

0+

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

АРХИТЕКТУРА, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И ДИЗАЙН



ARCHITECTURE, URBANISM AND DESIGN

INTERNATIONAL ELECTRONIC SCIENTIFIC JOURNAL



1 (47)/2026

ISSN 0000-0000



АРХИТЕКТУРА, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И ДИЗАЙН

№ 1(47)/2026

Международный электронный научный журнал

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Шабиев С. Г., председатель редакционной коллегии, доктор архитектуры, профессор, декан факультета «Архитектура» Южно-Уральского государственного университета

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

Колясников В. А., доктор архитектуры, профессор кафедры «Градостроительство» Уральской государственной архитектурно-художественной академии (г. Екатеринбург, Россия);

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Зимич В. В., кандидат технических наук, доцент кафедры «Архитектура», заместитель декана по научной работе архитектурного факультета Южно-Уральского государственного университета

ОТВЕТСТВЕННЫЙ ЗА ВЫПУСК

Согрин Е. К.

ВЁРСТКА

Шрайбер. А. Е.

КОРРЕКТОР

Фёдоров. В. С.

WEB-РЕДАКТОР

Шаров М.С.

0+

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

454080, г. Челябинск,
пр. им. В. И. Ленина, д. 76, оф. 518

E-mail: aud.susu@gmail.com

Тел./факс: +7 (351) 267-98-24; 8-950-733-35-45

www.aud.susu.ru

Журнал зарегистрирован Роскомнадзором
Свидетельство ЭЛ № ФС77-57927 от 28.04.2014

УЧРЕДИТЕЛЬ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

ИЗДАТЕЛЬ

архитектурный факультет Южно-Уральского государственного университета

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Черкасов Г. Н., доктор архитектуры, профессор кафедры «Архитектура промышленных сооружений» Московского архитектурного института (г. Москва, Россия);

Муксинов Р. М., доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой «Архитектура», декан факультета «Архитектура, дизайн и строительство» Кыргызско-Российского славянского университета, академик, вице-президент Академии архитектуры и строительства Республики Кыргызстан, член-корреспондент Международной академии архитектуры стран Востока (г. Бишкек, Республика Кыргызстан);

Куспангалиев Б. У., доктор архитектуры, профессор кафедры «Архитектура и дизайн» Казахского национального технического университета, директор-академик Казахского Академического центра международной академии архитектуры (г. Алматы, Республика Казахстан);

Сурина Л. Б., кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Дизайн и изобразительное искусство» Южно-Уральского государственного университета (г. Челябинск, Россия);

Ахмедова А. Т., доктор архитектуры, Почетный архитектор Казахстана. Декан факультета дизайна МОК КазГАСА (Международная образовательная корпорация Казахская головная архитектурно-строительная академия) (г. Алматы, Республика Казахстан);

Сабитов А. Р., доктор архитектуры, Почетный архитектор Казахстана. Заведующий кафедрой графического дизайна МОК КазГАСА (Международная образовательная корпорация Казахская головная архитектурно-строительная академия) (г. Алматы, Республика Казахстан);

XiaoJun Zhao, Director, Chief Architect, Design Director, Senior Architect of China Construction International (Shenzhen) Design Co., Ltd.

Название статьи	Авторы	Рубрика	Дата	Страница
АРХИТЕКТУРА ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНО–ХОЛОДНОМ КЛИМАТЕ	М.Ю. Тюрин В.В. Саметов	Теория и история архитектуры, градостроительства и дизайна	28.02.2026	3
АРХИТЕКТУРНО- ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОТНЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В ПРИРОДНО- КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЗИМБАБВЕ	П.Н. Чума С.Г. Шабиев	Экология в архитектуре и градостроительстве	14.02.2026	17
АРХИТЕКТУРНО- ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОТНЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В ПРИРОДНО- КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АНГОЛЫ	И.М. Итувамата С.Г. Шабиев	Экология в архитектуре и градостроительстве	13.02.2026	30
ОБУСТРОЙСТВО ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ КРОВЛИ В УСЛОВИЯХ ВТОРОГО И ТРЕТЬЕГО КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ	В.В. Зимич Е.С.Кичёва	Архитектурно- строительные технологии и материалы	28.02.2026	43
СИНТЕЗ ИСКУССТВ В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ ГОРОДА ЧЕЛЯБИНСКА	М.Ю. Сидоренко М.А. Митрошина	Дизайн архитектурной среды и ландшафтная архитектура	18.02.2026	53
ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЛАНИРОВОК ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ. СЛОЖНОСТИ МЕТОДИКИ	П.А. Пичугов	Компьютерное проектирование	02.02.2026	67

**АРХИТЕКТУРА ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНО-ХОЛОДНОМ
КЛИМАТЕ**

Исследование направлено на разработку архитектурно-конструктивных принципов проектирования общественных зданий в условиях экстремально холода (температуры ниже $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, сплошная мерзлота, амплитуда свыше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$), приобретающих стратегическое значение для освоения Арктики и Крайнего Севера Российской Федерации, где многолетняя мерзлота покрывает две трети территории, а ежегодная деградация объектов достигает значительных масштабов из-за неправильной эксплуатации грунтов.

Цель исследования – систематизация проверенных решений посредством множественного кейс-анализа на примере трёх реализованных проектов мирового уровня. Первый рассмотренный объект – полярная станция «Princess Elisabeth Antarctica» (энергетически-пассивное здание на гранитном основании в условиях антарктических ветров до 300 км/ч с уникальным планировочным решением и эффективными ограждающими конструкциями. Второй объект – национальный арктический кампус «Canadian High Arctic Research Station» в Кембридж-Бей (блочный комплекс на сплошной мерзлоте с интеграцией в архитектурно-планировочные решения традиционных инуитских мотивов). Третий объект – крупный спортивный комплекс «Триумф» в г. Якутске (большепролётная арена пролётом 66 м на сваях с термостабилизаторами в зоне пучинистых грунтов).

Выявлен ряд повторяющихся архитектурно-конструктивных приёмов, реализованных в большинстве проектов: универсальное применение свайного фундамента с вентилируемым подпольем, блочную композицию с чётким разделением тепловых контуров для минимизации нагрузки на мерзлоту, вентилируемые фасады для компенсации экстремальных температурных деформаций, буферное зонирование по принципу «луковицы» для климатической и акустической защиты, большепролётные стальные фермы пролётом $50\text{--}66\text{ м}$ вместо массивных железобетонных плит, зенитное освещение для компенсации дефицита дневного света в полярную ночь. Проанализированы новейшие построенные общественные здания мирового уровня в экстремально-холодном климате в условиях Антарктиды, Канады и Якутии.

Результаты исследования могут быть использованы в качестве основы для методологии проектирования общественных зданий в районах с экстремально-холодным климатом.

Ключевые слова: экстремально-холодный климат, вечная мерзлота, архитектурно-конструктивные принципы проектирования, аэродинамическая форма, многослойная оболочка, свайные фундаменты, энергоэффективность.

М. I. Tiurin
V. V. Stametov**ARCHITECTURE OF PUBLIC BUILDINGS IN EXTREME COLD CLIMATES**

The research is aimed at developing architectural and constructive principles for designing public buildings in conditions of extreme cold (temperatures below $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, continuous permafrost, amplitude over $100\text{ }^{\circ}\text{C}$), which are of strategic importance for the development of the Arctic and the Far North of the Russian Federation, where permafrost covers two thirds of the territory, and the annual degradation of facilities reaches significant scale due to improper use of soils.

The purpose of the study is to systematize proven solutions through multiple case analysis using the example of three implemented world-class projects. The first object considered is the Princess Elisabeth Antarctica polar station (an energy-passive building on a granite base in conditions of Antarctic winds up to

300 km/h with a unique planning solution and effective enclosing structures. The second facility is the Canadian High Arctic Research Station National Arctic campus in Cambridge Bay (a block complex on permafrost with integration into architectural and planning solutions of traditional Inuit motifs). The third facility is a large sports complex "Triumph" in Yakutsk (a large-span arena with a span of 66 m on stilts with thermostabilizers in a zone of deep soils).

A number of recurring architectural and structural techniques have been identified, implemented in most projects: the universal use of a pile foundation with a ventilated underground, a block composition with a clear separation of thermal contours to minimize the load on permafrost, ventilated facades to compensate for extreme temperature variations, buffer zoning based on the "onion" principle for climatic and acoustic protection, large-span steel trusses with a span of 50-66 m instead of massive reinforced concrete slabs, anti-aircraft lighting to compensate for the lack of daylight on a polar night. The latest constructed world-class public buildings in extremely cold climates in Antarctica, Canada and Yakutia are analyzed.

The results of the study can be used as a basis for the methodology of designing public buildings in areas with extremely cold climates.

Key words: extreme cold climate, permafrost, architectural and structural design principles, aerodynamic shape, multilayer shell, pile foundations, energy efficiency.

Архитектура в условиях экстремального холода приобретает стратегическое значение в связи с нарастающим освоением территорий Арктики и Крайнего Севера, а также с экологическими проблемами, связанными с изменением климата и деградацией вечной мерзлоты. К экстремально-холодным условиям принято относить температуры ниже $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, сплошную мерзлоту и годовую амплитуду температур более $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1].

Многолетняя мерзлота занимает 65% территории РФ и 24% заселённой суши планеты. Ключевые критерии данного типа грунта включают сезонное пучение, просадки при оттаивании до 2 метров в год, температурную нестабильность. По современной классификации существует 4 принципа строительства, возможного на таких территориях: I – с сохранением мерзлоты (на сваях с подпольем); II – с вентилируемым подпольем; III – на неутеплённой плите; IV – на утеплённой плите [2]. Основная проблема при строительстве в условиях многолетней мерзлоты заключается в том, что 15-20% объектов деградируют в первые 10 лет эксплуатации из-за несоблюдения условий сохранения температурных параметров грунта. Российский опыт строительства в городах, расположенных в зоне Крайнего Севера (Норильск, Якутск), показывает 70% аварийного состояния конструкций, вызванных тепловым воздействием на мерзлоту [3,4].

Проблема заключается в отсутствии систематизированных объемно-планировочных и конструктивных решений, обеспечивающих долговечность при одновременном минимизировании теплового воздействия на мерзлоту, а также современного уровня энергоэффективности зданий при увеличенных затратах энергии для обогрева.

Цель исследования заключается в разработке системы архитектурно-конструктивных принципов проектирования общественных зданий в условиях экстремального холода на основе анализа международного и отечественного опыта.

Задачи исследования состоят в углубленном анализе архитектурно-конструктивных решений современных построенных зданий по параметрам геометрии, пространственной организации, материалов и технологий возведения оболочки и фундамента здания. Это необходимо для систематизации наиболее эффективных решений, использованных для строительства в экстремально-холодном климате, а также для выявления основных архитектурно-конструктивных принципов, которые можно будет применить для проектирования в будущем.

В качестве методологии исследования применён множественный кейс-дизайн Yin R., обеспечивающий высокую внешнюю валидность при анализе сложных архитектурно-конструктивных систем [5]. Выбрано три реализованных проекта в различных климатических зонах экстремального холода. Географическое разнообразие объектов (Антарктика-Арктика-Субарктика) обеспечивает репрезентативность; реализованный статус объектов гарантирует практическую целесообразность; специфика охватывает широкий диапазон типологии общественных зданий.

Полярная научно-исследовательская станция «Princess Elisabeth Antarctica» – бельгийская полярная научно-исследовательская станция, первая в мире станция с «нулевым выбросом», работающая исключительно на солнечной и ветровой энергии. Спроектирована командой International Polar Foundation под руководством Алена Юбера по заказу федерального правительства Бельгии в 2004 году. Общая площадь около 1500 кв. м, вместимость 12-20 человек, эксплуатация – летний сезон (ноябрь-февраль), зимой – автоматический режим [6].

Станция расположена на гранитном гребне Утстейнен (UtsteinenRidge), к северу от нунатака Утстейнен в горах Сёр-Ронданэ (SørRondane), Земля Королевы Мод, Восточная Антарктика. Климатические параметры: температура от -50°C до -5°C ; ветер (среднемесячный) около 20 км/ч, максимальные порывы до 250-300 км/ч. Горы Сёр-Ронданэ блокируют основной ветровой поток, что делает площадку относительно защищённой от экстремальных ветров.

Грунтовое основание представляет собой гранитную породу. Район строительства – зона сплошной вечной мерзлоты. Выбор скального основания принципиален: лёд Антарктики постоянно перемещается к побережью, строительство на нём не обеспечивает долговременной стабильности.

Архитектурное решение

Форма станции появилась в результате аэродинамических испытаний в крупнейшей дозвуковой трубе Бельгии (Институт фон Кармана, VKI) на масштабных моделях с реальными данными ветровых замеров. Исходный проект предусматривал ромбовидный план, но эволюционировал в октагональную конфигурацию – сочетание острых и скруглённых углов. Острые углы размещены в ключевых точках для контроля турбулентности и снижения ветрового давления на стены; скруглённые грани минимизируют отрыв потока и снегоотложение. Здание ориентировано по оси восток–запад, перпендикулярно преобладающему юго-восточному ветру [7].

Кровля представляет собой продолжение единой оболочки (стеновые и кровельные панели конструктивно идентичны). На крыше устроены две террасы по 30 кв. м, доступные через двери в

слуховых окнах; террасы используются для размещения метеорологических и аэрозольных приборов, требующих определённой высоты и коротких кабельных трасс. Также на кровле расположены термальные солнечные панели и часть фотоэлектрических панелей (рис. 1) [8].



Рис. 1. Общий вид полярной научно-исследовательской станции «Princess Elisabeth Antarctica»

Здание приподнято на стойках в среднем на 2 м над гребнем, в результате чего ветер свободно пронесет снег под станцией, предотвращая засыпание. Эта проблема погубила предыдущую станцию – базу Бодуэн, полностью погребённую под снегом.

Планировочные особенности

Главный вход осуществляется через подснежный тоннель, ведущий из зоны за станцией в гаражи и далее в башню. Башня представляет собой вертикальное ядро связи: лестница и грузовой подъёмник соединяют уровень гаражей с основным жилым модулем и смотровой/диспетчерской наверху.

Гаражи расположены под снегом у подножия горы и разделены башней на два блока: северный («грязный»), включающий ремонтную мастерскую и аварийные дизель-генераторы, и южный («чистый»), вмещающий холодные лаборатории, снеготаялки, научное оборудование, продовольственный склад.

Планировка основного модуля организована по концентрическому принципу трёх «оболочек луковицы», где каждый слой выполняет роль теплового и акустического буфера для следующего (рис. 2). Внешняя оболочка включает в себя гардеробный блок у входа, лабораторию, медпункт (трансформируемое помещение), офисную зону (рабочие места учёных с видовыми окнами), спальную зону (5 мини-дормиториях, по 4 места на двухъярусных койках), жилую зону (гостиная, зона отдыха, фитнес-уголок).

Средняя оболочка – это буферная зона, включающая прачечные, санузлы и душевые, кухню, склады запасов (западный и восточный). Все сантехнические системы работают по принципу рекуперации воды.

Внутренняя часть – техническое ядро, состоящее из системы управления станцией (электропитание, распределение), водоочистой установки, аккумуляторного зала из 192 батарей, осуществляющих хранение энергии от ветрогенераторов и солнечных панелей. Ядро отделено

двойной автоматической дверью и противопожарной дверью, оно представляет собой помещение с полной изоляцией от внешней среды.

Принцип оболочек позволяет реализовать двойную буферную функцию: тепловую (кладовые и бытовые помещения отдают/поглощают тепло, сглаживая разницу между холодной оболочкой и горячим техническим ядром) и акустическую (защита спален и офисов от шума оборудования) [8].

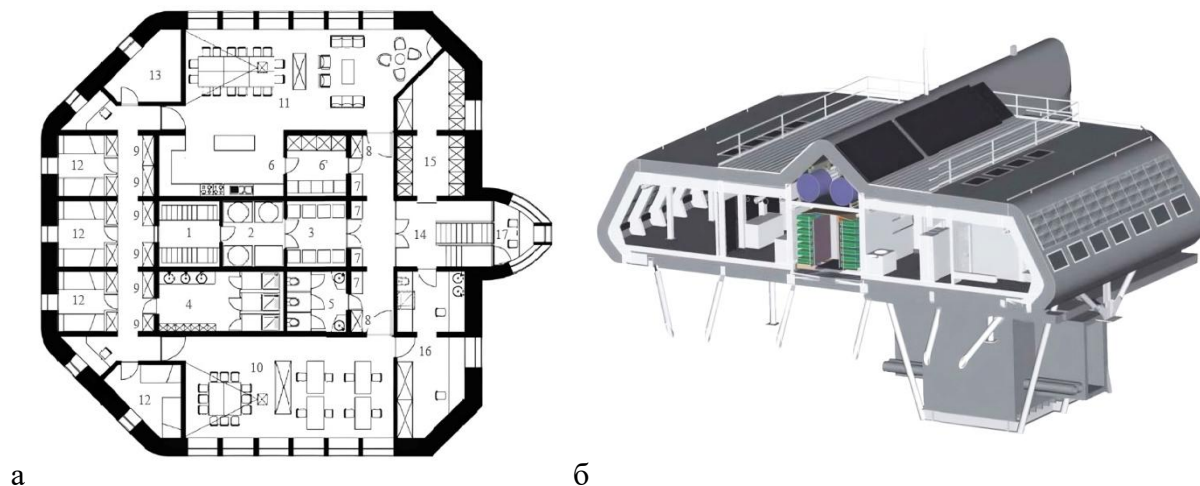


Рис. 2. Полярная научно-исследовательская станция «Princess Elisabeth Antarctica»: а-схема плана; б-схема разреза, совмещенным с общим видом

Материалы и конструкции

В здании станции применяется двухуровневая несущая конструктивная система. Первый уровень представляет собой 4 независимых стальных козловых рамы, способных расширяться и сжиматься при термических деформациях, а также 34 стальных стойки высотой 2-6 м (в зависимости от рельефа основания). Второй уровень – это деревянная суперструктура. Конструкция станции примерно на 80% состоит из дерева, которое не расширяется и не сжимается так критично, как металл при перепадах температур, и компенсирует падение влажности в сухом полярном воздухе [7].

Наружная оболочка выполнена из 168 многослойных панелей. Состав слоев оболочки (изнутри-наружу): шерстяной войлок, выполняющий роль отделки, акустической и пароизоляции ; алюминиевая пароизоляция; мультиплекс (клеёная сосна), придающая панелям внутреннюю жёсткость; пенополистирол с графитом низкой плотности, выполняющий роль основной теплоизоляции; мультиплекс (клеёная сосна) – наружная панель жесткости, связанная с внутренней буковыми стержнями диаметром 60 мм; EPDM-мембрана для гидроизоляции; пенополиэтилен с закрытыми ячейками, создающий уплотнение стыков под обшивкой ; нержавеющая сталь на болтовом креплении, обеспечивающая защиту от ветра, снега, УФ-лучей и абразивных частиц.

Окна представляют собой двойные стеклопакеты с воздушным промежутком 400 мм, рассчитаны на $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ветер 280 км/ч; оснащены клапаном выравнивания давления и солнцезащитным фильтром.

Фундамент выполнен в виде точечных анкерных креплений стальных стоек к гранитной породе. Анкеры устанавливаются в скважины глубиной до 6 м с последующим заполнением смолой, отверждаемой нагревом – через полые стержни прокачивается горячая вода в течение нескольких суток. Подобная конструкция фундамента позволяет противодействовать отрыву здания при ураганных ветрах, а также организовать вентилируемое подполье с продуваемым зазором.

Таким образом, можно выделить следующие уникальные архитектурные и инженерные решения, использованные в данном объекте:

- энергетически-пассивное здание без классического отопления; комфортная внутренняя температура держится за счёт пассивной солнечной радиации и внутренних тепловыделений людей и оборудования, без системы традиционного отопления;
- многослойная сверхтёплая оболочка; полностью воздухонепроницаема и влагонепроницаема, с контролем паро-режима, что важно при сверхнизких температурах.
- аэродинамическая форма, поднятая над грунтом;
- учет направлений ветровых и снеговых потоков; станция расположена так, чтобы доминирующее направление ветра выдували снег от здания, а не на здание;
- использованы материалы с малой теплопроводностью и стабильной геометрией;
- интегрированная вентиляция и перераспределение тепла; тёплые внутренние ядра (техника, баки воды, аккумуляторы) работают как обогреватели для остального объёма.

Национальный арктический кампус «Canadian High Arctic Research Station» (CHARS) в Кембридж-Бей (Nunavut) совмещает научные лаборатории, полевую инфраструктуру и жилые корпуса для исследователей. Проект выполнен бюро EVOQ + NFOE, площадь кампуса около 7900 кв. м. Станция задумывалась как образный «мост» между высокими технологиями и традиционными постройками местных жителей – инуитов [9].

Кембридж-Бей расположен на юго-востоке острова Виктория в Канадском Арктическом архипелаге. Район характеризуется высокой континентальностью: годовой диапазон температур около 45 °С, очень низкие осадки (100-150 мм в год), сильные ветра и обширные снежные заносы [10].

Грунтовое основание представляет собой массив известняков с типичными арктическими формами. Почвы в виде тонкого активного слоя над залегающей на небольшой глубине мерзлотой, с выраженной чувствительностью к оттаиванию.

Архитектурное решение

Кампус состоит из трёх ключевых блоков: основное исследовательское здание, ремонтный корпус и жилые триплексы. Главный корпус – двухэтажный, линейный по плану, но с пластически сложной конфигурацией: большой металлический объем лабораторий «обёрнут» более свободным по форме общественно-офисным поясом с изогнутыми фасадами [11].

Кровли основных объёмов – преимущественно плоские или с малым уклоном, рассчитаны на значительные снеговые нагрузки и возможность безопасного уборки снега. На крыше основного корпуса размещены инженерные установки, их компоновка подчинена ветровой аэродинамике и специфике обслуживания в условиях холода. Образный мотив куполообразного «иглу» проявляется во внутреннем куполе и конфигурации общественных зон, а не в форме всей кровли (рис. 3).

Проект предварялся детальными исследованиями ветрового режима и снегонесущей способности потоков на участке: распределение корпусов и открытых пространств подчинено управлению снежными заносами. Линейный корпус установлен так, чтобы разрывать ветровой поток и одновременно формировать защищённые от ветра наружные зоны для работы и общественных мероприятий [12].



Рис. 3. Общий вид национального арктического кампуса «Canadian High Arctic Research Station»

Планировочные особенности

В кампусе формируется иерархия наружных планировочных зон. Крупная открытая площадка за основным корпусом и полевым зданием, где моют, сушат и сортируют полевое снаряжение, работает как функциональный «двор» для научной деятельности. Также выделяется общественное наружное пространство в образе традиционного иглу, представляющее собой открытую площадку для встреч, мероприятий и приёма гостей. Пространства перед триплексами и вдоль главного корпуса используются как «уличные» зоны для жителей станции и встраиваются в структуру поселка Кембридж-Бей, а не замыкаются в себе.

На плане основного корпуса формируется длинный линейный маршрут, вдоль которого общественные и офисные помещения образуют внутренний променад. Этот общественный пояс – не буквально «улица», но связанная последовательность пространств с вестибюлями, зимним садом, столовой, связывающая входы, лаборатории и выходы к полевым зонам. Входов несколько (два общественных, один полевой), что позволяет разделять потоки посетителей, сотрудников и полевой логистики (рис. 4).

Разделение на общедоступно-офисный пояс и лабораторный бокс формирует климатический и акустический буфер: тяжёлые лаборатории и мастерские внутренне изолированы от наружного климата, а более тёплые общественные пространства работают как защита от ветра и холода у внешних фасадов. Полевой корпус с мастерскими и складом техники вынесен отдельно, что снижает шум и загрязнение у главного корпуса и создаёт дополнительный термический и функциональный буфер (рис. 5).

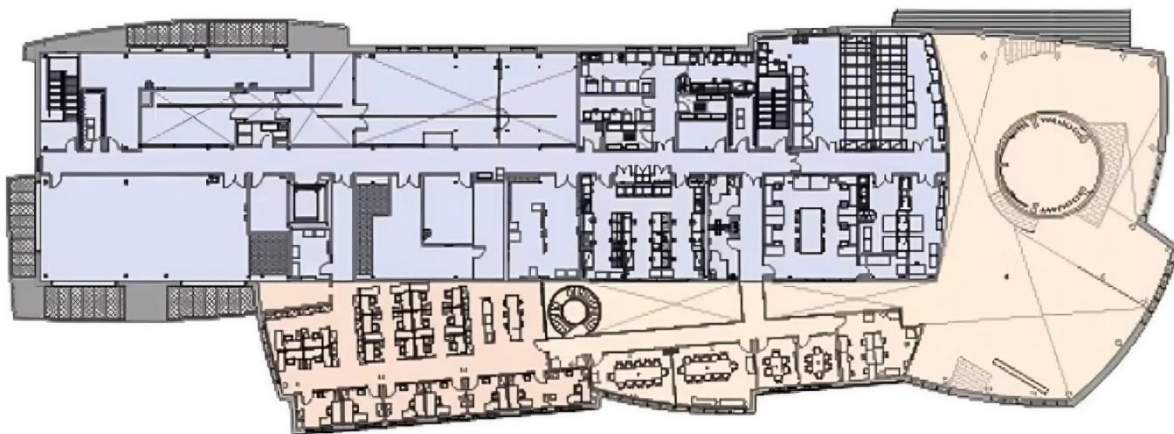


Рис. 4. Схема плана национального арктического кампуса «Canadian High Arctic Research Station»



Рис. 5. Схема разреза национального арктического кампуса «Canadian High Arctic Research Station»

Материалы, конструкции и фундамент

Используется современная стальная или железобетонная каркасная система. Лабораторный объём – индустриальный металлический бокс, рассчитанный на тяжёлые инженерные нагрузки, высокие снеговые/ветровые нагрузки и размещение оборудования. Полевой корпус – большой зальный ангар с высокими воротами для техники; его каркас также стальной, оптимизирован под пролёты и крановое/ремонтное оборудование.

В наружной отделке основного корпуса используются металлокассеты с характерной медной цветовой гаммой в общественных зонах как отсылка к традиционному использованию меди инуитами; более нейтральная облицовка в промышленном духе применяется на лабораторном боксе.

Наружная оболочка проектировалась как «северный» фасад: высокоэффективная теплоизоляция, ветрозащита и пароконтроль, соответствующие канадским арктическим нормам. Внутри широко используются дерево и тёплые отделочные материалы в общественных пространствах для психологического комфорта в суровом климате.

Фундаментные решения подбирались строго под локальные условия мерзлоты. Для региона характерна почти сплошная мерзлота с активным слоем более 1 м и чувствительностью к потеплению. В таких условиях используется следующий принцип работы фундаментных конструкций: минимизация теплового потока в грунт, чтобы не инициировать оттаивание и просадки; возможность адаптации опор по мере изменения состояния.

Таким образом, можно выделить следующие уникальные архитектурные и инженерные решения, использованные в данном объекте:

- кампус реализован как система, а не как одиночное здание; разделение на три ключевых объёма: лабораторный корпус, ремонтный ангар и жилые триплексы позволяет оптимизировать конструкцию и инженерные системы под разные режимы эксплуатации;

- планировочная эспланада из общественных и офисных пространств вокруг лабораторного бокса служит климатическим и акустическим буфером между наружным холодом и высокоточной лабораторией [13];

- управление климатом через планировочную структуру; корпуса формируют защищённые от ветра наружные зоны, в которых можно работать или проводить мероприятия даже при сильном ветре и низкой температуре.

Спортивный комплекс «Триумф» в г. Якутске – крупнейший крытый универсальный спортивный комплекс на Дальнем Востоке и в Сибири, первый в мире крытый стадион такого масштаба, целиком возведённый на сваях в зоне вечной мерзлоты. Общая площадь объекта – 26 000 кв. м [14].

Комплекс расположен в центре Якутска, на берегу озера Сайсары, главный фасад ориентирован на юго-восток. Якутск – крупнейший город в мире, расположенный в зоне сплошной вечной мерзлоты [15,16].

Климатические параметры: годовая амплитуда температур 102,8 °С, абсолютный минимум – 64,4 °С, осадки около 237 мм в год, что делает г. Якутск одним из наиболее контрастных городов мира по годовой амплитуде температур [16].

Грунтовое основание представляет собой сплошную многолетнюю мерзлоту мощностью до 300-400 м. Площадка строительства была осложнена ранее расположенным на этом месте гаражом с тёплыми полами, под которым образовался участок оттаивания размером 300 × 20 м, глубиной 2-8 м с обводнёнными грунтами [17].

Архитектурное решение

Комплекс состоит из трёх сблокированных объёмов: блок А – универсальный легкоатлетический зал с овальной ареной и трибунами на 3 000 мест; блок В – обслуживающий, площадью 5670 кв. м, включает залы единоборств, центр спортивной медицины и реабилитации, столовую на 150 мест, сауну, пресс-центр, инженерные помещения. Блок С – включает 8-этажную гостиницу на 96 мест с административными помещениями. Все три блока конструктивно связаны, но функционально разделены. Такое разделение выполнено с целью изоляции разных тепловых режимов, необходимых для разных функций, что позволяет использовать энергию более эффективно [14].

Кровля стадиона, который имеет овальную форму в плане, решена с пятью стеклянными зенитными проемами, обеспечивающими естественное освещение арены. Кровля опирается на уникальную большепролётную конструкцию пролётом 66 м. Зенитные фонари – необходимое решение для города, где 199 дней в году лежит снег и остро ощущается нехватка естественного света (рис. 6).



Рис. 6. Общий вид спортивного комплекса «Триумф» в г. Якутске

Уникальные конструктивные решения большепролётного покрытия позволили избежать массивных фундаментов и существенно сократить стоимость строительства: лёгкая кровля на пролёте 66 м снижает вертикальную нагрузку на сваи, что критично для мерзлотного основания. Овальная форма плана и относительно невысокий профиль блока А снижают боковую парусность при ветровых нагрузках. Якутск не отличается экстремальными ветрами (в отличие от Антарктики), но снеговая нагрузка и температурные деформации являлись ведущими расчётными факторами [18].

Материалы, конструкции и фундамент

Фасад выполнен в виде навесной вентилируемой фасадной системы – керамогранитные или фиброцементные кассеты на металлическом каркасе с утеплением. Вентилируемый фасад является стандартным решением для Якутска, он позволяет «дышать» стенам, удалять конденсат и обеспечивает ремонтпригодность при экстремальных температурах [19].

Тип фундамента – свайный с проветриваемым подпольем, чтобы изолировать тепло конструкции от мерзлотного основания. Также на площадке «Триумфа» были установлены сезонно-действующие охлаждающие устройства для принудительного промораживания грунта, оттаявшего на месте прежнего гаража. Эти устройства работали без внешних источников энергии: герметичная труба с хладагентом, которая зимой конденсирует тепло в грунте, а затем на поверхности отдаёт его в воздух [20,21].

Таким образом, можно выделить следующие уникальные архитектурные и инженерные решения, использованные в данном объекте:

- большепролетное лёгкое покрытие вместо тяжёлых ж/б плит; такое решение радикально снижает нагрузку на сваи, что критично для мерзлотного основания: чем меньше масса, тем меньше требуемая несущая способность по боковому «намораживанию»;

- свайный фундамент с вентилируемым подпольем; классический для Якутска принцип сохранения мерзлоты: здание «парит» над грунтом, холодный воздух свободно проходит под зданием и не даёт теплу от перекрытия оттаивать мерзлоту;

- блочная композиция (А + В + С); разделение на функциональные блоки позволяет «изолировать» тепловые режимы для лёгкой неотапливаемой арены, тёплого инженерного блока и высотной гостиницы;

- зенитные фонари на кровле; пять стеклянных проёмов компенсируют дефицит дневного света.

Заключение

Анализ решений трех построенных объектов – «Princess Elisabeth Antarctica», «Canadian High Arctic Research Station», СК «Триумф» г. Якутск выявил следующие повторяющиеся архитектурно-конструктивные приемы: свайный фундамент с вентилируемым подпольем, блочная композиция с разделением тепловых контуров, вентилируемый фасад, буферное зонирование, автономность и независимость от внешних источников энергии, аэродинамическая форма основного объема здания. На основании этих решений можно выделить пять категорий архитектурно-конструктивных принципов проектирования общественных зданий в экстремально-холодном климате.

1. Принцип блочной объёмно-пространственной композиции, что позволяет разделить тепловые режимы различных по функции частей здания, минимизируя нагрузку на мерзлоту и теплопотери.

2. Принцип создания защищённых от ветра и снеговых потоков внешних пространств, которые обеспечивают дополнительные функциональные зоны для эксплуатации в экстремальном климате.

3. Принцип буферного зонирования внутреннего пространства, основанный на создании «тёплого пояса» вокруг холодных помещений, а также создание дополнительного естественного освещения с помощью зенитных фонарей.

4. Принцип конструктивного объединения свайного основания с подпольем, принудительное охлаждение талых грунтов и облегчение конструкции, что позволяет продлить срок эксплуатации здания на 30-50%.

5. Принцип многослойности и энергоэффективности материалов и ограждающих конструкций предусматривает применение системы вентилируемых фасадов для компенсации деформаций при температурной амплитуде свыше 100 °С и пассивное теплоснабжение за счёт внутренних источников с рекуперацией тепла.

В результате исследования передового отечественного и зарубежного опыта строительства общественных зданий в условиях экстремально-холодного климата удалось выявить общие закономерности, которые позволяют прогнозировать тенденции развития архитектуры данного типа объекта.

Литература

1. Бабарыкина Д.В. Международный опыт проектирования общественных пространств в условиях холодного климата // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2024. – №2(67). – С. 130-142.
2. СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88*. Утв. Приказом Минстроя России от 30.12.2020 – № 915/пр. – М.: Минстрой России, 2020. – 143 с.
3. Васильев А.А., Гравис А.Г., Губарьков А.А., Дроздов Д.С., Коростелев Ю.В., Малкова Г.В., Облогов Г.Е., Пономарева О.Е., Садуртдинов М.Р., Стрелецкая И.Д., Стрелецкий Д.А., Устинова Е.В., Широков Р.С. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе Российской Арктики // *Криосфера Земли*. 2020. – Т. 24. – № 2. – С. 15-30.
4. Охлопкова Т. В., Гурьянов Г. Р., Плотников А. А. Строительство и проектирование зданий и сооружений в условиях вечной мерзлоты // *ИВД*. 2018. – №4 (51). – 12 с.
5. Yin R.K. *Case Study Research: Design and Methods*. 5th ed. – SAGE, 2014. – 5 p.
6. Samyn Ph., Deprez A., Tabara A. Princess Elisabeth Station: Architecture in Antarctica // *Projecto*. 2009. – № 318. – С. 64-73.
7. Princess Elisabeth Station, Antarctica: Technical Dossier. – Brussels: Educapoles (International Polar Foundation). 2009. – 13 p.
8. Li Y., Zhang X., Wang J. Architectural and Structural Design Technologies in Polar Regions // *Civil Engineering and Sustainability*. 2023. – 11 p.
9. Национальный арктический кампус «Canadian High Arctic Research Station» (CHARS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.canada.ca/en/polarknowledge/CHARScampus/charsfloorplan.html> (дата обращения: 25.02.2026).
10. Кампус Canadian High Arctic Research Station [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.canadianarchitect.com/high-arctic-high-design/> (дата обращения: 24.02.2026).

11. Национальный арктический кампус [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://evoqarchitecture.com/en/-projects/canadian-high-arctic-research-station-chars> (дата обращения: 28.02.2026).
12. Landers K, Streletskiy D. (Un)frozen foundations: A study of permafrost construction practices in Russia, Alaska, and Canada. *Ambio*. 2023. – 14 p.
13. Melnikov V. P., Melnikova A.A., Ivanov K.S. the use of granular foam-glass ceramic in the arctic construction of low-rise buildings// *Earth&apos Cryosphere*. 2022. – Vol. 12. – № 2. – pp. 271-280.
14. Спортивный комплекс в Якутске [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://csp-sakha.ru/about> (дата обращения: 27.02.2026).
15. Ремарчук С. М. Анализ современных подходов к проектированию арктических городов // *Вестник ТГАСУ*. 2024. – Т. 26. – № 2. – С. 36-47.
16. Готоев Д.В. Фундаменты сооружений на мерзлых грунтах в Якутии: монография. – Якутск: Изд-во СВФУ, 2018. – 156 с.
17. Проценко Я. А. Применение принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания // *Вестник науки*. 2024. – Т. 4. – №2 (71). – С. 342-356.
18. Краснопольский Ф. К. Архитектурно-планировочная структура арктических городов // *Наука, образование и экспериментальное проектирование*. 2020. – №1. – С. 266-268.
19. Спортивный комплекс «Триумф» в г. Якутске [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kraspan.ru/company/news/Proekty/ObektyzavershennogostroitelstvasportivnyykompleksTriumfgYakutsk/> (дата обращения: 28.02.2026).
20. Ермаков А.А., Захарова А.С., Бегина В.А., Чухлатый М.С. Особенности строительства свайных фундаментов в зонах вечной мерзлоты на объектах нефтегазовой отрасли // *Нефтяное хозяйство*. 2021. – № 5 (77) – 12 с.
21. Преснов О. М., Мелихов В. П., Зайцев С. А., Сливина Д. М. Возведение свай в условиях вечной мерзлоты // *МНИЖ*. 2022. – №2-1 (116). – С. 41-43.

References

1. Babarykina D.V. International experience in designing public spaces in cold climates. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2024. – №. 2(67) – pp. 130-142.
2. SP 25.13330.2020. Foundations and foundations on permafrost soils. Updated version of SNiP 2.02.04-88*. Approved by By Order of the Ministry of Construction of Russia dated 12/30/2020 – № 915/ave. – Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2020. – 143 p.
3. Vasiliev A.A., Gravis A.G., Gubarkov A.A., Drozdov D.S., Korostelev Yu.V., Malkova G.V., Oblogov G.E., Ponomareva O.E., Sadurtdinov M.R., Streletskaya I.D., Streletsky D.A., Ustinova E.V., Shirokov R.S. Permafrost degradation: results of long-term geocryological monitoring in the western sector of the Russian Arctic // *Cryosphere of the Earth*. 2020. – Vol. 24. – № 2. – pp. 15-30.

4. Okhlopkova T. V., Guryanov G. R., Plotnikov A. A. Construction and design of buildings and structures in permafrost conditions. 2018. – №4 (51). – 12 p.
5. Yin R.K. Case Study Research: Design and Methods. 5th ed. – SAGE, 2014. – 5 p.
6. Samyn Ph., Deprez A., Tabara A. Princess Elisabeth Station: Architecture in Antarctica // *Projecto*. 2009. – № 318. – pp. 64-73.
7. Princess Elisabeth Station, Antarctica: Technical Dossier. – Brussels: Educapoles (International Polar Foundation). 2009. – 13 p.
8. Li Y., Zhang X., Wang J. Architectural and Structural Design Technologies in Polar Regions // *Civil Engineering and Sustainability*. 2023. – 11 p.
9. National Arctic Campus "Canadian High Arctic Research Station" (CHARS) [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.canada.ca/en/polarknowledge/CHARScampus/charsfloorplan.html> (date of access: 02/25/2026).
10. Canadian High Arctic Research Station Campus [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.canadianarchitect.com/high-arctic-high-design/> (date of access: 02/24/2026).
11. National Arctic Campus [Electronic resource]. – Access mode: <https://evoqarchitecture.com/en/projects/canadian-high-arctic-research-station-chars> (date of request: 02/28/2026).
12. Landers K, Streletskiy D. (Un)frozen foundations: A study of permafrost construction practices in Russia, Alaska, and Canada. *Ambio*. 2023. – 14 p.
13. Melnikov V. P., Melnikova A.A., Ivanov K.S. the use of granular foam-glass ceramic in the arctic construction of low-rise buildings// *Earth&aposss Cryosphere*. 2022. – Vol. 12. – № 2. – pp. 271-280.
14. Sports complex in Yakutsk [Electronic resource]. – Access mode: <https://csp-sakha.ru/about> (date of request: 02/27/2026).
15. Remarchuk S. M. Analysis of modern approaches to the design of Arctic cities // *Bulletin of TSASU*. 2024. – Vol. 26. – № 2. – pp. 36-47.
16. Gotoev D.V. Foundations of structures on frozen soils in Yakutia: monograph. Yakutsk: NEFU Publishing House, 2018. 156 p.
17. Protsenko Ya. A. Application of the principle of using permafrost soils as a base // *Bulletin of Science*. 2024. – Vol. 4. – №2 (71). – 3p. 342-356.
18. Krasnopolsky F. K. Architectural and planning structure of Arctic cities // *Science, education and experimental design*. 2020. – №. 1. – pp. 266-268.
19. The Triumph sports complex in Yakutsk [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.kraspan.ru/company/news/Proekty/Obektyzavershenogostroi-telstvasportivnyykompleksTriumfgYakutsk/> (date of access: 02/28/2026).

20. Ermakov A.A., Zakharova A.S., Beginina V.A., Chukhlaty M.S. Features of the construction of pile foundations in permafrost zones at oil and gas industry facilities // Oil industry. 2021. – № 5 (77) – 12 p.

21. Presnov O. M., Melikhov V. P., Zaitsev S. A., Slivina D. M. The construction of piles in permafrost conditions. 2022. – №2-1 (116). – pp. 41-43.

Тюрин М. Ю.

Доцент кафедры «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

E-mail: tiurinmi@susu.ru

Tiurin M. Y.

Senior lecturer of the department "Architecture", South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

E-mail: tiurinmi@susu.ru

Стаметов В. В.

Студент кафедры «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

E-mail: stametov.v.v@gmail.com

Stametov V. V.

Student lecturer of the department "Architecture", South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

E-mail: stametov.v.v@gmail.com

УДК 728.2(68) + 725.1(68)

**П. Н. Чума
С. Г. Шабиев**

**АРХИТЕКТУРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОТНЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ
ЗДАНИЙ В ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ ЗИМБАБВЕ**

Современные вызовы урбанизации и климатического кризиса обостряют необходимость пересмотра принципов архитектурно-экологического проектирования высотных общественных зданий. Особую актуальность это приобретает в регионах с экстремальными природно-климатическими условиями, таких как Зимбабве, где прямая адаптация международных типологий небоскрёбов демонстрирует свою несостоятельность. Это требует принципиально новых подходов, интегрирующих местный опыт и глобальные инновации.

Цель исследования заключается в разработке методологии формирования высотных зданий в условиях Зимбабве, основанной на синергии традиционных экологических знаний и передовых цифровых технологий.

Задачи исследования включают выявление природно-адаптивных принципов традиционного зодчества, разработку алгоритмической модели для проектирования современной высотной структуры, формирование объёма и структуры здания, оптимально взаимодействующих с климатическими факторами и оценку экологической эффективности подхода.

Применены методы исследования, включающие системный анализ биоклиматических принципов традиционной архитектуры народа шона, их параметризацию и алгоритмическое моделирование.

Разработан метод деконструкции архетипов с выявлением ключевых принципов терморегуляции, которые были переведены в цифровые параметры с использованием инструментов параметрического проектирования для оптимизации формы здания. Осуществлен перевод эмпирического знания в формализованные алгоритмы.

Основные результаты и выводы демонстрируют, что предложенная методология позволяет создать экологическое высотное здание, чья форма является следствием реакции на природно-климатические императивы. С помощью алгоритмического моделирования эти традиционные принципы могут быть закодированы и адаптированы для современного использования. Архитектурное формирование происходит изнутри контекста, что обеспечивает снижение энергозатрат и создаёт новую, экологически обоснованную региональную идентичность. Это открывает широкие возможности для устойчивого развития городов в условиях меняющегося климата.

Ключевые слова: *природно-климатические условия Зимбабве, архитектурно-экологическое формирование, высотные общественные здания, алгоритмическое моделирование, биоклиматические принципы, региональная идентичность.*

P. N. Chuma

S.G. Shabiev

ARCHITECTURAL ECOLOGICAL FORMATION OF HIGH-RISE PUBLIC BUILDINGS IN ZIMBABWE'S NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS

Modern challenges of urbanization and the climate crisis are exacerbating the need to review the principles of architectural and environmental design of high-rise public buildings. This is particularly relevant in regions with extreme natural and climatic conditions, such as Zimbabwe, where direct adaptation of international typologies of skyscrapers demonstrates its inconsistency. This requires fundamentally new approaches that integrate local expertise and global innovation.

The purpose of the research is to develop a methodology for the formation of high-rise buildings in Zimbabwe, based on the synergy of traditional environmental knowledge and advanced digital technologies.

The research objectives include identifying the natural adaptive principles of traditional architecture, developing an algorithmic model for designing a modern high-rise structure, shaping the volume and structure of a building that optimally interact with climatic factors, and evaluating the environmental effectiveness of the approach.

Research methods are applied, including a systematic analysis of the bioclimatic principles of the traditional architecture of the Shona people, their parametrization and algorithmic modeling. The method of deconstruction of archetypes was used to identify the key principles of thermoregulation, which were translated into digital parameters using parametric design tools to optimize the shape of the building. The transfer of empirical knowledge into formalized algorithms has been carried out.

The main results and conclusions demonstrate that the proposed methodology makes it possible to create an ecological high-rise building, whose shape is the result of a reaction to natural and climatic imperatives. With the help of algorithmic modeling, these traditional principles can be encoded and adapted for modern use. Architectural formation takes place from within the context, which reduces energy consumption and creates a new, environmentally sound regional identity. This opens up great opportunities for sustainable urban development in a changing climate

Keywords: *natural and climatic conditions of Zimbabwe, architectural and ecological formation, high-rise public buildings, algorithmic modeling, bioclimatic principles, regional identity*

Проектирование устойчивой высотной архитектуры в Зимбабве требует учёта уникального комплекса климатических факторов, определяемых географическим положением г. Хараре на высоте

около 1480 метров над уровнем моря в зоне субтропического высокогорного климата. Данный климат характеризуется тремя чётко выраженными сезонами, каждый из которых предъявляет свои требования к зданию. Прохладная сухая зима (ноябрь-апрель) отличается ясной погодой, значительной суточной амплитудой (днём до +22°C, ночью температура может опускаться до +5°C) и практически полным отсутствием осадков. За ней следует жаркий сухой сезон наиболее напряжённый период с пиковыми дневными температурами, часто превышающими +30°C, при этом ночи остаются прохладными (+10 до +15°C) [1]. Тёплый влажный летний сезон (май-август) приносит основную массу осадков (около 800-850 мм в год) в виде интенсивных, но относительно кратковременных послеполуденных ливней; средние дневные температуры держатся в районе (+25 до +28°C) при высокой относительной влажности воздуха.

Ключевые для архитектурного проектирования параметры формируются под влиянием этой сезонности. Солнечная радиация исключительно интенсивна круглый год, а количество солнечных часов превышает 3000 в год, что создаёт постоянный перегрев в зданиях. Режим ветров имеет устойчивую направленность: преобладают юго-восточные и восточные пассаты, особенно устойчивые в сухие сезоны, что открывает потенциал для пассивной и гибридной вентиляции. Рельеф полого-холмистой местности формирует локальные микроклиматы и воздушные потоки (катабатические и анабатические), которые необходимо учитывать при размещении и объёмно-пространственном решении застройки. Таким образом, центральными проектными задачами становятся: эффективная защита от перегрева и ультрафиолетового излучения; аккумуляция и перераспределение тепла для сглаживания суточных перепадов; управление естественным освещением; организация воздухообмена, использующего преобладающие ветра; а также защита от ливневых потоков и интеграция систем сбора воды. Именно этот комплекс условий исторически сформировал биоклиматические принципы местного зодчества и определяет логику их актуальной интерпретации [1].

Современная урбанизация в странах Южной Африки, включая Зимбабве, сопровождается ростом потребности в увеличении плотности застройки. Однако простое копирование энергоёмких западных моделей высотного строительства, ориентированных на иные климатические зоны, оказывается неэффективным и экологически обременительным в условиях интенсивной солнечной радиации, резких перепадов суточных температур и специфических сезонных режимов влажности, характерных для Зимбабве [2, 3]. Это приводит к созданию зданий, зависящих от дорогостоящих и ресурсоёмких систем кондиционирования и освещения, что противоречит глобальным целям устойчивого развития [4]. Таким образом, актуальной задачей становится разработка архитектурной парадигмы, которая синтезирует требования высокой плотности застройки с экологической и культурной устойчивостью. Решение этой задачи требует отказа от универсальных решений в пользу контекстуально-ориентированного проектирования.

Альтернативой является путь архитектурно-экологического формирования, при котором высотное здание рассматривается как сложная система, находящаяся в динамическом взаимодействии с окружающей природно-климатической средой. Ключом к такому формированию является не импорт готовых решений, а глубокий анализ и творческая интерпретация принципов местного, исторически сложившегося зодчества. Архитектура народа шона с ее многовековым опытом адаптации к условиям Зимбабве, представляет собой неисчерпаемый источник биоклиматического интеллекта [5]. Задача современного проектировщика заключается в систематической деконструкции этих принципов и их «перекодировании» на язык современных высотных структур с использованием передовых материалов, технологий и вычислительных инструментов. Критически важно, что адаптация принципов традиционной архитектуры для высотного строительства не является стилизацией или поверхностным цитированием форм. Речь идет о глубоком анализе физических процессов и их инженерной интерпретации с помощью современных технологий.

Традиционное жилище шона (рондавель) служит хрестоматийным примером пассивного климатического контроля, оптимизированного для климата с жарким сухим летом и прохладной зимой [6]. Его компактная круглая форма минимизирует площадь поверхности, подверженной воздействию солнца и ветра, по сравнению с объемом фундаментальный принцип энергоэффективности. Центричная планировка вокруг открытого пространства (ружагаро) организует жизнь в соответствии с климатическими и социальными ритмами [7].

Ключевыми являются следующие архитектурно-экологические приемы.

Использование тепловой массы. Толстые стены из самана (смесь глины, песка и соломы) действует как «тепловой маховик», аккумулируя тепло днем и отдавая его ночью, сглаживая суточные колебания температуры [8].

Применение пассивного солнечного затенения. Широкая нависающая соломенная крыша создает глубокую тень у стен, защищая интерьер от перегрева и прямых дождевых потоков [9]. Естественная вентиляция, регулируемая через низко и высокорасположенные проемы и усиленная эффектом «тепловой трубы» центрального открытого пространства, способствующего естественной тяге и пассивному охлаждению, также является ключевым элементом [7, 8].

Использование местных материалов. Саман, камень и дерево, минимизирует транспортные расходы, углеродный след и поддерживает локальную экономику, что составляет основу устойчивого подхода [10].

Прямое применение традиционных материалов и форм в высотном строительстве абсолютно невозможно. Современный инструментарий для этого включает использование современных материалов. Высокоэффективный бетон с интегрированными капиллярными трубками для активации тепловой массы, материалы с изменением фазы, встраиваемые в ограждающие конструкции или отделку в качестве «тепловых батарей», аэрогели для сверхэффективной изоляции – все это

современные аналоги традиционной тепловой массы и изоляции [11, 12]. Инновационные строительные системы также играют важную роль в архитектурно-экологическом формировании высотных общественных зданий. Двойные фасадные оболочки, создающие буферную климатическую зону и имитирующие вертикальную веранду, гибридные системы вентиляции, автоматически переключающиеся между естественным и механическим режимами, интеллектуальные стекла (фотохромные, термохромные), адаптирующие свои свойства к условиям среды, становятся сложными заменителями традиционных солнцезащитных и вентиляционных решений [13, 14]. Цифровые инструменты проектирования, такие как вычислительная гидродинамика для точного моделирования и оптимизации воздушных потоков внутри здания и вокруг него, алгоритмическое проектирование для генерации формы, максимально использующей преобладающие направления ветра и контролирующей инсоляцию, информационное моделирование зданий для комплексного анализа жизненного цикла, позволяют научно обосновать и оптимизировать интуитивные принципы традиционной архитектуры [15, 16].

Такой синтез традиционного интеллекта и высоких технологий наглядно демонстрируют современные проекты, формируя прецеденты для Зимбабве. Ярким примером, отправной точкой для региона, остается «Истгейт центр» в г. Хараре (1996 г., рис.1). Архитектор М. Пирс отказался от механического кондиционирования, напрямую позаимствовав принцип пассивной вентиляции у термитников африканской саванны. Система двойной перфорации фасада и вытяжных башен создает эффект дымовой трубы, обеспечивая комфорт при минимальном энергопотреблении и доказывая, что эффективные решения лежат в понимании локальной экологии [8, 17]. Сегодня этот биомиметический подход эволюционирует благодаря алгоритмическому проектированию, которое оптимизирует климатические оболочки зданий с беспрецедентной точностью [15, 16]. Наследие «Истгейт центра» это методология, утверждающая, что подлинная инновация рождается из диалога с местным контекстом и природными системами [18, 19].

Эволюцию этого подхода в эпоху цифрового дизайна наиболее наглядно представляет знак «Башни Пиннакл» в г. Найроби от бюро Morphosis показанной на (рис.2). Если «Истгейт центр» это статичная биомиметика, то «Башни Пиннакл» это динамическая экологическая мимикрия, реализуемая через умный фасад. Подвижные керамические «кирпичи-жалюзи», управляемые компьютерной программой, реагируют на траекторию солнца. Этот активный фасад является сложной материализацией принципов адаптивной архитектуры и экологии цифрового дизайна [15,16]. Он не просто блокирует солнце, а динамически оптимизирует баланс между инсоляцией, видом и естественным освещением, минимизирует теплопритоки. Такой подход отличается от универсальной защиты от климата к избирательному и отзывчивому диалогу с ним, что соответствует передовым теориям устойчивого проектирования [3].



Рис. 1. Общий вид «Истгейт центра», в г. Хараре, Зимбабве

Эволюцию этого подхода в масштабе континентального мегаполиса представляет уникальный центр «Леонардо» (2019 г.) в г. Йоханнесбурге (рис. 3). Как самое высокое и новаторское здание Африки, оно интегрирует устойчивость в самую основу концепции. Его экологическая стратегия носит комплексный системный характер, сочетая спектрально-селективное остекление для контроля солнечной радиации с передовой системой рециркуляции серых и дождевых вод. Эта вода питает масштабное вертикальное озеленение, которое, в свою очередь, эффективно смягчает микроклимат, целенаправленно борясь с эффектом городского теплового острова. Центр «Леонардо» демонстрирует переход от отдельных «зеленых» технологий к комплексной экологической ответственности высотной доминанты [9, 20].

Объекты за пределами Африки показывают, как адаптивные принципы могут обретать культурную специфику и социальное измерение. Здание «Pixel» в г. Мельбурне доводит идею адаптивного фасада до уровня энергетической автономии. Его цветные панели создают солнечное затенение, что является результатом инженерного расчета по управлению инсоляцией на конкретной широте (рис.4) [13,21]. Это пример чисто технической адаптации, где функциональность первична. В африканском же контексте эстетика и культурный код становятся равноправными составляющими адаптации. Это демонстрирует, что высокотехнологичные решения могут быть тонко настроены под конкретные климатические условия, сохраняя свою эффективность. Таким образом, технологическая адаптация становится мостом между глобальными инновациями и локальными традициями. Для контекста г. Хараре ключевым становится заимствование этого принципа адаптивности, но с



Рис. 2. Общий вид «Башни Пиннакл» в г. Найроби, Кения



Рис. 3. Общий вид центра Леонардо в г. Йоханнесбурге, ЮАР

наполнением его местным смыслом: перфорация кинетических экранов может черпать вдохновение в традиционных геометрических узорах шона, создавая «умную кожу», которая одновременно эффективна и культурно идентична [14, 16].



Рис. 4. Общий вид здания «Pixel» в г. Мельбурне, Австралия

Аэродинамическая оптимизация, ярко выраженная в «Шанхайской башне» (спиралевидная форма снижает ветровую нагрузку на 24%), в Зимбабве может быть адаптирован для улучшения естественной вентиляции и интеграции ветрогенераторов. Это техническое решение открывает путь к синергии архитектуры и энергетики, что особенно актуально для местного жаркого климата и растущих потребностей в устойчивой энергетике, позволяя генерировать часть собственной энергии здания (рис. 5). Такой подход повысит энергоэффективность и обеспечит устойчивость зданий к сильным сезонным ветрам, характерным для региона. Однако наиболее ценным заимствованием из этого проекта является социальная инновация концепция «вертикального города». Серия небесных садов-атриумов, ломающих высоту, предлагает модель для организации «вертикальных соседств» в г. Хараре башне общественных центров на разных уровнях, превращающих небоскреб в социальный конденсатор [18].

Проект «Вертикального леса» С. Боэри предлагает модель «нео-натурализма», где фасад становится вертикальной экосистемой (рис.6). Для Зимбабве эта концепция адаптируется через использование засухоустойчивых аутентичных видов растений (деревья мусаса, алоэ), что повышает жизнеспособность системы при минимальном потреблении воды [2, 7]. Ключевым инновационным аспектом здесь является симбиоз архитектуры и местной флоры, создающий автономную и



Рис. 5. Общий вид Шанхайской башни в г. Шанхае, Китай

самоподдерживающуюся среду. В таком виде «небесные сады» трансформируются из чисто экологического элемента в многофункциональные общественные пространства для отдыха, усиливая как экологическую, так и социальную роль здания [19, 22]. Таким образом, архитектура не просто «озеленяется», а становится активным инструментом экологической и культурной регенерации города. Этот подход создает устойчивый микроклимат и восстанавливает биоразнообразие в городской среде.

Исследованием установлено, что архитектурно-экологическое формирование высотных общественных зданий в условиях Зимбабве представляет собой сложный комплексный процесс, требующий отказа от обычных универсальных решений в пользу глубоко контекстуального подхода. Синтез традиционного биоклиматического интеллекта, воплощенного в архитектуре шона, с передовыми технологиями и материалами открывает путь к созданию по-настоящему устойчивых, энергоэффективных и социально ответственных сооружений. Такой подход позволяет достичь значительной экономии энергии (до 40% и более по сравнению со стандартными решениями) и сформировать уникальную региональную архитектурную идентичность. Будущее высотного строительства в Зимбабве и Южной Африке в целом лежит не в слепом копировании глобальных трендов, а в смелом переосмыслении собственного архитектурного наследия на основе экологического подхода. Итогом должно стать создание «контекстуального небоскреба» символа устойчивого развития, который говорит на языке своего места и своего народа, отвечая на локальные климатические, культурные и социальные вызовы.



Рис. 6. Общий вид на “Вертикальный лес”, в г. Милане, Италия

Заключение

Результаты исследования используются в экспериментальном проекте «Архитектурно экологическое формирование высотных общественных зданий в природно-климатических условиях Зимбабве, г. Харара».

Литература

1. Департамент Метеорологических Служб Зимбабве. Климат Зимбабве: с акцентом На Крупные Города (Хараре) // Хараре: Публикации ZMSD, иллюстрации. карты, диаграммы. 2020. – 120 с. ISBN 978-0-7974-4321-5.
2. Мутин М. Национальная архитектура Зимбабве: Биоклиматические принципы. Хараре // Издательство Университета Зимбабве. 2021. – 150 с.
3. Соколай С. В. Введение в архитектурную науку: Основы устойчивого проектирования // Лондон: Routledge. 2023. – № 4. – 400 с.
4. Организация Объединенных Наций. Доклад о целях устойчивого развития за 2023 год - The Sustainable Development Goals Report 2023 // Нью-Йорк: ООН. 2023. – 76 с. URL: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/> (дата обращения: 09.12.2025).
5. Оливер П. Построено для удовлетворения потребностей: Культурные аспекты народной архитектуры // Оксфорд: Architectural Press. 2022. – № 2. – 480 с.
6. Асквит Л., Веллинга М. Народная архитектура в XXI веке: Теория, образование и практика // Лондон: Taylor & Francis. 2022. – 320 с.
7. Махбуу Н. Африканские современности: культурный и архитектурный синтез // Йоханнесбург: Wits University Pres. 2023. – 220 с.

8. Сантамурис М., Асимакопулос Д. Пассивное охлаждение зданий: Передовые концепции и применение // Лондон: Routledge. 2021. – 500 с.
9. Гивони Б. Климатически отзывчивая архитектура: Принципы и практика // Нью-Йорк: Taylor & Francis. 2022. – 420 с.
10. Браунгарт М., МакДонах У. От колыбели до колыбели: Меняя подход к созданию вещей // Испр. изд. Нью-Йорк: North Point Press. 2023. – 230 с.
11. Кабеса Л. Ф., Чефер М., Писелло А. Л. Передовые материалы с фазовым переходом для применения в строительстве: Всесторонний обзор // Возобновляемые и устойчивые источники энергии. 2022. – Т. 158. – С. 112150. DOI: 10.1016/j. rser.2022.112150.
12. Берарди У. Материалы, усиленные аэрогелем, для супертеплоизоляции в зданиях // Энергетика и здания. 2022. – Т. 275. – С. 112465. DOI: 10.1016/j. enbuild.2022.112465.
13. Компаньо А. Интеллектуальные стеклянные фасады: Передовые материалы и адаптивное проектирование // Базель: Birkhäuser. 2023. – № 7. – 250 с.
14. Эстерле Э., Lieb P.D., Луц М. Двойные фасады: Комплексное планирование высокоэффективных зданий // Мюнхен: Detail Business Information. 2021. – № 2. – 210 с.
15. Оксман Р. Экология цифрового дизайна: Теории и модели для устойчивой архитектуры // Design Studies. 2023. – Т. 85. – С. 101152. DOI: 10.1016/j.destud.2023 .101152.
16. Коларевич Б., Парлак В. Динамика зданий: исследование архитектуры изменений // Лондон: Routledge. 2021. – 280 с.
17. Пирс М. Устойчивое высотное здание: Основы проектирования // Бристоль: Intellect Books. 2021. – 290 с.
18. Йенг К. Экологический небоскреб: Переосмысление вертикального города // Мюнхен: Prestel. 2022. – 350 с.
19. Келлерт С. Р., Калабрезе Э. Ф. (ред.). Биофильный дизайн и адаптация к климату: Теория и практика // Хобокен: Wiley. 2023. – 450 с.
20. Леонардо. Отчет об устойчивом развитии и технические данные 2020–2023 гг. [Электронный ресурс] // Sandton City Pty Ltd.; гл. инж. Й. ван дер Мерве. Йоханнесбург. 2023. – 42 с. Режим доступа: https://theleonardo.co.za/wp-content/uploads/2023/04/Leonardo_Sustainability_Report_2023.pdf (дата обращения: 10.12.2025).
21. Студия 505. Пример пиксельного строительства // Австралийский совет по экологическому строительству. 2012. (Электронный ресурс). URL: <https://new.gb.ca.org.au> (дата обращения: 10.12.2025).
22. Уотсон В. Городское будущее Африки: Устойчивые пути // Environment and Urbanization. – 2022. –Т. 34. – № 1. – С. 45-62.

References

1. Zimbabwe Meteorological Services Department. The Climate of Zimbabwe: A Focus on Major Cities (Harare) // Revised ed – Harare: ZMSD Publications, ill., maps, charts. 2020. – 120 p. ISBN 978-0-7974-4321-5.
2. Mutin M. Vernacular Architecture of Zimbabwe: Bioclimatic Principles. // Harare: University of Zimbabwe Press. 2021. – 150 p.
3. Szokolay S. V. Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design // London: Routledge. 2023. – № 4. – 400 p.
4. 3. The United Nations. The 2023 Sustainable Development Goals Report - The Sustainable Development Goals Report 2023 // New York: UN. 2023. – 76 c. URL: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/> (date accessed 09.12.2025).
5. Oliver P. Built to Meet Needs: Cultural Issues in Vernacular Architecture // Oxford: Architectural Press. 2022. – № 2. – 480 p.
6. Asquith L., Vellinga M. (eds.). Vernacular Architecture in the 21st Century: Theory, Education and Practice // London: Taylor & Francis. 2022. – 320 p.
7. Makhbuu N. African modernity: cultural and architectural synthesis // Johannesburg: Wits University Press. 2023. – 220 p.
8. Santamouris M., Asimakopoulos D. Passive Cooling of Buildings: Advanced Concepts and Applications // London: Routledge. 2021. – 500 p.
9. Givoni B. Climate Responsive Architecture: Principles and Practice // New York: Taylor & Francis. 2022. – 420 p.
10. Braungart M., McDonough W. Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things // Revised ed. New York: North Point Press. 2023. – 230 p.
11. Cabeza L. F., Chäfer M., Pisello A. L. Advanced Phase Change Materials for Building Applications: A Comprehensive Review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022. – Vol. 158. – P. 112150. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112150.
12. Berardi U. Aerogel-Enhanced Materials for Super-Insulation in Buildings // Energy and Buildings. 2022. – Vol. 275. – P. 112465. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112465.
13. Compagno A. Intelligent Glass Facades: Advanced Materials and Adaptive Design // Basel: Birkhäuser. 2023. – № 7. – 250 p.
14. Oesterle E., Lieb R.D., Lutz M. Double-Skin Facades: Integrated Planning for High-Performance Buildings // Munich: Detail Business Information. 2021. – № 2. – 210 p.
15. Oxman R. Digital Design Ecology: Theories and Models for Sustainable Architecture // Design Studies. 2023. – Vol. 85. – P. 101152. DOI: 10.1016/j.destud.2023.101152.
16. Kolarevich B., Parlak V. Dynamics of buildings: a study of architecture of changes // London: Routledge. 2021. – 280 c.

17. Pearce M. The Sustainable Tall Building: A Design Primer // Bristol: Intellect Books. 2021. – 290 p.
18. Yeang K. The Ecological Skyscraper: Rethinking the Vertical City // Munich: Prestel. 2022. – 350 p.
19. Kellert S. R., Calabrese E. F. Biophilic Design and Climate Adaptation: Theory and Practice // Hoboken: Wiley. 2023. – 450 p.
20. Leonardo. Sustainability Report and Technical // Data 2020–2023 [Electronic resource] / Sandton City Pty Ltd.; Chief Eng. J. van der Merwe. Johannesburg. 2023. – 42 p. Access mode: https://theleonardo.co.za/wp-content/uploads/2023/04/Leonardo_Sustainability_Report_2023.pdf (access date: 10.12.2025).
21. Studio505. Pixel Building Case Study // Australian Green Building Council, 2012. – (Electronic resource). URL: <https://new.gbca.org.au> (accessed: 10.12.2025).
22. Watson V. African Urban Futures: Sustainable Pathways // Environment and Urbanization. 2022. – Vol. 34. – № 1. – P. 45-62.

Притчард. Н. Ч

Магистрант кафедры «Архитектура» из Зимбабве, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

E-mail: chuma.prit@yandex.ru

Pritchard. N. C

Master's student, Department of Architecture from Zimbabwe, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

E-mail: chuma.prit@yandex.ru

Шабиев С. Г.

Заведующий кафедрой «Архитектура», доктор архитектуры, профессор, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

E-mail: shabievsg@susu.ru

Shabiev S.G.

Head of the Department of Architecture, Doctor of Architecture, Professor, South Ural State University, c. Chelyabinsk, Russia.

E-mail: shabievsg@susu.ru

УДК 728.2(673)

И.М. Итувата

С. Г.Шабиев

**АРХИТЕКТУРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ
ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОТНЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В ПРИРОДНО-
КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АНГОЛЫ**

Цель исследования состоит в анализе трансформации архитектуры высотных общественных зданий под влиянием природно-климатических условий Анголы с выявлением перспективных направлений их применения.

В соответствии с заявленной целью, основными задачами являются теоретический анализ и обобщение аналогов отечественной и зарубежной архитектуры, сравнительное

исследование архитектурных решений высотных общественных зданий в природно-климатических условиях Анголы, экспериментальная апробация результатов исследования.

Для решения поставленных задач использованы специфичные методы архитектурно-экологического совершенствования планов, разрезов и фасадов высотных общественных зданий в природно-климатических условиях Анголы, что способствует их индивидуализации и создание ярко выраженного типологического образа. Эти методы предполагают устройство эффективной системы естественной вентиляции; организацию сбора и использования дождевой воды; рациональное размещения солнечных панелей и ветряных турбин; внедрение солнцезащитных устройств; создание светоотражающих зеленых крыш; использование местных строительных материалов; применение биоклиматического дизайна на фасадах зданий.

Исследованием установлено, что современный этап развития общества характеризуется стремительной урбанизацией и обострением глобальных экологических вызовов, а также предъявляет принципиально новые требования к архитектурным решениям высотных общественных зданий. Традиционные подходы проектирования, основанные на субъективном опыте проектировщика, зачастую не способны эффективно решать многокритериальные и сложно оптимизируемые задачи устойчивого развития. В этом контексте природно-климатические условия Анголы становятся ключевым драйвером трансформации отрасли, предлагая инструменты для обработки больших данных, прогнозирования, генерации и оптимизации проектных решений, что позволяет перейти от реактивного к проактивному проектированию, учитывающему не только текущие потребности, но и будущие сценарии развития урбанизированной среды. Здания, запроектированные с учетом принципов устойчивого развития, возводятся и эксплуатируются таким образом, чтобы свести к минимуму любое негативное воздействие людей, а также влияния на окружающую среду.

Ключевые слова: природно-климатические условия Анголы, архитектурно-экологическое решение, высотные общественные здания, устойчивое развитие, генеративное проектирование.

I.M. Hituwamata
S.G. Shabiev

FEATURES OF ARCHITECTURAL AND ECOLOGICAL DESIGN OF HIGH-RISE PUBLIC BUILDINGS IN NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS (ANGOLA)

The purpose of the study is to analyze the transformation of the architecture of high-rise public buildings under the influence of the natural and climatic conditions of Angola with the identification of promising areas of their application.

In accordance with the stated goal, the main objectives are theoretical analysis and generalization of analogues of domestic and foreign architecture, comparative study of architectural solutions of high-rise public buildings in natural and climatic conditions of Angola, experimental approbation of the research results.

To solve the tasks set, specific methods of architectural and ecological improvement of plans, sections and facades of high-rise public buildings in the natural and climatic conditions of Angola were used, which contributes to their individualization and the creation of a pronounced typological image. These methods involve the installation of an efficient natural ventilation system; the organization of rainwater collection and use; the rational placement of solar panels and wind turbines; the introduction of sun protection devices; the creation of reflective green roofs; the use of local building materials; the application of bioclimatic design on building facades.

The research has established that the current stage of society's development is characterized by

rapid urbanization and the aggravation of global environmental challenges, as well as imposes fundamentally new requirements on architectural solutions for high-rise public buildings. Traditional design approaches based on the subjective experience of the designer are often unable to effectively solve multi-criteria and difficult-to-optimize sustainable development tasks. In this context, the natural and climatic conditions of Angola are becoming a key driver of the industry's transformation, offering tools for big data processing, forecasting, generation and optimization of design solutions, which allows us to move from reactive to proactive design, taking into account not only current needs, but also future scenarios for the development of an urban environment. Buildings designed with the principles of sustainable development in mind are constructed and operated in such a way as to minimize any negative impact of people, as well as the impact on the environment.

Keywords: *natural and climatic conditions of Angola, architectural and ecological solution, high-rise public buildings, sustainable development, generative design.*

Для строительства общественных экологических зданий в Анголе понимание климатических условий является фундаментальным, чтобы гарантировать энергетическую эффективность и комфорт в пассивном режиме. Ангола имеет сложную географическую структуру, для которой существуют различные стратегии поддержания устойчивой архитектуры. Территория Анголы характеризуется обширным центральным плато, плавно переходящим в узкую прибрежную полосу. Этот рельеф напрямую влияет на температуру: в то время как в прибрежных районах (таких как Луанда) среднегодовая температура составляет около 25–27 °С, в высокогорных регионах (таких как Уамбо) климат более умеренный, поэтому при выборе материалов с достаточной тепловой инерцией для высотных зданий необходимо учитывать суточные колебания температуры. В Анголе преобладают юго-восточные пассаты и морской бриз вдоль побережья. Для проектирования и строительства экологически чистых высотных общественных зданий крайне важно использовать эффект дымовой трубы и сквозную вентиляцию, чтобы снизить зависимость от систем кондиционирования воздуха. В частности, в г. Луанде ориентация фасадов зданий должна в первую очередь учитывать преобладающие юго-западные и западные океанские бризы. Влажность является критическим фактором, варьирующимся от высоких значений на севере влажный тропический климат до засушливых условий на юге г. Намибе. На севере и в прибрежных районах высокая влажность требует применения пассивных методов осушения и материалов, устойчивых к засолению и грибковой коррозии. Интенсивный сезонный характер осадков требует внедрения систем сбора дождевой воды на крышах и технических фасадах, что имеет значение для сертификации общественных зданий как объектов устойчивого развития. Расположенная в межтропической зоне, Ангола подвергается интенсивному вертикальному солнечному излучению. В высотных зданиях требуется использовать солнцезащитные элементы бриз-солейлы и высокоэффективное остекление для снижения теплопотерь без ущерба для естественного освещения, что позволит сократить потребление электроэнергии [1,2].

При строительстве высотных общественных зданий в Анголе необходимо использовать климат в качестве ориентира для повышения энергоэффективности и устойчивости городской среды. В

условиях Анголы следует достигать баланс между зданием и климатом, применяя ряд проектных стратегий, называемых биоклиматическим или пассивным проектированием. Пассивные стратегии проектирования направлены на создание комфортной среды внутри зданий при одновременном снижении энергопотребления. Эти методы позволяют зданиям адаптироваться к окружающей среде благодаря архитектурному проектированию и разумному использованию материалов и строительных элементов, избегая использования механических систем, потребляющих ископаемое топливо. Использование невозобновляемого ископаемого топлива, как известно, является основной причиной серьёзной проблемы глобального потепления, обусловленной выбросами парниковых газов в атмосферу. Использование в зданиях электроэнергии, получаемой из ископаемого топлива, значительно усугубляет эту проблему. Пассивные меры - это те, которые в наибольшей степени способствуют снижению энергозатрат здания на протяжении всего его срока службы. Следует внедрять пассивные стратегии оптимизация использования естественного освещения для сокращения использования систем искусственного освещения или поддерживать естественную вентиляцию для отказа от использования кондиционирования воздуха. Климат Анголы классифицируется как субтропический, жаркий и влажный на большей части территории, а также как полусухой и сухой субгумидный на юге и в прибрежной полосе, вплоть до провинции Луанда. При разработке архитектурного проекта необходимо заранее проанализировать вопросы, связанные с климатом, такие как: ориентация дома; типы используемых материалов; необходимость защиты от солнца в различных зонах и т.д. Эти принципы представлены ниже, их следует учесть в процессе проектирования: местоположение, форма и ориентация зданий. Выбор участка, форма и ориентация здания – это первоочередные факторы, которые следует учитывать для оптимизации воздействия солнечного света и преобладающих ветров [3-5].

В жарком климате, таком как Ангола, при размещении домов важно учитывать ветровой режим. Приоритет следует отдавать склону, который больше времени находится в тени. На побережье фасады, обращенные к морю, следует защищать просторными верандами, чтобы уменьшить влияние отражения солнца от моря внутри домов. Внешняя отделка также имеет важное значение. Вентиляция играет основополагающую роль в условиях Анголы, и решениям по оптимизации циркуляции воздуха следует отдать приоритет. Использование типологии «дом с внутренним двориком» является эффективным приёмом. Солнцезащита также уменьшает проникновение солнечного излучения в здание, обеспечивая защиту как застеклённых поверхностей (окон), так и непрозрачных поверхностей. Теплопоступления через окна могут быть весьма значительными, поскольку они обладают очень низким сопротивлением теплопередаче лучистого излучения. В жарких регионах хорошо затенённое здание может быть на 4-12 °С прохладнее, чем здание без затенения [6-8].

Затенение непрозрачных поверхностей вокруг здания может быть достигнуто с помощью стационарных солнцезащитных устройств, растительности или регулируемых устройств. Балконы,

патио или атриумы могут быть использованы для защиты от солнца. Что касается затенения застеклённых поверхностей, здание должно быть особенно защищено от солнечного света через окна, выходящие на восток и запад, из-за низкого угла падения солнечных лучей ранним утром и поздним вечером. Значительная часть тепла, поступает через остеклённые поверхности фасадов, поскольку окна оказывают очень малое сопротивление лучистому теплообмену. Ориентация и размеры остеклённых поверхностей, а также выбор типа стекла во многом определяют проникновение солнечного излучения в здание. В жарком климате с высокой солнечной радиацией, например, в Анголе, важно избегать больших остеклённых проёмов на фасадах, которые приводят к перегреву и необходимости использования кондиционеров. Как правило, площадь остекления не должна превышать 30% площади северного и южного фасада, учитывая, что проёмы уже имеют достаточное затенение. Естественная вентиляция представляет собой движение воздуха между наружной и внутренней частью здания [9].

Естественная вентиляция обусловлена двумя природными силами: перепадами давления, создаваемыми ветром вокруг здания (ветровоздушная вентиляция), и перепадами температур (вентиляция за счёт «эффекта дымовой трубы») [10]. На ветровую вентиляцию влияют интенсивность и направление ветра, а также препятствия со стороны соседних зданий или растительности. Проёмы должны быть равномерно распределены по разным фасадам в соответствии с направлением ветра, обеспечивая разное давление и улучшая распределение воздушного потока в здании. Проёмы должны быть расположены таким образом, чтобы обеспечить эффективную вентиляцию, обеспечивающую беспрепятственное движение воздуха по всему занимаемому помещению, с учётом элементов, которые могут служить препятствиям внутренним перегородкам. «One Angel Square» – это высокоэффективное офисное здание с высокими экологическими и энергетическими показателями (рис 1).



Рис. 1. Общий вид здания «One Angel Square», в г. Манчестере, Англия

Построенное в 2013 году, оно служит штаб-квартирой Co-operative Group, крупной британской бизнес-группы. Здание получило международное признание благодаря своим

принципам устойчивого развития и инновационному дизайну. Здание имеет характерную трёхстороннюю форму с плавно изогнутыми фасадами с двойным остеклением. В нём есть большой центральный атриум с естественным освещением. Это первое региональное офисное здание в Великобритании, получившее оценку «Выдающийся» по системе BREAM, которая используется для оценки устойчивости зданий.

Анализируется Бахрейнский всемирный торговый центр (BWTC) в Манаме, г. Бахрейн. Это 240-метровый небоскреб с двумя башнями, известный своей парусообразной формой и экологичной архитектурой, поскольку он стал первым небоскребом в мире, в конструкцию которого были интегрированы ветряные турбины (рис. 2). Три 29-метровые ветряные турбины подвешены между двумя башнями, обеспечивая 11–15% от общего энергопотребления здания. Устойчивое проектирование: BWTC получил множество наград за экологичный дизайн и технологии. Смотровая площадка расположена на 42-м этаже, откуда открывается панорамный вид на город и Персидский залив. Доступ может быть ограничен для определенных арендаторов или в связи с проведением мероприятий (рис. 2)

.Три 29-метровые ветряные турбины подвешены между двумя башнями, обеспечивая 11–15% от общего энергопотребления здания. Устойчивое проектирование: BWTC получил множество наград за экологичный дизайн и технологии. Смотровая площадка расположена на 42-м этаже, откуда открывается панорамный вид на город и Персидский залив.



Рис. 2. Всемирный торговый центр в г. Манаме, Бахрейн: а – общий вид; б – вид на верхнюю часть с ветряными турбинами

«Bosco Verticale» , или «Вертикальный лес» в г. Милане. Это инновационный архитектурный объект, состоящий из двух жилых башен в г.Милане, Италия. Открытые в 2014 г. башни являются примером эко-ландшафтной архитектуры, где растительность непосредственно интегрирована в структуру здания. Размеры: две башни высотой 80 и 112 метров соответственно, 18 и 26 этажей.

Растительность представлена более чем 25 000 растений, включая около 900 деревьев, 5000 кустарников и 15 000 многолетников, покрывают фасады с балконами, что эквивалентно двум акрам леса (рис. 3).

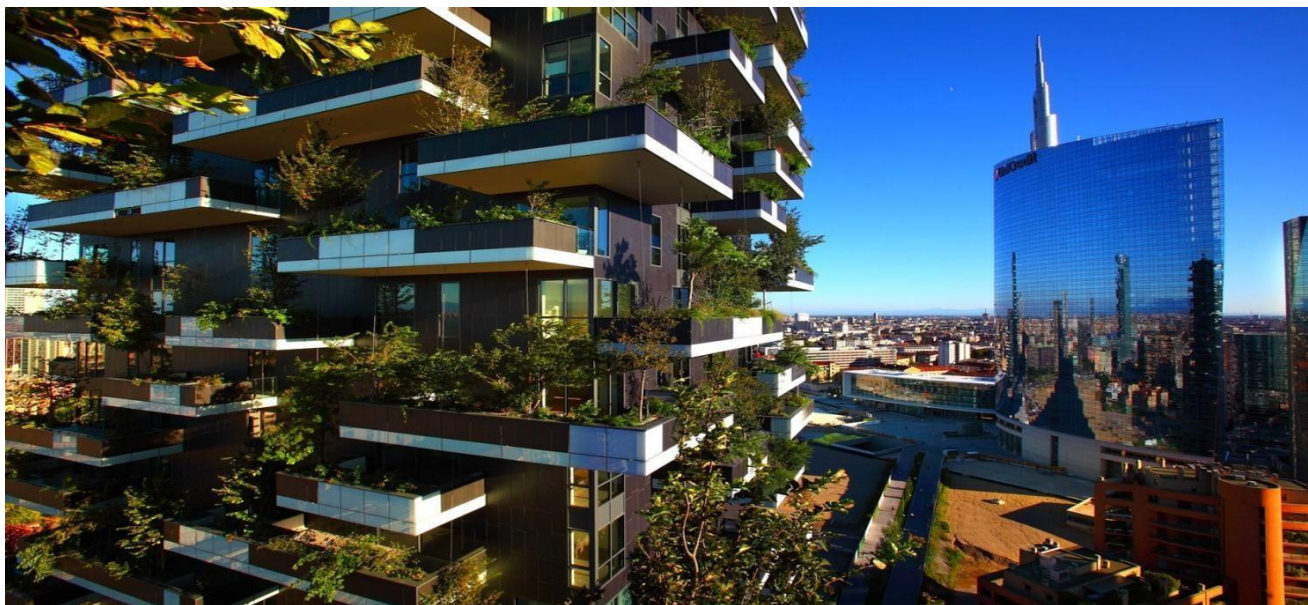


Рис. 3. Общий вид объекта «Bosco Verticale», или «Вертикальный лес» в г. Милане, Италия

Виды растений были тщательно отобраны с учетом высоты над уровнем моря и солнечного освещения. Уход за деревьями и обрезка осуществляются местным сообществом с помощью специализированных арбористов. Проект получил международное признание за свою оригинальность и устойчивость, включая победу в премии International Highrise Award в 2014 году.

Здание «Sonangol», архитектурная достопримечательность г. Луанды, Ангола, выделяется своей внушительной вертикальностью, современными линиями и дизайном, сочетающим корпоративную функциональность с современной эстетикой [11].

Застекленный фасад позволяет оптимизировать естественное освещение и панорамные виды, являясь символом экономического развития Анголы, хотя конкретные детали могут различаться в зависимости от района (рис. 4).

Высокий небоскреб с внушительным силуэтом, отражающим современность и рост г. Луанды, преимущественно остекленный фасад (стеклянная навесная стена обеспечивает визуальную легкость и пропускает обильный естественный свет, а также открывает широкий вид на город и залив г. Луанды) представляет его как модернистский и корпоративный нарратив. Чистая эстетика стремится интегрировать технологии и принципы устойчивого развития, такие как эффективные системы кондиционирования воздуха и рациональное использование освещения.

Здание спроектировано для размещения офисов, переговорных комнат, общих зон и вспомогательных помещений, с акцентом на эргономику и производительность. Расположение в стратегически важном районе г. Луанды - заливе, что делает его визуальной и географической достопримечательностью. Здание «Sonangol» является примером высококачественной корпоративной архитектуры, выделяющейся своей высотой, широким использованием стекла и интеграцией в городской ландшафт, отражая важность «Sonangol» в экономической жизни Анголы [12-14]



Рис. 4. Общий вид здания «Sonangol», г. Луанде, Ангола

Отель «EPIC SANA Luanda» - это знаковое здание современной архитектуры в Анголе, сочетающее в себе современную роскошь и элементы местной самобытности. Отель имеет 22 этажа, выделяясь на фоне панорамы г. Луанды. В нем 288 номеров и люксов, а также 50 апартаментов, интегрированных в структуру для длительного проживания. Занимает два отдельных этажа, в нем расположены 9 конференц-залов и выставочная зона с отдельным входом. В интерьере используется мебель с прямыми, современными линиями, цветовая палитра основана на земляных тонах и черном цвете. В дизайне использованы работы местных ремесленников, включая скульптуры, текстиль и деревянные изделия, отражающие культурное разнообразие страны (рис. 5).

Во многих комнатах и общих зонах используются стеклянные стены, обеспечивающие панорамный вид на залив и город. Бар на крыше и рестораны на возвышенных этажах используют преимущества городского ландшафта. Проект включает в себя открытые сады и «Лаунж Будды» - пространство, окруженное тропической растительностью, задуманное как сенсорное убежище в центре города. В ландшафтном дизайне используются местные виды растений, чтобы соответствовать местному климату и интегрировать здание в экосистему региона.

Здание «Киламба» расположено на проспекте 4 де Феврейро (Маргинал) в заливе Луанды, являясь одной из достопримечательностей современной корпоративной архитектуры Анголы. Основные архитектурные и технические особенности включают 27 этажей и достигает высоты приблизительно 107,3 метра. Офисы 24 этажа, отведенные под корпоративные рабочие пространства. Первый этаж с торговой галереей и служебными помещениями, 3 подземных этажа для парковки (рис. 6).

Здание отличается современной архитектурой с интенсивным использованием стекла на фасаде и алюминиевой отделкой. В дизайне приоритет отдается панорамным видам на залив. Здание спроектировано с учетом концепции открытого пространства и фальшполов. Оно включает в себя

роскошные общие зоны, такие как кафетерий, тренажерный зал, библиотека и аудитории/амфитеатр.



Рис. 5. Общий вид отеля «EPIC SANA», в г. Луанде, Ангола

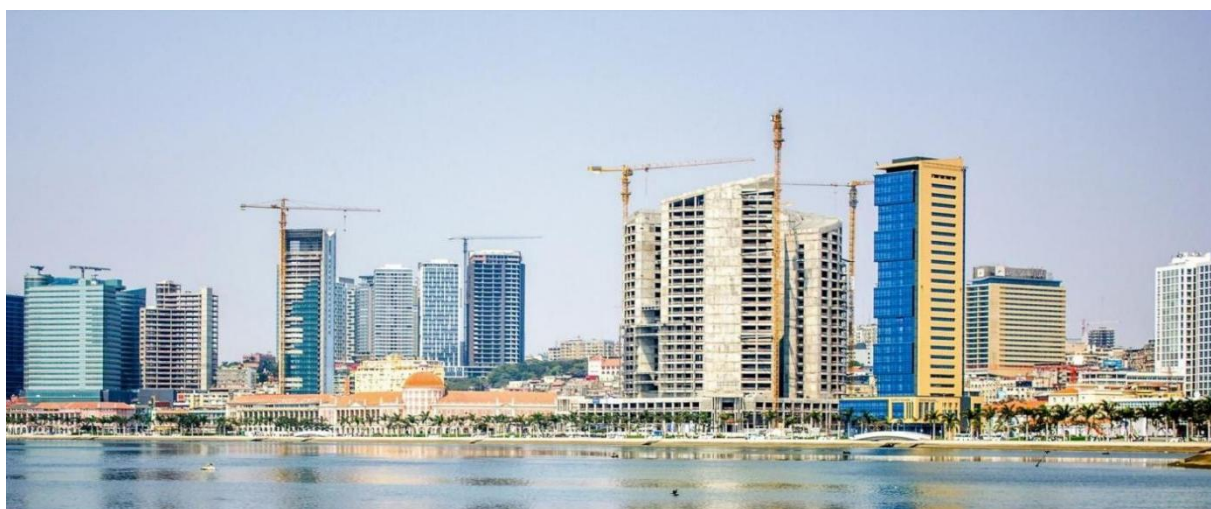


Рис. 6. Общий вид здания «Киламба», в г. Луанде, Ангола

В процессе исследования выявлены приемы пассивного дизайна, системы искусственного интеллекта, естественная вентиляция, защита от солнца широкое использование карнизов, балконов и вертикальных/горизонтальных солнцезащитных экранов для блокировки прямого солнечного излучения и контроля теплопотерь. Местные материалы используются в контексте биоклиматического дизайна с целью формирования устойчивой архитектуры, на основе биомиметической архитектуры, биоархитектуры и деревянного строительства. Высотные общественные здания в Анголе проектируются с учетом биоклиматических принципов, стремясь к комфорту за счет вентиляции, использования соответствующих материалов, что приводит к созданию стилей, одновременно современных и укорененных в местных климатических и культурных условиях [15-20].

Заключение

В результате исследований установлено, что экологическая архитектура высотных общественных зданиях в природных и климатических условиях Анголы имеет приоритетное значение для создания здоровых и эффективных пространств, реагирующих на жаркий климат и местные ресурсы, посредством биоклиматических стратегий, таких как естественная вентиляция и затенение, а также использования экологически чистых материалов, минимизирующих воздействие на окружающую среду и снижающих эксплуатационные расходы, тем самым способствуя более экологичному и устойчивому городскому развитию страны.

Благодаря интеграции биоклиматических принципов, максимальному обеспечению теплового комфорта с помощью пассивных решений и приоритетному использованию местных материалов, эти здания не только минимизируют воздействие на окружающую среду и эксплуатационные расходы, но и способствуют созданию более здоровой и продуктивной среды для граждан, выводя Анголу в авангард устойчивого строительства в Африке и разумно реагируя на ее специфические природно-климатические условия».

Результаты исследований апробируются в экспериментальном проекте «Архитектурно-экологическое формирование высотных общественных зданий в природно-климатических условиях Анголы, город Луанда»

Литература

1. Климатические характеристики Анголы для строительства высотных общественных зданий. URL:https://arqpar.ptarquitectura_sustentavel_angola 2019. – № 750. – С. 12-19.
2. Гонгадзе В.М. Ангола 1983-1984 гг. // Берегиня.777.Сова. 2013. – №2 (17). – С. 128-133.
3. Вумби А.Л.П., Многоэтажное жилищное строительство в Ангола // XII международный молодежный форум "Образование. Наука. Производство". 2020. – С. 58-65.
4. Вумби А.Л.П. Факторы организация жилой застройки (на примере г. Луанда, Республики Ангола) // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской Академии Наук. 2022. – С. 159-165.
5. Вумби А.Л.П. Проблемы развития территорий жилой застройки города Луанда от колониальной эпохи до наших дней // Неделя науки ИСИ Сборник материалов Всероссийской конференции. 2022. – №3. – С. 126-129.
6. Бинданда А.А., Линь Л. Х., Вильена М. И. Проблемы развития архитектурной композиции в городе Луанда (Ангола) // Перспективы науки 2010. – № 5(7). – С. 59-61.
7. Алкошете Ж.Д. Традиционная архитектура в Анголе. "Дом из самана". // Наука, образование и экспериментальное проектирование тезисы докладов международной научно-практической конференции, профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. 2017. – №2. – 133 с.
8. Алкошете Ж.Д. Современная архитектура в Анголе и актуальные проблемы. // Студенческое

научное исследование в Анголе. 2015. – С. 25-31.

9. Думбу Р.Ф. Принципы формирования устойчивой жилой архитектуры с учетом региональных особенностей республики Ангола // сборник международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию российской академии наук. 2022. – №1. – С. 269-275.

10. Сейидов С.А., Тиркешов Ш.Х., Якубов М.А. Роль искусственного интеллекта в оптимизации систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC) [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/rol-iskusstvennogo-intel- lekta-v-optimizatsii-sistem-otopleniya-ventilyatsii-i-konditsionirovaniya-vozduha- hvac/viewer> (дата обращения: 25.11.2025).

11. Мустафаева Д.Л., Калулу С. Роль национальной африканской культуры в контексте мирового дизайна и архитектуры на примере Марокко и Анголы // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. – С.561-568.

12. Grongel Calei, Lisiane Ilha Librelotto. Vernacular architecture in Angola: culture, history, natural materials and the possibilities for more sustainable construction // SDS 2023 - IX simpósio de design sustentável. 2023. – С. 313-327.

13. Слинько Е.А., Нуриманова К.Р., Колесник И.И. Трансформация функций колониальной архитектуры (на примере Анголы) // сборник международные отношения в глобальном измерении. Санкт-Петербург. 2022. – №2. – С. 222-230.

14. Fassil Demissie F.D. Colonial architecture and urbanism in Africa // New York: Routledge. 2016. – 456 с.

15. Донченко О. М., Перькова М. В., Эффективные архитектурно-планировочные и конструктивные решения многоэтажных гражданских зданий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухов. 2017. – №1. – С. 96-100.

16. Barlow M. Smart Cities, Smart Future: Showcasing Tomorrow. 2018. – 336 с.

17. Касьянов Н. В. О применении возможностей искусственного интеллекта в архитектуре, градостроительстве и строительных науках // Современная архитектура мира: основные процессы и направления развития: тезисы докл. XV Междунар. науч. конф., 7–8 октября 2024 г. URL: <https://archi.ru/elpub/100299/o-primenenii-vozmozhnostei-iskusstvennogo-intellekta-v-arkhitekture-gradostroitelstve-i-stroitelnykh-naukakh> (дата обращения: 05.11.2025).

18. Пичугов П. А., Шабиев С. Г. Методика использования Stable Diffusion для генерации вариантов фасадных решений на основе ИИ // Architecture and Modern Information Technologies. 2024. – № 3 (68). – С. 327-338.

19. Власова Е. Л., Власова М. Л., Боровикова Н. В., Карелин Д. В. Искусственный интеллект в архитектурно-градостроительном проектировании // Architecture and Modern Information

Technologies. 2023. – № 4 (65). – С. 311-324.

20. Салех М. С. Внедрение цифровых методов на различных этапах архитектурного проектирования // Architecture and Modern Information Technologies. 2021. – № 1 (54). – С. 268-278.

References

1. Climatic characteristics of Angola for the construction of high-rise public buildings. URL:https://arqpar.ptarquitectura_sustentavel_angola 2019. – №.750. – pp. 12-19.
2. Gongadze V.M. Angola 1983-1984 // Bereginya.777.The Owl. 2013. – №2 (17). – pp. 128-133.
3. Vumbi A.L.P., Multi-storey housing construction in Angola // XII International Youth Forum "Education. Science. Production". 2020. – pp. 58-65.
4. Vumbi A.L.P. Factors in the organization of residential development (on the example of Luanda, Republic of Angola) // International Scientific and Technical Conference of young scientists of the V.G. Shukhov BSTU, dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences. 2022. – pp. 159-165
5. Vumbi A.L.P. Problems of territorial development residential development of the city of Luanda from the colonial era to the present day // ISI science week Collection of materials of the All-Russian Conference. 2022. – № 3. – pp. 126-129.
6. Bindanda A.A., Lin L. H., Vilena M. I. Problems of architectural composition development in the city of Luanda (Angola) // Perspectives of Science. 2010. – № 5(7). – pp. 59-61.
7. Alcocete J.D. Traditional architecture in Angola. "Adobe house." // Science, education and experimental design abstracts of the international scientific and practical conference, faculty, young scientists and students. 2017. – № 2. – 133 p.
8. Alcocete J.D. Modern architecture in Angola and current problems. // Student scientific research in Angola. 2015. – pp. 25-31.
9. Dumbu, R.F. Principles of the formation of sustainable residential architecture, taking into account the regional peculiarities of the Republic of Angola // collection of the international scientific and technical conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov, dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences. 2022. – № 1. – pp. 269-275.
10. Seyidov S.A., Tirkeshov Sh.Kh., Yakubov M.A. The role of artificial intelligence in optimizing heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems [Electronic resource] // CyberLeninka. URL:[https://cyberleninka.ru/article/n/rol-iskusstvennogo-intel - lekta-v-optimizatsii-sistem-otopleniya-ventilyatsii-i-konditioni-rovaniya-vozduha-hvac/viewer](https://cyberleninka.ru/article/n/rol-iskusstvennogo-intel- - lekta-v-optimizatsii-sistem-otopleniya-ventilyatsii-i-konditioni-rovaniya-vozduha-hvac/viewer) (release date: 11/25/2025).
11. Mustafayeva D.L., Kalulu S. The role of national African culture in the context of world design and architecture on the example of Morocco and Angola // International Scientific and Technical Conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. – pp. 561-568.
12. Grongel Calei, Lisiane Ilha Librelotto. Vernacular architecture in Angola: culture, history, natural materials and the possibilities for more sustainable construction // SDS 2023 - IX Simpósio de design sustentável. 2023. – pp. 313-327.

13. Slinko E.A., Nurimanova K.R., Kolesnik I.I. Transformation of the functions of colonial architecture (on the example of Angola) // collection international relations in the global dimension. Saint Petersburg. 2022. – № 2. – pp. 222-230.
14. Fassil Demissie F.D. Colonial architecture and urbanism in Africa // New York: Routledge. 2016. – 456 p.
15. Donchenko O. M., Perkova M. V., Effective architectural, planning and constructive solutions for multi-storey civil buildings // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 2017. – № 1. – pp. 96-100.
16. Barlow M. Smart Cities, Smart Future: Showcasing Tomorrow. 2018. – 336 p.
17. Kasyanov N. V. On the application of artificial intelligence capabilities in architecture, urban planning and construction sciences // Modern architecture of the world: main processes and directions of development: abstracts of the XV International Scientific Conference, October 7-8, 2024. URL: <https://archi.ru/elpub/100299/o-primenenii-vozmozhnostei-iskusstvennogo-intellekta-v-arkhitekture-gradostroitelstve-i-stroitelnykh-naukakh> (date of request: 05.11.2025).
18. Pichugov P. A., Shabiev S. G. A method of using Stable Diffusion to generate AI-based facade solutions // Architecture and Modern Information Technologies. 2024. – № 3 (68). – pp. 327-338.
19. Vlasova E. L., Vlasova M. L., Borovikova N. V., Karelin D. V. Artificial intelligence in architectural and urban planning design // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. – № 4 (65). – pp. 311-324.
20. Salekh M. S. The introduction of digital methods at various stages of architectural design // Architecture and Modern Information Technologies. 2021. – № 1 (54). – pp. 268-278.

Итувамата И.М.

Магистрант кафедры «Архитектура» из Анголы, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

E-mail: ihituwamata@gmail.com

Hituwamata I.M.

Master's degree-Student, Department of Architecture from Angola South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

E-mail: ihituwamata@gmail.com

Шабиев С.Г.

Заведующий кафедрой «Архитектура», доктор архитектуры, профессор, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

E-mail: shabievsg@susu.ru

Shabiev S.G.

Head of the Department of Architecture, Doctor of Architecture, Professor, South Ural State University, c. Chelyabinsk, Russia.

E-mail: shabievsg@susu.ru

ОБУСТРОЙСТВО ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ КРОВЛИ В УСЛОВИЯХ II И III КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

Эксплуатируемая кровля — инновационное архитектурное решение для эффективного использования крыши здания. В условиях плотной городской застройки и дефицита земли это особенно актуально для регионов со сложным климатом. Проект направлен на создание экологичного и комфортного городского пространства.

Основные задачи проекта включают разработку методологии проектирования эксплуатируемых кровель для второй и третьей климатических зон, формирование ассортимента морозоустойчивых растений для озеленения, профилактику и устранение грибковых образований, а также разработку проектного решения. Проблема заключается в дефиците зелёных зон в городах Урала при нерациональном использовании площадей и отсутствии типовых решений по созданию эксплуатируемых кровель, адаптированных к суровому уральскому климату.

Методология проектирования обеспечивает долговечность, энергоэффективность и безопасность конструкций при различных нагрузках.

Для озеленения выбираются морозоустойчивые растения с компактной корневой системой: очитки, молодило, можжевельник, дёрен и камнеломка. Конструкция включает утепление, дренаж, водоотведение и расчёт нагрузки на перекрытие.

Кровля предусматривает зонирование с перголами, детской зоной и закрытыми помещениями. Конструкция включает противоскользящее покрытие, дренаж, тепло- и гидроизоляцию. Инженерные системы: антиобледенительная установка, автополив, подогреваемая ливневая канализация и вентиляция.

Проект обеспечивает круглогодичную эксплуатацию при соблюдении норм безопасности и комфорта.

Ключевые слова: эксплуатируемая кровля, климатические зоны, городское пространство, гидроизоляция, теплоизоляция, озеленение кровли, кровельные конструкции, снеговые нагрузки, пароизоляция, морозоустойчивые растения.

THE ARRANGEMENT OF THE EXPLOITED ROOF IN THE CONDITIONS OF THE 2ND AND 3RD CLIMATIC ZONES

An operational roof is an innovative architectural solution for the efficient use of the roof of a building. In conditions of dense urban development and land scarcity, this is especially important for regions with a difficult climate. The project is aimed at creating an eco-friendly and comfortable urban space.

The main objectives of the project include the development of a methodology for designing operational roofs for the second and third climatic zones, the formation of an assortment of frost-resistant plants for landscaping, the prevention and elimination of fungal formations, as well as the development of a design solution. The problem lies in the shortage of green areas in the cities of the Urals with the irrational use of land and the lack of standard solutions for the creation of usable roofs adapted to the harsh Ural climate.

The design methodology ensures durability, energy efficiency and safety of structures under various loads.

Frost-resistant plants with a compact root system are selected for landscaping: oчитki, molodilo, juniper, turf and saxifrage. The design includes insulation, drainage, drainage and calculation of the floor load.

The Forum City and Sinara Development projects have been successfully implemented in Yekaterinburg, demonstrating the effectiveness of using flat roofs in a continental climate.

The roof provides for zoning with pergolas, a children's area and enclosed spaces. The design includes an anti-slip coating, drainage, thermal and waterproofing. Engineering systems: de-icing unit, automatic watering, heated storm sewer and ventilation.

The project provides year-round operation in compliance with safety and comfort standards.

Keywords: exploited roof, climatic zones, urban space, waterproofing, thermal insulation, roof landscaping, roofing structures, snow loads, vapor barrier, frost-resistant plants

В современных условиях урбанизации и уплотнения городской застройки остро встаёт вопрос эффективного использования имеющихся территорий. Одним из наиболее перспективных и инновационных решений является концепция эксплуатируемых кровель, позволяющая превратить крышу здания в полноценное общественное пространство, сочетающее функциональность, экологичность и эстетическую привлекательность.

Особенно актуальной данная тема становится для регионов с непростым климатом, таких как Урал, где долгие зимы, частые осадки и значительные перепады температур осложняют создание и эксплуатацию зелёных пространств на земле. Именно поэтому эксплуатируемые кровли приобретают особую ценность, становясь единственным возможным способом компенсировать острый дефицит зелёных насаждений и рекреационных зон в городской черте.

Городская среда Уральского региона испытывает серьёзные экологические проблемы, вызванные высокой антропогенной нагрузкой, загрязнением атмосферы и ограниченностью свободных земельных участков. Создание эксплуатируемых кровель позволяет не только вернуть зелень в городскую среду, но и существенно улучшить микроклимат, снизить уровень шума и теплового загрязнения, повысить комфорт и благополучие жителей мегаполисов.

Помимо очевидных экологических и социальных выгод, эксплуатируемые кровли несут важные градостроительные и экономические преимущества. Они позволяют рационально использовать имеющиеся городские территории, повышая эффективность землепользования и снижая себестоимость обустройства зелёных зон. Одновременно эксплуатируемые кровли способствуют увеличению энергоэффективности зданий, выступая дополнительным барьером для теплопотерь и снижая затраты на отопление и кондиционирование.

Ещё одним преимуществом эксплуатируемых кровель является их способность выдерживать тяжёлые погодные условия, характерные для второго и третьего климатических районов России. Правильно спроектированные и выполненные конструкции обеспечивают надёжную защиту от снега, дождя, мороза и ветра, выдерживая значительные статические и динамические нагрузки.

Озеленение крыш с использованием морозоустойчивых растений позволяет создать устойчивые биосистемы, не нуждающиеся в постоянном уходе и поливе. Подобранные растения с компактной корневой системой не оказывают разрушающего воздействия на конструкцию кровли и гармонично сочетаются с инженерными системами (автополив, антиобледенение, подогрев ливнеотводов и вентиляции), обеспечивая круглогодичную эксплуатацию и комфортное пребывание людей.

Таким образом, тема проектирования и эксплуатации кровель приобретает особую актуальность в условиях урбанистической действительности и климатических реалий Уральского региона. Её развитие способствует формированию гармоничной, здоровой и комфортной городской среды, отвечающей современным экологическим, социальным и экономическим требованиям.

Вопрос проектирования и эксплуатации кровель получил значительное внимание исследователей в последние десятилетия. Уже в конце XX века начали появляться первые отечественные и зарубежные исследования, рассматривавшие возможности озеленения крыш в условиях холодного климата.

Цель проекта: создание уникального решения эксплуатируемой кровли, применимой для зданий второй и третьей климатических зон.

Основные задачи проекта:

1. Разработка методологии проектирования эксплуатируемых кровель для 2 и 3 климатических зон.
2. Формирование ассортимента морозоустойчивых растений для озеленения эксплуатируемых кровель.
3. Профилактика и устранение грибковых образований на эксплуатируемых кровлях.
4. Примеры реализации в Уральском регионе эксплуатируемых кровель.
5. Разработка и представление проектного решения эксплуатируемой кровли.

Разработка методологии проектирования эксплуатируемых кровель для 2 и 3 климатических зон заключается в создании системного подхода к проектированию, обеспечивающего долговечность, энергоэффективность и безопасность конструкций при интенсивных механических, климатических и эксплуатационных воздействиях, характерных для умеренного (II зона) и холодного (III зона) климатов.

Для II и III зон характерны значительные сезонные колебания, что диктует особые условия: температурные режимы; влажность и осадки; ветровая и снеговая нагрузки, эксплуатационные нагрузки; температурные деформации, выбор материалов.

Для II зоны характерен диапазон температур от -30°C до $+35^{\circ}\text{C}$. Ключевым фактором является количество переходов через 0°C (циклы «заморозка-оттаивание»). Методология требует учета количества циклов для оценки морозостойкости материалов (не менее 200–300 циклов для финишных покрытий и гидроизоляции). Характерны обильные снегопады и высокая влажность в межсезонье. Методология включает расчет снегонакопления с учетом ветрового переноса и наличия парапетов.

Для II зоны характерен продолжительный период отрицательных температур (до 240 дней в году), экстремально низкие температуры (до -50°C и ниже). Методология предписывает обязательное применение материалов с низкотемпературной эластичностью (полимерные мембраны с пластификаторами, битумно-полимерные материалы на эластомерной основе) [1]. Для III зоны акцент делается на пароизоляцию из-за высокого перепада парциального давления между теплым внутренним воздухом и холодным наружным. Риск конденсата внутри кровельного пирога выше, чем в южных регионах [2].

Анализ ветровых районов (I–VII) в составе климатических зон свидетельствует о необходимости проведения обязательного аэродинамического расчета зон разрежения на углах здания и у парапетов. В III зоне ветровая нагрузка часто сочетается с низкими температурами, что критично для герметичности стыков мембран.

Расчет нагрузок производится на основе СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия». Методология учитывает специфику эксплуатируемых кровель как комбинацию постоянных и временных нагрузок [3]. Для II и III зон расчетное значение веса снегового покрова составляет от 1,2 кПа (120 кг/м^2) для некоторых районов II зоны до 3,2–4,8 кПа ($320\text{--}480\text{ кг/м}^2$) для III зоны (горные районы, север). Методология вводит коэффициент μ_e (местный снос снега), который критичен для эксплуатируемых кровель. Если на кровле установлены парапеты, вентиляционные шахты или зенитные фонари, образуются снеговые мешки, требующие локального усиления конструкции [4].

При расчете эксплуатационной нагрузки учитывается категория использования земельного участка. Для пешеходных зон нагрузка принимается не менее 1,5–2,0 кПа ($150\text{--}200\text{ кг/м}^2$). При возможности проезда автотранспорта (паркинги) — до 15 кПа и выше.

Также необходимо сочетать эксплуатационную нагрузку с неравномерно распределенной снеговой нагрузкой, что часто является расчетным случаем для плит перекрытия. Расчет усилий в стяжках и гидроизоляционном ковре на растяжение/сжатие при перепадах температур (от $+50^{\circ}\text{C}$ на поверхности летом до -50°C зимой). Необходимо устройство температурно-усадочных швов с шагом, рассчитанным исходя из физико-механических свойств выбранного гидроизоляционного материала [5].

Критически важный этап, так как материалы для II и III зон проходят более жесткий отбор по морозостойкости, водопоглощению и паропроницаемости.

ПВХ или ТПО мембраны (для больших зданий) с высокой эластичностью при отрицательных температурах, либо битумно-полимерные наплавляемые материалы с армирующей основой (полиэстер) являются лучшим гидроизоляционным материалом для кровель зданий второй и третьей климатических зон. Наоборот, не рекомендуется использовать материалы на стеклооснове (стеклохолст) из-за низкой эластичности и морозостойкости. В III зоне предпочтительны мембраны с усиленным кордом, устойчивые к ветровой эрозии и термоциклам [6].

Для II и III зон сопротивление теплопередаче (R_0) регламентируется требованиями энергоэффективности (СП 50.13330). R_0 для кровель в III зоне может достигать 5–6 $\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. Эффективным теплоизоляционным материалом будет являться двухслойной теплоизоляции с разбежкой швов. Материал — экструзионный пенополистирол (XPS) или каменная вата высокой плотности (не менее $150\text{--}180\text{ кг/м}^3$ для верхнего слоя) без содержания формальдегидов. XPS предпочтителен под балластные и пешеходные кровли из-за нулевого водопоглощения.

Обязательное условие для III зоны (холодный климат) — это использование армированных полимерных пленок с коэффициентом диффузии водяного пара не более $0,5\text{--}1,0\text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$. Герметизация нахлестов и примыканий — сплошная (сварка или бутилкаучуковые ленты), исключающая проникновение теплого влажного воздуха внутрь пирога.

В качестве финишного покрытия (для пешеходной зоны) рекомендуются использовать керамогранит на регулируемых опорах (обеспечивает вентилируемый зазор) или балластные системы

(галька, бетонные плиты). В III зоне критически важно использование морозостойкого керамогранита (W, A1) и противогололедных систем (электроподогрев) в зонах водоотведения [7].

Разработанная методология для II и III климатических зон базируется на трех пунктах:

1. Усиленная термическая защита (повышенная толщина утеплителя, обязательная пароизоляция).
2. Компенсация деформаций (армированные стяжки, температурные швы, свободная укладка мембран в определенных типах кровель).
3. Управление влагой (высококачественные дренажные системы, антиобледенительные системы, использование материалов с минимальным водопоглощением).

Применение данной методологии позволяет гарантировать срок службы эксплуатируемой кровли не менее 50 лет без капитального ремонта даже в суровых климатических условиях [8].

Формирование ассортимента для эксплуатируемой кровли в условиях 2 и 3 климатических зон России требует особого внимания к зимостойкости, компактности корневой системы и неприхотливости растений. В условиях ограниченного слоя грунта, сильных ветров и перепадов температур подойдут далеко не все виды.

При подборе растений для кровли в холодном климате необходимо учитывать специфику конструкции:

- Ограниченный субстрат: глубина почвы обычно составляет от 10 до 20 см (для почвопокровных), до 30–50 см (для кустарников).
- Корневая система: растения должны иметь мочковатую или поверхностную корневую систему, не разрушающую гидроизоляцию.
- Зимостойкость: виды должны выдерживать температуры ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ без укрытия или с минимальным укрытием (снеговой покров).
- Устойчивость к ветру и солнцу: предпочтение отдается низкорослым формам с крепкими побегами [9].

Растения, которые могут использоваться для создания эксплуатируемых кровель:

- почвопокровные и суккуленты - это основа зелёной кровли. Они создают сплошной ковёр, менее требовательны к плодородию и лучше всего удерживают влагу и тепло в субстрате.
- Низкорослые кустарники и хвойные – кустарники на кровле требуют большего слоя грунта (от 30 см) и тщательного подбора, чтобы снеговая нагрузка не сломала крупные формы.
- Травянистые многолетники (декоративное цветение) добавляют сезонную динамику (цветение) в композицию.

Чтобы растения успешно перезимовали, инженерная составляющая кровли не менее важна, чем сам ассортимент.

Для предотвращения промерзания корней в бесснежные морозы толщина теплоизоляции должна быть увеличена. Рекомендуемая плотность утеплителя – от 120 кг/м^3 . Для газонов и очитков 10–20 см. Для кустарников и многолетников 30–50 см.

На эксплуатируемых кровлях обязательна укладка слоя дренажа, так как чередование замерзания и оттаивания губительно для корней. Система водостоков должна быть оборудована подогревом (например, электрические кабели), чтобы ледяные пробки не создавали подпор воды и не приводили к обледенению растений [10].

Кроме этого, увеличивается нагрузка на кровлю. Поэтому необходимо закладывать к снеговой нагрузке дополнительно вес влажного грунта. Суммарная нагрузка должна быть не менее $200\text{--}250\text{ кг/м}^2$ [11].

Для практического применения во 2 и 3 климатических зонах в качестве базового ассортимента рекомендуется использовать:

1. Очитки (все виды) – основа коврового покрытия.
2. Молодило – для создания суккулентных «подушек».
3. Можжевельник горизонтальный – вечнозелёный акцент.
4. Дёрен канадский – низкий листопадный кустарник для полутенистых участков кровли.

Камнеломка Арендса – для ранневесеннего цветения [12].

Растения, относящиеся к 4 зоне морозостойкости (например, многие сорта барбариса или гортензии), могут использоваться в 3й зоне при условии создания снегозадержания или лёгкого

воздушно-сухого укрытия на зиму, так как на открытой кровле ветер сдувает снег, оголяя почву, что снижает фактическую зимостойкость [13].

Для профилактики и устранения грибковых образований на эксплуатируемых кровлях необходимо отводить воду, гниль, запах и плесень на эксплуатируемой кровле, требуется комплексный подход, включающий инженерные решения, выбор материалов и профилактические меры. Научные исследования и нормативные документы подтверждают эффективность определённых методов и технологий [14].

Первым делом, необходимо обеспечить правильные уклоны (не менее 1,5-2% в сторону воронок). Установить достаточное количество трапов и линейных водоотводов, которые нельзя перекрывать мебелью или грунтом. Использовать профилированные мембраны (например, Planter или аналоги), которые отводят воду из-под слоя почвы или плитки [15]. Установка аэраторов (флюгарок) позволит выветривать влагу из-под кровельного пирога. Применение современных ПВХ/ТПО мембран или жидкой резины (с заведением на стены не менее 15-20 см) позволит также снизить накопление влаги на кровле. Если кровля зеленая, обязательно нужно использовать слой противокорневой гидроизоляции, а также герметизация всех примыканий, швов между плиткой и мест прохода коммуникаций (мастиками или специальными лентами). А все деревянные конструкции кровли необходимо обработать антисептиками глубокого проникновения. [16].

В процессе эксплуатации также необходимо соблюдать ряд правил:

- Регулярно удалять мусор, листья и лёд из воронок и желобов.
- периодически проверить герметичность швов и состояние гидроизоляции (особенно в местах стыков стен и пола).
- Если кровля "пироговая", обеспечение продухов для циркуляции воздуха под настилом [17].

В Уральском регионе активно развивается тренд на использование плоских кровель как дополнительного полезного пространства. Застройщики все чаще отказываются от «пустых» крыш в пользу функциональных зон. Яркий пример такого подхода — жилой комплекс «Форум-Сити» в Екатеринбурге.

Организация пространства на крыше включает:

- Зелёную зону: сад с характерными для Урала растениями.
- Места для отдыха: удобные лавочки и скамьи.
- Архитектурные элементы: перголы для создания тени и защиты от ветра.
- Пространство функционально в любое время года.

Таким образом, проект ЖК «Форум-Сити» доказывает, что даже в условиях континентального климата можно создавать уютные, живые и востребованные пространства на высоте [20].

В качестве второго аналога рассмотрен проект компании «Синара-Девелопмент» в Ботаническом микрорайоне Екатеринбурга. Сравнительная таблица этих двух подходов (табл. 1).

Сравнение этих двух проектов наглядно показывает два разных, но одинаково успешных подхода к использованию плоских кровель в условиях уральского климата.

«Форум-Сити» представляет собой классический пример интенсивного озеленения и создания комфортной городской среды. Здесь кровля – это продолжение двора, место для встреч, прогулок и отдыха. Проект решает социальную задачу, превращая пустующую крышу в точку притяжения жителей.

Проект «Синара-Девелопмент» – это яркий пример экстенсивного озеленения с фокусом на экологию и устойчивое развитие. Такая кровля — это высокотехнологичный «живой» слой, который работает как фильтр для воздуха, снижает нагрузку на ливневки и улучшает энергоэффективность здания. Это рекордный для Урала проект по площади, демонстрирующий приверженность застройщика принципам «зеленого» строительства [21].

Оба проекта опровергают миф о том, что суровый уральский климат – препятствие для создания функциональных и полезных крыш. Они просто решают разные задачи: один — создает уютное общественное пространство, другой — мощный экологический щит.

На основании комплексного анализа климатических факторов, нагрузок и эксплуатационных требований была спроектирована многофункциональная эксплуатируемая кровля (рис. 1) со следующим зонированием.

Таблица 1. – Сравнительная таблица проекта «Форум-Сити» и проекта «Синара-Девелопмент»

Характеристика	ЖК «Форум-Сити»	ЖК «Синара-Девелопмент» (Ботанический м/р)
Локация	Екатеринбург (конкретный район не указан)	Екатеринбург, Ботанический микрорайон
Тип кровли	Интенсивная (предназначена для прогулок и отдыха)	Экстенсивная (специализированное покрытие, выход людей не предусмотрен или ограничен)
Площадь	Не указана	Самая большая на Урале — 1000 кв. м
Основная концепция	Многофункциональное пространство для отдыха жителей («сад на крыше»)	Экологическое решение («зелёная кровля») для улучшения экологии и микроклимата
Функциональные зоны	Зона отдыха с лавочками, сад с уральской флорой	Не предусмотрены (основная функция — экологическая и защитная)
Озеленение	Растения, характерные для уральской флоры (создан «настоящий сад»)	10 видов морозостойких седумов (очитков) в виде готовых матов
Архитектурные элементы	Перголы (для тени и защиты от ветра)	Не указаны (основной упор на само растениеводческое покрытие)
Климатическая адаптация	Создание уютных зон, защищённых от ветра (перголы), подбор уральских растений	Использование специальных морозостойких и засухоустойчивых сортов растений (очитков), способных выживать в условиях Урала
Экологический эффект	Не указан (акцент на эстетике и комфорте)	— Поглощение 1,5–2 т CO ₂ /год; — задержание до 1 т пыли; — снижение температуры на 15–25 °С; — задержание до 70% осадков
Дополнительные преимущества	Создание «живого» и востребованного пространства, социализация жителей	— Защита гидроизоляции от УФ-лучей (увеличение срока службы в 2–3 раза); — снижение уровня шума на 3–8 дБ

Боковые зоны оборудованы перголами, расположенными справа и слева от основного пространства (рис.2, 3).

Детская зона выделена отдельно и оснащена специальными навесами для безопасного отдыха маленьких посетителей. Здесь созданы условия для комфортного времяпрепровождения детей (рис. 4).

Закрытые помещения предусмотрены для использования в прохладную погоду или во время дождя. Эти зоны обеспечивают защиту от неблагоприятных погодных условий и позволяют наслаждаться отдыхом в любое время года (рис.5).



Рис.1 Многофункциональная эксплуатируемая кровля



Рис. 2. – Боковые зоны многофункциональной эксплуатируемой кровли



Рис. 3. – Боковые зоны многофункциональной эксплуатируемой кровли



Рис.4. – Детская зона с навесом многофункциональной эксплуатируемой кровли



Рис.5. – Закрытые помещения многофункциональной эксплуатируемой кровли

В проекте используются следующие виды растений:

- Очитки (все виды) – формируют основу зеленого ковра, отличаются неприхотливостью и устойчивостью к экстремальным условиям
- Молодило – создает декоративные суккулентные подушки, прекрасно переносит засушливые периоды
- Можжевельник горизонтальный – обеспечивает круглогодичную декоративность благодаря вечнозеленой хвое
- Дерен канадский – низкорослый кустарник для затененных участков кровли, отличается декоративной листвой
- Камнеломка Арендса – раннецветущее растение, создающее яркие акценты в весенний период

Конструктивные особенности

Кровельный пирог включает следующие слои:

- Финишное покрытие с противоскользящим эффектом
- Дренажный слой с уклоном 1.5-2%
- Теплоизоляция плотностью 150-180 кг/м³
- Гидроизоляционный слой толщиной 1.2-2.0 мм
- Пароизоляционная мембрана

Инженерные системы

- Антиобледенительная система мощностью 200-300 Вт/м²
- Автоматическая система полива зеленых насаждений
- Ливневая канализация с подогревом
- Вентиляционная система с флюгарками

Расчетные характеристики:

- Количество циклов заморозки-оттаивания: 200-300
- Сопротивление теплопередаче: 5-6 м²·°С/Вт
- Допустимые ветровые нагрузки: до 2.5 кПа
- Срок службы основных элементов: 50 лет

Проект предусматривает возможность круглогодичной эксплуатации при соблюдении всех норм безопасности и комфорта. Особое внимание уделено защите от климатических воздействий и долговечности конструкции.

Разработанная методология проектирования эксплуатируемых кровель для II и III климатических зон показала свою эффективность в решении проблемы дефицита зеленых зон в городской среде.

В ходе исследования:

- Создана комплексная система проектирования, обеспечивающая долговечность конструкций (до 50 лет) с учетом экстремальных климатических нагрузок
- Сформирован устойчивый ассортимент морозостойких растений (очитки, молодило, можжевельник, дерен, камнеломка) для озеленения
- Разработаны эффективные меры защиты от биоповреждений и грибковых образований
- Подтверждена успешность реализации проектов в Уральском регионе (примеры ЖК «Форум-Сити» и проектов «Синара-Девелопмент»)
- Предложено современное проектное решение с инженерными системами антиобледенения, полива и вентиляции

Практическая значимость работы заключается в создании адаптированного к суровым климатическим условиям решения по организации дополнительных общественных пространств. Разработанная концепция позволяет эффективно использовать потенциал крыш зданий, создавая комфортные и экологичные городские территории.

Исследование доказало, что при правильном проектировании и соблюдении технологических требований эксплуатация крыш в условиях II и III климатических зон является технически осуществимой и социально значимой задачей.

Литература

1. СП 17.13330.2017 «Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76» — действующий свод правил, регламентирующий требования к проектированию и устройству кровель.
2. СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» / Минстрой России. — М.: 2020. — 145 с.
3. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» — нормативный документ, определяющий расчётные нагрузки для различных климатических зон.
4. Расчеты снеговых нагрузок в различных климатических зонах России / В.Н. Богословский, С.В. Дементьев. — СПб.: Гидрометеиздат, 2018. — 256 с.
5. СП 31-105-2002 «Проектирование и устройство кровель» / Госстрой России. — М.: 2002. — 160 с.
6. European Committee for Standardization. EN 1990:2002+A1:2005 Basis of structural design. — CEN, 2005.
7. International Code Council. International Building Code 2024. — ICC Publishing, 2024. — 890 p.
8. СП 50.13330.2017 «Тепловая защита зданий» / Минстрой России. — М.: 2017. — 148 с.
9. Морозостойкие растения для городского озеленения / В.А. Орлов, С.П. Митрофанов. — М.: Архитектура-С, 2019. — 224 с.
10. Почвоведение и агрохимия в городском озеленении / В.Г. Гагарин, А.В. Лихнович. — М.: Стройиздат, 2019. — 280 с.
11. ASTM D792-24 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement.
12. ISO 12571:2019 Roofing materials — Bitumen-based sheets — Determination of water absorption.
13. Растения для озеленения крыш в условиях холодного климата / НИИ садоводства. — М.: 2021. — 180 с.
14. Инженерные системы эксплуатируемых кровель / Под ред. Н.Н. Иванова. — М.: АСВ, 2020. — 240 с.
15. ASTM E1677-24 Standard Test Method for Determining the Water Vapor Resistance (Permeance) of Materials.
16. Технологии озеленения эксплуатируемых кровель / Под ред. В.М. Бондаренко. — М.: Стройиздат, 2021. — 368 с.
17. Современные технологии гидроизоляции и дренажа кровель / Под ред. В.М. Эльтерман. — М.: АСВ, 2020. — 320 с.

18. Богомолова Е.В. Биологическое повреждение кровельных конструкций. Возможные причины и опасные последствия // Вестник БИИ РАН. — 2023. — №4. — С. 45-56.

19. Штепа В.Э. Проблема мокрого утеплителя в конструкции мягких кровельных покрытий // Строительные материалы. — 2024. — №2. — С. 34-41.

20. Forum Group представила инновационный жилой проект в Екатеринбурге с эксплуатируемыми кровлями [Электронный ресурс] // Forum-city.one : сайт. – URL: (дата обращения: 05.02.2026).

21. Синара-Девелопмент [Электронный ресурс] // Группа Синара : [сайт]. – URL: <https://www.sinara-group.com/directions/development/sinara-development/> (дата обращения: 05.02.2026).

Reference

1. SP 17.13330.2017 "Roofs. Updated edition of SNiP II-26-76" is the current set of rules governing the requirements for the design and installation of roofs.

2. SP 131.13330.2020 "SNiP 23-01-99* Construction climatology" / Ministry of Construction of Russia, Moscow, 2020, 145 p.

3. SP 20.13330.2016 "Loads and impacts" is a regulatory document defining design loads for various climatic zones.

4. Calculations of snow loads in various climatic zones of Russia / V.N. Bogoslovsky, S.V. Dementiev. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2018. 256 p.

5. SP 31-105-2002 "Design and installation of roofs" / Gosstroy of Russia. – М.: 2002. – 160 p.

6. European Committee for Standardization. EN 1990:2002+A1:2005 Basis of structural design. — CEN, 2005.

7. International Code Council. International Building Code 2024. — ICC Publishing, 2024. — 890 p.

8. SP 50.13330.2017 "Thermal protection of buildings" / Ministry of Construction of Russia. Moscow: 2017. 148 p

9. Frost-resistant plants for urban landscaping / V.A. Orlov, S.P. Mitrofanov. Moscow: Architecture, 2019. 224 p.

10. Soil science and agrochemistry in urban landscaping / V.G. Gagarin, A.V. Likhnovich. – М.: Stroyizdat, 2019. – 280 p.

11. ASTM D792-24 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement.

12. ISO 12571:2019 Roofing materials — Bitumen-based sheets — Determination of water absorption.

13. Plants for landscaping roofs in a cold climate / Research Institute of Horticulture. – М.: 2021. – 180 p.

14. Engineering systems of operated roofs / Edited by N.N. Ivanov, Moscow: DIA, 2020, 240 p.

15. ASTM E1677-24 Standard Test Method for Determining the Water Vapor Resistance (Permeance) of Materials.

16. Technologies of landscaping of exploited roofs / Edited by V.M. Bondarenko, Moscow: Stroyizdat, 2021, 368 p.

17. Modern technologies of waterproofing and drainage of roofs / Edited by V.M. Elterman. Moscow: DIA, 2020. 320 p.

18. Bogomolova E.V. Biological damage to roofing structures. Possible causes and dangerous consequences // Bulletin of the BIN RAS, 2023, No. 4, pp. 45-56.

19. Shtepa V.E. The problem of wet insulation in the construction of soft roofing // Building materials. — 2024. — No. 2. — pp. 34-41.

20. Forum Group presented an innovative residential project in Yekaterinburg with operational roofs [Electronic resource] // Forum-city.one : website. – URL: (accessed: 02/05/2026).

21. Sinara-Development [Electronic resource] // Sinara Group : [website]. – URL: <https://www.sinara-group.com/directions/development/sinara-development/> / (date of access: 02/05/2026).

Зимич В.В.,
к.т.н., доцент кафедры «Строительные материалы и изделия», доцент кафедры «Архитектура». Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: zimichvv@susu.ru
Кичёва Е.С.,
студентка кафедры «Архитектура». Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: katya.kicheva.04@mail.ru

Zimich V.V.,
PhD, associate Professor of the Department “Building materials and products”, associate Professor of the Department of Architecture. South Ural State University, Chelyabinsk, Russia. E-mail: zimichvv@susu.ru
Kicheva E.S.
Student of the Department of Architecture. South Ural State University, Chelyabinsk, Russia. E-mail: katya.kicheva.04@mail.ru

Поступила в редакцию 25.02.2026

УДК 72.017

*Сидоренко М.Ю.
Митрошина М.А.*

СИНТЕЗ ИСКУССТВ В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ ГОРОДА ЧЕЛЯБИНСКА

Рассматриваются результаты исследования феномена синтеза искусств в архитектуре как сложного художественно-культурного явления. Современная архитектура и дизайн среды представляет собой не просто проектирование зданий и пространств, а комплексное искусство, сочетающее в себе различные художественные формы выразительности. В XXI веке архитектурное творчество тесно связано с интеграцией визуальных, звуковых и цифровых искусств, что отражает общую тенденцию к новому развитию форм синтеза искусств в пространстве современной культуры и научно-технического прогресса.

Цель – проанализировать концепцию синтеза искусств в современной архитектуре на примере объектов города Челябинска.

Для достижения цели были поставлены задачи: описание архитектурных объектов с элементами светового и аудиовизуального оформления; определение тенденций современных форм и классификации синтеза искусств в современной архитектурной практике; анализ востребованности новых форм синтеза в дизайне архитектурной среды.

Использованы общенаучные и эмпирические методы, включая содержательную методологию для научного обоснования понятия синтеза искусств, натурные обследования объектов города Челябинска на примере общественных зданий и сооружений.

В области архитектуры и дизайна стремительно развиваются новые средства синтеза искусств, рассчитанные на восприятие объемно-пространственной среды города. На примерах объектов Челябинска, проводился анализ роли света и музыки в формировании его архитектурного образа. Исследование подтверждает особенности взаимодействия синтеза искусств с пространством города – как световые, медиапроекции и звуковые решения создают новые формы коммуникации между человеком и архитектурой. Понятие синтеза искусств подразумевает объединение различных видов художественной деятельности для создания целостного художественного образа. В архитектуре и дизайне, этот процесс доказывает его актуальность и проявляется особенно наглядно, так как архитектурная среда представляют собой функциональный объект и форму культурной среды.

Ключевые слова: *архитектура, синтез искусств, свет, музыка, медиаархитектура, дизайн архитектурной среды, эстетика пространства.*

**Sidorenko M.Yu.
Mitroshina M.A.**

SYNTHESIS OF ART IN MODERN DESIGN ARCHITECTURAL ENVIRONMENT OF THE CITY OF CHELYABINSK

This article examines the results of a study examining the phenomenon of arts synthesis in architecture as a complex artistic and cultural phenomenon. Contemporary architecture and environmental design represent more than just the design of buildings and spaces, but a complex art form that combines various artistic forms of expression. In the 21st century, architectural creativity is closely linked to the integration of visual, sound, and digital arts, reflecting a general trend toward new forms of arts synthesis in the context of contemporary culture and scientific and technological progress.

The aim is to analyze the concept of arts synthesis in contemporary architecture using the example of buildings in the city of Chelyabinsk.

To achieve this goal, the following tasks were set: description of architectural objects with elements of lighting and audiovisual design; identification of trends in contemporary forms and classification of arts synthesis in contemporary architectural practice; analysis of the demand for new forms of synthesis in architectural environmental design.

General scientific and empirical methods were used, including a substantive methodology for scientifically substantiating the concept of arts synthesis, as well as field surveys of Chelyabinsk's public buildings and structures.

In the fields of architecture and design, new means of arts synthesis are rapidly developing, designed to enhance the perception of the city's spatial environment. Using examples from Chelyabinsk's buildings, the role of light and music in shaping its architectural image was analyzed. The study confirms the specific interactions between arts synthesis and urban space—how lighting, media projections, and sound solutions create new forms of communication between people and architecture. The concept of arts synthesis implies the unification of various artistic activities to create a holistic artistic image. In architecture and design, this process proves its relevance and is particularly evident, as the architectural environment is both a functional object and a form of cultural environment.

Keywords: *architecture, arts synthesis, light, music, media architecture, architectural environment design, spatial aesthetics.*

Актуальность исследования обусловлена тем, что в современном дизайне архитектурной среды появилась тенденция, когда синтез искусств приобретает не декоративный, а концептуальный

характер. Благодаря инновационным технологиям свет, звук и цифровые медиа становятся средствами проектного осмысленного мышления и инструментами формирования восприятия архитектурного пространства.

Синтез искусств – понятие, которое основательно закрепилось в мировой истории. Архитектура изначально рождает многомерный синтез различных видов деятельности: управления, проектирования, социального прогнози-рования, экологического дизайна и, конечно, художественно ориентированного целостного мышления [1]. Ещё в античности архитектура неразрывно сочеталась со скульптурой и орнаментом. Храмы Древней Греции, такие как Парфенон, храм Зевса Олимпийского и Эрехтейон являлись образцами гармоничного взаимодействия архитектурной формы и художественного декора.

В Средние века идея синтеза получила особое развитие в храмовом строительстве. Готические соборы объединяли архитектуру, живопись, витражи, скульптуру и музыку. Каждый из перечисленных видов искусств не существовал отдельно, они составляли единую концепцию, которая выражалась в создании духовного пространства.

Эпоха Возрождения внесла в синтез искусств гуманистическое начало. Архитекторы стремились к гармонии формы и содержания, к созданию эстетически совершенной среды. В эпоху барокко и классицизма синтез достиг пика декоративной насыщенности: пространство интерьера наполнялось живописными панно, лепниной, скульптурными элементами.

В XX веке понятие синтеза искусств приобрело новое значение. Архитекторы модернизма, такие как Ле Корбюзье, Вальтер Гропиус и Фрэнк Ллойд Райт, рассматривали архитектуру как «тотальное искусство», способное объединять эстетику, функциональность и технологию.

Современный этап развития синтеза искусств связан с цифровыми технологиями. Визуальный поворот в культуре связан с переходом от накопления визуальных образов к их трансляции [2]. В архитектуре появляются интерактивные фасады, световые инсталляции, звуковые композиции, которые создают эффект погружения и вовлекают зрителя в среду.

Важно отметить, что архитектурный облик представляет лишь предметно-материальные характеристики рассматриваемого объекта. Именно эти характеристики служат основой регламентированных нормативной базой параметров. Затем облик трансформируется в визуальном восприятии наблюдателя, проявляясь через образ. Именно образная ассоциация во многом определяет эмоциональный отклик и поведенческие паттерны человека [3]. Таким образом, синтез искусств в современной архитектурной среде становится механизмом формирования целостного восприятия городского пространства.

Свет в архитектуре решает сразу несколько задач. Кроме изначального назначения искусственного света, освещать пространства улиц и площадей для безопасности передвижения и охраны владений, у электрических источников света появились новые функции, такие как, художественное освещение фасадов достопримечательных и репрезентативных объектов и световая

информация и реклама [4]. Учитывать влияние света в городской среде важно, потому что город – это и арена общественных отношений и развитый комплекс хозяйства и скопление архитектурных, инженерных сооружений, технических достижений и духовный центр [5]. Свет оказывает непосредственное влияние на эмоцио-нальное восприятие человека, позволяя архитектору управлять настроением зрителя. Это инструмент, который позволяет в полной мере воплотить в жизнь творческие идеи автора. Нет светодизайна без архитектуры, он её новый раздел, а архитектура – его предметно-пространственная основа со своими профессиональными законами древнейшего и сложнейшего синтетического искусства [6].

Визуальное восприятие – процесс, в ходе которого ведущую роль в обеспечении функциональных основ безопасности субъектов (ориентации в пространстве, передвижении) играет светотехнический компонент. Его предназначение – создать визуально полноценную среду в вечернее время, приблизить параметры искусственной световой среды к показателям естественной и создать условия их сближения. Средовое освещение связано с определенным уровнем комфорта светового климата, равномерностью, цветностью. Под визуально-образным комфортом восприятия искусственной архитектурно-световой среды города следует понимать условие зрительного восприятия человеком объективной реальности искусственной архитектурно-световой среды города, создающее психофизиологическую и эстетическую удовлетворённость [6]. Искусственный и естественный свет являются не дополнением к архитектуре, а неотъемлемой ее составляющей.

Городская среда характеризуется совокупностью природных, архитектурно-планировочных, экологических и других факторов, формирующих среду жизнедеятельности города на определенной территории и определяющих комфортность проживания на этой территории [7]. В ней свет выполняет функции как художественные, так и практические. Он способствует ориентации в пространстве, выделяет общественные зоны и памятники архитектуры. В современном мире фасады административных, торговых, развлекательных центров трансформируются в светящиеся рекламные стенды, затрудняющие идентификацию пограничных зон [8]. Световая среда – это новая знаково-образная система, которая создается, исходя из понимания образа мышления, потребностей, предпочтений, безопасности специфики процессов и отношений в современном обществе [9,10].

Появление новых, недостаточно исследованных внешних средовых факторов, связанных с инновационным развитием, позволяет говорить о взаимовлиянии, интеграции светотехнического и архитектурного компонентов и о становлении единой искусственной архитектурно-световой среды [3]. К числу ключевых факторов, непосредственно определяющих визуально-образный «ключ» среды, относятся:

- виртуальное формообразование образов с помощью света и цвета;
- использование света в архитектурно-пространственных композициях из высоко светоотражающих поверхностей;

- значительный светлотный и яркостный контраст среды разной функциональной принадлежности;
- несвязанное композиционно освещение архитектурных и средовых объектов разной ведомственной принадлежности;
- динамичный, движущийся свет и цвет;
- зрительно-образные иллюзии.

Перечисленные факторы напрямую влияют на возможности синтеза искусств в архитектурной среде, расширяя инструментарий художественного воздействия и создавая предпосылки для формирования новых типов восприятия дизайна современного городского пространства.

Особое развитие световое искусство получило в последние десятилетия благодаря применению LED-технологий и компьютерных систем управления, позволивших архитекторам создавать динамические световые сценарии. В современной архитектуре освещения используют шесть основных способов фасадного освещения: акцентное, локальное, фоновое, контурное, заливающее и динамическое [11]. При помощи освещения в формировании архитектурного облика учитываются: значимость объекта в архитектурном ансамбле населенного места; расположение; композиционные составляющие: стилистика, масштаб, функциональное назначение, тектоника, фактура облицовки, видовое раскрытие, существующее освещение [12]. Оно стало одним из основных инструментов для создания атмосферы: здание может менять цветовую гамму в зависимости от времени суток, праздников или событий, превращаясь в живой элемент городской среды. На сегодняшний день, когда проектирование искусственного света принимает урбанистические масштабы, т.е. разрабатываются концепции освещения не отдельных зданий, а улиц, ансамблей и городов, вопрос освещения, в первую очередь объектов культурного наследия, как никогда актуален [13].

Сложный современный город, несомненно, нуждается в последовательности и преемственности организации образа, доставляя нам огромное удовлетворение за счет контраста индивидуализированных компонентов [14]. Челябинск является примером города, где активно экспериментируют со световыми образами архитектурной среды и используют их для формирования визуального облика.

Новое архитектурно-художественное освещение памятника И. Курчатову подчёркивает стиль и форму скульптуры, характеризует её символическое значение. Тёплое освещение гармонирует с фактурой гранита, создавая ощущение пульсации и внутреннего свечения – своеобразного энергетического поля», которое отсылает к образу учёного-физика (рис. 1) [15,16]

Публичная библиотека города Челябинска является одним из ярких примеров синтеза искусств, в современном архитектурном дизайне. Здание объединяет в себе функциональность, эстетику и художественно-осмысленное использование света. Архитектурно-художественное освещение фасада менялось несколько раз, последний вариант является более удачным, так как подчёркивает ритм и пластику конструктивных элементов, выделяя классическую структуру (рис. 2). Благодаря сочетанию

холодного и тёплого света создаётся динамическая композиция, меняющаяся в зависимости от времени суток. В вечерние часы фасад словно «оживает», превращаясь в визуальный акцент городской среды и символизируя просветительскую миссию.

Таким образом, свет становится не только инструментом оформления, но и выразительным средством, связывающим архитектуру города и искусство.

а)



б)



Рис. 1. Архитектурно-художественное освещение памятника И. Курчатову в городе Челябинске: а – с акцентным выделением верхней части памятника; б – всего памятника с применением медиаискусства



Рис. 2. Архитектурно-художественное освещение публичной библиотеки, город Челябинск (фото автора)

Вертикальные световые линии, организованные вдоль несущих конструкций фасада, подчеркивают структуру здания и формируют контрастное светотеневое решение ближнего плана по отношению к обобщённому дальнему, что усиливает пластическую выразительность архитектурной формы [17].

а)



б)



Рис. 3. Архитектурно-художественное освещение комплекса в городе Челябинске: а – бизнес-холл «Бовид»; б – гостиница «Видгоф»

Удачным, на наш взгляд, примером проявления светового искусства в архитектуре Челябинска является комплекс зданий бизнес-холла «Бовид» и гостиницы «Видгоф». В данном случае используется комбинированная система освещения, объединяющая контурное и динамическое освещение при разных сценариях, что соответствует классификации шести основных способов фасадного освещения, представленной в современной теории светового дизайна (рис. 3) [17,18].

Особенностью светового решения является использование холодных оттенков (преимущественно синего цвета), что соответствует функциональному назначению объекта как делового центра. Подобное решение формирует визуально-образный комфорт восприятия искусственной архитектурно-световой среды города, обеспечивающий психофизиологическую и эстетическую удовлетворённость наблюдателя [6].

Светодиодные линии, охватывающие вертикальные и горизонтальные элементы фасада, создают эффект визуального движения и ритмического чередования световых акцентов, что способствует формированию динамичного восприятия структуры здания. Подобная техника соответствует принципу динамичного, движущегося света и светочвета, который является одним из ключевых факторов, определяющих визуально-образный «ключ» среды [6].

Таким образом, световое оформление бизнес-холла «Бовид» демонстрирует свет как средство формирования целостного восприятия городской среды в вечерне-ночное время. Архитектурно-

художественное освещение не только улучшает визуальное восприятие архитектуры, но и интегрирует объект в единую систему архитектуры Челябинска.

Подобные проекты демонстрируют, что свет в архитектуре Челябинска выполняет не только утилитарную, но и глубокую художественную функцию. Синтез света и архитектуры обеспечивает визуальное разнообразие городской среды, усиливает восприятие архитектурных форм и создаёт эмоционально насыщенную атмосферу.

Особую роль свет приобретает в выявлении тектонических качеств архитектурных объектов. Ключевой категорией современного формообразования в архитектуре становится тектоника, а применение высоко-технологичных материалов и способов конструирования осветительных приборов создаёт новый способ прочтения формы зданий [17]. Распределение яркостных характеристик для лучшего выявления тектонических качеств архитектурного объекта формирует контрастное светотеневое решение ближнего плана по отношению к обобщённому дальнему, плавный и однородный характер светотеневых границ [17]. Таким образом, свет становится не просто функциональным элементом, а средством раскрытия внутренней логики архитектурной конструкции.

Музыка и архитектура имеют общую природу: обе основываются на ритме, пропорциях и гармонии. Ещё античные философы, включая Пифагора, отмечали сходство музыкальных интервалов и архитектурных пропорций. В Средние века эти идеи получили развитие в теории «музыки сфер», утверждающей гармоничность мироздания и архитектуры как её отражения.

В современном контексте музыка в архитектуре проявляется не столько в буквальном звучании, сколько в структурных аналогиях – ритмичности фасадов, чередовании форм, динамике пространства. Однако благодаря технологическому прогрессу звук всё чаще становится реальной, осязаемой частью архитектурной среды.

Музыка усиливает эмоциональное воздействие архитектуры. В синтезе со светом она создаёт эффект присутствия и позволяет воспринимать пространство как живой организм.

В последние годы Челябинск активно развивает направления, связанные с интеграцией света и звука в архитектурную среду. Эти средства позволяют создавать новые формы культурного опыта и художественного выражения. Одним из значимых событий в этой сфере стал фестиваль медиаискусства «Скрябин», проведённый в 2024 году (рис. 4) [16].

В рамках фестиваля некоторые здания и памятники города превратились в проекционные экраны. На фасадах появлялись динамичные изображения, синхронизированные с музыкальными композициями. Свет и звук образовывали единый художественный поток, в котором архитектура становилась не фоном, а активным участником перформанса. Зрители отмечали глубокий эмоциональный эффект полного погружения: пространство не просто воспринималось визуально, а переживалось через все органы чувств.



Рис. 4. Изображения тематики фестиваля «Скрябин» с применением медиаискусства в городе Челябинске

Здание делового комплекса «Челябинск-Сити» представляет собой один из первых опытов светового искусства в городской среде и поэтому его фасад не удачно вписывается в историческую архитектурную атмосферу. Объект, выполненный из стекла и металла, становится динамичным полотном, на котором игра света формирует визуальную ритмику и акцентирует вертикаль сооружения.

Светодиодные линии, охватывающие всю высоту здания, создают эффект движения, отражая современный темп мегаполиса. В вечернее время «Челябинск-Сити» превращается в своеобразный медиа-объект – разноцветные световые потоки подчёркивают геометрию фасада.

Благодаря этому архитектурный облик здания приобретает свою художественную выразительность, но не становится частью светового ландшафта Челябинска (рис.5). Подобное решение демонстрирует, как современные технологии могут ухудшить облик города для синтеза архитектуры, дизайна и медиаискусства в едином эстетическом пространстве.

Практические результаты синтеза показывают, что архитектурная среда Челябинска становится активным элементом культурных процессов города. Свет и музыка преображают город, превращая его в открытое пространство для творчества, дают жителям возможность увидеть привычные пространства с новой стороны.

Современные средства световых форм и световых инсталляций дополняются многими сенсорными эффектами, определяющими датчиками звука, движения, давления и многими другими элементами. Это делает формы интерактивными и медийными устройствами с использованием искусственного света [19]. Медиаархитектура – новое направление, возникшее на стыке архитектуры, дизайна и цифрового искусства. Графические образы помогают передать суть бренда компании, философию организации, подчеркивают архитектуру здания и одновременно служат ярким украшением городского пейзажа [20]. В отличие от традиционного подхода, где здание является статичным объектом, медиа-архитектура предполагает его динамичность.



Рис. 5. Невыразительный пример архитектурно-художественного освещения здания «Челябинск-сити» в исторической среде города (фото автора)

Фасады становятся экранами, на которых транслируются световые, графические и звуковые эффекты. Воздействие художественной стороны архитектуры, реализуемое через восприятие, способствует повышению культурного уровня людей, формированию всесторонне развитой личности [21]. В медиаархитектуре это влияние усиливается за счет интерактивности и эмоциональной вовлеченности зрителя.

Преимущество подхода медиаархитектуры в том, что он начинается с реалистичного отчета о том, что возможно (с точки зрения технических возможностей) и как все работает в настоящее время (с точки зрения социальных соображений), создавая при этом умоглядные, но осязаемые повествования о том, что могло бы быть (через прототипы дизайна) [22]. Основная ее особенность заключается в интерактивности – здания способны реагировать на внешние факторы: движение людей, уровень освещенности, погодные условия. Предполагается множество вариантов развития медиа-архитектуры, где, основываясь на исследованиях как зарубежных, так и отечественных специалистов, наиболее широко распространены направления, связанные с выразительностью медиа образов, усилением социальной идентификации медиаархитектуры и интерактивности, а также формированием гибридных городских медиапространств [23]. Это трансформирует архитектуру в коммуникационную систему, которая создает новые формы взаимодействия между городской средой и её жителями.

Для Челябинска подобные проекты имеют не только эстетическую, но и значимую социальную ценность. Они формируют современный облик города, делают его культурное пространство более динамичным и привлекательным для жителей и гостей мегаполиса.

Заключение

Таким образом взаимодействие архитектуры с такими видами искусства, как свет и музыка, способствует созданию новых форм художественного выражения и расширению возможностей восприятия городской среды.

Челябинск демонстрирует успешные примеры подобного взаимодействия. Архитектурно-художественное освещение памятников и зданий, фестивали медиаискусства, 3D-мэппинг и аудиовизуальные инсталляции позволяют говорить о формировании нового типа синтеза искусств в архитектурной среде – эмоционального, интерактивного и культурно насыщенного.

Современная архитектура перестаёт быть лишь инструментом утилитарного проектирования. Она становится пространством художественного опыта, объединяющим технологии, эстетику и эмоциональное воздействие. Синтез искусств в этом контексте выступает не просто изобразительным приёмом, а способом осмысления роли человека в архитектурном пространстве.

Архитектура будущего – это живая система, где свет, звук, форма и др. взаимодействуют в едином культурном ритме. Именно это формирует уникальный облик городской среды, делая ее современной, индивидуальной и запоминающейся в эпоху цифровых технологий.

Литература

1. Дущев, М.В. Пластическая целостность в современной архитектуре / М.В. Дущев // Художественная культура. 2018. – № 4 (26). – С. 32-81.
2. Оводова, С.Н. Вербальная и визуально-образная репрезентация культуры / С.Н. Оводова // Человек в мире культуры. 2015. – № 1. – С. 23-26. EDN: UCQSRL.
3. Бокова, О. Р. Визуально-образный комфорт восприятия архитектурной среды в условиях искусственного освещения (на примере г. Челябинска) / О.Р. Бокова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. – Т. 13. № 4. – С. 739-750. EDN: AAWJRI.
4. Щепетков, Н.И. Световой дизайн города: учеб. пособие. / Н.И. Щепетков – М.: Архитектура. 2006. – 317 с.
5. Визуальные образы современной культуры. Человек в современном городе: облик, образ, образование: материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Омск, 17-18 мая 2016 г.) Омск: Изд-во Омского государственного университета. 2016. – 190 с.
6. Щепетков, Н.И., Будаков В.П. Дискуссия по проблеме светового дизайна / Н.И. Щепетков, В.П. Будаков // Светотехника. 2018. – № 6. – С. 74-76. EDN: YRPEAX.
7. Об утверждении методики формирования индекса качества городской среды (с изменениями на 30 декабря 2020 года): распоряжение от 23 марта 2019 года № 510-р // Гарант. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72104984/> (дата обращения: 23.11.2025).
8. Бокова, О.Р. Расчет площади зоны видимости в условиях светокolorистической конкуренции на перекрестках / О.Р. Бокова // Вестник ВИАЭСХ. 2018. – Т. 4 (33). – С. 120-125. EDN: YTHPGP.

9. Лекус, Е.Ю., Быстрянцева Н.В. Световой дизайн: свет как материал, технология, форма / Е.Ю. Лекус, Н.В. Быстрянцева // Материал-технология-форма как универсальная триада в дизайне, архитектуре, изобразительном и декоративном искусстве: материалы международной научной конференции. – М.: 18 мая 2018 г.

10. Бокова, О.Р. Двойственность процессов трансформации архитектурно-световой среды в эпоху «информационного общества» / О.Р. Бокова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2015. – Т. 15. № 4. – С. 5-10. DOI: 10.14529/build150401

11. Архитектурное освещение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lightru.pro/arhitekturnoe-osveshhenie/> (дата обращения: 23.11.2025).

12. Бурова, Т.Ю., Архитектурное освещение. Учебно-методическое пособие для студентов направления 07.03.03 «Дизайн архитектурной среды» профиля «Проектирование городской среды» к выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Экология среды». / сост.: Т.Ю. Бурова. – Казань: КГАСУ. 2018. – 48 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kgasu.ru/upload/iblock/2a5/Arkhitekturneosveshchenie.Uchebno_metodicheskoe-posobie.-sost.T.YU.Kazan-KGASU (дата обращения: 23.11.2025)

13. Батова, А.Г. // Принципы проектирования наружного освещения архитектурных объектов: автореф. дис. канд. арх. – М.: Московский архитектурный институт (государственная академия). 2012. – 27 с.

14. Lynch, K. // The image of the city. London: Cambridge. 1960. – 194 p.

15. Мызгина, А. Курчатов засветился по-новому: у памятника в центре города обновили оформление – URL: <https://www.chel.kp.ru/online/news/4243685/>-(дата обращения: 18.02.2026)

16. Шрайбер, А. В Челябинске впервые прошел фестиваль медиаискусства «Скрябин» – URL: <https://www.1obl.ru/nasha-komanda/aleksandra-shrayber/> (дата обращения: 18.02.2026).

17. Шабиев, С.Г. Тектоническое «прочтение» архитектуры неоклассицизма в вечерне-ночное время (на примере г. Челябинска) / Е.Г. Прилукова, В.Г. Чудинова, О.Р. Бокова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. – Т. 11. № 2. – С. 398-407.

18. Видгоф Гранд отель – URL: <https://agency.pegast.ru/hotel/540875063> (дата обращения: 18.02.2026)

19. Карпенко, В.Е. Применение виртуальных и нейротехнологий к архитектурно-световой среде // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. – №2(63). – С. 285-297.

20. Птичникова, Г.А., Черничкина О.В. Актуальные тенденции развития медиа-архитектуры. – URL: https://artculturestudies.sias.ru/upload/iblock/f4f/hk_2019_3t2_342_357_ptichnikova_chernichkina.pdf (дата обращения: 18.02.2026)

21. Беляева, Е.Л. Архитектурно-пространственная среда города как объект зрительного восприятия / Е.Л. Беляева. – М.: Стройиздат, 1977. – 127 с.

22. Масленникова, В.А. «Подходы медиаархитектуры для проектирования, следующего поколения городских интерфейсов» – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_49927001_17514321.pdf (дата обращения: 23.11.2025)

23. Пичкалова, А.Д., Андреева Д.В «Тенденции развития интерактивной и медиаархитектуры» – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48925654_92171914.pdf (дата обращения: 23.11.2025)

References

1. Dutsev, M.V. Plastic integrity in modern architecture / M.V. Dutsev // Art culture. 2018. – № 4 (26). – pp. 32-81.

2. Ovodova, S.N. Verbal and visual-figurative representation of culture / S.N. Ovodova // A man in the world of culture. 2015. – №1. – pp. 23-26. EDN: UCQSRL.

3. Bokova, O. R. Visual-imaginative comfort of perception of the architectural environment in conditions of artificial lighting (on the example of Chelyabinsk) / O.R. Bokova // Izvestiya vuzov. Investment. Construction. Realty. 2023. – Vol. 13. №4. – pp. 739-750. EDN: AAWJRI.

4. Shchepetkov, N.I. Light design of the city: textbook. the manual. / N.I. Shchepetkov– Moscow: Architecture. 2006– 317 p.

5. Visual images of modern culture. A man in a modern city: appearance, image, education: proceedings of the V All-Russian Scientific and Practical Conference with International participation (Omsk, May 17-18, 2016). Omsk: Publishing House of Omsk State University. 2016. –190 p.

6. Shchepetkov, N.I., Budak, V.P. Discussion on the problem of lighting design / N.I. Shchepetkov, V.P. Budak // Lighting Engineering. 2018. – №6. – pp. 74-76. EDN: YRPEAX.

7. On approval of the methodology for the formation of the urban environment quality index (as amended on December 30, 2020): Order № 510-r dated March 23, 2019 // Garant. Access mode: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72104984/> (accessed: 11/23/2025).

8. Bokova, O.R. Calculation of the area of the visibility zone in conditions of light-color competition at intersections / O.R. Bokova // Bulletin of RESH. 2018. – Vol. 4 (33). – pp. 120-125. EDN: YTHPGP.

9. Lekus, E.Yu., Bystryantseva N.V. Light design: light as a material, technology, form / E.Yu. Lekus, N.V. Bystryantseva // Material-technology-form as a universal triad in design, architecture, fine and decorative arts: proceedings of the international scientific conference. – M.: May 18. 2018

10. Bokova, O.R. The duality of the processes of transformation of the architectural and light environment in the era of the "information society" / O.R. Bokova // Bulletin of SUSU. The series "Construction and Architecture". 2015. – Vol. 15. №4. – pp. 5-10. DOI: 10.14529/build150401

11. Architectural lighting [Electronic resource]. – Access mode: <https://lightru.pro/arhitekturnoe-osveshhenie/> (date of access: 11/23/2025).

12. Burova, T.Y., Architectural lighting. Educational and methodical manual for students of the direction 07.03.03 "Design of the architectural environment" of the profile "Design of the urban environment" for performing computational and graphic work in the discipline "Environmental Ecology". / comp.: T.Y.

Burova. – Kazan: KGASU. 2018. – 48 p. [Electronic resource].–Access mode: <https://www.kgasu.ru/upload/iblock/2a5/Arkhitekturnoe-osveshchenie.Uchebnome-todicheskoe-posobie.-sost.-T.YU.Kazan-KGASU>. (accessed: 11/23/2025)

13. Batova, A.G. // Principles of designing outdoor lighting of architectural objects: abstract of the dissertation of the Candidate of Architecture, Moscow: Moscow Architectural Institute (State Academy). 2012. – 27 p.

14. Lynch, K. // The image of the city. London: Cambridge. 1960. – 194 p.

15. Myzgina, A. Kurchatov lit up in a new way: the design of the monument in the city center was updated -URL: <https://www.chel.kp.ru/online/news/4243685> /(date of access: 02/18/2026)

16. Schreiber, A. The Scriabin Media Art Festival was held in Chelyabinsk for the first time. URL: <https://www.lobl.ru/nasha-komanda/aleksandra-shrayber/> (date of reference: 02/18/2026).

17. Shabiev, S.G. Tectonic "reading" of neoclassical architecture in the evening-night time (on the example of Chelyabinsk) / E.G. Prilukova, V.G. Chudinova, O.R. Sideways // Izvestiya vuzov. Investment. Construction. Realty. 2021. – Vol. 11. №2. – pp. 398-407.

18. Vidgof Grand Hotel – URL: <https://agency.pegast.ru/hotel/540875063> (date of request: 02/18/2026)

19. Karpenko, V.E. The application of virtual and neurotechnologies to the architectural and light environment // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. – №2(63). – pp. 285-297.

20. Ptichnikova, G.A., Chernichkina O.V. Current trends in the development of media architecture. – URL: https://artculturestudies.sias.ru/upload/iblock/f4f/hk_2019_3t2_342_357_ptichnikova_chernichkina.pdf (accessed: 02/18/2026)

21. Belyaeva, E.L. The architectural and spatial environment of the city as an object of visual perception / E.L. Belyaeva. Moscow: Stroyizdat, 1977. – 127 p.

22. Maslennikova, V.A. "Media architecture approaches for designing the next generation of urban interfaces" – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_49927001_17514321.pdf (accessed: 11/23/2025)

23. Pichkalova, A.D., Andreeva D. In "Trends in the development of interactive and media architecture" – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48925654_92171914.pdf (date of request: 11/23/2025)

Сидоренко Мария Юрьевна

Доцент кафедры «Архитектура»,

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

E-mail: sidorenkomi@susu.ru

Sidorenko Maria Yuryevna

Associate Professor of the Department of Architecture

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

E-mail: sidorenkomi@susu.ru

Митрошина Мария Алексеевна

Студент кафедры «Архитектура»,

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

E-mail: vfif19.05@mail.ru

Mitroshina Maria Alekseevna

Student of the Department of Architecture,

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

E-mail: vfif19.05@mail.ru

УДК 72.01:004.032.26

Пичугов П.А.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЛАНИРОВОК ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ. СЛОЖНОСТИ МЕТОДИКИ

Цель исследования: анализ проблем и методологических сложностей применения нейронных сетей для автоматизации проектирования планировок общественных зданий.

Задачи исследования: выявление фундаментальных ограничений существующих архитектур нейронных сетей при работе со сложными пространственными конфигурациями; анализ проблем представления данных и создания обучающих датасетов; изучение методов интеграции геометрических, топологических и нормативных ограничений в генеративные модели; разработка рекомендаций по преодолению выявленных методологических барьеров.

Методы исследования: системный анализ существующих подходов к генерации планировок с использованием условных генеративно-состязательных сетей, графических нейронных сетей и диффузионных моделей; сравнительный анализ архитектур нейронных сетей; изучение нормативной базы проектирования общественных зданий; анализ проблем валидации качества генерируемых планировок.

Использование генеративных алгоритмов, первоначально развивавшихся для жилых зданий и типовых объектов, постепенно расширяется на более сложные типы построек. Однако задача автоматизации планировки общественных зданий остаётся объективно более сложной как с методологической, так и с технической точки зрения. Различные типы общественных функций — от больниц и школ до библиотек, административных центров, спортивных сооружений и культурно-развлекательных комплексов — предъявляют крайне специфичные и часто противоречивые требования к организации пространства. Эти требования невозможно адекватно представить в виде унифицированных входных данных для моделей глубокого обучения, что создаёт принципиальные барьеры на пути применения существующих архитектур нейронных сетей. Текущее состояние исследований демонстрирует, что успешные генеративные модели в жилищном секторе не могут быть прямолинейно перенесены на проектирование зданий общественного назначения без существенной адаптации архитектуры моделей и переосмысления подходов к представлению данных. Проблема усложняется многоуровневыми требованиями нормативных документов, которые варьируются в зависимости от региона и юрисдикции, специфичностью функциональных процессов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейросети, общественные здания, планировки, архитектурное формирование, методики проектирования, генеративные модели, глубокое обучение.

PROBLEMS OF USING NEURAL NETWORKS TO CREATE LAYOUTS OF PUBLIC BUILDINGS. THE COMPLEXITIES OF THE METHODOLOGY

The purpose of the study is to analyze the problems and methodological difficulties of using neural networks to automate the design of public buildings.

Research objectives: to identify the fundamental limitations of existing neural network architectures when working with complex spatial configurations; to analyze the problems of data representation and creation of training datasets; to study methods for integrating geometric, topological and regulatory constraints into generative models; to develop recommendations for overcoming the identified methodological barriers.

Research methods: systematic analysis of existing approaches to layout generation using conditional generative-adversarial networks, graphical neural networks and diffusion models; comparative analysis of neural network architectures; study of the regulatory framework for designing public buildings; analysis of quality validation problems of generated layouts.

The use of generative algorithms, which were originally developed for residential buildings and standard facilities, is gradually expanding to more complex types of buildings. However, the task of automating the layout of public buildings remains objectively more difficult both from a methodological and technical point of view. Various types of public functions, from hospitals and schools to libraries, administrative centers, sports facilities, and cultural and entertainment complexes, place extremely specific and often contradictory demands on the organization of space. These requirements cannot be adequately represented in the form of unified input data for deep learning models, which creates fundamental barriers to the application of existing neural network architectures. The current state of research demonstrates that successful generative models in the housing sector cannot be directly transferred to the design of public buildings without significant adaptation of the architecture of the models and rethinking approaches to data representation. The problem is complicated by multi-level requirements of regulatory documents, which vary depending on the region and jurisdiction, as well as the specificity of functional processes.

Keywords: *artificial intelligence, neural networks, public buildings, layouts, architectural formation, design techniques, generative models, deep learning.*

Современные подходы к генерации планировок используют несколько основных архитектур нейронных сетей, каждая из которых обладает собственным набором преимуществ и недостатков при применении к общественным зданиям [1].

Условные генеративно-сопоставительные сети (CGAN, в частности модели типа Pix2Pix и пиксельные методы демонстрируют хорошие результаты при работе с изображениями, однако при их применении к планировкам общественных зданий возникает фундаментальная проблема представления данных [2]. Пиксельные методы требуют огромного объёма вычислительных ресурсов и обучающих данных для достижения приемлемого качества, при этом выход модели остаётся в формате растровых изображений, что затрудняет последующую экспортацию в стандартные форматы проектирования. Для жилых помещений эта проблема решается относительно стандартизированными габаритами и типовыми конфигурациями; для общественных зданий такая стандартизация неприменима [3].

Графические нейронные сети (Graph Neural Networks, GNN) и подходы, основанные на представлении планировок в виде топологических графов, предоставляют более перспективный инструмент для работы с взаимосвязями между помещениями [4]. В графовом представлении каждое помещение кодируется как узел, а связи между ними как рёбра графа. Однако такой подход, хотя и сохраняет топологические отношения, зачастую теряет геометрическую информацию о размерах помещений, их форме и расположении относительно границ здания [5]. Для общественных зданий это представляет критическую проблему, поскольку геометрические ограничения часто являются основными факторами, определяющими пригодность конкретной планировки. Диффузионные модели, демонстрирующие отличные результаты в других областях генеративного моделирования, также были адаптированы для генерации планировок. Архитектуры, такие как HouseDiffusion, позволяют работать с дискретными и непрерывными переменными одновременно, обрабатывая координаты комнат и дверей в непрерывном пространстве. Однако контроль сложных пространственных ограничений остаётся неполным, что становится критичным для общественных зданий, где конфигурация должна строго соответствовать нормативным требованиям [6]. Гибридные подходы, объединяющие агентное моделирование (ABM) с условными GAN, показали обещающие результаты при генерации тепловых карт распределения функций и пузырьковых диаграмм, которые впоследствии трансформируются в векторизованные планировки [7]. Такие системы способны учитывать топологические ограничения на этапе генерации пузырьковых диаграмм, однако введение дополнительных модулей увеличивает сложность архитектуры и количество параметров, требующих тюнинга.

Фундаментальной проблемой, препятствующей эффективному применению нейронных сетей к проектированию общественных зданий, является нехватка подходящих обучающих наборов данных [8]. Открытые датасеты, содержащие планировки жилых помещений, относительно многочисленны и содержат десятки тысяч примеров. Для общественных зданий ситуация кардинально отличается: данные разобщены, находятся в различных форматах, часто содержат пропуски и не всегда аннотированы надлежащим образом [9].

Проблема становится ещё более острой при рассмотрении функциональной специфики. Планировка больницы радикально отличается от планировки школы, которая, в свою очередь, отличается от планировки библиотеки или административного центра. Каждая функция предъявляет собственный набор требований к пространственным отношениям, размерам комнат и циркуляционным схемам [10]. Попытка создать единую модель, способную генерировать планировки для различных типов общественных функций, ведёт к значительному снижению качества для каждого типа отдельно. При этом создание отдельной модели для каждого типа функции требует получения достаточного количества обучающих примеров этого типа, что практически невозможно для редких типов зданий.

Вторичной, но не менее важной проблемой является вопрос о правильной токенизации пространственной информации. Различные исследовательские группы используют несовместимые подходы к представлению архитектурных элементов. Одни работы кодируют стены в пиксельной форме, другие используют векторизованное представление, третьи оперируют абстрактными координатами комнат [11]. Отсутствие стандартизированного формата представления пространственных данных означает, что датасеты, созданные в одном формате, невозможно прямолинейно использовать для обучения моделей, разработанных с предположением о другом формате. Попытки конвертации между форматами неизбежно ведут к потере информации.

Рассмотрение вопроса масштабируемости датасетов показывает парадоксальный результат: для Pix2Pix тип распределения данных в датасете часто важнее, чем его размер. Исследования демонстрируют, что модели, обученные на 800 изображениях высокого разрешения (512×512 пикселей) с хорошо структурированным и однородным распределением, могут достичь лучших результатов, чем модели, обученные на 80 тысячах изображений низшего разрешения (256×256 пикселей) с неоднородным распределением [12]. Однако это не снижает требования к качеству данных, которое становится ещё более критичным при переходе от жилых зданий к общественным объектам.

Одна из главных сложностей при применении нейронных сетей к проектированию общественных зданий состоит в необходимости одновременного учёта геометрических и топологических ограничений. Геометрические ограничения определяют физические размеры и форму помещений, а топологические ограничения определяют их логические взаимосвязи и требуемые соседства [13].

Для жилых помещений эти две категории ограничений хотя и важны, однако достаточно унифицированы. В общественных зданиях они становятся существенно более разнообразными и часто противоречивыми. Например, в больнице хирургическое отделение должно быть смежно с отделением анестезии, которое, в свою очередь, должно быть вблизи записи и поддержки жизнедеятельности. Одновременно помещение для стерильного хранения инструментов должно быть отделено от грязной зоны обработки отходов. Такие пространственные отношения образуют сложную систему противоречивых требований [14]. Модели, работающие в пиксельном пространстве, могут обучиться генерировать топологически разумные конфигурации, но часто нарушают геометрические ограничения. Выходные планировки содержат помещения неправильных форм, двери, расположенные в физически невозможных местах, коридоры недопустимо малой ширины. Попытки добавления к функции потерь дополнительных членов, штрафующих за нарушение геометрических ограничений, приводит к застыванию модели в локальных оптимумах или полной неконвергенции. Графовые подходы решают топологическую проблему более элегантно, однако требуют явного задания граничных условий для зданий. В случае жилых помещений граница обычно представляет собой многоугольник с относительно небольшим числом вершин. Для общественных

зданий, особенно в историческом контексте или при нестандартной конфигурации участка, граница может быть произвольно сложной и многовершинной [15]. Это существенно усложняет инициализацию входных данных и требует дополнительной предварительной обработки. Нормативные и функциональные ограничения. Общественные здания подчиняются значительно более жёстким нормативным требованиям, чем жилые. Эти требования часто носят перекрывающийся, многоуровневый характер, что значительно препятствует при их интеграции в генеративные модели [16].

Для больниц действует множество специализированных стандартов. Американское общество инженеров здравоохранения (ASHRAE) публикует Standard 170 по вентиляции медицинских объектов, регламентирующий минимальные объёмы воздухообмена в различных помещениях. Одновременно действуют требования по планировке, основанные на концепции дымовых отсеков: каждый этаж больницы должен быть разделён минимум на две дымовые секции, не превышающие по площади 22500 квадратных футов каждая. Эти требования определяют минимальное количество помещений, их пространственное расположение и способ разделения пространства. Нарушение этих требований влечёт невозможность получения лицензии на работу учреждения.

Требования доступности для инвалидов, регулируемые Законом об американцах с инвалидностью (ADA), налагают специфические ограничения на ширину коридоров (не менее 1.52 метра для одного человека в инвалидной коляске, не менее 1.83 метра для разведения двух направлений движения), размеры и расположение лифтов, конфигурацию туалетных комнат, расположение кнопок вызова и сигнальных элементов [17]. Для публичных зданий эти требования не могут быть проигнорированы, однако нейронная сеть, обученная на примерах реальных планировок, часто воспроизводит нарушения этих норм, которые исторически встречались в строительной практике. Для школ действуют специализированные нормативы, определяющие минимальную площадь на одного учащегося в различных помещениях, требования к естественному освещению и вентиляции, расстояния между мебелью и оборудованием, конфигурацию путей эвакуации. Все эти требования носят чёткий, часто числовой характер, однако их представление в формате, пригодном для использования нейронной сетью, остаётся нетривиальной задачей [18].

Проблема ещё более усложняется тем, что нормативные требования часто являются областными или даже муниципальными. Здание, соответствующее кодексам одного штата, может быть запрещено в другом. Это означает, что модель, обученная на примерах из одного региона, может генерировать планировки, нарушающие нормы другого региона. Практическое применение таких моделей требует создания отдельных версий для каждого нормативного региона, что умножает требования к объёму обучающих данных [19]. Сложности обработки естественного языка и спецификации требований. Последние разработки в области архитектурного проектирования использования больших языковых моделей (LLM) для преобразования текстовых описаний в пространственные конфигурации [20].

Однако применение этого подхода к проектированию общественных зданий сопряжено с множеством проблем.

Спецификация функциональных требований для общественного здания требует высокого уровня профессиональной архитектурной грамотности. Текстовое описание «создайте планировку больницы с палатами, операционными, кабинетами врачей и зонами ожидания» содержит недостаточно информации для генерации практически применимой планировки. Требуется спецификация множества деталей: тип хирургических операционных, требования к их площади и оборудованию, требуемые коэффициенты количества палат различных категорий, конфигурация систем циркуляции и многое другое.

Попытки создания более подробных спецификаций быстро приводят к описаниям, содержащим десятки или сотни параметров, часто находящихся в противоречии друг с другом. Обработка таких спецификаций с помощью LLM требует промежуточного слоя преобразования, который должен разрешать конфликты между требованиями, расставлять приоритеты и генерировать машиночитаемое представление исходной спецификации. Этот слой преобразования часто вносит больше ошибок, чем решает проблем.

Использование LLM для преобразования текстовых описаний в конкретные пространственные конфигурации приводит к непредсказуемым результатам. LLM работают в вероятностной парадигме и генерируют результаты на основе статистических закономерностей в обучающих данных. Для проектирования общественных зданий такой вероятностный подход неприемлем, поскольку любое нарушение нормативных требований делает планировку фактически непригодной для реализации, независимо от того, насколько она эстетична или функциональна по другим параметрам.

Разработка и верификация промежуточных онтологий для представления архитектурных требований остаётся открытой проблемой [21]. Системы автоматической проверки соответствия кодексам показывают, что даже при наличии формализованного представления нормативного требования его применение к конкретной планировке часто требует контекстных знаний, которые сложно кодировать в правила. Попытки использования более сложных методов, включая глубокие нейронные сети для извлечения информации из нормативных текстов, демонстрируют умеренные результаты и требуют значительного ручного аннотирования.

Проблемы валидации и семантической корректности. Оценка качества сгенерированной планировки остаётся задачей, в которой объективные метрики часто не совпадают с практической пригодностью результата. Для жилых помещений можно использовать метрики, основанные на расстоянии между сгенерированным и реальным изображениями, такие как Frechet Inception Distance (FID) [22]. Однако для общественных зданий такие метрики имеют ограниченную применимость.

Планировка может формально получить высокую оценку по пиксельным метрикам, однако быть совершенно неработоспособной с функциональной точки зрения. Например, модель может сгенерировать конфигурацию, где операционная в больнице топологически соответствует требуемым

помещениям, но расположена слишком далеко от отделения анестезии, что нарушает практические требования к циркуляции пациентов. Или может быть сгенерирована планировка, где коридор имеет юридически допустимую минимальную ширину, но практически неудобен для передвижения каталки. Проверка функциональной корректности планировки требует применения методов, выходящих за рамки чисто числовых метрик [23]. Необходимо проводить анализ циркуляции, оценку расстояний между функционально взаимосвязанными помещениями, проверку соответствия различным нормативным требованиям. Однако автоматизация этого процесса требует развития довольно сложного инструментария, существующего лишь в формате прототипов в исследовательских лабораториях.

Кроме того, возникает проблема обучения модели на данных, содержащих примеры субоптимальных или даже нарушающих нормы планировок. Исторические данные о реальных зданиях часто содержат примеры, где нормы были нарушены либо из-за технических ограничений времени постройки, либо из-за ошибок проектирования. Модель, обученная на таких данных без соответствующей их очистки и аннотирования, будет воспроизводить те же ошибки.

Вычислительные требования и масштабируемость. Обучение больших генеративных моделей требует значительных вычислительных ресурсов. Для пиксельных методов требования растут экспоненциально с увеличением разрешения выходного изображения. Планировка общественного здания среднего размера в адекватном разрешении (обеспечивающем отображение деталей вроде отдельных дверей и окон) может потребовать разрешения 2048×2048 пикселей или выше, что в 16 раз увеличивает объём памяти по сравнению с разрешением 512×512 . Для полноценного обучения такой модели требуется несколько графических процессоров высокого класса и недели вычислительного времени. В сочетании с нехваткой обучающих данных это означает, что разработка специализированных моделей для различных типов общественных функций остаётся экономически нецелесообразной для большинства организаций. Попытки оптимизации вычислительной эффективности, такие как использование техник прогрессивного обучения (постепенное увеличение разрешения во время обучения) или дистилляции модели, показывают лишь умеренный успех и часто требуют сложной процедуры тюнинга гиперпараметров, специфичной для каждой задачи.

Объединение всех вышеупомянутых ограничений в единую архитектуру нейронной сети представляет собой исключительно сложную проблему. Подход, при котором сначала генерируется тепловая карта распределения функций, а затем преобразуется в планировку на основе графа, показал перспективность, но остаётся ограниченным. Добавление дополнительных модулей для проверки соответствия нормам, верификации циркуляции и оптимизации функциональных характеристик неизбежно приводит к значительному увеличению сложности системы.

При этом каждый добавленный модуль вносит собственный набор гиперпараметров, требующих тюнинга. Глубокое взаимодействие между модулями часто приводит к появлению неожиданных эффектов, где изменение в одной части системы непредсказуемо влияет на поведение другой части.

Исследования по интеграции ограничений в генеративные модели показывают, что жёсткие ограничения (такие как требование, чтобы помещение находилось внутри границ здания) может быть реализовано с помощью соответствующей архитектуры, однако мягкие ограничения (такие как предпочтение более компактной конфигурации) часто требуют сложного механизма весовых коэффициентов, которые должны быть вручную отбалансированы.

Попытки применения трансферного обучения, столь успешного в других областях компьютерного зрения, к проектированию общественных зданий демонстрируют ограниченную эффективность. Модель, обученная на жилых помещениях, не может быть просто адаптирована к проектированию больниц или школ, поскольку фундаментальные пространственные логики и требуемые связи между помещениями кардинально отличаются. Более перспективным подходом остаётся использование моделей, предобученных на больших многозадачных датасетах архитектурных планировок различных типов, однако созданием такого датасета никто серьёзно не занимался. Попытки создания универсальных моделей обычно приводят к гораздо худшим результатам, чем специализированные модели, обученные на данных конкретного типа функции. Адаптация модели к конкретному региональному нормативу требует либо переобучения на региональных данных, либо добавления модуля проверки соответствия нормам с последующей генерацией корректирующих модификаций, что опять же требует разработки специализированного функционала.

Заключение

Проведённый анализ показывает, что основные сложности заключаются в отсутствии адекватных обучающих датасетов, сложности одновременного представления геометрических и топологических ограничений, необходимости соблюдения множества пересекающихся нормативных требований и проблемах с валидацией качества сгенерированных результатов. Сравнительный анализ существующих архитектур нейронных сетей (условные GAN, графовые нейронные сети, диффузионные модели) демонстрирует, что ни один из подходов в чистом виде не способен решить задачу генерации планировок общественных зданий в полном соответствии с практическими требованиями.

Фундаментальным условием прогресса в этой области является создание открытых, хорошо аннотированных датасетов планировок общественных зданий различных типов и разработка стандартизированных форматов представления архитектурных пространственных данных. Без решения этих проблем развитие специализированных нейросетевых моделей будет ограничено. Полная автоматизация проектирования планировок общественных зданий в ближайшей перспективе маловероятна. Более реалистичным представляется развитие интерактивных инструментов, в которых нейронная сеть выступает вспомогательным инструментом в руках опытного архитектора, генерируя предложения и проверяя соответствие требованиям, но оставляя окончательные решения за человеком. Такой подход позволит сочетать вычислительную мощь искусственного интеллекта с

профессиональным опытом архитектора, преодолевая текущие ограничения методологий глубокого обучения в архитектурном проектировании.

Литература

1. Акшов Э. А. Использование вычислительного проектирования и искусственного интеллекта при моделировании архитектурных объектов // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2023. – № 2(63). – С. 298-315. DOI: 10.24412/1998-4839-2023-2-298-315
2. Алексеев А. М. Использование методов искусственного интеллекта для автоматизации планировки общественных пространств // *Регион искусственного интеллекта: Материалы Всероссийской студенческой научной конференции*. Череповец. 2022. – С. 12-16.
3. Безбородов Д. В., Горячкин К. В., Котлярова Е. В. Использование графических нейросетей в строительной сфере // *Молодой исследователь Дона*. 2025. – № 3. – С. 5-10.
4. Власова Е. Л., Власова М. Л., Боровикова Н. В., Карелин Д. В. Искусственный интеллект в архитектурно-градостроительном проектировании // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2023. – № 4 (65). – С. 311-324. DOI: 10.24412/1998-4839-2023-4-311-324
5. Евтянова Д. В. Искусственные нейронные сети как инструмент стратегического планирования в архитектурном проектировании // *Вестник строительных наук*. 2021. – № 4. – С. 45-58.
6. Иванихина А. А., Золотарева М. В. Генеративные нейросети как инструмент в создании архитектурной концепции // *Системные технологии*. 2024. – № 3 (52). – С. 153-162.
7. Измайлов М. К. Применение искусственного интеллекта для оптимизации рутинных административных задач: возможности, проблемы и перспективы // *Вестник ПГУ. Серия: Экономика*. 2024. – № 4. – С. 395-408.
8. Каушник А. К., Сингх Р., Гупта А. Artificial Neural Network Application in Construction and Building Design: Limitations and Methodological Issues // *Journal of Building Engineering*. 2024. – Vol. 82. – Art. 108456.
9. Левин А. О., Белов Ю. С. Применение модели низкоранговой адаптации для генерации изображений по текстовому описанию совместно с диффузионными моделями // *E-Scio*. 2023. – № 6 (81). – С. 352-360.
10. Мишурицкий В. М. Анализ методов информационного, параметрического и генеративного проектирования // *Строительство: новые технологии - новое оборудование*. 2024. – № 2. – С. 45-52.
11. Максимова С. В., Семина А. Е., Райзих Е. В., Белякова Д. П. Цифровые инструменты для анализа типологии и колористики городской среды // *АМИТ*. 2025. – № 2 (71). – С. 338-351.
12. Маландина Т. В. Опыт использования искусственных нейронных сетей для анализа архитектурного наследия и создания современных планировок // *Вестник архитектурной науки*. 2024. – № 2. – С. 89-103.
13. Офицеров В. А., Конушин А. С. Нейросетевые методы сегментации изображений высокого разрешения // *International Journal of Open Information Technologies*. 2024. – № 6. – С. 57-64.
14. Пичугов П. А., Шабиев С. Г. Методика использования stable diffusion для генерации вариантов фасадных решений на основе искусственного интеллекта // *АМИТ*. 2024. – № 3 (68). – С. 327-338.

15. Прохорова М. П., Кутепова Л. И. Возможности использования нейросетей для подготовки студентов к проектной деятельности // Проблемы современного педагогического образования. 2024. – № 84-2. – С. 309-312.
16. Prokhorov V. Neural network algorithms optimizing the development of residential and public areas // Automation in Construction. 2024. – Vol. 474. – Art. 02037. DOI: 10.1051/e3sconf/202447402037.
17. Regateiro D. F., Beirão J. N., Duarte J. P. Architectural layout design through deep learning and agent-based modeling: A hybrid approach // Journal of Building Engineering. 2022. – Vol. 47. – Art. 103822. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103822.
18. Savkova N. V. Нейросимбиоз архитектора и искусственного интеллекта // Экономика строительства. 2023. – № 7. – С. 69-74.
19. Sokolova A. N., Kozlov D. I. Нейронные сети в проектировании общественных интерьеров: анализ проблем и методических подходов // Архитектура и современные технологии. 2023. – № 4. – С. 123-137.
20. Liu J., Xue Y., Ni H., Yu R., Zhou Z., Huang S. X. Computer-Aided Layout Generation for Building Design: A Review // Computational Visual Media. 2025. – Vol. 11. – № 4. – pp. 677-707. DOI: 10.26599/CVM.2025.9450484.
21. Li J., Zhang Y., Yu Sh., Qin H., Xu Zh. AI-Driven urban planning optimization: A graph neural network and genetic algorithm framework for tackling peak-hour challenges // Sustainable Cities and Society. 2025. – Vol. 126. – Art. 106407. DOI:10.1016/j.scs.2025.106407.
22. Lee H. Y., Lee K. S., Park J. W. Neural Design Network: Graphic Layout Generation with Constraints in Architectural Applications // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2020. – Vol. 31. – № 8. – pp. 2875-2888.
23. Sykam M. V., Reddy B. R., Kumar P. S. Automated Building Layout Generation Through Deep ResNet Architecture for Public Facilities // International Journal of Architectural Computing. 2024. – Vol. 22. – № 1. – pp. 45-62.

References

1. Akshov E. A. The use of computational design and artificial intelligence in modeling architectural objects // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. – № 2(63). – pp. 298-315. DOI: 10.24412/1998-4839-2023-2-298-315
2. Alekseev A. M. The use of artificial intelligence methods for automating the layout of public spaces // Regional Artificial Intelligence: Materials of the All-Russian Student Scientific Conference. Cherepovets. 2022. – pp. 12-16.
3. Bezborodov D. V., Goryachkin K. V., Kotlyarova E. V. The use of graph neural networks in the construction sector // Young Researcher of the Don. 2025. – № 3. – pp. 5-10.
4. Vlasova E. L., Vlasova M. L., Borovikova N. V., Karelin D. V. Artificial intelligence in architectural and urban planning design // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. – № 4(65). – pp. 311-324. – DOI: 10.24412/1998-4839-2023-4-311-324
5. Evtyanova D. V. Artificial Neural Networks as a Tool for Strategic Planning in Architectural Design // Bulletin of Construction Sciences. 2021. – № 4. – pp. 45-58.

6. Ivanikhina A. A., Zolotareva M. V. Generative Neural Networks as a Tool in Creating an Architectural Concept // *System Technologies*. 2024. – № 3 (52). – pp. 153-162.
7. Izmailov M. K. Application of Artificial Intelligence for Optimization of Routine Administrative Tasks: Opportunities, Problems, and Prospects // *PSUE Bulletin. Series: Economics*. 2024. – № 4. – pp. 395-408.
8. Kaushnik A. K., Singh R., Gupta A. Artificial Neural Network Application in Construction and Building Design: Limitations and Methodological Issues // *Journal of Building Engineering*. 2024. – Vol. 82. – Art. 108456.
9. Levin A. O., Belov Yu. S. Application of a low-rank adaptation model for image generation from textual description together with diffusion models // *E-Scio*. 2023. – № 6 (81). – pp. 352-360.
10. Mishurinsky V. M. Analysis of informational, parametric, and generative design methods // *Construction: New Technologies - New Equipment*. 2024. – № 2. – pp. 45-52.
11. Maksimova S. V., Semina A. E., Rayzikh E. V., Belyakova D. P. Digital tools for analyzing the typology and coloristics of the urban environment // *AMIT*. 2025. – № 2 (71). – pp. 338-351.
12. Malandina T. V. Experience in using artificial neural networks to analyze architectural heritage and create modern layouts // *Journal of Architectural Science*. 2024. – № 2. – pp. 89-103.
13. Ofitserov V. A., Konushin A. S. Neural network methods for high-resolution image segmentation // *International Journal of Open Information Technologies*. 2024. – № 6. – pp. 57-64.
14. Pichugov P. A., Shabiev S. G. Methodology for using stable diffusion to generate facade design options based on artificial intelligence // *AMIT*. 2024. – № 3 (68). – pp. 327-338.
15. Prokhorova M. P., Kutepova L. I. The possibilities of using neural networks to prepare students for project activities // *Problems of Modern Pedagogical Education*. 2024. – № 84-2. – pp. 309-312.
16. Prokhorov V. Neural network algorithms optimizing the development of residential and public areas // *Automation in Construction*. 2024. – Vol. 474. – Art. 02037. – DOI: 10.1051/e3sconf/202447402037.
17. Regateiro D. F., Beirão J. N., Duarte J. P. Architectural layout design through deep learning and agent-based modeling: A hybrid approach // *Journal of Building Engineering*. 2022. – Vol. 47. – Art. 103822. – DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103822.
18. Savkova N. V. Neuro-symbiosis of the Architect and Artificial Intelligence // *Construction Economics*. 2023. – № 7. – pp. 69-74.
19. Sokolova A. N., Kozlov D. I. Neural Networks in Public Interior Design: Analysis of Problems and Methodological Approaches // *Architecture and Modern Technologies*. 2023. – № 4. – pp. 123-137.
20. Liu J., Xue Y., Ni H., Yu R., Zhou Z., Huang S. X. Computer-Aided Layout Generation for Building Design: A Review // *Computational Visual Media*. – 2025. – Vol. 11. – № 4. – pp. 677-707. – DOI: 10.26599/CVM.2025.9450484.
21. Li J., Zhang Y., Yu Sh., Qin H., Xu Zh. AI-Driven Urban Planning Optimization: A Graph Neural Network and Genetic Algorithm Framework for Tackling Peak-Hour Challenges // *Sustainable Cities and Society*. – 2025. – Vol. 126. – Art. 106407. – DOI:10.1016/j.scs.2025.106407.

22. Lee H. Y., Lee K. S., Park J. W. Neural Design Network: Graphic Layout Generation with Constraints in Architectural Applications // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2020. – Vol. 31. – № 8. – pp. 2875-2888.

23. Sykam M. V., Reddy B. R., Kumar P. S. Automated Building Layout Generation Through Deep ResNet Architecture for Public Facilities // International Journal of Architectural Computing. 2024. – Vol. 22. – № 1. – pp. 45-62.

Пичугов П.А.

Аспирант кафедры «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

E-mail: pashkesp@ya.ru

Pichugov P.A.

Postgraduate student of the Department of Architecture, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

E-mail: pashkesp@ya.ru