Научная статья
УДК 711.523:470.23-25
EDN: EMMSWC
DOI: 10.21285/2227-2917-2024-2-406-417

Адаптивная архитектура – основные направления развития

А.В. Пономарёв[1]✉
[1]Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются перспективные направления адаптивной архитектуры, одного из самого динамично развивающегося сегмента проектирования и строительства. Исследование базируется на изучении широкого спектра объектов, в которых были применены передовые технологические решения. Полученные результаты позволяют отнести их к категории адаптивных объектов, пространств или сред. Особое внимание уделено трем аспектам адаптивной архитектуры. Прежде всего это энергоэффективность как основа адаптивной архитектуры, направленная на сохранение энергии и ресурсов, использование «чистой энергии», способствующая созданию зданий с высоким экологическим коэффициентом. Вторым аспектом является гибкость и мобильность среды, представляющая взаимодействие пространства и человека. Это функция среды направлена на создание пространств, способствующих к изменению в зависимости от общественных и личных потребностей. Третий аспект задействует три составляющие – человека, пространство и цифровые технологии. Ответом на вызов современности конца XX – начала XXI века стала перестройка технологического процесса в сторону поиска наиболее эффективных направлений в области создания устойчивых объектов, пространств и сред. Связующим элементов в данном процессе являются цифровая реальность, а результатом – адаптивное пространство, реагирующее на изменения внешней среды и потребностей человека.

Ключевые слова: адаптивная архитектура, энергоэффективность, мобильность, интерактивность, цифровая реальность

Для цитирования: Пономарев А.В. Адаптивная архитектура – основные направления развития // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т.14. № 2. С. 406–417. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-406-417. EDN: EMMSWC.

Original article

Adaptive architecture – main development directions

Aleksandr V. Ponomarev[1]✉
[1]Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia

Abstract. This article considers promising directions of adaptive architecture, one of the most dynamically developing concepts in the field of design and construction. A wide range of objects constructed using advanced technological solutions are studied and classified as adaptive objects, spaces, or environments. Special attention is paid to the following three aspects of adaptive architecture. First, adaptive architecture should be based on the principle of energy efficiency, including conservation of energy and resources and use of clean energy, contributing to the creation of buildings with a high environmental coefficient. Second, the living environment should meet the requirements of flexibility and mobility, representing the interaction between the environment and the human. This function of the environment is aimed at creating spaces conducive to changes depending on public and personal needs. Third, the relations between three components—people, environment, and digital technologies—should be considered. The response to the challenge of modernity in the late 20th and early 21st century concerned the restructuring of the technological process towards the search for the most effective directions in the field of creating sustainable objects, spaces, and environments. Digital reality becomes a connecting element,

© Пономарёв А.В., 2024

which contributes to the creation of an adaptive space flexibly responding to changes in the environment and human needs.

Keywords: adaptive architecture, energy efficiency, mobility, interactivity, digital reality

For citation: Ponomarev A.V. Adaptive architecture – main development directions. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction.* 2024;14(2): 406-417. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-406-417. EDN: EMMSWC.

ВВЕДЕНИЕ

Адаптивная архитектура – направление, которое становится все более актуальным в современном мире. Ее основная идея заключается в создании зданий и сооружений, способных адаптироваться к различным условиям и изменениям окружающей среды. Развитие адаптивной архитектуры имеет длительную историю. Еще в древности люди строили сооружения, которые приспосабливали к изменчивым климатическим условиям. Это могли быть здания с учетом естественной циркуляции воздуха или дома, при постройке которых учитывалась ориентация относительно солнца для получения максимального количества тепла и света, либо наоборот для предотвращения излишнего нагрева.

Сегодня адаптивная архитектура стала более разнообразной и сложной. Она объединяет собственно архитектурно-строительную деятельность, дизайн, ландшафтное проектирование, а также передовые инженерные и конструктивные решения. Целью данной работы является рассмотрение интеграционной составляющей взаимодействия собственно архитектурной практики и инженерных разработок [1].

МЕТОДЫ

Исследование проводилось на основе большой выборки объектов, в которых были применены передовые технологические решения. Полученные результаты позволяют отнести их к категории адаптивных объектов, пространств или сред. В свою очередь объекты были сгруппированы по трем тематическим блокам – энергоэффективность, гибкость, мобильность и интерактивность. В статье рассматриваются некоторые объекты из этих блоков, которые, по мнению автора, наиболее полно иллюстрируют заявленную тему.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Современные вызовы, такие как активная урбанизация, изменения климата и технологические инновации требуют новых подходов к разработке концепции устойчивого развития зданий и планировочных объектов (городов, районов и т. п.), которые включают в себя использование безопасной энергии, экологически чистые материалы, энергоэффективное планирование и создание пространств для комфортного общественного использования.

В этом контексте основными направлениями развития архитектурно-строительной деятельности являются:

1. Энергоэффективность. Учитывая комплекс существующих экологических проблем, адаптивная архитектура стремится к созданию зданий, которые эффективно используют энергию и ресурсы. Это могут быть здания с солнечными панелями, системами сбора и повторного использования воды, а также интеллектуальными системами управления энергопотреблением [2].

2. Гибкость и мобильность. Современное общество требует определенных пространств, которые могут быть адаптированы под различные потребности [3]. Адаптивная архитектура предлагает решения, позволяющие изменить конфигурацию помещений, создавать многофункциональные зоны, необходимые пространства и перемещаемые блоки [4].

3. Интерактивность. С развитием информационных технологий адаптивные мероприятия становятся связанными с интерактивными процессами. Они могут реагировать на изменения окружающей среды, потребности пользователей и даже на настроения людей. Такие здания и пространства могут менять свою форму, освещение, цвет и звуковое сопровождение [5].

Энергоэффективность как основа адаптивной архитектуры

В современном мире, где проблемы окружающей среды становятся все более актуальными, использование технологий, связанных с сохранением энергии и ресурсов, является одним из важнейших направлений. Ключевой аспект – это повышение энергоэффективности зданий, а также использование «чистой энергии», дождевой и конденсатной воды для технического обеспечения сооружения.

В 1990-х гг. были введены «зеленые» международные сертификаты для оценки качества принимаемых решений при строительстве зданий. Они оценивают эффективное исполь-

зование энергии и ресурсов, помогая определить, насколько здание соответствует принципам экологической эффективности [6].

Так, одним из первых и наиболее известных методов оценки экологической эффективности зданий является BREEAM, разработанный в Великобритании в 1990-м г. Он оценивает различные аспекты, связанные с энергоэффективностью и экологической устойчивостью зданий, включая использование возобновляемых источников энергии, эффективность систем отопления и охлаждения, а также управление отходами [7]. Еще одной международной системой экологического и энергоэффективного стандарта является LEED. Она предоставляет оценку сооружения после годовой эксплуатации и включает в себя различные категории, такие как энергия, атмосфера, водоснабжение, материалы и ресурсы, а также качество внутренней среды. Стандарт LEED широко распространен и получил признание во многих странах.

«Зеленые» сертификаты также играют важную роль в содействии развития энергоэффективных и экологически устойчивых зданий. Они стимулируют компании и организации строить здания, которые минимизируют потребление энергии и ресурсов, а также снижают негативное воздействие на окружающую среду. Примером успешной реконструкции с использованием «зеленых» сертификатов является высотное здание штаб-квартиры Дойче Банка во Франкфурте-на-Майне [8].

В 2010 г. оно было высоко оценено стандартом LEED, что подтверждает его соответствие принципам энергоэффективности и экологической устойчивости (рис. 1). Еще одним объектом, заслуживающим внимание, является реконструкция Академии наук в Калифорнии (рис. 2). Здание перекрыто зеленой кровлей, площадью более одного гектара. Она работает на термо- и звукоизоляцию, сбор дождевой воды и т. д. Здание опоясано солнечными батареями, в нем используются технологические устройства для поступления прохладного воздуха с океана внутрь здания и равномерного распределения по помещениям [9]. Это здание также получило самый престижный сертификат «экологической устойчивости» LEED.

Рис. 1. Здания штаб-квартиры Дойче Банка во Франкфурте-на-Майне, архитектор Марио Беллини, 2011 г. [1]
Fig. 1. Deutsche Bank headquarters buildings in Frankfurt am Main, architect Mario Bellini, 2011

[1]«Зеленые башни» «Дойче Банка». Здания высоких технологий. 2023. Режим доступа: http://zvt.abok.ru/articles/38/Zelenie_bashni_Doiche_Banka (дата обращения: 08.11.2023).

Рис. 2. Академия наук в Калифорнии, архитекторы Ренцо Пьяно, Мэтт Росси, 2008 г.[2]
Fig. 2. The Academy of Sciences in California, architects Renzo Piano,Matt Russia, 2008

Несмотря на то, что приведенные выше здания разные по площади и объемно-планировочным характеристикам, оба они были удостоены платинового сертификата LEED[3]. В табл. 1. представлены показатели «экологической устойчивости» LEED двух зданий – штабквартиры Дойче Банка во Франкфурте-на-Майне и Академии наук в Калифорнии. Основное внимание было направлено на те средства, с помощью которых достигались энергоэффективность, озонобезопасность и экологичность данных объектов [10].

Здание Media-Tic представляет собой передовую архитектурную конструкцию, выполненную из инновационного материала, способного пропускать свет и задерживать тепло. Это уникальное решение для офисного здания было разработано архитектором Энриком Рулье-Гели.

Ограждающая конструкция способствует поддержанию комфортной температуры внутри здания летом, когда на улице температура воздуха, характерная для испанского климата. Но это еще не все достоинства этого материала, он накапливает солнечный свет, работая как аккумулятор и обеспечивает зданию возможность светиться в течение восьми часов ночью.

Система также основана на экологически чистых источниках энергии, что привело к уменьшению выбросов в атмосферу углекислого газа на 90 %.

Гибкость и мобильность – взаимодействие человека и пространства

Адаптивность архитектурного пространства может выражаться в создании гибких и мультифункциональных помещений. Современное архитектурное пространство стало гораздо динамичнее, чем когда-либо.

Одними из ключевых аспектов адаптивности являются технические и композиционные возможности регулярной или периодической трансформации планировки или объема помещений. Это позволяет создавать гибкие пространства, способные меняться в зависимости от потребностей и задач.

Многофункциональные залы, которые обладают возможностью изменения конфигурации, адаптации их под различные цели имеют свою давнюю историю. Пространство свободной планировки для архитектурного факультета Иллинойского технологического института было спроектировано Людвигом Миссом ван дер Роэ еще в 1938 г. (рис. 4) [11]. Помещения, предназначенные для обучения, могут быть адаптированы под проведение культурных мероприятий или спортивных тренировок. В настоящее время преимущества мобильного пространства используют при приспособлении исторических промышленных объектов

[2]The world's greenest museum opened. Режим доступа: https://calacademy.org/press/releases/rebuilding-project-fact-sheet (дата обращения: 18.12.2023).
[3]Greentowers-setting a New Global Standard. Transforming Deutsche Bank's Head Office into a Green Buildinghttps. Режим доступа: https://uli.org/wp-content/uploads/ULI-Documents/GP-Deutsche-Bank.pdf (дата обращения: 18.12.2023).

зального типа под различные функции общественного характера (рис. 5) [12]. Однако адаптивность архитектурного пространства не ограничивается только его физическими параметрами – важным аспектом является интеграция смежных областей, таких как информационные технологии. Например, системы умного управления помещениями позволяют автоматически регулировать освещение, температуру и мощность вентиляционных установок.

Таблица 1. Показатели экологической устойчивости здания штаб-квартиры Дойче Банка во Франкфурте-на-Майне и здания Академии наук в Калифорнии
Table 1. Indicators of environmental sustainability of the Deutsche Bank headquarters building in Frankfurt am Main and the Academy of Sciences building in California

№	Показатели	Штаб-квартира Дойче Банка во Франкфурте-на-Майне	Здания Академии наук в Калифорнии
1	Переработка материалов	переработка 30 500 т материалов с повторным использованием строительных материалов при строительстве	– переработка 9 000 т бетона, 12 000 т стали. В конструкции здания использовалось 95 % переработанной стали; – изоляция стен здания была основана на переработанных джинсах; – 32 000 т песка, добытого при раскопках фундамента, было использовано для проектов по восстановлению дюн в Сан-Франциско
2	Тепловая энергия	экономия потребления составила 67 % в год по отношению к прежним показателям	потребление составило на 30 % меньше энергии, чем того требует федеральный закон
3	Электрическая мощность	экономия 55 % потребления электроэнергии к прежним показателям	почти 100 % электроэнергии поступает из экологически чистых источников
4	Сокращение использования воды	– экономия 74 % в год; – сокращение требуемого объема питьевой воды на 26 000 м^3 в год; – использование инновационной водосберегающей технологии GreenGain, которая минимизирует затраты воды на смыв в туалете и составляет на 30 % меньше, чем в традиционных системах	– экономия 32 % в год ниже по сравнению с базовым показателем уровня LEED, благодаря безводным писсуарам и смесителям с низким расходом, унитазам и душевым насадкам; – почвенный слой толщиной 15 см на крыше служит естественной изоляцией и ежегодно удерживает около 14 млн л дождевой воды от превращения в ливневые стоки
5	Выбросы CO2	сокращение на 89 % в год	сокращение на 5 375 т в год
6	Улучшение качества труда	после реконструкции улучшенными условиями труда смогут воспользоваться еще до 600 сотрудников	90 % офисных помещений будут иметь естественное освещение и вентиляцию

Если говорить о пространстве, то гибкость и мобильность имеет здесь большое значение. Гибкий архитектурный дизайн общественных пространств – это способ содействия социальным связям и устойчивому развитию территорий. Фактически, целью создания гибких пространств является создание новых пространств для требуемых функций путем простых структурных изменений.

В качестве примера можно привести работу студентов-архитекторов по разработке модульной конструкции. На факультет архитектуры, ландшафта и дизайна в Дэниелсе обратилась фирма, которой необходимо было разработать модульный элемент, который помещался бы в их офисе, а в развернутом виде занимал определенное место на открытом воздухе [13].

При этом требовалось, чтобы модули могли нести различную функциональную нагрузку (рис. 6, 7): использоваться в качестве мобильной библиотеки, классной комнаты на открытом воздухе, стенда для фермерского рынка и тележки с едой и др.

Рис.3. Здание Media-Tic, Барселона, архитектор Энрик Руле-Гели, 2009 г.[4]
Fig.3. Media-Tic building, Barcelona, architect Enric Ruiz Geli, 2009

Рис. 4. Архитектурный факультет Иллинойского технологического института, архитектор Людвиг Мисс ван дер Роэ, 1938 г. [11]
Fig. 4. Architecture Department of the Illinois Institute of Technology, architect Ludwig Mies van der Rohe, 1938 [11]

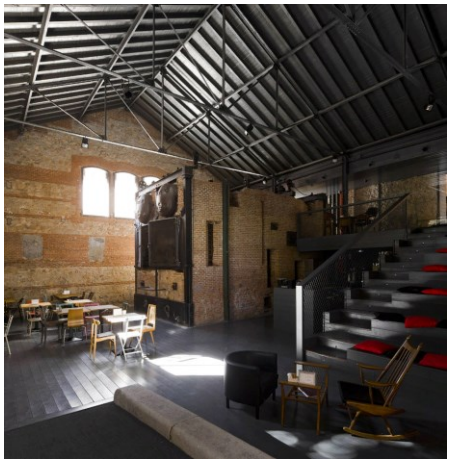

Рис. 5. Общественные пространства в бывших скотобойнях в Мадриде, фото Пономарева А.В.
Fig. 5. Public spaces in former slaughterhouses in Madrid

[4]Здание Media-Tic, Барселона, архитектор Эрик Руле-Гели. Режим доступа: https://www.worldconstructionnetwork.com/projects/media-tic/?cf-view (дата обращения: 18.12.2023).

Рис. 6. Модуль в сложенном виде [16]
Fig. 6. The module is folded [16]

Рис. 7. Модуль развернут в общественном пространстве [16]
Fig. 7. The module is deployed in a public space [16]

Видоизменение формы объекта в зависимости от показателей внешней среды было предложено авторами конкурсного проекта многофункционального комплекса для Арктики (рис. 8).

В период полярной зимы архитектурный облик объекта представляет собой закрытую форму, образуемую наклонными структурными сэндвич-панелями. Когда наступает короткое полярное лето, фасад трансформируется. Изменения фасада заключается в повороте и фиксации в горизонтальном положении структурных сэндвич-панелей. Наружная оболочка трансформируется в козырьки и возникает новое пластическое решение фасадов с большими окнами и лоджиями. Арктическое солнце не поднимается высоко над горизонтом, но делает почти полный оборот по небосводу, максимально инсолируя все внутренние объемы здания.

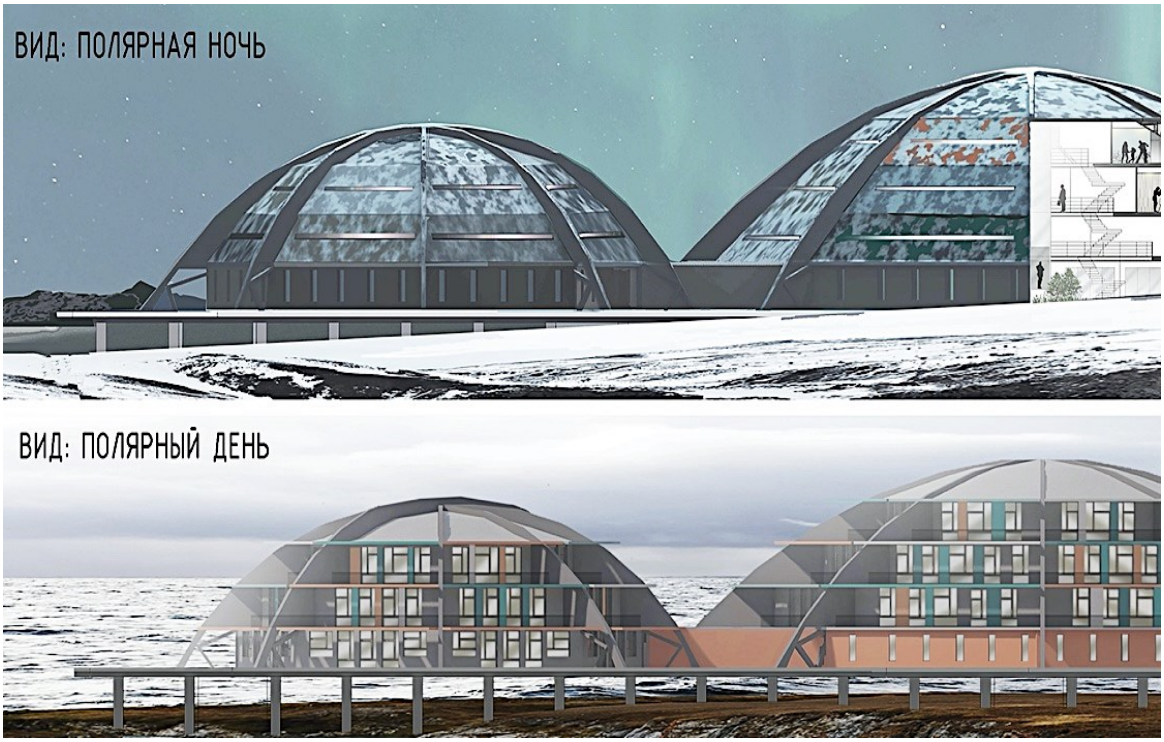

Рис. 8. Многофункциональный комплекс для Арктической зоны, 2022 г.[5]
Fig. 8. Multifunctional complex for the Arctic zone. Project, 2022

[5]Возможности адаптивной архитектуры // Вестник. Зодчий. 21 век. 2023. № 2 (87). С.18–21. EDN: JTPWIQ.

Такая схема позволяет сезонно наблюдать два совершенно разных архитектурных облика объекта: «Полярная ночь» и «Полярный день». Таким образом, достаточно простой конструктивный прием открывания и закрывания панелей позволяет глубоко менять сезонную пластику фасадов и вместе с тем достаточно эффективно корректировать схему теплопотерь.

На этом примере можно констатировать тот факт, что в проект закладываются конструктивные системы, способные изменить свою форму в зависимости от средовых характеристик. Это достигается с помощью использования гибких материалов и модульных систем.

Рассмотренные примеры позволили выявить показатели, характеризующие данный адаптивный метод, а также принципы, в соответствии с которыми формируются эти элементы, применительно к разным средам: внутреннее пространство, городское общественное пространство и здание (табл. 2).

Так, если для зданий (как объемного элемента) работают все принципы формирования гибкой и мобильной среды, то для помещения и городского пространства в части их объемно-пространственных характеристик работает только принцип рациональной взаимосвязи элементов.

Оценивая рабочий режим сред, этих пространств не был зафиксирован принцип развития во времени, который напрямую связан с кластерной организацией объекта.

Таблица 2. Принципы формирования гибкости и мобильности элементов
Table 2. Principles of the formation of flexibility and mobility of elements

№	Показатели	Принципы	Помещение	Городская среда	Здание
1	Исполнение мобильной системы	ресурсная минимизация	•	•	•
2		технологичность исполнения элементов	•	•	•
3	Объемно-пространственные характеристики	рациональная взаимосвязь элементов	•	•	•
4		автономность	–	–	•
5		кластерное моделирование	–	–	•
6	Рабочий режим	эксплуатационная эффективность	•	•	•
7		трансформационность	•	•	•
8		развитие во времени	–	–	•

Интерактивность – взаимодействие человека, цифровых технологий и пространства

Создание интерактивных сред – одно из активно развивающихся направлений в архитектуре и дизайне. Исследователи и практики активно занимаются поиском решений в нескольких направлениях, одним из них является использование сенсорных технологий и систем управления для создания интеллектуальных архитектурных решений. Здания могут быть оснащены сенсорами, которые проводят мониторинг окружающей среды и реагируют на ее изменение, чтобы обеспечить комфортные условия для пользователей [14].

При проектировании общественных пространств большое значение имеют исследования потребностей людей. Применение интеллектуальных технологий позволяет нам собирать данные, необходимые для анализа информации, которая может направлять развитие пространств и дать представление о том, как их можно использовать более эффективно. Важным является фиксация психоэмоционального состояния восприятия пространств с различным набором элементов.

В одном из исследований был применен подход, называемый «Биокартирование». Люди, участвующие в эксперименте, добровольно надевали датчики во время прогулки или езды на велосипеде по общественным пространствам в различных городских районах, при этом фиксировалось, когда они чувствовали тревогу, счастье, страх, волнение и многие другие эмоции. Измерение стало возможным благодаря реакции потовых желез на эмоциональное восприятие, при этом различные эмоции отображают отличительные паттерны данных, позволяющие записывать точное время и местоположение каждой эмоциональной реакции, а также характер самой реакции в режиме реального времени в сочетании с данными о местоположении GPS. Затем составляется «эмоциональная карта» маршрута каждого добровольца. Ощущения людей можно было бы связать с соответствующими

явлениями, такими как яркий свет, темнота, уличное движение, зелень, скопление людей и шум. Тревога была особенно выражена в местах с оживленными дорожными развязками, толпами людей и большим количеством шума и визуальной стимуляции. Собранные данные позволили исследователям получить информацию о том, как наилучшим образом организовать пространство и управлять его функциональностью, чтобы сделать его менее напряженным и более удобным для людей.

Дизайнерские средства играют важную роль в адаптации средовых элементов [15]. Их применение развивается во многих направлениях – от кинетических арт-объектов до среды с высокой интерактивностью и применением дополнительной реальности [16]. Дизайнерская мысль находит новые способы взаимодействия людей с окружающей средой, одним из ярких примеров применения дизайнерских компонентов в процессе адаптации среды – работы нидерландского дизайнера Даана Рузгарда. Этот новатор создает ландшафт, исследуя вопросы отношений между людьми, технологиями и пространством (рис. 9). Одним из его проектов, реализованных в 2014-м г., является 600 метровая велосипедная дорожка, созданная из мерцающих камней, покрытых фосфоресценцией. Дорожка не только обеспечивает безопасность для велосипедистов, но и создает впечатляющий визуальный эффект, камни на дорожке в темное время суток образуют своего рода световое шоу [17]. Еще одним интересным проектом Даана Рузгарда является реализованный проект «умной» автострады. Он предложил использовать специальную дорожную разметку, которые реагируют на погодные условия и, например, в случае гололедицы разметка может изменить свой цвет, предупреждая водителей о возможной опасности. Применения дизайнерских компонентов в адаптации среды – это важный шаг в создании будущих инновационных решений, которые смогут удовлетворить потребности и ожидания людей в эпоху быстро меняющихся технологий.

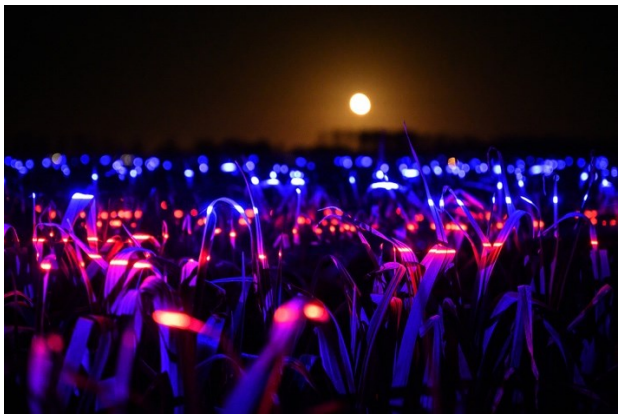

Рис. 9. «Футуристический ландшафт» на поле с луком пореем, художник Даан Рузгард, 2014 [18]
Fig. 9. A futuristic landscape on a field with onions, Daan Rosegaard, 2014 [18]

Рис. 10. Инсталляция Маркоса Новака [19]
Fig. 10. Installation by Marcos Novak [19]

Новой возможностью для создания интеллектуальной и адаптивной городской среды является одно из направлений исследования в области информационных технологий. Развитие цифровой архитектуры в направлении разработки использования нанотехнологий способствует созданию материалов, обладающих уникальными свойствами, такими как прочность, гибкость, устойчивость, а также взаимодействие с окружающей средой [20]. Одним из исследователей в этой области является Маркос Новак. Он использует алгоритмические методы для проектирования реальных, виртуальных и гибридных интеллектуальных сред (рис. 10). Стремясь расширить определение архитектуры, включив в него электронное пространство, он разработал концепцию «жидкой архитектуры», где она будет имитировать поведение биологических систем, адаптироваться к изменяющимся условиям, оптимизировать использование ресурсов и создавать комфортную среду для проживания.

ВЫВОДЫ

Адаптивная архитектура представляет собой сложную, многоаспектную область, которая объединяет различные дисциплины и направление исследований, позволяющие создавать инновационные устойчивые

архитектурные решения, отвечающие на современные вызовы и потребности общества:

1. Энергоэффективность является ключевым аспектом адаптивной архитектуры, учитывающим принципы устойчивого развития и энергоэффективности, включая использование возобновляемых источников энергии, оптимизацию использования ресурсов и создание устойчивых экосистем. В работе, при сравнении показателей энергоэффективности, озонобезопасности и экологичности платиновых лауреатов LEED, требуемые характеристики одни из ключевых для «зеленого строительства».

2. Гибкость и мобильность являются функциями архитектурных пространств и сред, выражающимися в адаптационных процессах, готовностью к изменениям, реагирующим на запрос пользователей. В работе выявлены принципы гибких и мобильных элементов, проанализирована их применимость для различных сред: внутреннее пространство, городское общественное пространство и здание. Это позволило определить действенность этих принципов при проектировании гибких и мобильных элементов различного использования.

3. Интерактивность среды, как взаимодействие трех составляющих человека, пространства и цифровых технологий, также является важным аспектом адаптивной архитектуры. Наряду с созданием комфортной среды, современные цифровые технологии, такие как дополненная и виртуальная реальность, являются глобальными задачами. Они позволяют архитекторам создавать более точные и наглядные проекты.

Кроме того, использование больших данных и аналитики дают возможность прогнозировать развитие городов, учитывая многоаспектность этого развития, и принимать обоснованные решения в области архитектуры и градостроительства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zolotareva M.V., Ponomarev A.V. Responsive Architecture as a Synthetic Field in Architecture and Construction // Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. ICCATS 2022. Lecture Notes in Civil Engineering. 2023. Vol. 308. P. 58–69. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21120-1_6.
2. Видищева Е.А., Никифорова В.А., Ковчун А.А., Видищева Д.Д. Экологически эффективное строительство: российский и зарубежный опыт // Труды Братского государственного университета. Серия: естественные и инженерные науки. 2017. Т. 2. С. 116–119. EDN: XNZMIP.
3. Керимова Н.А., Нефедов В.А. Ландшафтная организация буферных пространств архитектурных объектов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2010. № 191. С. 67–77. EDN: OIOTYP.
4. Бергман А.В. Некоторые аспекты анализа мирового опыта создания линейных парков // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 3 (30). С. 594–605. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-594-605. EDN: PTOTRX.
5. Иванихина А.А., Янакова Л.Г., Золотарева М.В. Иммерсивные технологии как метод интеграции цифровых технологий в парковое пространство // Системные технологии: научно-практический журнал. 2023. № 3 (48). С. 214–218. https://doi.org/10.55287/22275398_2023_3_214. EDN: EHESRZ.
6. Зима А.Г. «Зеленая» архитектура как современное релевантное архитектурное направление // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. № 4 (30). С. 74–79. EDN: PKXGFF.
7. Стахеев О.В., Бравова Е.Е. Тенденции в организации энергоэффективной высотной застройки // Региональные архитектурно-художественные школы. 2011. № 1. С. 163–165. EDN: SCBNPP.
8. Храмов И.В. Ипатова П.И. О возможности изменений внутреннего и внешнего пространства в адаптивной архитектуре // Инженерный вестник Дона, 2024, № 3, С. 24-16.
9. Фролова Н.А. Под зеленым ковром // Archi.ru. 2008. Режим доступа: https://archi.ru/world/9436/pod-zelenym-kovrom (дата обращения: 08.11.2023).
10. Храмов И.В. Энергосберегающие технологии и архитектурная пластика в адаптивной архитектуре Крайнего Севера // Системные технологии 2023, выпуск 3 (48), С. 20-26
11. Русева В. Людвиг Мис ван дер Роэ. М.: Директ-Медиа, 2015. 72 с.
12. Бергман А.В. Информационно-культурные центры как элемент кластерной концепции в исторических поселениях Ростовской области // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве. Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, 02–03 ноября 2021 г.). Екатеринбург, 2021. С. 9–10. EDN: UJSEQG.
13. Reza Nik Mobile, Mobilize, Mobilizer // Safe in Public Space. Режим доступа: https://www.safeinpublicspace.com/content/reza (дата обращения: 08.11.2023).
14. Заплаткина И.М., Золотарева М.В. Практика применения технологии дополненной реальности в архитектуре и строительстве // Современные проблемы истории и теории архитектуры

Сборник материалов VII Всеросс. науч.-практ. конф. Посвящается 190-летию со дня основания Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (ЛИСИ – СПбГАСУ) (г. Санкт-Петербург, 08–09 ноября 2022 г.). СПб, 2022. С. 250–257. EDN: TMURCG.
15. Иванихина А.А., Золотарева М.В. Иммерсивные технологии как синтетическая область восприятия среды // Сб. материалов XIII регионального творческого форума с междунар. участием «Архитектурные сезоны в СПбГАСУ» (г. Санкт-Петербург, 17–30 апреля 2023 г.). СПб, 2023. С. 150–151. EDN: MSEMLL.
16. Пономарев А.В., Золотарева М.В. Цифровизация образования и специфика сбора цифрового следа студентов творческих специальностей // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 2 (41). С. 286–293. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-286-293. EDN: EYONRU.
17. Ачковский И.А., Золотарева М.В. Инновационные методы оснащения современных парковых пространств // Сб. научных трудов студентов магистратуры кафедры дизайна архитектурной среды. СПб, 2023. С. 13–17. EDN: ESTJBA.
18. Muzdakis M. Dazzling Outdoor Installation Uses «Light Recipes» To Sustainably Inspire Plant Growth // My Modern Met. 2021. Режим доступа: https://mymodernmet.com/daan-roosegaarde-grow/ (дата обращения: 08.11.2023).
19. Macellari M. Marcos Novak // Bloghista-per-caso. Режим доступа: https://bloghistapercaso.blogspot.com/2015/06/marcos-novak.html?m=0 (дата обращения: 08.11.2023).
20. Золотарева М.В., Пономарев А.В. Адаптивная архитектура и новые подходы к организации средовых элементов // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13. № 4 (53). С. 90–98. https://doi.org/10.17673/Vestnik.2023.04.12. EDN: BEIZAN.

REFERENCES

1. Zolotareva M.V., Ponomarev A.V. Responsive Architecture as a Synthetic Field in Architecture and Construction. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. ICCATS 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*. 2023. Vol. 308. p. 58-69. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21120-1_6.
2. Vidishcheva E.A., Nikiforova V.A., Kovchun A.A., Vidishcheva D.D. Environmentally Efficient Construction: Russian and Foreign Experience. *Proceedings of Bratsk State University. Series: natural and engineering sciences.* 2017;2:116-119. (In Russ.). EDN: XNZMIP.
3. Kerimova N.A., Nefedov V.A. The Landscape Organization of Architectural Objects' Buffer Spaces. *News of the St. Petersburg Forestry Academy.* 2010;191:67-77. (In Russ.). EDN: OIOTYP.
4. Bergman A.V. Key Aspects of an Analysis of the Global Experience of Creating Linear Parks. Izvestiya vuzov. *Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2019;9(3):594-605. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-594-605. EDN: PTOTRX.
5. Ivanikhina A.A., Yanakova L.G., Zolotareva M.V. Immersive Technologies as A Method of Integrating Digital Content into Park Space. *Sistemnye tekhnologii: nauchno-prakticheskii zhurnal = System technologies: scientific-practical journal.* 2023;3(48):214-218. (In Russ.). https://doi.org/10.55287/22275398_2023_3_214. EDN: EHESRZ.
6. Zima A.G. “Green” Architecture as A Modern Relevant Architectural Direction. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2019;4(30):74-79. (In Russ.). EDN: PKXGFF.
7. Stakheev O.V., Bravova E.E. Trends in Organizing Energy-Efficient High-Rise Buildings. *Regional architectural and art schools.* 2011;1:163-165. (In Russ.). EDN: SCBNPP.
8 Khramov I.V. Ipatova P.I. On the possibility of changes in internal and external space in adaptive architecture // Engineering Bulletin of the Don, 2024, No. 3, pp. 24-16.9.
9.Frolova N.A. Under The Green Carpet. *Archi.ru*. Available from: https://archi.ru/world/9436/pod-zelenym-kovrom [Accessed 8th November 2023].
10. Khramov I.V. Energy-saving technologies and architectural plasticity in adaptive architecture of the Far North. System technologies 2023, issue 3 (48), pp. 20-26
11. Ruseva V. *Ludwig Mies van der Rohe*. Moscow: Direct-Media; 2015. 72 p. (In Russ.).
12. Bergman A.V. Information and Cultural Centers as an Element of the Cluster Concept in Historical Settlements of the Rostov Region. *New Information Technologies in Architecture and Construction. Materials of The IV International Scientific and Practical Conference.* 02–03 November 2021, Ekaterinburg. Ekaterinburg; 2021, p. 9-10. (In Russ.). EDN: UJSEQG.
13. Reza Nik Mobile, Mobilize, Mobilizer. *Safe in Public Space*. Available from: https://www.safeinpublicspace.com/content/reza [Accessed 8th November 2023].
14. Zaplatkina R.M., Zolotareva M.V. The Application of Augmented Reality (Ar) in Architecture Engineering and Construction. *Modern Problems of History and Theory of Architecture. Collection of Materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference. Dedicated to The 190th Anniversary of The Founding of the St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (LISI – SPBGASU).* 08–09 November 2022, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2022, p. 250-257. (In Russ.). EDN: TMURCG.

15. Ivanihina A.A., Zolotareva M.V. Immersive Technologies as a Synthetic. *Collection of Materials of the XIII Regional Creative Forum with International Participation «Architectural Seasons in SPBGASU».* 17–30 April 2023, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2023. p. 150-151. (In Russ.). EDN: MSEMLL.
16. Ponomarev A.V., Zolotareva M.V. Digitalisation of Education and Specificity of Collecting the Digital Footprint of Students in Creative Disciplines. Izvestiya vuzov. *Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(2):286-293. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-286-293. EDN: EYONRU.
17. Achkovskiy I.A., Zolotareva M.V. Innovative Methods of Equipping Modern Park Areas. *Collection of Scientific Works of Master's Students of the Department of Architectural Environment Design.* Saint Petersburg; 2023. p. 13-17. (In Russ.). EDN: ESTJBA.
18. Muzdakis M. Dazzling Outdoor Installation Uses «Light Recipes» To Sustainably Inspire Plant Growth. *My Modern Met*. 2021. Available from: https://mymodernmet.com/daan-roosegaarde-grow/ [Accessed 8th November 2023].
19. Macellari M. Marcos Novak. *Bloghista-per-caso*. Available from: https://bloghistapercaso.blogspot.com/2015/06/marcos-novak.html?m=0 [Accessed 8th November 2023].
20. Zolotareva M.V., Ponomarev A.V. Responsive Architecture and New Approaches to The Organization of Environmental Elements. *Gradostroitel'stvo i arhitektura = Urban Construction and Architecture.* 2023;13;4(53):90-98. (In Russ.). https://doi.org/10.17673/Vestnik.2023.04.12. EDN: BEIZAN.

Информация об авторе

Пономарёв Александр Валентинович,
доцент кафедры истории и теории архитектуры,
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
190005, г. Санкт-Петербург,
ул. 2-ая Красноармейская, 4,
Россия,
✉e-mail: arbi@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-3290-3285
Author ID: 1233368

Information about the author

Aleksandr V. Ponomarev,
Associate Professor of the Department
of History and Theory of Architecture,
Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering,
4, 2nd Krasnoarmeyskaya St.,
St. Petersburg, 190005, Russia,
✉e-mail: arbi@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-3290-3285
Author ID: 1233368

Вклад автора

Автор провел исследование, подготовил рукопись к печати и несет ответственность за плагиат.

Contribution of the author

Autor has conducted the study, prepared the manuscript for publication and bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

The author declare no conflict of interests regaring the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 01.04.2024.
Одобрена после рецензирования 19.04.2024.
Принята к публикации 23.04.2024.

Information about the article

The article was submitted 01.04.2024.
Approved after reviewing 19.04.2024.
Accepted for publication 23.04.2024.