной энергии, а на нижнем уровне расположены зеленые зоны общественного пользования, которые защищают жителей и охлаждают воздух. Стрелки иллюстрируют, как здание взаимодействует с погодой, следуя естественным течениям. Физическая модель, в основе которой лежит ксилема деревьев, имеет изогнутую форму с отверстиями в виде сот, которые пропускают свет, воздух и дождь. Чтобы создать систему, в которой природная и искусственная среды взаимодействуют в режиме реального времени, бетонное основание интегрируется с экологическими особенностями и соединяет башню с улицей [12].

На рис. 2 показан региональный подход, сочетающий принципы городского планирования и экологии. Концентрические зоны, которые соответствуют природным формам рельефа и водотокам, обозначают леса, городские районы и зеленые насаждения. Взаимосвязь между экологическими коридорами и застроенными территориями показана на изометрических изображениях. Стрелки преобразуют экологические процессы в планирование, имитируя движение организмов, воздуха и воды. Этот метод расширяет концепцию дышащей архитектуры от отдельных зданий до целых регионов, объединяя лесные массивы, сточные пруды и зеленые площади в единую систему, демонстрирующую биорегиональный дизайн.

### 1.3. Цель исследовательской работы

В данной статье исследуются способы, с помощью которых дышащая архитектура связывает городские интерьеры и природные экосистемы. В ней оценивается, способствует ли атмосферный дизайн социальной сплоченности, идентичности места, эмоциональной связи и экологическим показателям [2]. Исследование

**I. Introduction**

**1.1. Definition of Breathing Architecture**

Breathing architecture is a design approach that imitates natural processes like respiration, circulation, and gradual adaptation, in order to create buildings that react to weather and user activity. It uses movable skins, vents, and connected sensors to automatically adjust light, moisture, and air quality in place of sealed spaces. These components work together to create a feedback loop that improves comfort while using less energy and materials by enabling mild, low-energy transitions between indoor and outdoor spaces. Breathing architecture functions as a living skin when paired with the right technologies and regulations, allowing buildings to engage with their surroundings rather than separate from them [1, p. 221–239].

**1.2. Importance of Integrating Nature and Urban Life**

The well-being of local ecosystems and inhabitants is impacted by the increasing separation of humans from natural processes caused by man-made surfaces in densely populated cities. Green walls, porous membranes, and adaptive skin panels are examples of atmospheric interfaces that restore touch, sound, and smell – all aspects of nature – to everyday life. These elements promote

awareness of the surrounding ecosystems and soften the sharp edges of concrete. By doing this, buildings support the city and its citizens by actively participating in urban health. These interventions are crucial for sustainable, healthy living in crowded urban environments [3], [5, p. 200–214].

In this article, we distinguish between “natural” and “artificial” elements of the urban environment. “Natural” refers to ecosystems that remain minimally modified by humans, such as rivers, wetlands, and remnant forests, whereas “artificial” refers to human-created or heavily managed green systems such as parks, botanical gardens, and landscaped boulevards. Although both contribute to ecological health and public wellbeing, it is important to acknowledge the active human role in sustaining the latter [18].

A breathing architecture prototype with vertical layers is depicted in the diagram (Figure 1). The middle layers contain flexible living spaces with movable screens and vertical shafts for airflow, the top sections control wind and solar gain, and the ground-level belts offer green public spaces that protect residents and cool the air. Arrows illustrate how the building interacts with the weather by following natural currents. Inspired by the xylem of trees, the physical model has a twisting spine with honeycombed apertures

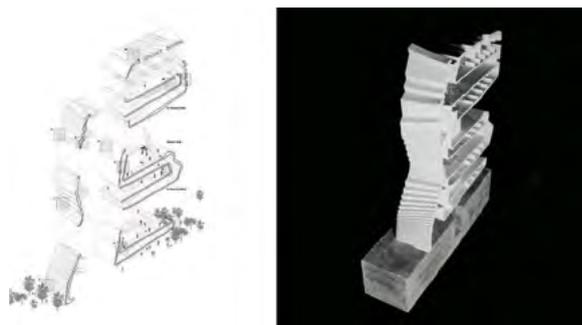
предлагает основу для адаптивной, мультисенсорной и экологически интегрированной архитектуры, которая делает города более здоровыми, более гуманными и экологическими, объединяя философские, функциональные и эмпирические точки зрения [7, 9].

**II. Историческая перспектива**

**2.1. Эволюция архитектуры и ее взаимосвязь с природой**

Архитектура первоначально непосредственно реагировала на природу, и ранние хижины, жилища и святилища формировались под влиянием имеющихся ресурсов, местного климата и самой земли [14]. Благодаря использованию толстых стен для поглощения тепла, сквозняков для охлаждения и сезонной ориентации на солнце и ветер, эти дома не нуждались ни в какой внешней энергии. Жилища использовались для взаимодействия с природными формами и для почитания земли, о чем свидетельствуют юрты, глинобитные пазубло и дома на деревьях [12]. Дождевые каналы, возвращающие воду в землю, и крыши в форме листьев являются примерами этой связи. Сообщества раннего модерна и средневековья сочтали здания с узкими аллеями, комбинируя каменную кладку с растительностью – фруктовыми деревьями, арочными дорожками и неглубокими канавами [7]. Эти проекты включали здания, которые прирастали к земле, а не возвышались над ней, и которые скорее подчеркивали, чем заслоняли почву [13]. Дышащая архитектура, основанная на традиционных экологических стратегиях, предлагает инновационные рамки, которые объединяют культурную символику и современные технологии для создания адаптируемой городской среды.

На рис. 3 показаны миметическая, прикладная и органическая архитектуры (категории биофильной архитектуры). Показаны явные и скрытые отсылки к природе как в современных, так и в исторических зданиях. Для достижения эстетического эффекта миметический дизайн имитирует природные формы. Живые системы – тропические сады и зеленые стены – внедряются в обычные строительные работы с помощью прикладного дизайна. Постоянный учет местной экологии и материалов является основой органического дизайна. Взятые



< Рис. 1. Вертикальная система дышащей архитектуры / Figure 1. Breathing Architecture Vertical System

в целом, эти стратегии предполагают будущее, в котором архитектура целенаправленно и тесно сотрудничает с природными системами.

**2.2. Индустриализация и развитие устойчивой архитектуры**

Нормальный баланс архитектуры был нарушен промышленной революцией [6]. Города, которые быстро росли, застраивались фабриками, железными дорогами и трубами, отдавая приоритет механической эффективности и массовому производству, а не местным ресурсам и дизайну, учитывающему климатические условия [11]. В то время как зеленые насаждения исчезали, а строгое зонирование замедляло восстановление городов, здания стали воздухопроницаемыми и обеспечивали охлаждение ископаемым топливом, а не естественной вентиляцией, что снижало устойчивость городов [15]. К концу XX века архитекторы были вынуждены пересмотреть свои стратегии проектирования из-за экологических факторов, энергетических кризисов и проблем с климатом [8].

Древние хижины и местные жилища были спроектированы таким образом, чтобы поглощать солнечное тепло, улавливать дуновения ветра и ориентироваться на сезонные изменения. Тем не менее они полагались и на внешние источники энергии: очаги и печи для обогрева и приготовления пищи. Это позволяет избежать преувеличения их полной энергетической автономии и более точно вписать их в исторический континуум взаимоотношений архитектуры с природой [17].

that filter light, air, and rain. In order to create a system where the natural and built environments interact in real time, a concrete base integrates ecological features and connects the tower to the street [12, p. 1-18].

Figure 2 illustrates a regional approach that combines urban planning and ecological principles. Concentric zones, which line up with natural landforms and watercourses, denote forests, urban areas, and green buffers. The relationship between ecological corridors and built areas is depicted in isometric views. Arrows translate ecological processes into planning by simulating the movement of organisms, air, and water. The method extends the breathing architecture concept from individual buildings to entire regions by integrating forest patches, retention ponds, and green plazas into a seamless system, exemplifying bioregional design.

### 1.3. Purpose of the Research Paper

This study investigates the ways in which breathing architecture connects urban interiors and natural ecosystems. It assesses if atmospheric design enhances social cohesion, place identity, emotional connection, and environmental performance [2, p.71-76]. The study offers a framework for adaptive, multisensory, and ecologically integrated architecture that makes cities healthier, more

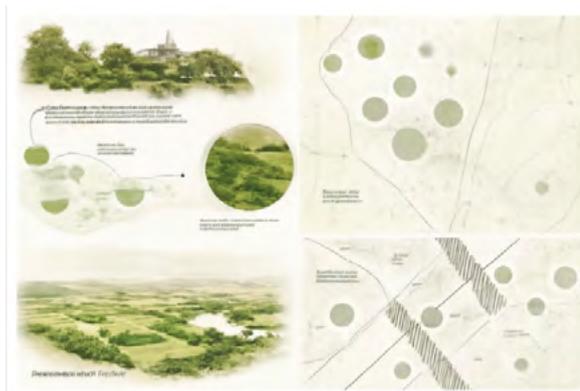
compassionate, and environmentally conscious by fusing philosophical, functional, and experiential viewpoints [7], [9, p. 34–49].

## II. Historical Perspective

### 2.1. Evolution of architecture and its relationship with nature

Architecture originally responded directly to nature, with early huts, dwellings, and shrines shaped by available resources, local climate, and the land itself [14, p. 30-34]. Due to their use of thick walls for heat absorption, breezes for cooling, and seasonal orientation toward the sun and wind, these houses didn't need any outside energy. Shelters used to reflect natural forms and honor the land, as evidenced by yurts, adobe pueblos, and tree-centered settlements [12, p. 1-18]. Rain channels that return water to the earth and roofs shaped like leaves are examples of this connection. Early modern and medieval communities blended buildings with narrow alleys by combining stonework with vegetation, such as fruit trees, arched walkways, and shallow ditches [7]. These designs included buildings that belonged to the ground rather than rising above it, and that enhanced rather than overshadowed the soil [13]. This paper argues that breathing architecture, while rooted in traditional ecological strategies, offers innovative frameworks

> Рис. 2. Экологическое зонирование и стратегия интегрированной зеленой инфраструктуры для территориальных дышащих систем / Figure 2. Ecological zoning and integrated green infrastructure strategy for territorial breathing systems



Энергоэффективность, баланс экосистем и биомимикрия стали основными темами «зеленой архитектуры» [10]. Зеленые крыши, фасады, чувствительные к дневному свету, и пассивные солнечные панели – примеры инноваций, которые перенесли акцент с декоративных элементов на поддающиеся количественной оценке экологические показатели [4]. Чтобы контролировать вентиляцию, сохранять тепло и снижать выбросы углекислого газа, здания начали функционировать как полуживые системы. В наши дни благодаря интеллектуальным датчикам и климатической аналитике в режиме реального времени становятся возможными гибкие, дышащие конструкции, которые адаптируются к изменяющимся условиям за счет изменения влажности, воздушного потока и затенения. Многие стратегии, которые сегодня часто преподносятся как современные инновации в области устойчивого развития – зеленые крыши, фасады, чувствительные к солнечным лучам, и устройства для затенения – на самом деле имеют глубокие исторические корни. Террасные сады, растительность на крышах и фасады в стиле машрабия на протяжении веков были неотъемлемой частью архитектурных традиций в регионах с высокой инсоляцией. Их нынешнее возрождение следует понимать как адаптивное повторное использование проверенных временем методов, а не как радикальные инновации [17].

## III. Принципы дышащей архитектуры

### 3.1. Привнесение природы в архитектуру

Архитекторы используют биофильный дизайн, чтобы привнести природу в города. В зданиях и ландшафтах используются переработанные материалы, растения, водные объекты и природные текстуры. Каменные стены, сады на крыше и внутренние дворы улучшают внешний вид, регулируют температуру и создают более уютную обстановку. Они также очищают воздух, снижают стресс и повышают концентрацию внимания. Современный дизайн рассматривает живые системы как часть здания, а не просто как украшение.

#### Эффективность воздушного потока:

$$ACH = (Q \cdot 3600) / V \quad - 1$$

Где:

Q = скорость воздушного потока через фасадные отверстия (м³/с)

V = внутренний объем помещения (м³)

Это помогает количественно оценить, насколько «дышащим» является фасад с точки зрения обновления воздуха.

#### Эффективность пористости на границе раздела помещений и улицы:

$$\eta P = A_o / A_t \quad - 2$$

Где:

$\eta P$  = эффективность пористости

$A_o$  = открытая площадка для воздухо- и светообмена

$A_t$  = общая площадь фасада

Исследования показывают, что естественное освещение и свежий воздух улучшают настроение, концентрацию внимания и общее самочувствие. В современных зданиях естественная вентиляция и солнечный свет имеют приоритет перед механическими системами. Мансардные окна, откидные створки, легкие полки и раздвижные панели – вот некоторые особенности, которые помогают проникать свежему воздуху, солнечному свету и бризу, снижая при этом энергопотребление и поддерживая комфорт обитателей. Связь с природой также улучшает самочувствие. Естественные ароматы, виды зелени, текущей воды и такие материалы, как камень или дерево,

that integrate cultural symbolism and modern technology to create adaptable urban environments.

Figure 3 displays mimetic, applied, and organic (categories of biophilic architecture). It draws attention to both overt and covert allusions to nature in both contemporary and historic structures. For aesthetic effect, mimetic design mimics natural forms. Living systems, such as rain gardens and green walls, are incorporated into regular building operations through applied design. An ongoing conversation with the local ecology and materials is the foundation of organic design. When taken as a whole, these strategies suggest a future in which architecture collaborates purposefully and closely with natural systems.

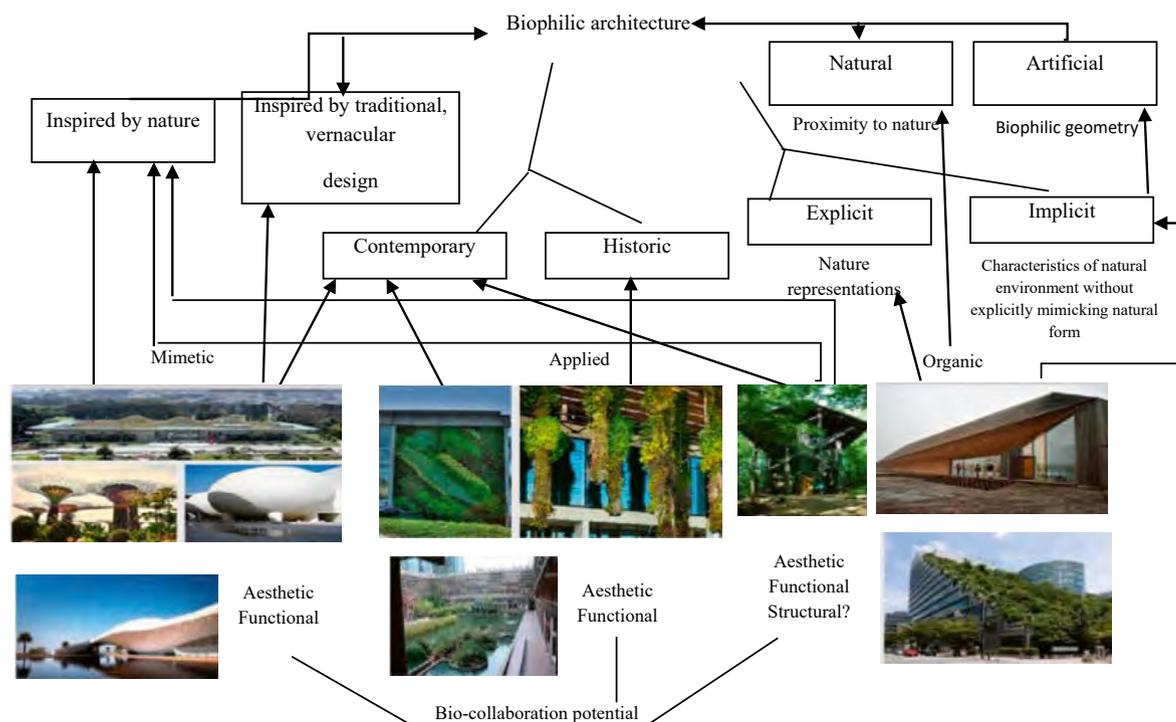
## 2.2. Industrialization and the Rise of Sustainable Architecture

The normal balance of architecture was upset by the Industrial Revolution [6, p. 126–132]. Towns that grew quickly added factories, railroads, and chimneys, prioritizing mechanical efficiency and mass production over local resources and climate-responsive design [11, p. 240–250]. While green spaces vanished and strict zoning slowed urban recovery, buildings became airtight and relied on fossil fuel cooling rather than natural ventilation, decreasing the resilience of cities [15]. By the end of the 20th century, architects

were forced to reconsider their design strategies due to ecological warnings, energy crises, and climate concerns [8, p. 245–255].

While early huts and vernacular dwellings were designed to absorb heat, capture breezes, and orient themselves to seasonal sun and wind, they nevertheless relied on external energy sources such as fire, hearths, and stoves for heating and cooking. This recognition avoids overstating their complete energy autonomy and situates them more accurately within the historical continuum of architecture's relationship to nature [17].

Energy efficiency, ecosystem balance, and biomimicry became the focus of green architecture [10]. Green roofs, daylight-responsive facades, and passive-solar shells are examples of innovations that moved the emphasis from ornamentation to quantifiable environmental performance [4, p. 116–130]. In order to control ventilation, buffer heat, and lower carbon footprints, buildings started to operate as semi-living systems. These days, responsive, breathing structures that adapt to changing conditions by modifying moisture, airflow, and shading are made possible by smart sensors and real-time climate analytics. Many strategies often presented today as “new” sustainable innovations—such as green roofs, sun-responsive facades, and climatic shading devices—actually have



< Рис. 3. Структура биофильной архитектуры: типологии, источники вдохновения и потенциал сотрудничества в области биологии / Figure 3. Framework of Biophilic Architecture: typologies, inspirations, and bio-collaborative potential

создают пространство, которое восстанавливает силы, способствует общению и уменьшает беспокойство. Терапевтические ландшафты, которые раньше можно было найти только в больницах, теперь используются в парках, на улицах и в вестибюлях, демонстрируя, что безмятежную природную среду можно найти даже в перенаселенных городах.

## IV. Анализ конкретных примеров

### 4.1. «Вертикальный лес» в Милане, Италия

Высотная жилая архитектура и зеленые насаждения сочетаются в миланском комплексе «Вертикальный лес» (Bosco Vertical). Более 900 деревьев в натуральную величину и тысячи кустарников расположены в двух башнях,

образуя городской сад на возвышенности. Растительность снижает потребность в отоплении и охлаждении, улучшая качество воздуха, поглощая углекислый газ, снижая уличный шум и обеспечивая изоляцию. Кроме того, зеленые фасады создают миниатюрный микроклимат, который уменьшает эффект городского теплового острова и обеспечивает прохладу для жителей. Этот проект бросает вызов традиционной модели высотных зданий из стекла и стали, демонстрируя, что плотная городская застройка может сосуществовать с обширными зелеными насаждениями.

На рисунках 4–6 показано, как украшенные растительностью фасады и парки на возвышенностях являются примером дышащей архитектуры, сочетающей экологи-

deep historical precedents. Terraced gardens, roof vegetation, and mashrabiya-type facades have been integral to architectural traditions in regions with high insolation for centuries. Their current revival should be understood as the adaptive reuse of time-tested methods rather than radical innovations [17].

### III. Principles of Breathing Architecture

#### 3.1 Bringing Nature inside Architecture

Architects are using biophilic design to bring nature into cities. Buildings and landscapes incorporate recycled materials, plants, water features, and natural textures. Stone walls, roof gardens, and courtyards enhance views, control temperature, and create cozier environments. These features also clean the air, reduce stress, and boost focus. Modern design treats living systems as part of the building, not just decoration.

#### Airflow Efficiency:

$$ACH = (Q \cdot 3600) / V \quad - 1$$

Where:

Q = airflow rate through facade openings (m<sup>3</sup>/s)

V = interior room volume (m<sup>3</sup>)

This helps quantify how “breathing” a facade is in terms of air renewal

#### Indoor-Outdoor Interface Porosity Efficiency:

$$\eta P = A_o / A_t \quad - 2$$

Where:

$\eta P$  = porosity efficiency

$A_o$  = open area for air/light exchange

$A_t$  = total facade area

Studies indicate that natural light and fresh air enhance mood, concentration, and overall health. Natural ventilation and sunlight are given precedence over mechanical systems in modern buildings. Skylights, tilting windows, light shelves, and sliding panels are some features that help bring in fresh air, sunlight, and breezes while lowering energy consumption and maintaining occupant comfort. Having a connection to nature also improves wellbeing. Natural scents, views of greenery, flowing water, and materials like stone or wood create spaces that are restorative, promote belonging, and lessen anxiety. Therapeutic landscapes, which were formerly only found in hospitals, are now utilized in parks, streets, and lobbies,

ческие функции с городской жизнью, улучшая качество воздуха и тепловой комфорт. На рис. 4 показаны зеленые насаждения, расположенные на балконах и консольных ограждениях. Установки улавливают углерод и твердые частицы, смягчают солнечное тепло и способствуют конвективному охлаждению, снижая зависимость от механических систем. Растительный слой также поддерживает биоразнообразие городов, обеспечивая среду обитания для птиц и насекомых, демонстрируя, как здания могут выступать в качестве активных экологических субъектов, одновременно повышая комфорт и благополучие людей.

#### 4.2. «Сады у залива», Сингапур

Комплекс «Сады у залива» (Gardens by the Bay), расположенный в центральной части Сингапура, является примером интеграции ландшафтной архитектуры и инженерии. В дополнение к знаменитым супердеревьям, которые служат в качестве солнечных башен, вертикальных садов и дождеприемников, в нем есть две оранжереи с климат-контролем. В оранжереях представлены экспонаты с растениями тропических, умеренных

и полярных зон. Посетители могут узнать об опылителях, круговороте углерода и улавливании воды растениями с помощью интерактивных трекеров, звуковых ландшафтов и датчиков. Парк является одновременно эстетичным и энергоэффективным благодаря светодиодным решеткам, которые питаются от солнечных панелей на крыше, микроветряных турбин и аккумуляторных батарей. Эти решетки также соответствуют циркадным ритмам растений. Здесь мы видим подтверждение того, что забота об окружающей среде и городская жизнь могут сосуществовать. Хотя конкретные примеры – «Сады у залива» в Сингапуре, «Вертикальный лес» в Милане – иллюстрируют успешную экологическую интеграцию, их широкое применение ограничено. В регионах с суровым климатом из-за сильных холодов или длительной засушливости растения впадают в спячку или вянут значительную часть года, что снижает экологические показатели. Более того, высокотехнологичные решения, такие как супердеревья, сопряжены со значительными затратами, которые возможны в первую очередь в богатых странах, что затрудняет их широкое тиражирование [19].

На рис. 5 показано, что супердеревья объединяют технологии и биомимикрию: вогнутые верхушки отводят дождевую воду в хранилища, поверхности улавливают частицы, а фотоэлектрические листья собирают энергию. Посетители могут поближе рассмотреть вертикальные сады, пройдясь по подвесному мосту. Здания контролируют микроклимат, улучшают биоразнообразие городов и демонстрируют, как инженерные и экологические задачи могут сосуществовать в городской среде.

На рис. 6 показана старая линия надземной железной дороги, которая была преобразована в длинный оживленный городской парк Хай-Лайн. Здесь сочетаются современные городские формы с экологическим дизайном благодаря использованию местных растений, извилистых дорожек и удобных мест для встреч. Сохранение некоторых оригинальных железнодорожных путей объединяет зеленую инфраструктуру с культурным наследием. Парк предоставляет горожанам доступ к зеленым насаждениям, снижает жару и увеличивает биоразнообразие. Он служит примером того, как заброшенная инфраструктура



в Рис. 4. «Вертикальный лес»: интеграция растительности в городское высотное жилье / Figure 4. Vertical Forest: integrating vegetation into high-rise urban living

demonstrating that serene, natural environments can be found even in crowded cities.

#### IV. Case Studies

##### 4.1. The Bosco Verticale in Milan, Italy.

High-rise residential architecture and greenery are combined in Milan's Bosco Verticale (Vertical Forest). Over 900 full-sized trees and thousands of shrubs are housed in two towers, forming an elevated urban garden. The vegetation lowers the need for heating and cooling by improving air quality, absorbing carbon, reducing street noise, and providing insulation. Additionally, green facades produce tiny microclimates that reduce the urban heat island effect and keep inhabitant's cooler. This project challenges the conventional glass-and-steel high-rise model by demonstrating that dense urban living can coexist with ample green spaces.

Figures 4–6 demonstrate how vegetation-integrated facades and elevated parks exemplify breathing architecture, blending ecological functions with urban living while enhancing air quality and thermal comfort. Figure 4 shows greenery integrated across balconies and cantilevered edges. Plants capture carbon and particulates, moderate solar heat, and promote convective cooling,

reducing reliance on mechanical systems. The vegetative layer also supports urban biodiversity by providing habitats for birds and insects, demonstrating how buildings can act as active ecological agents while enhancing human comfort and well-being.

##### 4.2. Gardens by the Bay, Singapore.

Around the city level, Gardens by the Bay situated in Singapore's downtown core serves as an example of the integration of landscape architecture and engineering. It has two climate-controlled conservatories in addition to the famous Super-trees, which serve as solar towers, vertical gardens, and rain collectors. Tropical, temperate, and polar plant exhibits are available for visitors to view in greenhouse zones. Visitors can learn about pollinators, carbon cycling, and plant water capture through interactive trackers, soundscapes, and sensors. The park is both aesthetically pleasing and energy-efficient thanks to LED arrays that are powered by rooftop solar panels, micro wind turbines, and battery storage. These arrays also follow the circadian rhythms of the plants. The Gardens demonstrate that environmental stewardship and urban living can coexist. While case studies such as Gardens by the Bay in Singapore or Bosco Verticale in Milan illustrate successful ecological integration, their broader applicability is limited. In regions with harsh

в Рис. 5. Роща супердеревьев: сочетание технологий и экологии в «Садах у залива» / Figure 5. Super tree grove: fusion of technology and ecology at Gardens by the Bay

в Рис. 6. Хай-Лайн: преобразование городской инфраструктуры в зеленое общественное пространство / Figure 6. The High Line: transforming urban infrastructure into green public space

может быть преобразована в пригодные для жизни городские ландшафты, устойчивые к изменению климата.

На рис. 7 показана роль инноваций в материалах, показывающая, как адаптивная обшивка и реагирующие поверхности могут служить воздухопроницаемыми слоями между природной и искусственной средой. На рисунке показано создание экологически чистых каменных блоков, называемых экоблоками, которые изготавливаются из переработанных материалов, а не из свежего камня, добытого в карьере. Первый вариант позволяет избежать попадания отходов на свалки за счет использования дробленого бетона, остающегося от сноса старых конструкций. Второй вариант позволяет перерабатывать отходы стекла и повышает прочность за счет добавления дробленого стекла. Самая последняя версия позволяет снизить уровень загрязняющих веществ, энергопотребления и выбросов углерода за счет сочетания стекла, минеральных наполнителей и фотокаталитических материалов. Эти варианты показывают, насколько полезными и экологичными могут быть строительные материалы.

Рис. 8 иллюстрирует слияние народной мудрости с параметрическим дизайном, подтверждая тезис о том, что дышащая архитектура одновременно уходит корнями в традиции и опирается на современные технологии. Волнообразная крыша здания поддерживается бамбуковыми колоннами, установленными с использованием компьютерных моделей для оптимизации прочности. Диаграммы иллюстрируют оптимальное расположение стыков и бамбуковых волокон для обеспечения конструктивных характеристик. В этом проекте учитываются местный климат и культура, а современные параметрические методы сочетаются с традиционным мастерством изготовления.

#### V. Преимущества дышащей архитектуры

В городских районах дышащие здания повышают энергоэффективность и качество воздуха. Эти конструкции фильтруют пыль, поглощают углекислый газ и выделяют кислород за счет использования зеленых насаждений, пористых поверхностей и пассивной вентиляции. Кроме того, естественный поток воздуха снижает уровень плесени и загрязняющих веществ в помещениях. Благодаря



climates severe cold or prolonged aridity plants hibernate or wither for significant portions of the year, restricting ecological performance. Moreover, highly technological solutions such as Supertrees involve substantial costs that are feasible primarily in wealthy nations, making widespread replication difficult [19].

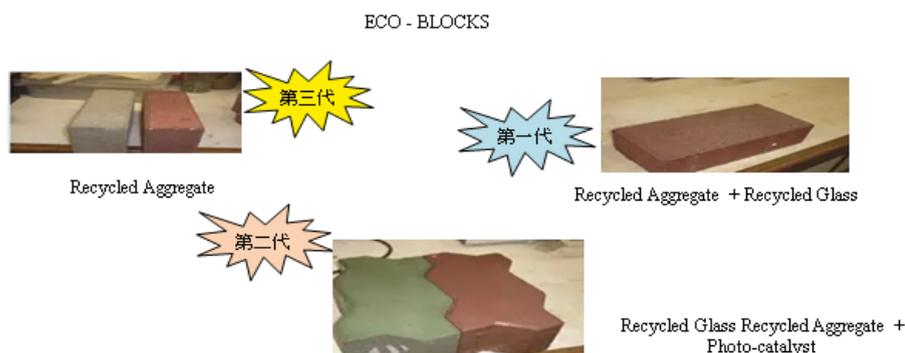
Figure 5 shows the super trees integrate technology and biomimicry: concave tops channel rainwater to storage, surfaces catch particles, and photovoltaic leaves harvest energy. Visitors can get a close-up look at the vertical gardens via an aerial walkway. The buildings control microclimates, improve urban biodiversity, and show how engineering and ecological objectives can coexist in urban environments.

Figure 6 illustrates an old elevated rail line was converted into a lengthy, lively urban park by the High Line. It blends contemporary urban form with ecological design through the use of native plants, meandering pathways, and adaptable gathering areas. The preservation of some of the original rail tracks combines green infrastructure with cultural heritage. The park gives city dwellers access to green space, lowers heat, and increases biodiversity. It serves as an

example of how abandoned infrastructure can be transformed into livable, climate-resilient urban landscapes.

Figure 7 highlights the role of material innovation, showing how adaptive skins and responsive surfaces can function as breathable layers between natural and built environments. It demonstrates the creation of eco-friendly masonry units called Eco-Blocks, which are constructed from recycled materials rather than fresh stone that has been quarried. The first version helps keep waste out of landfills by using crushed concrete from demolition. The second recycles glass waste and increases strength by adding crushed glass. The most recent version reduces pollutants, energy consumption, and embodied carbon by combining glass, mineral aggregates, and photocatalytic materials. These variations show how building materials can be useful and sustainable.

Figure 8 illustrates the fusion of vernacular wisdom with parametric design, reinforcing the thesis that breathing architecture is both rooted in tradition and empowered by modern technology. Its wavy roof is supported by bamboo columns placed precisely using computer models to optimize strength. Diagrams illustrate the optimal arrangement of joints and bamboo grain for structural



^ Рис. 7. Экоблоки: эволюция экологически чистых строительных материалов с использованием переработанных компонентов / Figure 7. Eco-Blocks: evolution of sustainable construction materials using recycled components

> Рис. 8. Параметрический Бамбуковый павильон: традиционная форма сочетается с цифровым изготовлением / Figure 8. Parametric Bamboo Pavilion: vernacular form meets digital fabrication



этому воздух становится прохладнее и чище, что благоприятно сказывается на общем состоянии здоровья, концентрации внимания и самочувствии жителей.

Широкие атриумы, коридоры с перекрестной вентиляцией, тепловые потоки и интеллектуальное затенение являются примерами пассивных конструктивных особенностей, которые одновременно естественным образом регулируют температуру в помещении и уменьшают потребность в системах отопления и охлаждения. Компостируемые биополимеры, пригодный для вторичной переработки алюминий и древесина местного производства являются примерами материалов с низким ударным воздействием, которые еще больше сокращают выбросы парниковых газов и потребление энергии. В совокупности эти характеристики делают дышащие здания более экологичными и полезными для здоровья жителей.

Рис. 9 подчеркивает адаптацию к стилю жизни, показывая, как дышащая архитектура не только преобразует физические структуры, но и формирует повседневный городской опыт. Наглядные руководства, которым легко следовать, способствуют индивидуальным и коллективным действиям по снижению воздействия на окружающую среду.

На графике 1 показана диаграмма, сравнивающая четыре проекта дышащей архитектуры по трем показателям: экономия энергии, улучшение качества воздуха и удовлетворенность пользователей. Влияние успешного биофильного дизайна демонстрируют «Прототип экоблока» и «Сады у залива», которые имеют наилучшие показатели по энергопотреблению и качеству воздуха. «Вертикальный лес» демонстрирует важность дизайна, ориентированного на людей, при несколько меньшей экономии энергии, но более высоком уровне удовлетворенности пользователей. Несмотря на то, что Хай-Лайн потребляет весьма малое количество энергии, она по-прежнему повышает ежедневную удовлетворенность пользователей и качество воздуха.

На графике 2 представлена линейная диаграмма, отражающая эффективность здания с 2019 по 2023 год, демонстрирующая устойчивое снижение энергопотребления благодаря пассивным вентиляционным отверстиям, работающим с механическими системами по требованию.

performance. This design respects the local climate and culture while fusing contemporary parametric techniques with traditional craftsmanship.

### V. Benefits of Breathing Architecture

In urban areas, breathing buildings enhance energy efficiency and air quality. These structures filter dust, absorb carbon dioxide, and release oxygen by incorporating greenery, porous surfaces, and passive ventilation. Additionally, natural airflow lowers mold and indoor pollutants. This produces cooler, cleaner air, which benefits residents' general health, concentration, and well-being.

Wide atria, cross-ventilated hallways, thermal masses, and intelligent shading are examples of passive design features that simultaneously naturally control interior temperatures and lessen the need for heating and cooling systems. Compostable biopolymers, recyclable aluminum, and locally grown timber are examples of low-impact materials that further reduce greenhouse gas emissions and energy use. When taken as a whole, these characteristics make breathing buildings more environmentally friendly and healthier for residents.

Параллельно повысилось качество воздуха в помещении, чему способствовали улучшенный воздушный поток, дневное освещение, а также большее количество цветочных горшков и живых стен.

В таблице 1 и прилагаемых графиках представлены измеримые результаты, такие как экономия энергии, улучшение качества воздуха и повышение удовлетворенности пользователей, которые подтверждают эффективность дышащей архитектуры в достижении положительных экологических и социальных результатов.

В таблице 1 сравниваются пять заметных экоархитектурных проектов, подчеркивающих связь между озеленением, энергоэффективностью и удовлетворенностью жильцов. «Вертикальный лес» обеспечивает 80% облиственности, оценку пользователей на 9,2 балла, улучшение качества воздуха на 60% и сокращение потребления энергии на 35%. Плотное вертикальное озеленение в проектах «Сады у залива» и «Прототип экоблока» дает наилучшие результаты с точки зрения комфорта и экономии энергии. С рейтингом удовлетворенности 9,8, 95% облиственности и 45%-й экономией энергии «Прототип экоблока» лидирует в группе. В целом эти результаты показывают, что в плотных городских районах продуманный архитектурный дизайн и повышенная плотность насаждений улучшают благосостояние жителей и уменьшают воздействие на окружающую среду.

### VI. Задачи и будущие направления

Традиционным методам строительства, которые часто основаны на использовании громоздких однородных материалов и ограниченном финансировании, противопоставляется дышащая архитектура. Строителям, обученным традиционным методам, необходимо сменить акцент с неизменной массы на легкие ограждающие конструкции, учитывающие климатические условия. Обновленные стандарты экологической сертификации, совместные семинары и публичные демонстрационные проекты показывают очевидные преимущества: повышенный комфорт, снижение механических нагрузок и использование более прочных материалов. Фиксируя эти достижения, индустрия может в конечном итоге использовать дышащее

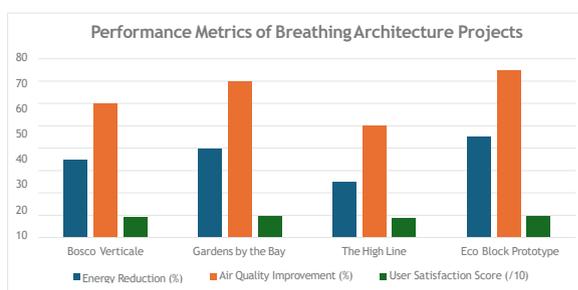
Figure 9 emphasizes lifestyle adaptation, showing how breathing architecture not only transforms physical structures but also reshapes everyday urban experiences. Easy-to-follow visual guides promote individual and collective actions for a reduced environmental impact.

Graph 1 shows scatter plot comparing four breathing-architecture projects on three outcomes: energy savings, improved air quality, and user satisfaction is displayed in Figure 1. The impact of successful biophilic design is demonstrated by the Eco Block Prototype and Gardens by the Bay, which have the best energy and air quality results. The Bosco Verticale demonstrates the importance of people-focused design with slightly lower energy savings but higher user satisfaction. Although the High Line uses the least amount of energy, it still enhances daily user satisfaction and air quality.

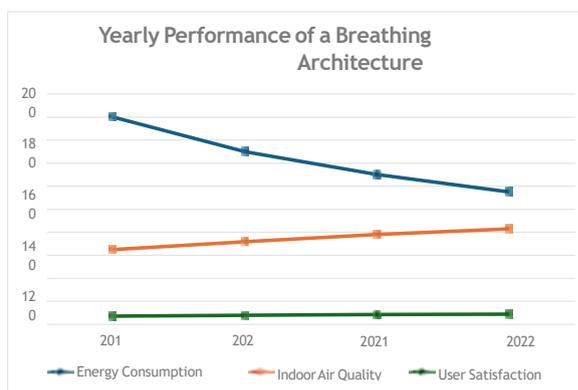
Graph 2 presents the line chart tracks the building's performance from 2019 to 2023, showing a steady decline in energy consumption thanks to passive vents working with on-demand mechanical systems. Indoor air quality improved in parallel, supported by better airflow, daylighting, and more planters and living walls.



< Рис. 9. Семь повседневных действия по сокращению вашего углеродного следа / Figure 9. 7 everyday actions to reduce your carbon footprint



< График 1. Оценка устойчивости и выгод для пользователей в проектах, интегрированных с природой / Graph 1. Evaluating sustainability and user benefits in nature-integrated designs



< График 2. Годовые показатели эффективности здания с дышащей архитектурой (2019–2023) / Graph 2. Yearly performance trends for a breathing architecture building (2019–2023)

Table 1 and the accompanying graphs provide measurable outcomes such as energy savings, improved air quality, and enhanced user satisfaction that validate the effectiveness of breathing architecture in achieving ecological and social benefits.

Table 1 compares five notable eco-architectural projects, highlighting the link between greenery, energy efficiency, and occupant satisfaction. Bosco Verticale exhibits 80% leaf coverage, a 9.2 user rating, a 60% improvement in air quality, and a 35% reduction in energy use. Dense vertical planting in projects like Gardens by the Bay and the Eco Block Prototype yields the best results in terms of comfort and energy savings. With a 9.8 satisfaction rating, 95% foliage coverage, and a 45% energy reduction, the Eco Block Prototype leads the group. Overall, these results demonstrate that in dense urban areas, smart architectural design and increased plant density improve resident well-being and lessen environmental impact.

**VI. Challenges and Future Directions**

Conventional building methods, which frequently depend on bulky, homogenous materials and limited funding, are challenged by breathing architecture. Traditional method-trained builders

need to change their emphasis from permanent mass to climate-responsive, lightweight envelopes. Updated green-certification standards, cooperative workshops, and public demonstration projects all demonstrate observable advantages, such as increased comfort, reduced mechanical loads, and more durable materials. By chronicling these achievements, the industry may eventually embrace breathing design as a benchmark for conscientious, forward-thinking architecture.

In crowded cities, retrofits provide a useful means of implementing breathing principles. Without requiring extensive reconstruction, suspended green walls, retractable shades, and lightweight bio-roofs can cool microclimates, lower noise levels, and enhance air quality. Even in densely populated skylines, older buildings can progressively implement ecological upgrades through the use of prefabricated ventilated skins, modular pods, and phased passive systems, resulting in healthier urban environments.

By using specific ventilation, material selections, and occupant patterns, breathing architecture adjusts to local climates. While more sophisticated approaches – phase-change panels, passive turbines, and Internet of Things sensors – optimize energy efficiency in contemporary cities, more conventional approaches such as

проектирование в качестве эталона добросовестной дальновидной архитектуры.

В перенаселенных городах модернизация является полезным средством реализации «дышащих» принципов. Подвесные зеленые стены, убирающиеся шторы и легкие биокрыши могут охлаждать микроклимат, снижать уровень шума и улучшать качество воздуха, не требуя масштабной реконструкции. Даже в густонаселенных районах старые здания могут постепенно улучшать экологию за счет использования готовых вентилируемых оболочек, модульных корпусов и поэтапных пассивных систем, что приводит к оздоровлению городской среды.

Благодаря специальной вентиляции, выбору материалов и особенностям размещения обитателей «дышащая» архитектура адаптируется к местному климату. Сложные подходы – панели с фазовым переключением, пассивные турбины и датчики интернета вещей – оптимизируют энергоэффективность в современных городах. Тогда как более традиционные подходы – деревянные решетчатые стены и земляные воздухопроводы – снижают нагрузку на механические системы. Энергоэффективную, адаптирующуюся к климату и социально полезную архитектурную среду можно создать в городских районах по всему миру с помощью мер экономической политики, компенсаций выбросов углекислого газа и грантов на взаимное обучение.

**VII. Заключение**

В исследовании рассматривается дышащая архитектура – методология адаптивного проектирования, которая позволяет структурам и сообществам динамично приспосабливаться к изменениям климата и деятельности человека. Такая архитектура повышает комфорт жителей, улучшает их настроение, одновременно снижая потребление энергии за счет использования живой растительности, многослойных фильтров для поддержания микроклимата и мягкой вентиляции. Чтобы создать полезную систему показателей, которая превратит устойчивость городов в повседневную практику, устойчивость оценивается с использованием показателей энергопотребления, качества воздуха в помещениях и благополучия пользователей. Кроме того, в исследовании предлагаются рекомендации по проектированию с учетом климатических условий для различных регионов и описываются стратегии модернизации существующих высотных зданий.

Архитекторам, градостроителям и законодателям необходимо отказаться от больших, ресурсоемких моделей зданий в пользу более легких, ориентированных на жизнь стратегий, если они хотят в полной мере реализовать потенциал дышащей архитектуры. Чтобы внести эти изменения и сделать проект, ориентированный на выбросы углерода, нормой, необходимо обновить строительные нормы и правила, создать стимулы для проведения устойчивых испытаний и интегрировать эти идеи в архитектурное образование. Чтобы гарантировать, что зеленые насаждения отвечают потребностям общества и окружающей среды, политика должна быть также направлена на поддержание инициатив, которые сочетают экологические преимущества с социальной справедливостью. Каждая стена, карниз и пол изменяются благодаря дышащей архитектуре, превращаясь в адаптивный слой, который активно повышает эффективность использования ресурсов, комфорт и безопасность. Основным вкладом этого исследования является разработка структуры дышащей архитектуры, которая объединяет биомимикрию, адаптивную оболочку и стратегии модернизации в единый комплекс. Однако ее широкомасштабное применение ограничено клима-

Табл. 1. Анализ архитектурных проектов / Table 1. Analysis of the architecture projects

Project Name	Energy Reduction (%)	Air Quality Improvement (%)	User Satisfaction Score (/10)	Green Coverage (%)
Bosco Verticale	35	60	9.2	80%
Gardens by the Bay	40	70	9.5	90%
The High Line	25	50	8.7	75%
Eco Block Prototype	45	75	9.8	95%
Bio Living Pavilion	38	68	9.0	85%

timber lattice walls and rammed-earth ducts lessen the strain on mechanical systems. Energy-efficient, climate-adaptive, and socially beneficial built environments can be promoted in urban districts across the globe with the help of policies, carbon-offset incentives, and peer-learning grants.

## VII. Conclusion

The study explores breathing architecture, a responsive design methodology that enables structures and communities to dynamically adjust to alterations in the climate and human activity is examined. These designs enhance occupant comfort, mood, and focus while lowering energy consumption through the use of living vegetation, stacked microclimate filters, and gentle cross-drafts. In order to create a useful scorecard that translates urban resilience into everyday practice, sustainability is evaluated using energy performance, indoor air quality, and user well-being. Additionally, the research offers climate-sensitive design guidelines for different regions and describes retrofit strategies for existing high-rises.

Architects, urban planners, and legislators need to give up large, resource-intensive building models in favor of lighter, life-centered approaches if they are to fully realize the potential of breathing ar-

chitecture. To make this change and make carbon-conscious design the norm, it is necessary to update building codes, provide incentives for sustainable trials, and integrate these ideas into architectural education. In order to guarantee that green spaces meet the needs of the community and the environment, policies should also support initiatives that integrate ecological advantages with social equity. Every wall, eave, and floor are changed by breathing architecture to become a responsive layer that actively improves resource efficiency, comfort, and safety. The main contribution of this study is the framework it provides for breathing architecture, which unites biomimicry, adaptive skins, and retrofit strategies into a cohesive approach. However, its large-scale applicability is limited by climatic constraints and the high costs of advanced technological systems, particularly in low-resource contexts. Future research should therefore focus on adapting breathing principles to harsh climates and cost-sensitive environments, ensuring that responsive, ecological design becomes accessible across diverse urban settings.

тическими условиями и высокой стоимостью передовых технологических систем, особенно в условиях нехватки ресурсов. Поэтому будущие исследования должны быть направлены на адаптацию принципов дышащей архитектуры к суровому климату и экологическим затратам, чтобы обеспечить доступность адаптивного экологического проектирования в различных городских условиях.

## Литература / References

1. Azizova, F., Polvanova, M., Mamatov, A., Siddikova, S., Khasanova, N., Normamatova, P., Karshiev, A., & Zokirov, K. (2024). Evaluating the impact of community-based fisheries education programs on local communities' attitudes towards sustainable fishing practices. *International Journal of Aquatic Research and Environmental Studies*, 4(51), 71–76. <https://doi.org/10.70102/IJARES/V4S1/12>
2. Jiang, Y., Zhang, Y., & Luo, T. (2021). Adaptive Building Skins and Environmental Performance: Breathing Buildings in Sustainable Architecture. *Journal of Environmental Design*, 29(4), 221–239.
3. Smihunova, O., Bohdaniuk, I., Polyakova, Y., & Yehiozarian, A. (2024). Innovative Approaches to Controlling in Agribusiness: The Role of Quality Management Systems in Sustainable Production Practices. *Archives for Technical Sciences*, 2 (31), 116–130. <https://doi.org/10.70102/afts.2024.1631.116>
4. Sung, J. H. (2018). Atmospheric Urbanism: Interfacing Nature and Built Environment in Dense Cities. *Architectural Science Review*, 61 (3), 200–214.
5. Paul Thomas, K., & Rajini, G. (2024). Evolution of Sustainable Finance and Its Opportunities: A Bibliometric Analysis. *Indian Journal of Information Sources and Services*, 14(2), 126–132. <https://doi.org/10.51983/ijiss-2024.14.2.18>
6. Baer, K., & Rizvi, S. (2019). Breathing Cities: Responsive Interfaces for Urban-Nature Integration. *International Journal of Architectural Research*, 13(1), 34–49.
7. Raman, A., Balakrishnan, R., Arokiasamy, A. R., Pant, M., Batumalai, C., & Kuppasamy, M. (2024). Design and Development of a Security and Threat Model for Sustainable Manufacturing. *Journal of Internet Services and Information Security*, 14(3), 245–255. <https://doi.org/10.58346/JISIS.2024.I3.014>
8. Khalife, D., Subrahmanyam, S., & Farah, A. (2024). A Sustainable Circular Business Model to Improve the Performance of Small and Medium-sized Enterprises Using Blockchain Technology. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable*

*Applications*, 15(2), 240–250. <https://doi.org/10.58346/JOWUA/JOWUA.2024.I2.016>

9. Rapoport, A. (1969). *House Form and Culture*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
10. Tao, C., Abd Razak, M. R., Jingjing, L., & Mingqian, P. (2024). Sustainable and Bio-based Food Packaging Design of Chinese Agricultural Products Under the “Internet Plus” Mindset. *Natural and Engineering Sciences*, 9 (2), 1–18. <https://doi.org/10.28978/nesciences.1567827>
11. Ziwei, M., & Han, L. L. (2023). Scientometric Review of Sustainable Land Use and Management Research. *Aquatic Ecosystems and Environmental Frontiers*, 1 (1), 21–24.
12. Raghav, K., & Sunita, R. (2024). Advanced Material Selection and Structural Design for Sustainable Manufacturing of Automotive Components. *Association Journal of Interdisciplinary Technics in Engineering Mechanics*, 2 (3), 30–34.
13. Sharma, R., & Maurya, S. (2024). A Sustainable Digital Transformation and Management of Small and Medium Enterprises through Green Enterprise Architecture. *Global Perspectives in Management*, 2 (1), 33–43.
14. Venkatesh, V., & Menaka, S. R. (2019). Survey of Distributed Roadside Units for the Data Dissemination Protocol in VANET with the Named Data Architecture. *International Journal of Advances in Engineering and Emerging Technology*, 10 (2), 34–41.
15. Chopra, N., & Patil, V. (2025). Design of Advancements in AI for Cyber Threat Detection. In *Essentials in Cyber Defence* (pp. 16–34). Periodic Series in Multidisciplinary Studies.
16. Pevsner, N. (1979). *A History of Building Types*. Princeton University Press.
17. Petersen, A. (1996). *Dictionary of Islamic Architecture*. Routledge.
18. Wirth, C. L. (1980). *Parks, Politics, and the People*. University of Oklahoma Press.
19. Sayigh, A. (2020). *Green Buildings and Renewable Energy*. Springer Nature Switzerland AG.