АРХИТЕКТОН
ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
Архитектон: известия вузов № 1 (93) / март 2026 / ISSN 1990–4126
URL: http://archvuz.ru/2026_1/7
ТЕОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТА В МНОГОЭТАЖНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

Ван Яцзин,

аспирант кафедры архитектуры, реставрации и дизайна,
Научный руководитель: доктор архитектуры, профессор О.В. Воличенко,
Инженерная академия,
Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы,
Россия, Москва, e-mail: san.w9761@yandex.ru

Воличенко Ольга Владимировна,

доктор архитектуры, профессор,
НИУ Московский государственный строительный университет,
Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы,
Россия, Москва, e-mail: volichenko-ov@rudn.ru

УДК: 728.1
Шифр научной специальности: 2.1.12
DOI: 10.47055/19904126_2026_1(93)_7
EDN: HPUJIC
Тип статьи: RAR Научная

Аннотация

Тепловой комфорт в жилых зданиях представляет собой критически важный параметр для оценки качества жилой среды и ее устойчивости, оставаясь актуальным предметом научных изысканий. В настоящей статье систематизируются и анализируются специализированные подходы к оптимизации теплового комфорта на территориях жилых комплексов и в жилых помещениях с учетом разнообразия климатических регионов. На основе сравнительного анализа типовых проектов жилой застройки китайского и другого международного опыта исследование структурировано по четырем климатическим типам: тропическому, субтропическому, умеренному и холодному. Анализ осуществляется на двух уровнях пространственной организации: в масштабе микрорайона и в масштабе отдельного здания. В фокусе внимания находится сравнительная оценка ключевых архитектурно-градостроительных и инженерно-технических элементов: ориентация здания, объемно-планировочное решение, теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, системы внешнего затенения и естественной вентиляции, интеграция озелененных пространств и водных объектов, а также применение технологий на основе возобновляемых источников энергии.

В результате исследования определены климатически обусловленные приоритеты внедрения и синергетические методы комбинирования указанных стратегий. Разработана обобщающая схема, устанавливающая корреляцию между климатическими условиями, применяемыми методами и их проектными воплощениями. Данная схема формулирует стратегические рекомендации по комплексному применению методов и базовые принципы их адаптации, предоставляя основу для климатически ответственного проектирования жилой среды.

Ключевые слова:

тепловой комфорт, жилые здания, климатически адаптивное проектирование, устойчивая архитектура, сравнительный анализ, микрорайон, энергоэффективность, пассивные методы

COMPARISON OF STRATEGIES FOR OPTIMIZING THERMAL COMFORT IN RESIDENTIAL BUILDINGS UNDER DIFFERENT CLIMATES

Wang Yajing,

Doctoral student, Department of Architecture, Restoration and Design,
Research supervisor: Professor O.V. Volichenko, Doctor of Architecture,
Academy of Engineering, RUDN University,
Russia, Moscow, e-mail: san.w9761@yandex.ru

Volichenko Olga V.,

DSc. (Architecture) Professor,
Moscow State University of Civil Engineering,
RUDN University,
Russia, Moscow, e-mail: volichenko-ov@rudn.ru

УДК: 728.1
Шифр научной специальности: 2.1.12
DOI: 10.47055/19904126_2026_1(93)_7
EDN: HPUJIC
Type: RAR Scientific

Abstract

Thermal comfort in residential buildings is a critically important parameter for assessing the quality and sustainability of the living environment, remaining a relevant subject of scientific research. This article systematizes and analyzes specialized approaches to optimizing thermal comfort in residential spaces, taking into account the diversity of climatic regions.

Based on a comparative analysis of typical residential development projects and both Chinese and international experiences, the study is structured around four climatic types: tropical, subtropical, temperate, and cold. The analysis is conducted at two levels of spatial organization: at the neighborhood scale and at the individual building scale.

The focus is on a comparative assessment of key architectural urban planning and engineering technical elements: building orientation; spatial planning solutions; thermal performance characteristics of building envelopes; external shading and natural ventilation systems; integration of green spaces and water features; application of technologies based on renewable energy sources.

The study identifies climatically determined implementation priorities and synergistic methods for combining these strategies. A comprehensive scheme has been developed that establishes a correlation between climatic conditions, applied methods, and their design implementations.

This scheme formulates strategic recommendations for the integrated application of methods and basic principles for their adaptation, providing a foundation for climate responsive design of residential environments.

Keywords:

thermal comfort, residential buildings, climate adaptive design; sustainable architecture, comparative analysis; neighborhood (microdistrict), energy efficiency, passive design methods

Введение

Повышение уровня урбанизации в глобальном масштабе (с 54% на настоящее время до прогнозируемых 66% к 2050 г. [1]) актуализирует задачу формирования комфортной тепловой среды на всех уровнях городской структуры. Научный интерес к данной проблеме обусловлен комплексным воздействием тепловых условий не только на комфорт помещений или от-

крытых пространств, но и влиянием на общественное здоровье, экономические показатели и рекреационную активность населения [2, 3]. Кроме того, формирование антропогенной тепловой среды является значимым фактором, вносящим вклад в процессы глобального потепления [4]. Наиболее остро эти взаимосвязанные вызовы проявляются в условиях тропических регионов, которые характеризуются высокими темпами урбанизационного роста [5].

Формирование тепловой среды в жилых кварталах представляет собой сложный процесс, детерминированный совокупностью проектных параметров, включая планировочную структуру, архитектурную морфологию и тип покрытий поверхностей. Воздействие этих параметров на микроклимат носит выраженную климатическую специфику [6]. Современные исследования эволюционируют от качественных описаний к количественному моделированию. Например, с применением вычислительной гидродинамики (CFD), стало возможным проводить детальную оценку влияния проектных решений на локальный тепловой комфорт. «Существует прямая зависимость между качеством микроклимата современных зданий и их энергосберегающим потенциалом, позволяющим минимизировать затраты на энергию, отопление, водоснабжение и т. п.» [7].

Ключевыми управляемыми факторами регулирования тепловой среды выступают: параметры озеленения (*количество, видовой состав, пространственная конфигурация*) [8–10], а также пространственные и теплофизические характеристики застройки (*плотность, высотность, группировка зданий, альбедо и теплопроводность материалов*) [11–13]. Их комплексное воздействие осуществляется через модификацию радиационного баланса, трансформацию воздушных потоков и изменение режимов теплопередачи. Например, Fazia отмечает, что температуры поверхностей зданий, ориентированных на юг и запад, как правило, выше, чем у зданий, ориентированных на восток и север [14].

Влияние отдельных факторов, например ориентация зданий, было достаточно глубоко изучено, тогда как роль плотности застройки все еще остается дискуссионной. Одни исследования утверждают, что высокая плотность повышает локальные температуры и ослабляет ветровой режим [15], другие же доказывают, что более плотная застройка может снижать площадь наружных ограждающих поверхностей и тем самым повышать энергоэффективность, что на макроуровне способно приводить к более благоприятным тепловым условиям [16]. Таким образом, необходим контекстно-зависимый, климатически ориентированный анализ для определения оптимальных комбинаций проектных параметров, направленных на обеспечение устойчивой и комфортной тепловой среды.

В целом существующие исследования преимущественно концентрируются на анализе влияния отдельных проектных параметров или на изучении теплового режима в конкретные сезоны. При этом систематическое сопоставление комплексных стратегий, реализованных в построенных жилых районах в различных климатических условиях, представлено в недостаточной мере. Таким образом, актуальной задачей является формирование межклиматической сравнительной аналитической рамки, основанной на типологии проектных элементов, для обобщения накопленного опыта в систему переносимых и практически применимых проектных принципов, направленных на оптимизацию теплового комфорта жилой среды в разных климатических зонах.

Цель исследования – провести сопоставительный анализ реализованных объектов жилой застройки в различных климатических условиях для оценки и систематизации архитектурно-планировочных стратегий обеспечения теплового комфорта.

Новизной является предложенный межклиматический сравнительно-типологический метод, позволяющий выявить системные связи между параметрами климата и архитектурно-плани-

ровочными решениями на уровне реализованных объектов, обобщая практику в виде пространственных закономерностей.

Методы исследования

В работе применяется комплекс методов, включающий системный анализ литературы, сравнительный анализ проектных кейсов и синтетическую аналитическую обработку данных. На первом этапе систематизированы теоретические основы и исследовательские подходы в области теплового комфорта жилых зданий, климатоадаптивного проектирования и соответствующих пространственно-конструктивных стратегий. В качестве объектов для сравнительного анализа были отобраны реализованные проекты жилых зданий, расположенных в различных климатических зонах. Рассматриваемые жилые проекты преимущественно относятся к периоду с начала 2000-х до 2020-х гг., что соответствует этапу активного развития климатоориентированной и энергоэффективной жилой архитектуры. Выбор данного временного диапазона обусловлен сопоставимостью проектных подходов и актуальностью применяемых архитектурно-планировочных и инженерных решений. Исследование проводилось по следующим ключевым аспектам:

• архитектурно-планировочная и объемно-пространственная организация;

• характеристики ограждающих конструкций и применяемые материальные системы;

• решения по внешней солнцезащите и организации естественной вентиляции;

• интеграция озелененных пространств и водных объектов;

• формирование вентиляционных коридоров на уровне микрорайона.

Результаты и обсуждение

В процессе исследования проведен сравнительный анализ жилых комплексов, реализованных в тропических, субтропических, умеренных и холодных климатических зонах. Установлено, что архитектурно-планировочные решения демонстрируют закономерную трансформацию по мере перехода от тропических к холодным условиям. Ключевые параметры – ориентация зданий, структурирование ветровых потоков, схемы естественной вентиляции, солнцезащитного экранирования, озеленения и теплотехнические характеристики ограждений – рассмотрены не изолированно, а как система взаимосвязанных приемов, совместно регулирующих тепловой комфорт на уровне жилой застройки.

В тропическом регионе устойчиво высокая температура и влажность на протяжении всего года определяют приоритетные задачи при проектировании жилой архитектуры, смещая акценты с теплоизоляции на охлаждение и обеспечение эффективной вентиляции. При длительном сохранении высоких температур и при низкой суточной амплитуде тепло не может естественным образом рассеиваться ночью, поэтому необходимо:

– использовать пространственно-планировочные решения, снижающие перегрев помещений и обеспечивающих их естественное проветривание;

– оптимизировать вентиляционные маршруты;

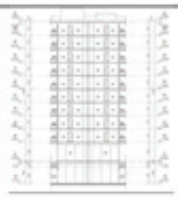
– обеспечить контроль за тепловым режимом ограждающих конструкций для предотвращения перегрева и влажностного дискомфорта.

В стратегиях генеральной планировки и ориентации зданий Триилодж и Пунгол (Treelodge@Punggol, Сингапур) и жилого комплекса Хайкоу Цзяндун (Хайнань, Китай)

(табл. 1, 2), расположенных в зонах с типичным тропическим климатом учтены направления преобладающих ветров.

Таблица 1

Жилые комплексы в тропическом климате

Тропический климат				
Название	*Общий вид*	*План*	*Генплан*	*Разрез*
Treelodge@ Punggol, Сингапур, 2010				
Хайкоу Цзяндун, Хайнань, Китай, 2022				

Жилой комплекс Treelodge@Punggol в Сингапуре служит примером архитектурно-планировочной адаптации к условиям тропического муссонного климата. Ориентация комплекса вдоль оси СЗ–ЮВ не создает сплошного барьера для господствующих муссонов (северо-восточных и юго-западных). Благодаря этому воздушные потоки свободно пронизывают его планировочную структуру, обеспечивая сквозное проветривание. Преимущественная ориентация фасадов на север и юг является ответом на характерную для тропиков высокую траекторию солнца. Такое решение минимизирует прямое попадание низкого утреннего и вечернего солнечного излучения на основные плоскости зданий, существенно снижая теплопоступления через ограждающие конструкции. Таким образом, проектные решения комплекса демонстрируют интегрированный подход, при котором ориентация, планировочная структура и объемное решение работают как единая система для пассивного регулирования микроклимата, обеспечивая тепловой комфорт за счет усиленной естественной вентиляции и солнцезащиты.

Таблица 2

Анализ теплового комфорта жилых комплексов в тропическом климате

Тропический климат				
Название	*Ориентация здания*	*Вентиляция из внешней среды*	*Внутренняя вентиляция*	*Анализ озеленения*
Treelodge@ Punggol, Сингапур, 2010				
Хайкоу Цзяндун, Хайнань, Китай, 2022				

В жилом комплексе Хайкоу Цзяндун в г. Хайнань летом преобладают юго-восточные ветры, зимой северо-восточные. Композиция расположения зданий комплекса формирует высокий внешний контур и низкий внутренний: по периметру размещается высотная застройка, а внутри более низкая – вдоль крупных водных акваторий. Такой перепад высот и открытые пространства усиливают приток, накопление и прохождение воздушных потоков. Отдельные корпуса ориентированы вдоль направления Ю-В – С-З, что согласуется с розой ветров и снижает перегрев западных фасадов, обеспечивая баланс между вентиляцией и контролем солнечной радиации [18].

Конфигурация проемов и организация вентиляционных потоков планировки в Treelodge@Punggol характеризуется высоким коэффициентом открытости. Окна квартир ориентированы на южную и северную стороны, благодаря чему формируется сквозной вентиляционный путь, позволяющий потокам воздуха свободно проходить через внутренние пространства и обеспечивать стабильную перекрестную вентиляцию. Таким образом, циркуляция воздуха происходит не только внутри отдельных корпусов, но и на уровне всего комплекса, формируя управляемую аэродинамическую сеть воздушных потоков [16].

В жилом комплексе Хайкоу Цзяндун особое внимание уделено организации сквозного проветривания в направлении С – Ю. С целью усиления горизонтального и вертикального воздухообмена в зданиях были увеличены балконы, разработаны открытые входные узлы, а также предусмотрены крупные пространства в стилобатных этажах [17]. Стратегия взаимодействия микроклимата и воздушных потоков удачно реализована в этом проекте, обеспечивая комфортное пребывание жителей в условиях повышенной влажности в летний период. Высотный перепад между корпусами, пониженная центральная зеленая зона жилого комплекса и непрерывная система водных элементов направляют движение воздушных масс и способствуют эффективному выводу теплого и влажного воздуха, повышая общую вентиляционную эффективность комплекса.

Солнцезащита и внешние системы теплового контроля, снижающие приток солнечной радиации в анализируемых проектах, рассматриваются как основа пассивного охлаждения в тропическом климате.

В здании Treelodge@Punggol основную роль играет комплекс солнечных экранов, включающий глубокие балконы, систему горизонтальной солнцезащиты и фрагменты вертикального озеленения, встроенные в фасад [16]. Подобная комбинация снижает воздействие прямой радиации при высоком солнцестоянии и уменьшает второй тепловой поток от нагретых стен в помещение. Вертикальное озеленение и встроенные посадочные желоба дополнительно снижают температуру поверхности за счет испарения влаги, что увеличивает общую эффективность теплового контроля наружной оболочки (рис. 1).



Рис. 1. Солнцезащита и внешние системы теплового контроля в Treelodge@Punggol. – URL: https://stackedhomes.com/treelodgepunggol-review/#sh.ky9ns7; Солнцезащита и внешние системы теплового контроля в жилом комплексе Хайкоу Цзяндун. – URL: https://clck.ru/3QgCtF

В жилом комплексе Хайкоу Цзяндун больший акцент делается на структурное управление солнечной радиацией. Формирование расширенной зоны тени и снижение воздействия солнечных лучей (благодаря низкому углу их падения на фасад здания) обеспечивается за счет *увеличения вылетов кровли, глубокой балконной зоны, вертикальных солнцезащитных элементов и каскадных террас.* Использование двухслойного остекления и облегченной ограждающей системы уменьшает поглощение излучения и интенсивность теплопередачи, из-за чего скорость нагрева наружных стен существенно снижается [17].

Ландшафтное озеленение и система водных объектов играют роль важного механизма микроклиматического регулирования, примененного в обоих проектах (рис. 2).



Рис. 2. Озеленение в Treelodge@Punggol. – URL: https://elmich.com/asia/tree2/; Озеленение в жилом комплексе Хайкоу Цзяндун. – URL: https://clck.ru/3QgCtF

В Treelodge@Punggol создается многоуровневая экосистема при помощи вертикального озеленения, садов на кровле, зеленых дворов и ландшафтных водоемов. Испарение и транспирация формируют локальный охлаждающий эффект в жилом комплексе.

В комплексе Хайкоу Цзяндун в Китае используется сочетание крупных водных поверхностей, множества мелких водно-болотных прудиков, многоярусного озеленения, состоящего из деревьев, кустарников и разнообразных трав. Это формирует продольную ландшафтную ось комплекса, а в совокупности с направлением муссонных ветров усиливает охлаждение воздуха, стабилизирует влажность и задает основное направление воздушных потоков. Испарительное охлаждение водоемов и транспирация растительности формируют устойчивую тепловую буферную зону в условиях повышенной влажности и обеспечивают совместную работу архитектурной и природной системы в качестве микроклиматического регулятора.

Субтропический климат характеризуется жарким, влажным летом и мягкой зимой. Положение солнца в течение года в этом климате существенно меняется – лето характеризуется интенсивной солнечной радиацией, а зимой сохраняется умеренная солнечная активность. Поэтому жилые здания в таких условиях требуют соблюдения баланса между естественным освещением и использованием солнцезащитных устройств, а также обеспечения устойчивой циркуляции воздуха на протяжении всего года и снижения перепадов эксплуатационных свойств между перегревом в летний период и недостаточной вентиляцией зимой.

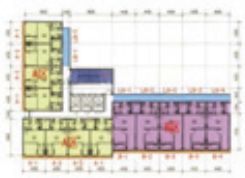
Здание One Central Park в Сиднее и жилой комплекс Лун юэ цзюй в Шэньчжэне (табл. 3, 4) находятся в зоне типичного субтропического климата, однако различаются по градостроительному контексту, плотности застройки и техническим приоритетам.

Особенности планировки и ориентации. Архитектурное решение комплекса One Central Park характеризуется уникальной композицией, состоящей из двух высотных зданий, соединенных стилобатом. Пространство между башнями организовано как открытый атриум, выполняющий функцию естественной вентиляции. Основной объем расположен в направлении С-З – Ю-В, тем самым формируя центральный вентиляционный коридор, позволяющий естественному воздуху проникать в комплекс с нижних участков, поднимаясь постепенно в пространстве между двумя башнями [18], снижая тем самым сопротивление воздушных потоков и уменьшая эффект теплового барьера, характерный для плотной городской застройки.

В процессе проектирования, с учетом особенностей инсоляции в условиях южного полушария и требований теплового контроля, основные светопрозрачные фасады ориентированы на южный и юго-восточный секторы. Такое решение позволяет обеспечить устойчивое естественное освещение и избежать избыточного солнечного воздействия, способствуя получению необходимого пассивного солнечного тепла в зимний период при одновременном снижении тепловой нагрузки в летнее время. Параллельно тенеобразующая функция самих корпусов, а также использование уступчатых планировочных решений помогает минимизировать перегрев приземного слоя воздуха. Данный комплекс мер направлен на достижение баланса между обеспечением необходимой естественной освещенности и снижением тепловой нагрузки в теплый период года.

Таблица 3

Жилые комплексы в субтропическом климате

Субтропический климат				
Название	*Общий вид*	*План*	*Генплан*	*Разрез*
One Central Park, Австралия, 2014				
Лун юэ цзюй, Китай, 2010				

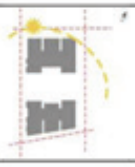
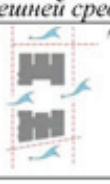
В жилом комплексе Лун юэ цзюй в Шэньчжэне здания формируют последовательную линейную структуру, ориентированную на Ю-З – С-В, образуя многорядный параллельный фронт, который действует как непрерывный ветровой коридор. Летний юго-восточный муссон свободно проходит через открытый нижний уровень застройки, беспрепятственно пересекая квартал и улучшая тем самым естественную вентиляцию. В зимний период преобладает северный ветер. Для снижения его негативного воздействия между корпусами оставляли такие интервалы, которые, создавая воздушные каналы, в то же время позволяли холодным потокам рассредоточиваться в пространстве, а не концентрироваться в узких уличных каньонах.

Форма проемов и организация вентиляционных потоков. Квартиры в жилом комплексе One Central Park в основном не имеют сквозной двусторонней вентиляции, движение воздуха в них формируется за счет односторонних или боковых проемов. Эффективность вентиляции в боль-

шей степени обусловлена внешним давлением ветра, работой озелененных воздушных террас и ветровых коридоров между башнями, чем сквозной проницаемостью самих квартирных единиц. Центральная открытая зона, сохраненная между двумя башнями, а также пространство между башнями и стилобатной частью создают двигательный импульс для формирования потоков воздуха. Ветер, входя на низком уровне участка, поднимается вдоль межбашенных зазоров, распределяясь затем по всем уровням уступчатых террас, воздушных садов и растительных каркасов. Благодаря этому даже квартиры с односторонней ориентацией получают устойчивый воздухообмен. Данное пространственное решение компенсирует отсутствие двустороннего оконного раскрытия в большинстве квартир, расположенных на разных уровнях многоэтажных башен.

Таблица 4

Анализ теплового комфорта жилых комплексов в субтропическом климате

Субтропический климат				
Название	*Ориентация здания*	*Вентиляция из внешней среды*	*Внутренняя вентиляция*	*Анализ озеленения*
One Central Park, Австралия, 2014				
Лун юэ цзюй, Китай, 2010				

В жилом комплексе Лун юэ цзюй в Шэньчжэне решения квартир имеют более компактную планировку, с преимущественной ориентацией их север-юг. Доля площади оконных проемов в зданиях также относительно высока, что в целом обеспечивает достижимость базовой естественной вентиляции. Большая открытая площадь на уровне первого этажа вместе с внутренними вентиляционными шахтами атриума служат узлами распределения воздушных потоков [20]. В результате естественный ветер, перераспределяясь по территории всего комплекса, повторно поступает на жилые этажи зданий, обеспечивая постоянный воздухообмен.

В отличие от многоуровневой схемы вентиляции One Central Park, построенной на сочетании нескольких способов ее организации, Лун юэ цзюй демонстрирует стратегию с высокой адаптивностью даже в условиях низкой технологичности, что делает ее более применимой для строительства крупномасштабного социального жилья в субтропическом климатическом поясе, соответствуя всем экологическим нормам и требованиям. Солнцезащита и тепловой контроль оболочки зданий жилого комплекса One Central Park формируют многослойную систему регулирования солнечной энергии при помощи солнечных отражающих зеркал гелиостата и фиксированных зеркальных поверхностей (heliostat and fixed-mirror array), а также зеленых фасадов и заглубленных балконов (рис. 3) [19].

Подвижные зеркала на кровле, поворачиваясь вслед за солнцем, перенаправляют его лучи на расположенные ниже фиксированные зеркальные панели, после чего отраженный свет поступает в атриум и на все уровни многоэтажных корпусов, обеспечивая естественную освещенность открытых пространств даже в затененных местах. Одновременно растительные фасадные панели и посадочные желоба образуют крупномасштабный вертикальный слой озе-

ленения. Затенение систем испарительного охлаждения и регулирование влажности на поверхности наружных стен помогает снизить перегрев и теплопередачу ограждающих конструкций, обеспечивая тем самым совокупный эффект понижения солнечной радиационной нагрузки, но сохранив все преимущества естественного освещения.



Рис. 3. Солнцезащита и внешние системы теплового контроля в One Central Park. – URL: https://clck.ru/3Qgi2J; Солнцезащита и внешние системы теплового контроля в жилом комплексе Лун юэ цзюй [20]

По сравнению с этим в жилом комплексе Лун юэ цзюй Шэньчжэнь решение фасадов декларирует экономичную воспроизводимость и простоту эксплуатации (рис. 3). Для снижения радиационной тепловой нагрузки применяется комплексный подход, включающий использование светоотражающих стеклопакетов, балконных плит и горизонтальных выносов. Эти элементы уменьшают прямое проникновение солнечной радиации и увеличивают площадь затенения фасада, способствуя пассивному охлаждению здания. Физической основой пассивного охлаждения здания служит минимизация радиационного воздействия и снижение нежелательной теплопередачи. Реализация этого принципа позволяет достичь стабильного уровня теплового комфорта при сохранении экономической эффективности строительства [20].

Таким образом, проекты демонстрируют два различных подхода: One Central Park реализует модель техногенной интеграции с активным управлением световыми и тепловыми потоками, в то время как в проекте Лун юэ цзюй применена низкоэнергетическая, минимально интервенционная и масштабируемая пассивная стратегия снижения тепловой нагрузки.

Применяемые методы озеленения в анализируемых проектах также имеют существенные различия (рис. 4).

В жилом комплексе One Central Park формируется пространственная трехмерная зеленая структура за счет вертикальных зеленых стен, воздушных садов и продуманной экосистемы озеленения кровли стилобата, в котором расположены помещения общественного назначения. Растительность не только создает затенение наружных поверхностей здания, но и снижает температуру фасадных слоев благодаря испарению влаги, а также формирует динамику воздушных потоков в прилегающем пространстве.

В жилом комплексе Лун юэ цзюй (Шэньчжэнь) экологическая стратегия формируется на основе трехуровневой системы озеленения: крупных центральных зеленых массивов, непрерывных наземных растительных коридоров и частичного озеленения кровель. Основная функция данной системы заключается в обеспечении затенения и снижении температуры приземного слоя воздуха посредством испарительного охлаждения. Указанные меры интегрированы в про-

странственную структуру высокоплотной жилой застройки, создавая тем самым рамочные условия для смягчения эффекта городского теплового острова на территории микрорайона.



Рис. 4. Вертикальное озеленение восточного и северного фасада One Central Park. – URL: https://clck.ru/3Qgi2J; Озеленение в жилом комплексе Лун юэ цзюй в Шэньчжэне [20]

Умеренный климат характеризуется отчетливо выраженной сменой сезонов, теплым влажным летом и холодной сухой зимой. Существенные суточные и сезонные амплитуды температур, а также значительные годовые изменения высоты солнца предъявляют к жилым зданиям комплексные требования: они должны эффективно предотвращать теплопотери в холодный период, минимизировать перегрев в теплый сезон, обеспечивая при этом стабильное качество воздушной среды и эффективность естественного освещения без существенных сезонных колебаний. Следовательно, базовые стратегии обеспечения теплового комфорта в данных условиях формируются вокруг разработки сбалансированных комбинаций решений по теплоизоляции, солнцезащите, организации естественной вентиляции и повышению энергоэффективности ограждающих конструкций. Жилые дома Dockside Green в Виктории (Канада) и низкоэнергетический жилой комплекс в Пекине (Китай) (табл. 5, 6) расположены в зоне умеренного климата.

Характеристика планировочной структуры. Dockside Green расположен в прибрежной зоне, с преобладающей низкой плотностью городской застройки и наличием больших открытых пространств. Здания образуют свободные группы, связанные между собой зелеными бульварами, водными пространствами и открытыми пешеходными маршрутами. Благодаря этому прибрежный бриз может свободно проникать на территорию, создавая устойчивый воздухообмен в жилых кварталах, одновременно обеспечивая летнюю вентиляцию и зимнюю инсоляцию. Ориентация зданий не подчинена жесткой направленности на юг, но в целом следует береговой линии. Такое расположение позволяет большинству фасадов получать стабильное

естественное освещение и не препятствует движению воздушных потоков, обеспечивая проветриваемость внутридворовых пространств. В летний период испарительное охлаждение водной акватории и воздушные коридоры между корпусами снижают скорость теплового накопления у поверхности земли, стабилизируя микроклимат жилой среды.

Таблица 5

Жилые комплексы в умеренном климате

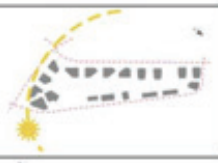
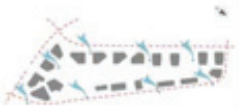
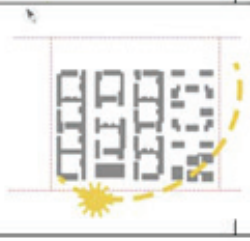
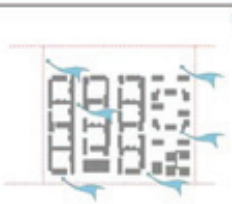
Умеренный климат				
Название	*Общий вид*	*План*	*Генплан*	*Разрез*
Dockside Green, Канада, 2009				
Низкоэнергетический жилой комплекс, Китай, 2020				

Сверхнизкоэнергетический жилой комплекс в Пекине расположен в более континентальном умеренном климате. Повышение тепловой эффективности обеспечивается усилением теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций, что приводит к снижению тепловых потерь в зимний период и уменьшает потребность в отоплении. Объемы зданий образованы компактной, иногда частично замкнутой планировкой. Такая форма позволяет сохранять доступ к солнечной радиации с южной стороны, одновременно уменьшая площадь ветрового воздействия и теплопередачи зимой. Данная планировочная схема направлена на снижение зимних энергетических затрат и повышение эффективности отопления, поддерживая низкий уровень теплопотерь и обеспечивая комфортный тепловой режим в холодный период [21].

Организация вентиляционных путей и стратегии открываний. В проекте Dockside Green реализован сбалансированный подход к соотношению площади остекления и глухих стен, дополненный системой вентиляционных проемов, обеспечивающей сезонную естественную вентиляцию. Летний ветер поступает в жилые помещения по направлению прибрежного воздушного коридора и через разрывы между зданиями. Испарительное охлаждение озелененных пространств снижает температуру окружающей среды и придает воздушным потокам определенный охлаждающий потенциал. Зимой, в предотвращении теплопотерь, основную роль играет система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла, позволяющая поддерживать высокое качество воздуха внутри помещений [22]. Естественная вентиляция, используемая преимущественно в переходные сезоны, имеет регулируемое, а не круглогодичное применение.

Таблица 6

Анализ теплового комфорта жилых комплексов в умеренном климате

Умеренный климат				
Название	*Ориентация здания*	*Вентиляция из внешней среды*	*Внутренняя вентиляция*	*Анализ озеленения*
Dockside Green, Канада, 2009				
Низкоэнергетический жилой комплекс, Китай, 2020				

Жилой комплекс в Пекине значительно сильнее ориентирован на сохранение тепла зимой. Наружные окна с двойным остеклением обладают повышенной воздухонепроницаемостью, что снижает тепловые потери в холодный период [23]. Необходимый воздухообмен обеспечивается системой приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла. Естественная вентиляция применяется главным образом весной и осенью, повышая подвижность воздушных масс и уменьшая эксплуатационные энергозатраты. В зимний сезон качество воздуха внутри помещений поддерживается преимущественно механическими системами, а естественная вентиляция не выполняет постоянную теплообменную функцию. Таким образом, система вентиляции демонстрирует приоритет энергосбережения с целью стабилизации отопительной нагрузки и снижения эксплуатационных затрат, а не круглогодичную зависимость от наружной ветровой среды.

В организации **систем солнцезащиты и теплового контроля фасадов** проекты демонстрируют заметные различия в технических подходах. Dockside Green расположен в умеренном океаническом климате, где годовые перепады температуры невелики. Летом необходима защита от прямой солнечной радиации под высоким углом, а зимой требуется обеспечить стабильную инсоляцию помещений для компенсации теплопотерь, связанных с влажными и прохладными условиями. Поэтому при решении фасадов ориентировались на повышение коэффициента естественного освещения, применив солнцезащитные устройства незначительной глубины. Наружные стены по преимуществу окрашены в светлые тона, а озеленение кровли и растительность на земле снижают скорость накопления тепла на стеновых поверхностях. Таким образом, ограждающая система формирует баланс между защитой от солнца и доступностью естественного освещения (рис. 5).

В жилом комплексе в Пекине, расположенном в континентальном умеренном климате с продолжительной холодной зимой, основное внимание уделяется сокращению тепловых потерь и ограничению проникновений солнечного тепла. Наружные стены выполнены из теплоизолированных сэндвич-панелей с применением высокоэффективных оконных систем. На фасадах предусмотрены регулируемые солнцезащитные элементы, позволяющие изменять уровень затенения в зависимости от времени года [23]. Летом горизонтальные экраны и локальные элементы защиты уменьшают проникновение прямой радиации, зимой же солнечный свет используется как дополнительный источник тепла, снижая потребность в отоплении. Теплоизолирующая оболочка замедляет отдачу тепла из внутренних помещений, обеспечивая стабильность теплового режима даже в холодный период.



Рис. 5. Солнцезащита и внешние системы теплового контроля в Dockside Green. – URL: https://www.docksidegreen.com/; Солнцезащита и внешние системы теплового контроля в пекинском сверхнизкоэнергетическом жилом комплексе. URL: https://gclnk.com/JdDVSDzu

Система озеленения в Dockside Green формирует непрерывную микроклиматическую сеть на основе сопряжения озелененных пространств и водоемов, включая прибрежный экологический коридор, дождевые пруды, растительный покров на кровлях и уличных территориях [22]. Летом зеленые насаждения и водоемы снижают температуру участка при помощи затенения и испарительного охлаждения, а также улучшают горизонтальную доступность воздушных потоков. Зимой вечнозеленые насаждения и водно-болотные почвенные слои уменьшают проникновение холодного ветра и тепловые потери, благодаря чему зеленая зона перестает быть исключительно источником охлаждения, а начинает функционировать как сезонный буфер.

В условиях умеренного континентального климата Пекина стратегия озеленения жилого комплекса направлена на решение двух взаимосвязанных задач: сокращение энергопотребления на кондиционирование и регулирование температуры поверхностей. Для этого создана интегрированная система, включающая центральные озелененные дворы (атриумы), линейные посадки уличных деревьев и частичное озеленение кровель. Эти элементы формируют непрерывный затеняющий покров, который эффективно снижает теплопритоки за счет уменьшения нагрева площадок с твердым покрытием и блокирования прямой солнечной радиации через светопрозрачные ограждения. В отличие от Dockside Green, где водно-растительная структура обеспечивает широкомасштабное регулирование микроклимата территория пекинского проекта демонстрирует преимущественно локальное воздействие с акцентом на охлаждение приземного слоя воздуха и фасадных поверхностей (рис. 6).

Холодный климат характеризуется продолжительным зимним периодом, устойчиво низкими температурами, воздействием холодных ветров и дефицитом солнечной инсоляции. В данных условиях доминирующая стратегия обеспечения теплового комфорта в жилых зданиях смещается от задач пассивного охлаждения в сторону активного сохранения тепла, аккумулирования энергии и минимизации теплопотерь. В виду ограниченности солнечного ресурса при проектировании жилой архитектуры акцент смещается в сторону максимального увеличения поступления солнечного тепла для снижения нагрузки на отопление.

Расположенный на юге Лондона комплекс Agar Grove Estate (Великобритания) и жилой комплекс Чэн Нэн Си Шу Тинъюань в Харбине (Китай) (табл. 7, 8) являются типичными примерами жилой застройки в холодных климатических зонах.

Общее планирование и ориентация. Жилой комплекс Agar Grove Estate в Лондоне (умеренный климат Северного полушария) демонстрирует интегрированную стратегию энергоэффек-



Рис. 6. Озеленение Dockside Green. – URL: https://gclnk.com/5RjIaNF3; Озеленение сверхнизко энергетического жилого комплекса в Пекине. – URL: https://gclnk.com/JdDVSDzu

тивности, основанную на двух ключевых принципах: во-первых, ***максимизация пассивного солнечного обогрева*** – основные жилые помещения и светопрозрачные фасады ориентированы в южном направлении (Ю, Ю–В, Ю–З). В условиях Лондона это обеспечивает максимальное поступление низкого зимнего солнца, повышая уровень естественной инсоляции и теплопоступлений в холодный сезон, что снижает нагрузку на систему отопления.

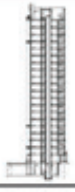
Во-вторых, ***минимизация теплопотерь через компактность и ветрозащиту*** – планировка основана на плотной квартальной структуре, что снижает коэффициент компактности (*отношение площади наружных ограждений к объему зданий*), сокращая площади ограждающих конструкций, через которые происходят основные теплопотери; а также формирует защищенные от ветра внутренние пространства и ослабляет воздействие холодных западных и северо-западных ветров, характерных для региона, на фасады, дополнительно повышая тепловую защиту. Таким образом, стратегия комплекса создает синергетический эффект – компактная форма *сохраняет* тепло, а южная ориентация *активно его накапливает*, что в совокупности значительно повышает энергетическую эффективность застройки.

Проект жилого комплекса «Чэн Нэн Си Шу Тинъюань» адаптирован к условиям холодного климата с дефицитом зимней инсоляции. Ключевые архитектурно-планировочные решения включают: 1) *оптимизацию режима инсоляции* – корпуса преимущественно ориентированы на юг. Их параллельное расположение с расчетными интервалами минимизирует взаимное затенение в период зимнего солнцестояния, обеспечивая максимальное проникновение солнечной радиации в холодный сезон; 2) *компактнаую планировку и ветрозащиту* – высокая плотность застройки формирует стабильную ветровую среду, снижая скорость холодных воздушных потоков на территории. Это позволяет минимизировать конвективные теплопотери через ограждающие конструкции зданий. Таким образом, планировочная организация комплекса синхрон-

но решает задачи активного использования скудного солнечного ресурса и пассивной защиты от климатических факторов, способствующих теплопотерям.

Таблица 7

Жилые комплексы в холодном климате

Холодный климат				
Название	*Общий вид*	*План*	*Генплан*	*Разрез*
Agar Grove Estate, Великобритания, 2002				
Чэн Нэн Си Шу Тинъюань, Китай, 2020				

Формирование вентиляционных коридоров и стратегии проветривания. В условиях холодного климата естественная вентиляция не функционирует как круглогодичный основной механизм, а применяется сезонно или ситуативно. Ее использование допустимо лишь для кратковременного обеспечения требуемого качества воздушной среды и формирует строго регулируемый режим эксплуатации. В данной системе приоритетов пассивная теплоизоляция и воздухонепроницаемость ограждающих конструкций выступают в качестве главной задачи, тогда как организованное проветривание выполняет вспомогательную, компенсаторную функцию.

Таблица 8

Анализ теплового комфорта жилых комплексов в холодном климате

Холодный климат				
Название	*Ориентация здания*	*Вентиляция из внешней среды*	*Внутренняя вентиляция*	*Анализ озеленения*
Agar Grove Estate, Великобритания, 2002				
Чэн Нэн Си Шу Тинъюань, Китай, 2020				

В жилом комплексе Agar Grove Estate воздухообмен осуществляется преимущественно за счет механической вентиляции с рекуперацией тепла (MVHR), внедренной в соответствии с требованиями стандарта пассивного дома [24]. Данная система обеспечивает стабильное качество внутренней воздушной среды в течение всего года и позволяет снизить теплопотери, связанные с процессом вентиляции. В зимний период обновление воздуха осуществляется главным образом механическим способом с возвратом теплоты удаляемого воздуха, что существенно уменьшает нагрузку на систему отопления. В летний и переходный периоды допускается контролируемое проветривание квартир через оконные проемы, применяемое для отвода избыточной влаги и явного тепла, а также для ограниченного ночного охлаждения. В жилом комплексе Чэн Нэн Си Шу Тинъюань из-за его расположения в холодном климате естественная вентиляция ослаблена еще сильнее. Основным принципом становится контролируемый воздухообмен и сохранение тепла ограждающими конструкциями. Несмотря на наличие южных и северных окон, способных формировать потенциальный сквозной воздушный канал, в зимний отопительный период окна обычно закрыты или открываются минимально. Площадь проемов и частота проветривания ограничиваются для предотвращения теплопотерь из-за инфильтрации воздуха. Естественная вентиляция применяется преимущественно летом и в межсезонье для отвода влаги и снижения явного тепла, а движение воздуха носит характер короткой циркуляции и обмена в пределах отдельного помещения, а не сквозного ветрового протока. Компактная плотность застройки снижает скорость ветра на территории, ограничивая проникновение холодных воздушных масс и предотвращая формирование интенсивной ветровой тяги.

Ограждающие конструкции. В жилом комплексе Agar Grove Estate проектирование ограждающих конструкций основано на требованиях стандарта пассивного дома. За счет применения высокоэффективной теплоизоляции наружных стен, оконных систем с пониженным коэффициентом теплопередачи и комплексного обеспечения воздухонепроницаемости оболочки здания достигается существенное снижение теплопотерь в отопительный период [24]. При этом ограждающие конструкции ориентированы не только на задачи зимнего теплосбережения, но и, в сочетании с ориентацией зданий и архитектурной композицией фасадов, выполняют функцию регулирования солнечной радиации в летний период. Размещение галерейных балконов и конструктивных солнцезащитных элементов вдоль южных фасадов позволяет экранировать высоко расположенную летнюю солнечную радиацию без ограничения притока солнечного излучения в зимний период. Это способствует снижению тепловой нагрузки на поверхности ограждающих конструкций и уменьшению риска перегрева внутренних помещений.



Рис. 7. Солнцезащита и внешние системы теплового контроля в Agar Grove Estate. URL: https://www.maxfordham.com/projects/agar-grove; Солнцезащита и внешние системы теплового контроля в жилом комплексе Чэн Нэн Си Шу Тинъюань. URL: https://gclnk.com/ksS9XgRo

В жилом комплексе Чэн Нэн Си Шу Тинъюань теплотехнические характеристики ограждений достигают более высокого уровня. Наружные стены выполнены на основе композитной теплоизоляции толщиной от150 до 200 мм и дополнены алюмодревесными окнами с аргоновым заполнением и стеклопакетами Low E [25]. Такая оболочка с низким коэффициентом теплопередачи снижает годовые затраты на отопление примерно на 61–63% по сравнению с обычными жилыми зданиями. Общий показатель энергосбережения превышает 72 %. Это отражает типичную технологическую стратегию холодного климата, в которой усиление теплоизоляционных свойств ограждения замещает роль вентиляционного теплообмена.

Система озеленения в холодных регионах утрачивает свою роль в охлаждении и вентиляции. Ее роль смещается в сторону стабилизации температурной поверхности, уменьшения ветрового охлаждения, улучшения зимней инсоляции и обеспечения ограниченного летнего теплоотвода.

В жилом комплексе Agar Grove Estate озеленение интегрировано в общую пространственную структуру застройки и представлено в виде озелененных кровель, внутридворовых зеленых пространств и древесно-кустарниковых насаждений. В летний период данные элементы за счет затенения и замедления накопления тепла на поверхности земли и кровель способствуют снижению перегрева и сглаживанию суточных температурных колебаний. В зимний период растительность выполняет преимущественно ветрозащитную и экранирующую функцию, снижая скорость ветра и теплопотери на уровне пешеходных пространств. При этом система озеленения не рассматривается как средство активного охлаждения или вентиляции, а выполняет вспомогательную микроклиматическую роль в условиях холодного климата.

В жилом комплексе Чэн Нэн Си Шу Тинъюань озеленение, при холодных зимах в г. Харбин, направлено прежде всего на повышение способности удерживать тепло и уменьшение теплоотдачи поверхности почвы. Централизованные зеленые участки и пониженные дождевые сады создают почвенный теплоаккумулирующий слой. В сочетании с водопроницаемым покрытием и композицией деревьев и кустарников формируется сезонная буферная зона. Она обеспечивает ограниченное испарительное охлаждение летом, а зимой снижает теплопотери грунтового основания и смягчает воздействие ветрового охлаждения (рис. 8).



Рис. 8. Озеленение Agar Grove Estate. – URL: https://hdawards.org/scheme/agar-grove/; Озеленение жилого комплекса Чэн Нэн Си Шу Тинъюань. – URL: http://heb.ershoufang.zhuge.com/1001964.html

Заключение

Сравнительный анализ жилых комплексов в различных климатических условиях показывает, что обеспечение теплового комфорта в жилых зданиях не основывается на принципиально различных проектных подходах. В разных климатических зонах жилые здания, как правило, формируются на основе сходного набора архитектурно-планировочных и конструктивных ре-

шений, при этом различия проявляются в расстановке приоритетов в планировочной организации, вентиляции, солнцезащите и ограждающих конструкциях. Эти различия выражаются прежде всего в вариациях сочетаний проектных приемов и степени их влияния в зависимости от климатических условий, что обеспечивает четкую сопоставимость стратегий формирования теплового комфорта в жилой архитектуре (табл. 9).

Таблица 9

Сравнительный анализ применимости стратегий теплового комфорта в разных климатических зонах

Стратегии оптимизации теплового комфорта		Тропический климат	Субтропический климат	Умеренный климат	Холодный климат
Организация естественной вентиляции и воздушных потоков	Перекрёстная вентиляция	●	●	●	
	Вентиляция через приподнятый этаж	●	●		
	Окна с регулируемым открыванием	●	●	●	●
	Встропроницаемый коридор	●	●		
	Вертикальная вентиляционная шахта	●	●	●	●
	Оптимизация ориентации кварталов	●	●	●	●
	Проектирование защищённых от ветра пространств	○	○	●	●
Затенение и контроль солнечной радиации	Наружное солнцезащитное оборудование	●	●	●	○
	Глубокий балкон ивыступающий карниз	●	●	●	○
	Высокая отражательная способность стен	●	●		
	Холодная кровля	●	●	●	
	Солнечные тепловые притоки	○	●	●	●
Озеленение и испарительное охлаждение	Озеленённая кровля	●	●	●	
	Вертикальное озеленение	●	●	●	
	Испарительное охлаждение водной поверхности	●	●	●	
	Посадка деревьев для затенения	●	●	●	○
	Интенсивное озеленение для улучшения микроклимата	●	●	●	
Тепловые стратегии ограждающих конструкций	Усиленная теплоизоляция стен	○	●	●	●
	Высокопроизводительные окна	○	●	●	●
	Усиление воздухонепроницаемости	○	○	●	●
	Зимние буферные зоны		●	●	●

● Высокая эффективность применения ○ Ограниченная эффективность

1. **Приоритеты теплового регулирования в жилой архитектуре в различных климатических условиях**. В *тропическом климате* приоритетом являются теплоотвод и эффективная вентиляция. Основное внимание уделяется снижению радиационного теплопоступления, ограничению теплового накопления и ускорению отвода влажного воздуха. Это достигается за счет воздушных коридоров, открытой групповой структуры застройки и многоуровневой солнцезащиты, которые обеспечивают устойчивое охлаждение.

В *субтропическом климате* формируется относительный баланс между естественной вентиляцией и солнцезащитой. Воздушный обмен уменьшает влажностное воздействие, а солнцезащитные и радиационные ограничения удерживают тепловую нагрузку в управляемых пределах.

В *условиях умеренного климата*, характеризующегося выраженной сезонностью, возникает необходимость балансировки взаимно противоположных требований: эффективного теплоотвода в летний период и минимизации теплопотерь в зимний. Для решения этой задачи применяется комплексный подход, включающий создание высокоэффективных теплоизолирующих оболочек зданий, использование теплоемких материалов в конструкциях для пассивной аккумуляции тепла, а также внедрение систем регулируемой естественной и гибридной вентиляции. Данный набор мер в совокупности способствует поддержанию стабильного и комфортного теплового режима в помещениях в течение всего года.

В *условиях холодного климата* доминирующая стратегия обеспечения теплового комфорта смещается в сторону усиленной теплоизоляции, тепловой инерции и полного подавления неконтролируемых теплопотерь. Ключевыми технологическими факторами становятся: применение высокоэффективных ограждающих конструкций с повышенным сопротивлением теплопередаче, обеспечение высокой воздухонепроницаемости оболочки здания и максимальное использование скудного солнечного ресурса для пассивного обогрева. Именно эти параметры определяют уровень энергоэффективности и стабильность внутренней тепловой среды в экстремальных климатических условиях.

2. **Влияние климатической зоны на стратегии естественной вентиляции в жилых зданиях.** Функция естественной вентиляции в системах обеспечения теплового комфорта трансформируется в зависимости от климатического контекста: от постоянного базового режима к сезонному и строго регулируемому принципу эксплуатации.

В *тропическом и субтропическом климате* вентиляция является ведущим инструментом терморегуляции. Архитектурные решения, такие как организация воздушных коридоров, приподнятых надземных уровней и сквозных проемов, формируют пути движения воздуха с низким аэродинамическим сопротивлением. Это обеспечивает устойчивый отвод избыточной теплоты и влаги за счет усиленной конвекции.

В *условиях умеренного климата*, характеризующихся соизмеримыми потребностями в обогреве и охлаждении, вентиляция перестает быть единственным механизмом теплоотвода. Она становится одним из элементов интегрированной системы климатического регулирования, синергично сочетаясь со стратегиями солнцезащиты, теплоаккумулирования и оптимизации теплофизических свойств ограждающих конструкций.

В *холодном климате* вентиляция приобретает сугубо сезонный и дозируемый характер. В течение продолжительного отопительного периода воздухообмен минимизирован и строго контролируется, будучи направленным исключительно на поддержание требуемого качества воздушной среды без нежелательных теплопотерь. Свою функцию вспомогательного охлаждения и влагоотвода она выполняет лишь в теплое время года и в короткие переходные сезоны.

3. **Влияние климатической зоны на принципы проектирования ограждающих конструкций.** Эффективность и приоритетные функции ограждающих конструкций демонстрируют выраженную климатическую зависимость, прямо коррелируя со снижением температурной нагрузки на здание.

В *тропическом климате* проектный фокус смещен на ограничение радиационных теплопоступлений и минимизацию нагрева внешних поверхностей. Теплоизоляционные свойства материалов в данной стратегии выполняют второстепенную, вспомогательную роль.

В *условиях субтропического климата* формируется двойственная стратегия, направленная как на сокращение теплопритоков, так и на усиление сопротивления теплопередаче. Проектная логика эволюционирует от одностороннего радиационного контроля к сбалансированному сочетанию теплоизоляции и солнцезащиты.

В *умеренном климате*, где потребности в охлаждении и отоплении становятся сопоставимыми, приоритет отдается комплексному повышению теплотехнических характеристик. Ключевыми задачами являются: оптимизация теплосопротивления светопрозрачных ограждений, минимизация влияния линейных и точечных тепловых мостов, а также интеграция материалов с высокой теплоаккумулирующей способностью для сглаживания суточных и сезонных температурных колебаний.

В *холодном климате* ограждающая оболочка становится основным носителем функции теплового комфорта. Она формирует замкнутый высокоэффективный теплотехнический контур, основанный на принципах пассивного дома: повышенная толщина и качество теплоизоляционного слоя, обеспечение абсолютной воздухонепроницаемости и достижение минимально возможного коэффициента теплопередачи. Данная модель доминирует над вентиляцией, выступая ключевым регулятором теплового баланса в продолжительный зимний период.

4. **Влияние климатической зоны на принципы озеленения в жилой застройке**. Роль зеленых систем в регулировании микроклимата претерпевает существенную трансформацию в зависимости от климатической зоны: от функций активного охлаждения к задачам сезонной стабилизации теплового режима.

В *тропическом климате* озеленение реализует выраженную функцию активного охлаждения. За счет эвапотранспирации (испарительного эффекта), затенения кронами и формирования зон повышенной влажности зеленые массивы ослабляют эффект городского теплового острова. Синергия с вентиляционными коридорами усиливает аэрацию территории. Таким образом, озеленение выступает здесь в качестве активного климатоформирующего элемента и прямого участника системы тепловой регуляции.

В *условиях субтропического климата* озеленение по-прежнему направлено на снижение температуры и влажности, однако его механизм действия приобретает комбинированный характер. Затенение и испарительное охлаждение смягчают пиковую радиационную нагрузку и улучшают проницаемость территории для воздушных потоков. Функция сдвигается от прямого охлаждения к двойной задаче: снижению теплопритоков и опосредованному улучшению параметров комфорта.

В *умеренном климате* озеленение утрачивает роль активного источника охлаждения и трансформируется в буферный элемент для стабилизации тепловой среды. Основными механизмами становятся: контроль теплового накопления поверхностей (например, за счет замены асфальта газоном), снижение радиационного контраста между застроенными и открытыми пространствами, а также создание зон ночного излучательного охлаждения. Совокупность этих мер направлена на сглаживание суточных температурных амплитуд, а не на прямое охлаждение воздуха.

В *холодном климате* охлаждающая функция озеленения нивелируется. Ландшафтная среда переориентируется на выполнение защитных задач: снижение скорости приземного ветра (ветрозащита), минимизация теплоотдачи с поверхности грунта и уменьшение теплопотерь от зданий за счет формирования снегозадерживающих барьеров и снижения альбедо территории.

Библиография

1. ООН. Всемирные перспективы урбанизации 2025: краткие результаты. Нью-Йорк: Организация Объединённых Наций, 2025. – URL: https://www.un.org/development/desa/pd/world-urbanization-prospects-2025
2. Taha, H. Meteorological, air-quality and emission-equivalence impacts of urban heat island control in California /, H. Taha // Sustainable Cities and Society. – 2015. – Vol. 19. – P. 207–221. – DOI: 10.1016/j.scs.2015.03.009
3. Shahmohamadi, P. Healthy Environment: The Need to Mitigate Urban Heat Island Effects on Human Health / P. Shahmohamadi, A.I. Che-Ani, I. Etessam, K.N.A. Maulud, N.M. Tawil // Procedia Engineering. – 2011. – Vol. 20. – P. 61–70.
4. Alcoforado, M.J., Andrade, H. Global warming and the urban heat island /, M.J. Alcoforado, H. Andrade // Urban Ecology. Springer, Berlin/Heidelberg, Germany, 2008. – P. 249–262.
5. Doan, Q.-V. Impact of future urbanization on temperature and thermal comfort index in a developing tropical city: Ho Chi Minh City / Q.-V. Doan, H. Kusaka, Q.-B. Ho // Urban Climate. – 2016. – Vol. 17. – P. 20–31.
6. Oke, T.R. Boundary Layer Climates / T.R. Oke. – New York: Routledge. – 1987.
7. Воличенко, О.В., Литягина, А.В. Мультикомфортная среда в архитектуре быстровозводимых зданий / О.В. Воличенко, А.В Литягина. // Строительство и реконструкция. – 2023. – № 3(107). – С. 96-110. – DOI 10.33979/2073-7416-2023-107-3-96-110.
8. Jaganmohan, M. The bigger, the better? The influence of urban green space design on cooling effects for residential areas / M. Jaganmohan, S. Knapp, C.M. Buchmann et al. // Journal of Environmental Quality. – 2016. – Vol. 45, № 1. – P. 134–145.
9. Du, H. Urban blue-green space planning based on thermal environment simulation: A case study of Shanghai, China / H. Du, Y. Cai, F. Zhou // Ecological Indicators. – 2019. – Vol. 106: 105501.
10. Perini, K., Magliocco, A. Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort / K. Perini, A. Magliocco // Urban Forestry & Urban Greening. – 2014. – Vol. 13, № 3. – P. 495–506.
11. Karimimoshaver, M., Shahrak, M.S. The effect of height and orientation of buildings on thermal comfort / M. Karimimoshaver, M.S. Shahrak // Sustainable Cities and Society. – 2022. – Vol. 79: 103720.
12. Hong, B., Lin, B. Numerical studies of the outdoor wind environment and thermal comfort at pedestrian level in housing blocks with different building layout patterns and trees arrangement / B. Hong, B. Lin // Renewable Energy. – 2015. – Vol. 73. – P. 18–27.
13. Ali-Toudert, F., Mayer, H. Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons / F. Ali-Toudert, H. Mayer // Solar Energy. – 2007. – Vol. 81. – P. 742–754.
14. Perini, K., Magliocco, A. Effects of vegetation, urban density, building height and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort / K. Perini, A. Magliocco // Urban Forestry & Urban Greening. – 2014. – Vol. 13. – P. 495–506.
15. Ewing, R.; Rong, F. The impact of urban form on US residential energy use / R. Ewing, F. Rong // Housing Policy Debate. – 2008. – Vol. 19. – P. 1–30.

16. Treelodge@Punggol : Green Home An Eco-Lifestyle Experience. – URL: https://www.hdb.gov.sg/-/media/doc/BRI/treelodge-punggol-ebook.pdf
17. ZHOYU Phase III, Haikou Jiangdong International Community. – URL: https://www.weiaj.com/show/AwGdKj
18. «Зеленая» архитектура налицо. – URL: https://archi.ru/world/58450/zelenaya-arkhitektura-nalico
19. One Central Park / Ateliers Jean Nouvel. – URL: https://www.archdaily.com/551329/one-central-park-jean-nouvel-patrick-blanc
20. Green Buildings in China: Trends and Development of Modern Green Energy-Saving Architecture[M]. – Dalian: Dalian University of Technology Press, 2014. – P. 176–191.
21. Воличенко, О.В. Влияние мейнстримов западного авангарда в архитектуре Центральной Азии / О.В. Воличенко // Архитектон: известия вузов. – 2013. – № 1 (41). – URL: https://archvuz.ru/2013_1/3/
22. Dockside Green by Bosa Development – Victoria. – URL: https://www.docksidegreen.com/
23. Пекинский сверхнизкоэнергетический арендный жилой комплекс / Китайский институт архитектурного проектирования и исследований [北京焦化厂超低能耗公租房]. – URL: https://www.archdaily.cn/search/cn/all?q=%E5%8C%97%E4%BA%AC%E7%84%A6%E5%8C%96%E5%8E%82&ad_source=jv-header
24. Agar Grove Phase 1A – URL: https://www.passivhaustrust.org.uk/projects/detail/?cId=100
25. Лю Чжаосинь, Цзян Ин. Совместный китайско-немецкий демонстрационный проект «Пассивное энергоэффективное здание» – применение энергосберегающих технологий в жилом комплексе «Чэннэн • Сишу Тинъюань» в Харбине / Чжаосинь Лю, Ин. Цзян // Строительная наука и технология. – 2013. – № 9. – С. 26–27. DOI: 10.16116/j.cnki.jskj.2013.09.019.

References

1. United Nations (2025). World Urbanization Prospects 2025: Summary of Results. [online] United Nations. Available at: https://www.un.org/development/desa/pd/world-urbanization-prospects-2025 [Accessed 28 November 2025].
2. Taha, H. (2015). Meteorological, air-quality and emission-equivalence impacts of urban heat island control in California. Sustainable Cities and Society, 19, pp. 207–221.
3. Shahmohamadi, P., Che-Ani, A.I. et al. (2011). Healthy environment: The need to mitigate urban heat island effects on human health. Procedia Engineering, 20, pp. 61–70.
4. Alcoforado, M.J., Andrade, H. (2008). Global warming and the urban heat island. In: Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Endlicher, W. et al. (eds.) Urban Ecology. Berlin: Springer, pp. 249–262.
5. Doan, Q.-V., Kusaka, H. et al. (2016). Impact of future urbanization on temperature and thermal comfort index in a developing tropical city: Ho Chi Minh City. Urban Climate, 17, pp. 20–31.
6. Oke, T.R. (1987). Boundary Layer Climates. London and New York: Routledge.
7. Volichenko, O.V., Lityagina, A.V. (2023). Multicomfort environment in the architecture of prefabricated buildings. Construction and Reconstruction, 107(3), pp. 96–110.
8. Jaganmohan, M., Knapp, S. et al. (2016). The bigger, the better? The influence of urban green space design on cooling effects for residential areas. Journal of Environmental Quality, 45(1), pp. 134–145.
9. Du, H., Cai, Y. et al. (2019). Urban blue-green space planning based on thermal environment simulation: A case study of Shanghai, China. Ecological Indicators, 106, 105501.
10. Perini, K., Magliocco, A. (2014). Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. Urban Forestry & Urban Greening, 13(3), pp. 495–506.
11. Karimimoshaver, M., Shahrak, M.S. (2022). The effect of height and orientation of buildings on thermal comfort. Sustainable Cities and Society, 79, 103720.

12. Hong, B., Lin, B. (2015). Numerical studies of the outdoor wind environment and thermal comfort at pedestrian level in housing blocks with different building layout patterns and trees arrangement. Renewable Energy, 73, pp. 18–27.
13. Ali-Toudert, F., Mayer, H. (2007). Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. Solar Energy, 81, pp. 742–754.
14. Perini, K., Magliocco, A. (2014). Effects of vegetation, urban density, building height and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. Urban Forestry & Urban Greening, 13, pp. 495–506.
15. Ewing, R., Rong, F. (2008). The impact of urban form on US residential energy use. Housing Policy Debate, 19, pp. 1–30.
16. Housing & Development Board (HDB). (n.d.). Treelodge@Punggol: Green Home – An Eco-Lifestyle Experience. [online] Available at: https://www.hdb.gov.sg/-/media/doc/BRI/treelodge-punggol-ebook.pdf [Accessed 28 Nov. 2025].
17. ZHOYU Phase III, Haikou Jiangdong International Community. (2022). [online] Available at: https://www.weiaj.com/show/AwGdKj [Accessed 28 Nov. 2025].
18. Archi.ru. (2014). «Green» architecture in evidence. [online] Available at: https://archi.ru/world/58450/zelenaya-arkhitektura-nalico [Accessed 28 Nov. 2025]. (in Russian)
19. ArchDaily. (2014). One Central Park / Ateliers Jean Nouvel. [online] Available at: https://www.archdaily.com/551329/one-central-park-jean-nouvel-patrick-blanc [Accessed 28 Nov. 2025].
20. Gaodi International Publishing Company (ed.), Wang Dan et al. (trans.). (2014). Green Buildings in China: Trends and Development of Modern Energy-Efficient Architecture. Dalian: Dalian University of Technology Press. (高迪国际出版有限公司 编，王丹 等译. 绿色建筑在中国——现代节能建筑趋势与发展. 大连: 大连理工大学出版社).
21. Volichenko, O.V. (2013). The Influence of Western Avant-Garde Mainstreams on the Architecture of Central Asia. Architecton: Proceedings of Higher Education, 1(41). Available at: https://archvuz.ru/2013_1/3/ [Accessed: 28 November 2025].
22. Dockside Green. (n.d.). Dockside Green by Bosa Development – Victoria. [online] Available at: https://www.docksidegreen.com/ [Accessed: 28 November 2025].
23. ArchDaily China, (2021). Beijing Ultra-Low Energy Public Rental Housing / China Architecture Design & Research Group. [online] Available from: https://www.archdaily.cn/search/cn/all?q=%E5%8C%97%E4%BA%AC%E7%84%A6%E5%8C%96%E5%8E%82&ad_source=jv-header [Accessed 28 November 2025].
24. Passivhaus Trust, (n.d.). Agar Grove Phase 1A. [online] Available at: https://www.passivhaustrust.org.uk/projects/detail/?cId=100 [Accessed 28 November 2025].
25. Sino-German Demonstration Project “Passive Low-Energy Building”: Application of Energy-Saving Technologies in the “Chenneng • Xishu Tingyuan” Residential Complex in Harbin. Building Science and Technology (刘朝新，姜颖. 中德合作“被动式低能耗建筑”示范项目——哈尔滨“辰能 · 溪树庭院”住宅小区节能技术应用. 建筑科学与技术, No. 9, p. 26–27).

Ссылка для цитирования статьи
Ван, Я. Формирование теплового комфорта в многоэтажной жилой застройке: сравнительный анализ архитектурно-планировочных решений для различных климатических зон / Я. Ван, О.В. Воличенко //Архитектон: известия вузов. – 2026. – №1(93). – URL: http://archvuz.ru/2026_1/7/ – DOI: https://doi.org/10.47055/19904126_2026_1(93)_7

© Ван Я., Воличенко О.В., 2026
Лицензия Creative Commons
Это произведение доступно по лицензии Creative Commons «Attrubution-ShareALike» («Атрибуция - на тех же условиях»). 4.0 Всемирная



Дата поступления: 16.12.2025
Дата рецензирования: 19.01.2026
Дата принятия к печати: 19.02.2026