

М. В. ЗОЛОТАРЕВА
А. В. ПОНОМАРЕВ

АДАПТИВНАЯ АРХИТЕКТУРА И НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ СРЕДОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**RESPONSIVE ARCHITECTURE AND NEW APPROACHES
TO THE ORGANIZATION OF ENVIRONMENTAL ELEMENTS**

Рассматривается адаптивная архитектура, одно из динамично развивающихся проектных и строительных направлений, включающих в себя инженерно-технологическую базу, архитектурно-проектный контент, принципы зеленой архитектуры, направленные на реализацию потребностей общества и отдельного индивида. В основе адаптивной архитектуры тезис – «в природе нет ничего неподвижного». Являясь частью природного контекста, человек имеет право на пребывание в устойчивой среде, развитие которой определяется через экологические, экономические и социальные аспекты. В исследовании дается характеристика основных направлений развития адаптивной архитектуры, а также перспективы развития адаптивной архитектуры в контексте с современными технологическими процессами и потребностью общества. Поскольку адаптивная архитектура является синтетической областью деятельности, ее исследование проводится на основе материалов, относящихся к различным видам проектирования (инженерно-технические решения, мобильное формообразование, зеленая архитектура).

Ключевые слова: мобильная архитектура, архитектурно-проектная деятельность, инженерно-технические решения зеленой архитектуры, устойчивая среда жизнедеятельности

Введение

Актуальность темы исследования определяется тесной взаимосвязью развития современных архитектурно-строительных и инженерных отраслей с потребностью общества, его ценностными ориентирами, где динамика, мобильность и экологический комфорт выходят на первый план. Являясь достаточно новым направлением, адаптивность архитектурного пространства в настоящее время представляет собой активно развивающуюся область архитектурной практики, которая решает проблемы организации среды с помощью динамических принципов формообразования.

При этом решения могут касаться не только пространственной трансформации зданий

This paper reviews responsive architecture, a dynamically developing aspect of design and construction, encompassing fundamental engineering and technological principles, architectural and design content, and green architecture elements to meet the needs of society and the individual. The key thesis of responsive architecture is “nothing in nature is motionless”. As part of nature’s context, the individual has the right to exist in a sustainable environment, the development of which is shaped through environmental, economic, and social aspects. Our research characterizes the key directions of responsive architecture’s development and development prospects in the context of the current technological processes and social needs. Since responsive architecture is based on synthesis, we rely on materials from various design fields (including engineering and technical solutions, mobile form-making, green architecture, etc).

Keywords: mobile architecture, architecture and design, green engineering and technical solutions, sustainable living environment

и сооружений, но распространяться до уровня средовых элементов и городских кварталов.

В настоящее время архитектура – это не только строительное искусство, она демонстрирует открытость множеству дисциплин, позволяющих принимать решения адаптивного характера применительно к организации архитектурных объектов и городского пространства. Находясь на стыке таких дисциплин, как собственно объемно-пространственное искусство, дизайн и инженерные технологии, адаптивная архитектура является тем катализатором, который способствует интеграции архитектурных и инженерных процессов. Можно видеть многогранность составных частей понятия «адаптивная архитектура», поэтому поиск ре-

шений исследователи и практики ведут в нескольких направлениях:

- инженерно-технологические решения (Ральф Диш, Ульям Макдонак, Клейн Меркатт, Norman Foster и др.);
- разработка методов мобильного формообразования (Жан Нувель, Доменик Перро, Сантьяго Калатрава, David Fisher, Robert Konieczny и др.);
- архитектурная теория и практика экологической составляющей (Werner Sobek, Эмилио Амаш, Ванг Мен Сумм, Ренцо Пьяно, Vincent Callebaut и др.);
- продвижение устойчивого развития среды городов (Jacque Fresco, Кен Янг, Sunand Prasad и др.)

Следует отметить, что приведенное разделение направлений научных идей и проектной практики между представителями мировой архитектуры является достаточно условным. Основное направление архитектурной мысли в настоящее время – формирование устойчивого развития среды жизнедеятельности человека, что является важнейшим фактором проектных реализаций.

Цель исследования – проанализировать характеристики адаптивных сред и определить тенденции развития этого направления.

Определяя задачи исследования, необходимо обратить внимание на следующие:

1. Классифицировать историческое развитие направления адаптивной архитектуры.
2. Уточнить понятие адаптивной архитектуры.
3. Дать характеристику основных направлений развития адаптивной архитектуры.
4. Выявить перспективы развития адаптивной архитектуры в контексте с современными технологическими процессами и потребностью общества.

Методы исследования

Методика исследования основана на комплексном изучении составляющих понятия «адаптивная архитектура». Исторический экскурс помогает сделать вывод о предпосылках возникновения этого архитектурного явления. Многоплановость объекта исследования проводится с помощью сравнительно-описательного анализа индивидуальных особенностей проектов и реализованных объектов, соотносящихся с данным направлением. В этой связи проводится анализ материалов, источники которых находятся в принципиально разных областях, относящихся к различным видам проектирования (инженерно-технические решения, мобильное формообразование, зеленая архитектура и т. д.).

Основная часть

Исторический экскурс развития идей в области адаптивного пространства

Мобильность, взаимозаменяемость, трансформация – эти термины издавна существуют в архитектурной практике. Однако активный поиск решений в этой области был начат в 1920-х гг. Здесь можно выделить несколько направлений.

Трансформация внутренней структуры статичного объекта стала основой проектирования жилых зданий в 20-х гг. XX в. Это передвижные перегородки, встраиваемая мебель, модификация спальных мест, увеличивающая дневную зону пребывания, и т. п. Программным документом данного направления становится застройка поселка Вайсенхоф, многие из домов которого обладали потенциальной мобильностью жилого пространства. Архитекторами Ле Карбюзье, Людвигом Мис ван дер Роэ, Мартом Стамом в проектах была заложена адаптация архитектурного пространства к изменениям требований жителей. Теория пластичной архитектуры была выдвинута архитектором, художником, теоретиком нового искусства Тео ван Дусбургом, который соединяя пространство и время получал «пластический эффект».

Движение – живая материя как альтернатива застывшего состояния материи мертвой. Начиная с 10-х гг. XX в. искусство ищет возможность изображения движущегося объекта. Начало было положено в станковой живописи и скульптуре, как в наиболее мобильных видах искусства, по сравнению с архитектурой. Отказ от статичных форм, передачу движения можно видеть у итальянских футуристов У. Боччини, Л. Руссола, Д. Балла. Следующим шагом в воплощении динамики форм, применительно к архитектуре, становятся произведения русских конструктивистов В.Татлина, Эль Лисицкого, Н. Ладовского, К. Мельникова [1]. Проект памятника-маяка Колумбу, призванного увековечить память мореплавателя, выполненный Константином Мельниковым, на многие десятилетия опередил разработку идей динамической архитектуры и включение в нее кинетических элементов. Конструкция из двух конусов, врезанных друг в друга, снабженная крыльями, обеспечивала вращение монумента. При этом менялось не только визуальное восприятие композиции, но и ее цветное решение.

Еще одним направлением, давшим посыл в будущее, являются работы с городским пространством, его адаптация к новым общественным ценностям. В начале XX столетия в соответствии с учением Э. Говарда проектируются

и строятся города-сады, которые размещаются вблизи крупных городов – Лондона, Брюсселя, Гамбурга, Эссена и др. Следующей темой в этом блоке стала идея организации линейных городов. Можно сказать, что такой город представляет собой «развернутую» центричную модель города-сада Говарда. Имея длину больше своей ширины, в своем поперечном сечении он обеспечивает доступ к ландшафтам, прилегающим к городским территориям. Первый такой город был спроектирован еще в конце XIX в. для Мадрида Arturo Soria y Mata. Подобный город был предложен Ле Карбюзье для застройки Алжира. В данном случае «руслом расселения» должна была стать дорога, проходившая по крышам домов. Своих приверженцев эта идея нашла и в советской России.

Обособленно, в части работы с городским пространством, стоят проекты вертикального городского зонирования, среди которых наиболее фантастичным является работа летающего города Г. Крутикова [2]. Будучи выпускником проектной мастерской Н. Ладовского ВХУТЕИНА, он представил проект города будущего. Основное положение, которым руководствовался Г. Крутиков, состояло в том, что новый общественный строй должен оторвать человечество от земли и разместить жилые объекты в воздушном пространстве. Излагая общие принципы своей теории, Крутиков писал в 1929 г.: «Архитектура стремится стать все более и более подвижной ..., современная неподвижная, мертвая и неудобная планировка городов в дальнейшем должна быть заменена подвижной планировкой, основанной на новых принципах решения пространства».

Проекты, связанные с городами вертикального зонирования, выполнялись и другими архитекторами-футуристами: А. Лавинским (город на рессорах), Э. Лисицким (горизонтальные небоскребы) [3], К. Мельниковым (многоэтажные гаражи-стоянки над мостами через Сену в Париже).

Разработанные футуристами 20–30-х гг. XX в. фантазийные проекты линейных, летающих городов, движущихся кинетических объектов продемонстрировали направление архитектурной мысли, развитие которой с энтузиазмом было подхвачено в 1960-х гг. Одним из продолжений развития адаптивных тенденций стали проекты динамичного пространственного урбанизма японских метаболистов К. Кикутаке, Ф. Маки, М. Фумихико и др. Основной концепцией, основанной на эстетической формуле «завершенное в незавершенном», стало понятие циклической последовательности стадий изменений городских организмов. Для решения проблем расселения, остро встав-

ших перед Японией, метаболисты предлагали трехмерное зонирование территорий, где существовали каркасные неизменяемые элементы и «ткань», – динамическое варьируемое пространство, обеспечивающее возможность адаптации и роста. Проекты «Токио – 1960» (К. Танге), «Город в воздухе» (И. Исодзаке), плавающий город (К. Кикутаке) предметом проектной деятельности объявляли объемно-пространственную среду в целом. Реализованный проект капсульного дома «Накогин» (К. Курокава) продемонстрировал прежде всего финансовую невозможность взаимозаменяемости морально устаревших элементов. Хочется высказать мнение, что в 1960-х гг. время осуществления этих идей не пришло. Концепция экогорода в океане от компании Shimizu Corporation снова возникла в Японии спустя почти 50 лет.

Британские архитекторы пошли дальше в развитии идей динамического города. В проекте «Living Pod» Дэвида Грина (группа Archigram, 1966 г.) архитектор сравнивает оболочку для жизни с одеждой. Эта капсула передвигается на ножках, а парковать ее можно в любом месте, в городе или на природе. Еще одним проектом этой же группы является «Walking City», автор Рон Херрон (1964 г.). Этот значительный по своим размерам объект (400 м в длину и 200 в высоту) вполне претендует на многоквартирный дом.

Озабоченность экологической ситуацией во второй половине XX в., связанная с потеплением климата, истощением озонового слоя, загрязнением мирового океана и подъемом его уровня, а также энергетическими проблемами, вызвала большое количество архитектурных фантазий на тему экологизации пространственных структур, некоторые из которых позднее получили свое реальное воплощение. Останемся на наиболее ярких проектах.

Летающие сады компании «Rael San Fratello architects» призваны улучшать экологическую обстановку в крупных городах. Они представляют собой управляемые дирижабли с растениями, зависающими над наиболее неблагоприятными в экологическом отношении территориями.

Множество идей по улучшению климата принадлежит бельгийскому архитектуру-экологу Vincent Callebaut. Один из них назван Hydrogenase, он представляет собой летающий объект (на основе дирижабля) в форме лотоса. Архитектор разработал установку по биотехнологическому получению водорода из водорослей специального вида. Еще одним проектом этого архитектора является проект гигантских кораблей-островов, на которых в будущем люди смогут жить. Острова очень похожи на лилии, отсюда и название – «Lilypad».

Уточнение понятия «адаптивное пространство»

Из исторического экскурса можно видеть, что многие из направлений архитектурной и технической мысли, содержащие в себе адаптивную составляющую, развивались отдельно в соответствии со своим направлением и только с начала XXI в. были спаяны в одну мультидисциплину, объединенную под трендом «адаптивное пространство».

Это дает возможность уточнить определение понятия «адаптивное архитектурное пространство». Впервые термин «адаптивная архитектура» был применен в конце 1960-х американским IT-проектировщиком Николасом Негропonte. В это время пространственные задачи дизайна начали решать с применением кибернетики. Негропonte предлагал использовать вычислительные технологий для организации пространств и структур с целью достижения более эффективного и рационального результата эксплуатации.

С этого времени произошли значительные изменения в структуре, смыслах и семантике этого понятия [4]. Рассмотрим уровни адаптации архитектурного пространства – элемент объекта, здание, фрагмент среды.

На уровне элемента оцениваются качества интерактивности, наличие свойств, инициирующих реакцию на изменения окружающей среды. В качестве таких объектов могут быть рассмотрены «умные» фасады или кровли. Американский архитектор Дорис Ким Сун, применяя композитный материал термо-биметаллин, создает ограждение помещения, которое реагирует на температуру воздуха и освещенность, при необходимости защищая людей от солнца и обеспечивая вентиляцию. Еще один пример «умного» фасада в здании Media-Tic в Барселоне. Постройка выполнена из особого материала, который пропускает свет, но не пропускает тепло. Благодаря этому внутри не жарко даже в самые знойные летние дни. Кроме того, пленка заряжается от обычного света даже в пасмурный день, позволяя конструкции светиться в ночное время в течение восьми часов. А благодаря использованию экологически чистых источников энергии, объем выбросов углекислого газа сокращается на 90 %.

В контексте адаптивности здание рассматривается под углом различных срезов или характеристик, таких как:

- технические и композиционные возможности регулярной или периодической трансформации планировки или объема [5];
- интеграция смежных дисциплин (экологичность, энергоэффективность и т. п.);

- интерактивность, способность реагировать на изменения окружающей среды или потребностей человека [6].

При этом адаптивность здания может оцениваться по одной характеристике или учитывается их комплекс. Например, характеристика «композиционные возможности регулярной или периодической трансформации планировки или объема» может быть отнесена к историческим объектам, утратившим свою функцию, но объем которого может быть использован под другие цели. Здесь можно привести множество примеров, в основном касающихся адаптации под новую функцию промышленных зданий. Приведем несколько из них: Культурно-развлекательный центр в старых зданиях ремонта вагонов (архитектурное бюро Atelier Brückner, 2005-2019, Штутгарт); Жилой комплекс «Газгольдеры Кингс-Кросс» (британская фирма Wilkinson Eyre, 2015, Лондон); Превращение топливных баков Аэропорта Лонхуа в Арт-центр и парк Tank Shanghai (архитектурное бюро OPEN Architecture, 2019, Шанхай), Выставочное пространство в московской ГЭС-2 (Ренцо Пьяно, 2021, Москва).

На уровне средового элемента адаптивность рассматривается с точки зрения тезиса, что «в природе нет ничего неподвижного». Пространство рассматривается как живой организм, чутко реагирующий на потребности людей, развитие которых определяется законами развития общества. Причем это относится как к исторической среде, так и к вновь создаваемой. И при этом присутствие экологической составляющей является наиболее значимым фактором [7]. Ярким примером в данном случае служит проведенный в 2009 г. конкурс на центральный район болгарской столицы Софии. В конкурсе участвовали Доменик Перро, Норман Фостер, Заха Хадид, Массимилиано Фуксас и др. Каждый из этих архитекторов определил роль озелененного пространства в среде реконструируемого района. Связь с природным окружением была для получившего первую премию Перро одной из главных задач при проектировании: «осью» застройки стал парк, протянувшийся через весь новый район «София-Сити».

Уточненное понятие адаптивной архитектуры выглядит следующим образом.

Адаптивная архитектура – это синтетическая область архитектурно-строительной деятельности, направленная на формирование устойчивой среды жизнедеятельности человека. Она основана на решении проектных задач, генерируемых природой человека и социальным устройством общества, культурой и требованиями оптимальных условий жизни. Практика адаптивной архи-

тектуры включает в себя комплекс дисциплин научно-теоретического характера и нестандартных направлений проектного творчества.

Основные направления и перспективы развития адаптивной архитектуры

Параллельно инновационным процессам «мечтателей» в XX в. строилась статичная традиционная архитектура, основанная на неоправданных теориях социального благополучия и амбициях архитекторов, знающих «как лучше». Эти теории и амбиции однажды были разбиты в полном смысле этого слова. Снос жилого комплекса Прютт-Айгоу в Сент-Луисе в 1972 г. продемонстрировал кризис архитектуры, не желающей меняться под воздействием сформировавшихся требований общества созданию, по выражению Ч.Дженкса, «гуманного окружения».

И здесь как раз мы видим коренное отличие традиционной архитектуры от архитектуры адаптивной, которая получает информацию от контекста и человека. При этом, работая на разных уровнях (от микросистем до мегаструктур) [8], адаптивная архитектура имеет потенциал гибкого развития с учетом необходимых параметров связи таких систем, как человек, город и природа.

При уточнении определения «адаптивная архитектура» мы рассматривали свойства адаптивных сред (элемент объекта, здание, фрагмент города). При рассмотрении развития процесса адаптивной архитектуры необходимо обозначить компетенции, обеспечивающие потенциальную адаптивность при работе в этом направлении.

1. *Технологии работы с природными системами и ландшафтными средами.* В данном случае необходимо учитывать несколько направлений [10] обозначенной компетенции:

- Включение озеленения в проекты зданий и среды. При реконструкции объектов и территорий необходимо отдавать приоритет ландшафтной реконструкции [11]. Экологизация территорий старых городов в настоящее время представляет собой большую проблему. И в данном случае в качестве положительного примера можно привести город Барселону, власти которого инициировали работы по включению озеленения в существующую городскую среду. Суть проекта сводится к созданию «зеленых коридоров» в городе, которые свяжут периферийные природные зоны с территорией Барселоны. Также планируется создание озелененных пешеходных пространств в районах Eixample и организация парковой инфраструктуры в районе Poble Nou. Реконструкция района Poble Nou ведется с начала XXI в., демонстрируя адаптацию заброшенной

промышленной территории под зоны музейного, выставочного характера, здесь строятся офисы и жилые здания, резервируются участки под ландшафтные объекты.

- Использование «зеленых» технологий, включающих озеленение горизонтальных [12] и вертикальных поверхностей [13]. В этой связи необходимо упомянуть работы таких архитекторов, как Патрик Бланк, создающий «живые стены» снаружи и внутри зданий различных функций; Эдуард Франсуа и его проекты озеленения фасадов (жилой комплекс M6B2 Башня биоразнообразия, Париж, 2016); Ренцо Пьяно, создавший озелененную кровлю в процессе реконструкции здания Академии наук в Сан-Франциско (2008). Простотой и оригинальностью отличается проект, разработанный нидерландской фирмой MVRDV для девелоперской компании Stein. В качестве фасада авторы проекта «Green Villa» запроектировали открытую стеллажную конструкцию, на которой установили горшки с растениями.

- Использование технологий сохранения энергии и ресурсов [14] включает в себя повышение энергоэффективности зданий [15], применение «чистой энергии» (солнца, тепла), использование «серой» (дождевой) воды для технических нужд. С введением в 1990-х гг. «зеленых» международных сертификатов стала возможна оценка и рейтинг качества эффективного использования энергии и ресурсов. Первой системой международной Зеленой сертификации стал разработанный в 1990 г. в Великобритании метод оценки экологической эффективности BREEAM. Оценка заключается в методике присуждения баллов, касающихся различных аспектов безопасности жизнедеятельности. В соответствии с этим стандартом была спроектирована в 2012 г. Олимпийская деревня в Лондоне, офисное здание «Arrowhead» в Лондоне, являющееся полностью пассивным объектом, не требующим дополнительной энергии. Международная система экологического и энергоэффективного стандарта LEED дает свою оценку после годовой эксплуатации сооружения. Так, реконструкция в 2010 г. высотного здания штаб-квартиры Дойче Банка во Франкфурте на Майне была высоко оценена стандартом LEED.

2. *Моделирование систем.* Обеспечивает высокую эффективность результата при низких затратах за счет раннего анализа взаимодействия систем объектов [16].

Эта компетенция адаптивной архитектуры предполагает комплексную работу команды экспертов для достижения необходимого результата [17]. Например, для проектирования объекта с набором заданных энергосберегаю-

щих мер необходимо применение энергетических моделей работы с целью вычисления достигаемой энергоэффективности. В процессе проектирования уже упоминавшегося здания Академии наук в Сан-Франциско (архитектор Ренцо Пьяно) моделирование для отладки инженерных систем проводилось на каждой стадии выполнения проекта. Руководителем выполнения этой части стал инженер Мэтт Росси. Эксперты анализировали пространство, используя метод вычислительной гидродинамики. При этом проведение тестов было направлено не только на тепловой комфорт посетителей, но и на необходимость обеспечения поступления воздуха, свободного от загрязнения. Проведение такого комплексного подхода позволило спроектировать одно из самых «зеленых» зданий. По системе LEED оно получило платиновый сертификат.

3. *Новые подходы к процессу формообразования.* В данном случае речь идет о проектировании кинетических [18], интерактивных систем [19], способных реагировать на изменения окружающей среды [20] или потребности человека. Известным примером является дом-трансформер Ballet Mecanique, построенный в 2017 г. фирмой Manuel Herz Architects в Цюрихе. Наполненный множеством семантических смыслов (фильм Фернана Леже, соседство с центром Карбюзе, движение листья находящегося здесь когда-то дерева) дом меняется в зависимости от ритма жизни и настроения своих обитателей. Стальные опоры фасадной стены и встроенная гидравлическая система позволяет устраивать балконы и козырьки от солнца, открывать или закрывать оконные проемы.

Еще одну тенденцию в этом направлении мы видим, когда возникает желание «вдохнуть жизнь» в ограждающие конструкции вполне утилитарных объектов. В Дании был построен SDU Campus Kolding (Henning Larsen Architects, 2014 г.), фасад которого с помощью датчиков следит за уровнем поступающего света и сохранением тепла в помещениях. При необходимости движение элементов фасада осуществляется механической системой. Если бы не магнитный маятник, установленный на фасаде научного центра LIGO, это был бы обыкновенный белый параллелепипед, каких множество в традиционной архитектуре. Кинетическая система, разработанная художниками Exploratorium Шоном Лани, Чарльзом Соуэрсом, Питером Ричардсом в сотрудничестве с учеными из Обсерватории гравитационных волн Лазерного интерферометра (LIGO) в 2006 г., помогает наглядно показать то, чем занимается центр, а именно изучением распространения волн, гравитации, света.

Кинематика, реагирующая на движение солнца, является одним из перспективных направлений в адаптивной архитектуре [21]. Наиболее известным примером динамического изменения формы архитектурных объектов в связи с использованием солнечного света является Музей Искуств Милуоки в США (Quadracci Pavilion), созданный в 2001 г. архитектором Santiago Calatrava, в работах которого прослеживается его особое отношение к свету. Павильон выполнен со своеобразной подвижной конструкцией, размещенной на крыше. Она представляет собой крылья, раскрывающиеся в солнечную погоду и складывающиеся в пасмурную или просто ночью, при этом их размах достигает 66 м. Первым [22] гелиотропным вращающимся объектом стал дом, спроектированный архитектором Rolf Disch (1994 г.). После этого появилось множество подобных объектов, которые завершает концепт-модель «Динамически изменяющийся небоскреб» в Дубае (архитектор David Fisher, 2008).

4. *Применение дизайнерских средств при решении вопросов адаптации средовых элементов.* Дизайнерская мысль в этом вопросе прошла от кинетических арт-объектов до среды высокого уровня интерактивности, связанной с дополненной реальностью. Дизайнерский арсенал достаточно многообразен [23], и его применение в адаптивных пространствах активно задействуется как достаточно мобильный элемент пространства. Здесь хочется остановиться на совмещении дизайна с технологиями [24]. Одним из примеров применения возможностей дизайнерских компонентов а процессе адаптивности среды являются работы нидерландского дизайнера Даана Рузгарда – новатора, создающего ландшафты будущего и затрагивающего в своих работах вопросы отношений между людьми, технологиями и пространством. Одним из его реализованных проектов является 600-метровая велосипедная дорожка, созданная из мерцающих камней в 2014 г. Она была навеяна картиной Ван Гога «Звездная ночь». Художник начинал свой творческий путь именно в Ньюэне. В том же году дизайнер совместно со строительной фирмой Heijmans создал Smart Highway. Данный проект сочетает в себе свет, энергию и дорожную разметку, которая реагирует на движущиеся автомобили. Люминесцентная краска аккумулирует солнечную энергию и способна излучать свет ночью на протяжении восьми часов. Активно развивающееся направление – это создание иммерсивной среды. Рассматривая понятие «иммерсивность», его обычно определяют как погружение в определённые, искусственно сформированные условия. Феномен погружения достаточно широко исследован в различных

источниках. Основной акцент в контексте рассматриваемой проблемы сделан на технологические факторы моделирования сознания посредством визуализации искусственного окружения. Эффект иммерсивности активно применяется в кино, театре, живописи, индустрии развлечений. Представляется возможным рассматривать это направление как один из возможных направлений адаптации пространства.

5. *Творческое прогнозирование. Исследование возможности цифровых технологий и инновационных материалов для создания новой городской среды.* Исследования в области информационных технологий демонстрируют определенный прорыв в создании возможностей адаптивной архитектуры как результат соединения цифровых методов формообразования с новыми возможностями цифровой архитектуры. Исследователи видят будущее цифровой архитектуры в использовании нанотехнологий для создания сложных систем на уровне нейронов и атомных частиц [16]. Маркос Новак называет результат этого процесса «нейроархитектурой», при которой форма, ее функционирование будут близки к поведению биологических живых организмов.

Выводы. 1. Классификация исторического развития архитектуры с адаптационными возможностями позволила определить основные направления, в которых велись исследования в этой области в XX столетии: мобильность, взаимозаменяемость, трансформация, кинетика, зеленая архитектура, вертикальное зонирование и т. п. Из исторического экскурса можно видеть, что многие из архитектурных и технических идей, содержащиеся в себе адаптивную составляющую, развивались отдельно в соответствии со своим направлением и только с начала XXI в. были спаяны в одну мультидисциплину, объединенную под трендом «адаптивное пространство».

2. Рассмотрение адаптивной архитектурной практики проводилось в соответствии с уровнями адаптации архитектурного пространства – элемент объекта, здание, фрагмент города. Это позволило уточнить понятие «адаптивная архитектура».

Адаптивная архитектура – это синтетическая область архитектурно-строительной деятельности, направленная на формирование устойчивой среды жизнедеятельности человека. Она основана на решения проектных задач, генерируемых природой человека и социальным устройством общества, культурой и требованиями оптимальных условий жизни. Практика адаптивной архитектуры включает в себя комплекс дисциплин научно-теоретического характера и нестандартных направлений проектного творчества.

3. При рассмотрении основных направлений развития адаптивной архитектуры был

обозначен набор компетенций, обеспечивающий потенциальную адаптивность при работе в этом направлении:

- технологии работы с природными системами и ландшафтными средами, включающие в себя: введение озеленения в проекты зданий и среды; использование «зеленых» технологий, включающих озеленение горизонтальных и вертикальных поверхностей; использование технологий сохранения энергии и ресурсов;

- новые подходы к процессу формообразования как проектирование кинетических, интерактивных систем, способных реагировать на изменения окружающей среды или потребности человека;

- экспертное моделирование систем для решения поставленных задач, что обеспечивает высокую эффективность результата при низких затратах за счет раннего анализа взаимодействия систем объектов;

- применение дизайнерских средств при решении вопросов адаптации средовых элементов. Дизайнерский набор средств обширен, он включает как трансформируемые модульные конструкции, так и средства, создающие дополненную реальность;

- творческое прогнозирование позволяет в проектной деятельности принимать нестандартные решения на основе теоретических разработок в научно-технических и инженерно-технологических областях.

4. Перспективы развития адаптивной архитектуры в контексте с современными технологическими процессами и потребностью общества в настоящее время демонстрирует многообразие средств и методов организации адаптивных пространств. Несмотря на разработки иммерсивной среды, а также перспективы функционирования нейроархитектуры, близкой к поведению биологических живых организмов, для каждого конкретного средового пространства должен выбираться соответствующий ему подход в организации процесса адаптации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Alter L. Villa Girasole: Rotating House Follows the Sun. 2018. URL: www.treehugger.com/corporate-responsibility/1935-villa-girasole-rotating-house-follows-the-sun.html (accessed 4 January 2021).

2. Asefi M. Transformation and Movement in Architecture: The Marriage Among Art, Engineering and Technology // *Procedia. Social and Behavioral Sciences*. 2012. N. 51. P. 1005–1010. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.08.278.

3. Bauer M., Möslle P., Schwarz M. Green Building // *Guidebook for Sustainable Architecture*. Berlin, Heidelberg: Springer. 2010. DOI: 10.1007/978-3-642-00635-7.

4. Bier H., Knight T. Digitally-Driven Architecture // Delft School of Design Journal. 2010. N. 6. P. 1–4. DOI: 10.7480/footprint.4.1.715.
5. Bliznakov M. The Realization of Utopia // Western Technology and Soviet Avant-Garde Architecture. Cambridge. New York: Cambridge University Press. 1990. P. 124–128.
6. Chattopadhyay R. Green Tribology // Green Surface Engineering and Global Warming. 2014.
7. Dorozhkina E. Architectural Structures for the Formation of Vertical Landscaping of Buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. P. 962: 042005. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042005.
8. Elmokadem A., Ekram M., Wasee A., Nashaat B. Kinetic Architecture: Concepts, History and Applications // International Journal of Science and Research. 2018. N. 7 (4). P. 750–758. DOI: 10.21275/ART20181560.
9. Fitzpatrick S. Cultural Revolution in Russia 1928-32 // Journal of Contemporary History. 1974. N. 9 (1). P. 33–52.
10. Flachbart G., Weibel P. Disappearing Architecture: From Real to Virtual to Quantum. Basel: Birkhäuser. Publishers for Architecture. 2005. DOI: 10.1007/3-7643-7674-0.
11. Flake G.W. The Computational Beauty of Nature. Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems, and Adaptation. Cambridge. MA: MIT Press. 1998.
12. Gladden M.E. A Phenomenological Framework of Architectural Paradigms for the User-Centered Design of Virtual Environments // Multimodal Technologies and Interaction. 2018. N.2 (4). P. 80. DOI:10.3390/mti2040080.
13. Inhabitat. The Atlanta Falcons' New Rose-Shaped Stadium Opens and Closes Like a Camera Aperture. URL: www.inhabitat.com/atlanta-falcons-new-stadium-uses-kinetic-architecture-to-retract-rose-petal-roof (accessed 4 January 2021).
14. Jaskiewicz T. Process-Driven Architecture. Design Techniques and Methods // Paper presented at the Third International Conference of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design "Em'body'ing Virtual Architecture". Alexandria. Egypt. November 28–30. 2007.
15. Jaskiewicz T. Dynamic Design Matter. Practical Considerations for Interactive Architecture // Architecture and Modern Information Technologies. 2008. N. 3 (4).
16. Novak M. Transvergence: Finite and Infinite Minds // In Game Set and Match II: The Architecture Co-laboratory on Computer Games, Advanced Geometries, and Digital Technologies by K. Oosterhuis and L. Feireiss. Rotterdam: Episode Publishers. 2006. P. 396–405.
17. Oosterhuis K., Xia X., Sam E.J. Interactive Architecture. Rotterdam: Episode Publishers. 2008.
18. Pan C.A., Jeng T. Exploring Sensing-Based Kinetic Design for Responsive Architecture // In Proceedings of the 13th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA). Chiang Mai. Thailand. April 9–12. 2008. P. 285–292.
19. Podborschi V., Vaculenco M. Natural Shapes. A Source of Inspiration for Eco-Design // In Product Engineering by D. Talabă and T. Roche. Dordrecht: Springer. 2004. P. 111–120. DOI:10.1007/1-4020-2933-0_8.
20. Rabanus C. Virtual Reality. In Handbook of Phenomenological Aesthetics by H. R. Sepp and L. Embree. Dordrecht: Springer. 2010. P. 343–349. DOI: 10.1007/978-90-481-2471-8_68.
21. Stites R. Revolutionary Dreams. Utopian Vision and Experimental Life in the Russian Revolution. New York. Oxford University Press. 1989.
22. Stoikov V., Gassiy V. Energy Efficiency of Housing as a Tool for Sustainable Development // MATEC Web of Conferences. 2018. P. 251. 03061. DOI: 10.1051/mateconf/201825103061.
23. Strumillo K. Sustainable City – Green Walls and Roofs as Ecological Solution // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. P. 1203. 022110. DOI: 10.1088/1757-899X/1203/2/022110.
24. Trubiano F. Design and Construction of High-Performance Homes. Building Envelopes. Renewable Energies and Integrated Practice. New York: Routledge. 2013.
25. Wiberg M. Interactive Textures for Architecture and Landscaping // Digital Elements and Technologies. New York: IGI Global. 2011.

REFERENCES

1. Alter L. Villa Girasole: Rotating House Follows the Sun (2018). Available at: www.treehugger.com/corporate-responsibility/1935-villa-girasole-rotating-house-follows-the-sun.html (accessed 4 January 2021).
2. Asefi M. Transformation and Movement in Architecture: The Marriage Among Art, Engineering and Technology. Procedia. Social and Behavioral Sciences. 2012. N. 51. P. 1005–1010. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.08.278
3. Bauer M., Möslé P., Schwarz M. Green Building. Guidebook for Sustainable Architecture. Berlin, Heidelberg. Springer. 2010. DOI: 10.1007/978-3-642-00635-7
4. Bier H., Knight T. Digitally-Driven Architecture. Delft School of Design Journal. 2010. N. 6. P. 1–4. DOI: 10.7480/footprint.4.1.715
5. Bliznakov M. The Realization of Utopia. Western Technology and Soviet Avant-Garde Architecture. Cambridge. New York: Cambridge University Press. 1990. P. 124–128.
6. Chattopadhyay R. Green Tribology. Green Surface Engineering and Global Warming. 2014.
7. Dorozhkina E. Architectural Structures for the Formation of Vertical Landscaping of Buildings. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. P.962:042005. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042005
8. Elmokadem A., Ekram M., Wasee A., Nashaat B. Kinetic Architecture: Concepts, History and Applications. International Journal of Science and Research. 2018. N. 7 (4). P. 750–758. DOI: 10.21275/ART20181560
9. Fitzpatrick S. Cultural Revolution in Russia 1928-32. Journal of Contemporary History. 1974. N. 9 (1). P. 33–52.
10. Flachbart G., Weibel P. Disappearing Architecture: From Real to Virtual to Quantum. Basel:

Birkhäuser. Publishers for Architecture. 2005. DOI: 10.1007/3-7643-7674-0

11. Flake G.W. The Computational Beauty of Nature. Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems, and Adaptation. Cambridge, MA: MIT Press. 1998.

12. Gladden M.E. A Phenomenological Framework of Architectural Paradigms for the User-Centered Design of Virtual Environments. Multimodal Technologies and Interaction. 2018. N.2 (4). P. 80. DOI:10.3390/mti2040080

13. Inhabitat. The Atlanta Falcons' New Rose-Shaped Stadium Opens and Closes Like a Camera Aperture. Available at: www.inhabitat.com/atlanta-falcons-new-stadium-uses-kinetic-architecture-to-reflect-rose-petal-roof (accessed 4 January 2021).

14. Jaskiewicz T. Process-Driven Architecture. Design Techniques and Methods. Paper presented at the Third International Conference of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design "Em'body'ing Virtual Architecture". Alexandria, Egypt. November 28–30. 2007.

15. Jaskiewicz T. Dynamic Design Matter. Practical Considerations for Interactive Architecture. Architecture and Modern Information Technologies. 2008. N. 3 (4).

16. Novak M. Transvergence: Finite and Infinite Minds. In Game Set and Match II: The Architecture Co-laboratory on Computer Games, Advanced Geometries, and Digital Technologies by K. Oosterhuis and L. Feireiss. Rotterdam: Episode Publishers. 2006. P. 396–405.

17. Oosterhuis K., Xia X., Sam E.J. Interactive Architecture. Rotterdam: Episode Publishers. 2008.

18. Pan C.A., Jeng T. Exploring Sensing-Based Kinetic Design for Responsive Architecture. In Proceedings of the 13th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA). Chiang Mai, Thailand. April 9–12. 2008. P. 285–292.

19. Podborschi V., Vaculenco M. Natural Shapes. A Source of Inspiration for Eco-Design. In Product Engineering by D. Talabă and T. Roche. Dordrecht: Springer. 2004. P. 111–120. DOI:10.1007/1-4020-2933-0_8

20. Rabanus C. Virtual Reality. In Handbook of Phenomenological Aesthetics by H. R. Sepp and L. Embree. Dordrecht: Springer. 2010. P. 343–349. DOI: 10.1007/978-90-481-2471-8_68

21. Stites R. Revolutionary Dreams. Utopian Vision and Experimental Life in the Russian Revolution. New York: Oxford University Press. 1989.

22. Stoikov V., Gassiy V. Energy Efficiency of Housing as a Tool for Sustainable Development. MATEC Web of Conferences. 2018. P. 251. 03061. DOI: 10.1051/matec-conf/201825103061

23. Strumillo K. Sustainable City – Green Walls and Roofs as Ecological Solution. IOP Conference Series. Materials Science and Engineering. 2021. P. 1203. 022110. DOI: 10.1088/1757-899X/1203/2/022110

24. Trubiano F. Design and Construction of High-Performance Homes. Building Envelopes. Renewable Energies and Integrated Practice. New York: Routledge. 2013.

25. Wiberg M. Interactive Textures for Architecture and Landscaping. Digital Elements and Technologies. New York: IGI Global. 2011.

Об авторах:

ЗОЛОТАРЕВА Милена Владимировна

кандидат архитектуры, доцент, доцент кафедры истории и теории архитектуры Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-ая Красноармейская, 4 E-mail: goldmile@yandex.ru

ZOLOTAREVA Milena V.

PhD in Architecture, Associate Professor, Associate Professor of the History and Theory of Architecture Chair St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering 190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya str., 4 E-mail: goldmile@yandex.ru

ПОНОМАРЕВ Александр Валентинович

старший преподаватель кафедры истории и теории архитектуры Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-ая Красноармейская, 4 E-mail: arbi93@yandex.ru

PONOMAREV Alekcander V.

Senior Lecturer of the History and Theory of Architecture Chair St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering 190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya str., 4 E-mail: arbi93@yandex.ru

Для цитирования: Золотарева М.В., Пономарев А.В. Адаптивная архитектура и новые подходы к организации средовых элементов // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 4. С. 90–98. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.04.12.

For citation: 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, vol. 13, no. 4, pp. 90–98. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.04.12.