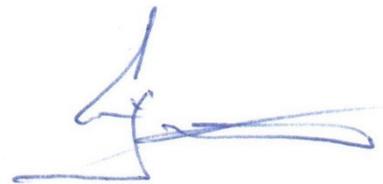


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



СУМЕРКИН ЮРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИИ
ГОРОДСКОГО ДВОРА В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ЗАСТРОЙКИ**

специальность 2.1.10 –Экологическая безопасность строительства и городского
хозяйства

диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор,
академик РААСН
Теличенко Валерий Иванович

Москва, 2023 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ТЕПЛОЙ НАГРУЗКИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ УВЕЛИЧИВАЮЩЕЙСЯ ПЛОТНОСТИ ЗАСТРОЙКИ	12
1.1. Городская среда.....	12
1.2. Комфорт городской среды	13
1.3. Базовые элементы городской застройки. Плотность застройки. Городской двор в условиях плотной застройки	15
1.4. Тепловая нагрузка (аномалия) городской среды	21
1.4.1. Городской климат, климатический масштаб.....	21
1.4.2. Явление тепловой аномалии	24
1.4.3. Причины возникновения тепловой аномалии	27
1.4.4. Ветровой режим городской застройки	28
1.4.5. Влажностный режим территорий.....	30
1.5. Тепловой баланса поверхности городского.....	33
Выводы по Главе 1.....	36
ГЛАВА 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДСКОГО ДВОРА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СОЗДАНИЕ КОМФОРТНОЙ СРЕДЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	37
2.1. Определение порядка моделирования тепловой нагрузки на территории городского двора	37
2.2. Определение исследовательской городской «поверхности» и параметров, влияющие на создание комфортной среды жизнедеятельности	46
2.2.1. Тепловой баланс исследовательской «поверхности» и параметры влияния на комфорт среды жизнедеятельности	48
2.3. Физиологические основы оценки и нормирования комфортности городской среды с учетом температурных индексов.....	51
2.3.1. Температурные индексы первой группы.....	53
2.3.2. Температурные индексы второй группы	54

Выводы по Главе 2	60
ГЛАВА 3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДСКОГО ДВОРА В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ЗАСТРОЙКИ	62
3.1 Теоретическое решение модели	62
3.1.1 Известные способы расчета радиационных температур окружающей среды	62
3.1.2. Выбор математического аппарата для расчета радиационных температур на территории городского двора	67
3.1.3. Модификация уравнения для расчетов в масштабах городской застройки..	71
3.1.4. Управление радиационной температурой окружающей среды.....	78
3.1.5. Алгоритм расчета ТНС-индекса	79
3.2. Практическое решение модели	81
3.2.1. Расчеты радиационных температур	81
3.2.2. Расчет индекса тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс)	83
Выводы по Главе 3	84
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКОЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДСКОГО ДВОРА В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ЗАСТРОЙКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМФОРТНОЙ СРЕДЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	85
4.1. Фактор неба и поверхность основного «вклада» в формирование тепловой нагрузки	85
4.2. Влияния фасадов на тепловую нагрузку окружающей среды	90
4.3. Влияние объектов озеленения и их элементов на тепловую нагрузку городского двора	94
4.4. Аэрационный режим	97
4.5. Натурные обследования городских дворов	98
4.5.1. Результаты натурных исследований	101
4.6. Рекомендации по управлению тепловой нагрузкой на территории городского двора	103
Заключение	107
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	111

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Город, как особенная пространственно-территориальная структура имеет на своих площадях различные мезо-, суб-, микроклиматические условия, связанные не только с повседневной антропогенной деятельностью, например, тепловое загрязнение от транспорта и промышленности, но и со спецификой городских ландшафтов.

Первым исследователем, который инструментально подтвердил разницу между городским климатом и пригородом был Л. Ховард (начало 19-го века). Им открыта температурная аномалия, как «городской остров тепла», связанная с повышенной тепловой нагрузкой на климатические условия города [1].

С 80-х годов 20-го века, при изучении метеорологического режима городских территорий стали использовать понятие, как «городской каньон» [2]. С ростом высотности городов человек практически погружен на дно «городского каньона», вертикальные поверхности которого значительно изменяют климатические показатели окружающей среды относительно естественных ландшафтов. Например, увеличение высоты и плотности застройки способствует понижению интегрального альbedo территории, что приводит к повышенному усвоению приходящей солнечной энергии на единицу городской территории по сравнению с сельскохозяйственной [3]. Осуществляемая в данный момент массовая квартально-колодезная жилая застройка, способствует застою воздушных масс и устойчивости температурных полей. Так же, в связи со свойством искусственных поверхностей более интенсивно отражать и генерировать тепловую энергию, застроенные и замощенные городские территории страдают от летнего «перегрева».

Основная задача, которую решают специалисты, это прогноз погоды и изменение климата в городе в целом или его районах. При высокой корреляции расчетных и фактических метеорологических данных, тем не менее, этого недостаточно для прогноза безопасного пребывания людей на городских улицах,

дворах и т.д. Это связано с тем, что специалисты упрощают (усредняют, пренебрегают) важные показатели для формирования микроклимата двора на уровне человеческого роста, например, рассматривают окружающие поверхности застройки как изотропные (не учитывают термическую гетерогенность), а само пространство внутри городского каньона или двора квазиоднородным в термическом плане.

Продолжающееся уплотнение городской застройки, появление новых строительных материалов, применяемых в искусственных покрытиях, обязательные требования по планировочной структуре и инсоляции придомовых территорий жилых групп диктуют необходимость учета тепловой нагрузки на территориях городских дворов.

В этих условиях, важной задачей обеспечения экологической безопасности городов является оценка и анализ местных климатических изменений, формируемых градостроительными решениями застройки, и регулирование микроклимата на основе моделирования тепловой нагрузки на территории городского двора.

Актуальность исследований – Продолжающееся урбанизация и уплотнение городов, *mainstream* в объемно-планировочном решении застройки — дворы-колодцы, бесконтрольное применение в отделке фасадов зданий и мощений огромного разнообразия материалов, сокращение объектов озеленения, требуют простых методов оценки факторов риска возникновения неблагоприятных условий жизнедеятельности населения в природно-технических городских системах, как городской двор.

Отсутствие в научно-технической литературе сведений о комплексных методах и средствах управления микроклиматом в городских дворах с учетом различных объемно-планировочных решений зданий, их пространственной ориентации, теплотехнических свойств, применяемых фасадных материалов и материалов искусственных покрытий, определяют актуальность настоящего исследования.

Необходим сравнительно простой метод моделирования тепловой нагрузки окружающей среды на территории городского двора, учитывающий влияние каждого элемента в составе окружающей плоскостей с целью снижения факторов риска, связанных с неблагоприятным тепловым режимом.

Тема настоящего диссертации соответствует направлениям исследования п.2 паспорта дисциплины 2.1.10 «Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства», а именно:

Критерии оценки экологической безопасности природно-технических систем, формируемых объектами промышленного, гражданского, городского, водохозяйственного, транспортного и пр. строительства. Развитие существующих и разработка новых методов оценки факторов риска возникновения неблагоприятных условий жизнедеятельности населения, техногенных и природных катастроф.

Степень её разработанности

Изучению явления «городского острова тепла» посвящены работы Л. Ховарда, Э. Рено, В. Шмидта.

Концепция городского каньона развивается в работах Т. Р. Оке, Массона, Кусака, Константинова П.И. [4-6].

Методы мелиорации микроклимата застройки рассматриваются в работах Адаменко В.Н. и Хайруллина К.Ш., Гиясова А.И., Гиясова Б.И., Ле Минь Туан Мягкова М.С., Слесарева М. Ю., Теличенко В.И., Шукурова И. С. [7-10].

Исследованиям по оценки экологической безопасности природно-технических систем, состоящих из комплекса взаимосвязанных природных, природно-техногенных и техногенных объектов посвящены работы Графкиной М.В., Суздальной А.Л.

Объектом исследования являются процессы формирования тепловой нагрузки окружающей городской среды.

Предметом исследования являются закономерности, связанные с изменением различных сочетаний градостроительных факторов, позволяющие

разработать основы моделирования и метод моделирования тепловой нагрузки на территории городского двора.

Научная гипотеза

Моделирование тепловой нагрузки на территории городского двора в условиях плотной застройки с учетом различных градостроительных решений позволит избежать (снизить) возникновения неблагоприятных факторов условий жизнедеятельности населения по тепловому режиму.

Цель диссертационной работы

Целью диссертационной работы является прогнозирование тепловой нагрузки и снижение рисков возникновения неблагоприятных условий жизнедеятельности на территории городского двора моделированием.

Задачи исследования:

1. Провести анализ научно-методических подходов к изучению климата городов и на его территориях в работах зарубежных и отечественных авторов.
2. Проанализировать механизмы формирования тепловой нагрузки деятельного слоя в условиях городской среды и методик расчета их показателей.
3. Провести анализ биоклиматических показателей комфортности погодных условий и методик их расчета.
4. Разработать метод расчета радиационной температуры окружающей среды с применением коэффициентов облученности с шарового термометра на окружающие приведенные площадки ограждений городского двора при различных объемно-планировочных решениях, пространственной ориентации строительных объектов и теплотехнических характеристик применяемых покрытий.
5. Провести моделирование тепловой нагрузки на территории городского двора в условиях плотной застройки на основе метода расчета радиационной температуры.
6. Провести натурные исследования с целью подтверждения тренда изменения тепловой нагрузки окружающей среды на различных участках городского двора полученным расчетам.

7. Разработать рекомендации по обеспечению тепловой безопасности застройки и снижению температуры поверхности городского двора.

Научная новизна

1. Заключается в разработке и применении нового метода моделирования тепловой нагрузки на территории городского двора в 3D формате, позволяющего в отличие от традиционных методов, учесть влияние каждого элемента в составе окружающей плоскостей при относительно небольших дополнительных вычислительных затратах (расчеты в среде Microsoft Excel).

2. Впервые разработан метод расчета радиационной температуры окружающей среды с применением коэффициентов облученности с шарового термометра на окружающие приведенные площадки ограждений городского двора при различных объемно-планировочных решениях, пространственной ориентации строительных объектов и теплотехнических характеристик применяемых покрытий.

3. Продемонстрирована возможность использования разработанного метода моделирования тепловой нагрузки на территории городского двора для повышения экологической безопасности городской застройки.

4. Предложены практические рекомендации проектировщикам, строителям, эксплуатирующим организациям по обеспечению, повышению экологической безопасности окружающей среды жилых дворов в условиях уплотнительной застройки в теплый период года, а именно: по объемно-планировочным решениям; применяемым фасадным материалам, искусственным покрытиям; планировочным решениям дворов и придомовых территорий.

Теоретическая значимость работы заключается: - в развитие положения о неоднородности пространства внутри городского каньона в термическом плане и необходимости учета гетерогенности (мозаичности) поверхностных температур различных элементов на окружающих это пространство плоскостях; - в подтверждении этого положения предлагаемым методом расчета и оценки тепловой нагрузки окружающей среды в микроклиматическом масштабе, на уровне стандарта погодных измерений 1,5 м от земли, учитывающего влияние каждого

элемента в составе окружающей территорию городского двора плоскостей; - в научном обосновании применения имитационного моделирования для обеспечения тепловой безопасности застройки; - в разработке метода и алгоритма уменьшения тепловой нагрузки на территории городского двора, оказывающей негативное воздействие на жителей.

Практическая значимость работы заключается: - в разработке и применении имитационной модели городского двора, показывающей его экологическое состояние, и позволяющей провести комплекс мелиоративных мероприятий для обеспечения тепловой безопасности застройки; - в разработке рекомендаций, направленные на снижение тепловой нагрузки окружающей среды путём: изменения объёмно-планировочных решений; оптимизации планировочной структуры городского двора, в т.ч. размещения объектов и элементов озеленения; указания теплотехнических характеристик, применяемых в отделке и покрытиях материалов.

Методология и методы исследования:

- анализ формирования в различных климатических масштабах, в т.ч. на городских территориях, радиационных и тепловых балансов;
- изучение теории теплообмена излучением в лучепрозрачной среде между «серыми» телами (поверхностями);
- анализ комплексных биоклиматических показателей (температурные индексы) среды жизнедеятельности на предмет выбора критерия удобного для оценки состояния окружающей среды от меняющихся градостроительных решений;
- разработка в среде Microsoft Excel программы для расчетов коэффициентов облученности на окружающие поверхности в масштабе городской застройки;
- разработка алгоритма моделирования тепловой нагрузки окружающей среды на территории городского двора и выполнение моделирования;
- подтверждение полученных расчетами результатов натурными исследованиями.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод расчета радиационной температуры окружающей среды городского двора используя приведенную площадку при различных объемно-планировочных решениях, пространственной ориентации строительных объектов и теплотехнических характеристик применяемых покрытий.

2. Методика обеспечения экологической безопасности окружающей среды городского двора по микроклиматическому показателю ТНС-индекс в теплый период года.

3. Модель прогнозирования тепловой нагрузки на территории городского двора в условиях плотной застройки.

4. Рекомендации проектировщикам, строителям, эксплуатирующим организациям по обеспечению, повышению экологической безопасности окружающей среды городских дворов в условиях уплотнительной застройки в теплый период года, а именно: по объемно-планировочным решениям; применяемым фасадным материалам, искусственным покрытиям; планировочным решениям дворов и придомовых территорий.

Степень достоверности и апробация результатов.

Достоверность научных результатов обеспечена применением научно обоснованных методических подходов исследований. Расчеты и моделирования подтверждают закономерности формирования тепловой аномалии – «городской остров тепла» и коррелируются с существующими методами.

Натурные исследования подтвердили теоретические результаты.

Результаты исследований неоднократно представлялись в печати, в т.ч. на международном уровне.

Личный вклад соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации заключается в развитие теоретических вопросов и разработке нового метода определения тепловой нагрузки на территориях города, вынесенных автором на защиту и изложенных в диссертации, в том числе:

- в развитии и подтверждении положения о неоднородности пространства внутри городского каньона в термическом плане и необходимости учета гетерогенности

(мозаичности) поверхностных температур различных элементов на окружающих это пространство плоскостях;

- в разработке метода расчета радиационной температуры окружающей среды городского двора, учитывающего различные: объемно-планировочные решения; архитектурно-строительные решения; теплотехнические характеристики применяемых в покрытиях, отделке и т.д. материалов; наличие или отсутствие объектов озеленения;

- в разработке метода моделирования тепловой нагрузки на территории городского двора в условиях плотной застройки;

- в разработке методики повышения экологической безопасности окружающей среды городского двора по биоклиматическому показателю ГНС-индекс в теплый период года;

- в рекомендациях проектировщикам, строителям, эксплуатирующим организациям по обеспечению, повышению экологической безопасности окружающей среды городских дворов в условиях плотной застройки в теплый период года, а именно: по объемно-планировочным и архитектурно-строительным решениям; применяемым фасадным материалам, искусственным покрытиям; планировочным решениям дворов и придомовых территорий; объектам озеленения.

Публикации по результатам исследований

Материалы диссертации в достаточной степени изложены в 11 научных публикациях, из которых 6 работ опубликовано в научных журналах, включенных в перечень ВАК РФ и 1 работа в научном журнале, индексируемого в базах Scopus.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из 95 наименований, в том числе 25 иностранных литературных источников. Работа изложена на 110 страницах основного текста, содержит 66 рисунков, 13 таблиц.

Автор выражает глубокую благодарность за научные консультации и методическую помощь при выполнении работы д.т.н. профессору Теличенко В.И., д.т.н. профессору Слесареву М.Ю., к.т.н., профессору Малявиной Е.Г.

ГЛАВА 1. Современное состояние проблемы оценки тепловой нагрузки городской среды в условиях увеличивающейся плотности застройки

1.1 Городская среда

Человек существует в пространственной среде, которую в силу своих качеств он постоянно приспособливает к своим возрастающим потребностям. В этом материально-пространственном окружении есть элементы природного происхождения и искусственные объекты, которые уже существуют, постоянно появляются и модернизируются [11].

Чем больше элементы и объекты природного происхождения замещаются антропогенными, тем специфичнее становится природно-антропогенная среда по сравнению с естественной. Наиболее ярко различные факторы и явления окружающей среды, связанные с деятельностью человека, проявляются в особенных пространственно-территориальных структурах, как города [12].

Многочисленные определения города сходятся на том, что город – это поселение с преобладанием несельскохозяйственных функций.

Экспертные оценки продолжающейся урбанизации планеты показывают, что к 2050 году доля городского населения в мире достигнет 68%. Уже сейчас в наиболее урбанизированных странах значительная часть населения живет в городах: в Северной Америке 82% населения, в Латинской Америке и странах Карибского бассейна — 81%, в Европе и Российской Федерации 74%, 74,4% соответственно. Доля городского населения продолжает неуклонно расти. Кроме того, по прогнозам специалистов к 2030 году в мире будет насчитываться 43 мегаполиса с населением более десяти миллионов человек в каждом [13].

Все это говорит о том, что к пространственной среде города – городской среде к ее точному определению, структуре, требованиям комфорта и безопасности будет повышенное внимание на многие годы вперед.

На сегодняшний день определение городской среды закреплено в Распоряжение Правительства РФ от 23 марта 2019 г. № 510-р «Об утверждении

Методики формирования индекса качества городской среды» в следующей трактовке: «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.»

При всей вариантности понятия «городская среда», основным является комплекс условий, удовлетворяющий различные потребности горожанина и/или групп жителей на территориях города.

1.2 Комфорт городской среды

На данном этапе выделяют комплекс основных требований, которыми должна обладать городская среда, характеризующаяся как комфортная [14]:

1. Функциональные — требования, непосредственно относящиеся к свойствам и характеристикам городских объектов, в способах их пользования и легкодоступности.

2. Социальные — требования, связанные с комплексом функций городской среды, которая должна удовлетворять жителя и различные социальные группы, к которым он принадлежит.

3. Психологические — требования, которыми должна обладать городская среда для обеспечения комфортного душевного состояния горожанина.

4. Экологические требования - совокупность природно-антропогенных факторов окружающей среды, влияющих на здоровье человека и дающих ощущение физического комфорта или дискомфорта пребывания в ней.

Функциональные требования, предъявляемые к городской среде, определяются: - наличием в объектах необходимых элементов, отвечающих предназначению (функции) и способам использования этих объектов; - соответствием объектов и их элементов требуемым параметрам — площадью, объемом, пропускной способностью и т.д., для удовлетворения на должном уровне

потребностей жителей; - доступностью объектов, формирующих городскую среду на конкретных территориях (квартал, микрорайон, район).

Например, земельный участок жилого дома должен иметь территорию, размеры (площадь) которой достаточна для размещения необходимых элементов благоустройства: пути подхода и подъездов, площадок отдыха и спорта, участки размещения зеленых насаждений; в жилом микрорайоне должны размещаться детский сад в радиусе 300 метров, общеобразовательная школа и торгово-бытовые объекты, организованы озелененные территории общего пользования, автостоянки, транспортные проезды и пешеходные коммуникации, выделены необходимые для этого участки территории соответствующей площади [15].

Социально-психологические требования комфорта рефлексируют на процессы восприятия окружающей городской среды. Пространство с объектами, элементами воспринимается человеком, как некий «образ» из совокупности символов и знаков. Позитивное восприятие городской среды формируется на основании присущих человеку естественных эмоций: - присутствие на городской территории природного разнообразия, элементов исторической среды, доставшихся от предшественников вызывают чувства преемственности для бережного использования всего этого наследия; - «читая» язык символов, образов, знаков человек уверенно определяет функциональное назначение того или иного объекта, территории застройки — жилой дом, общественно-деловой центр, производственное здание, село, город, мегаполис; - ощущение соразмерности окружающих объектов обеспечивается применением к ним так называемого «человеческого масштаба»; - раздражающим или успокаивающим фактором может служить визуальная среда города со своим разнообразием форм и образов объектов и их элементов. Города должны быть открыты для нового формообразования и образного освоения новых культурных образцов. Дизайнерские и архитектурные, планировочные решения, способны эстетически, художественно усилить восприятие градостроительных решений [15].

Экологические – требования, в первую очередь влияющие на здоровье и физические ощущения человека. Это температурный, влажностный и ветровой

режимы, радиационное излучение окружающих поверхностей, наличие вибраций, шума, загрязнение атмосферного воздуха, естественная и искусственная освещенность, инсоляция.

Можно констатировать, что ощущение и осознание городской среды как комфортной или дискомфортной является результатом комплексного сочетания социально-психических и физиологических реакций отдельных людей и их групп на её состояние и изменения [15].

Обеспечение комфортной городской среды — это комплексная проблема, требующая системного подхода.

Исходя из основных требований комфорта городской среды (открытых пространств) можно сделать вывод, что городские территории, как системы, должны удовлетворять физиологические и функциональные потребности, отражающие социальные запросы населения (его групп), в природно-антропогенном ландшафте в сочетании с климатом территории.

1.3 Базовые элементы городской застройки. Плотность застройки. Городской двор в условиях плотной застройки

С момента возникновения городов их планирование сопровождается конкретной структурной организацией, возникающей по предварительному плану или стихийно. Первоначальная структуризация города относится к функциональному зонированию территорий, таких как: административно-культурная, торговая, жилая и др. Эти зоны должны иметь пешеходные и транспортные коммуникации, определяющие их территориальную связность [16].

Организация кварталов, микрорайонов, улиц, планировочных узлов похожа по всему миру, эти элементы застройки являются базовыми в городской планировочной структуре. Но собственный набор, иерархия исторически сложившихся морфотипов определяют особенность участков городской среды [17].

В условиях: дефицита приемлемых участков под масштабное строительство; вектора территориальной концентрации населения; сокращения времени трудовых поездок; отказа от личного транспорта; близости энергетических центров и других экономических выгод, по всему миру наблюдается характерная тенденция уплотнения застройки городов. Высокоплотная ячеистая застройка повсеместно становится планировочным морфотипом для крупных, крупнейших городов и мегаполисов (рисунок 1.1) [18].



Рисунок 1.1. Мировая тенденция к высокоплотной ячеистой застройке

Ячеистая городская застройка может быть представлена в виде квартала – элемента планировочной структуры ограниченной красными линиями улично-дорожной сети или застройкой на территории микрорайона ограниченной внутренними проездами этого микрорайона (рисунки 1.2-3). В том и другом случае, внутри ячеек образуется частная территория, предназначенная для жителей, посетителей и др. с соответствующими функциональными свойствами. С 2020 года в РФ к частным придомовым территориям жилых зданий предъявляются нормативные требования к элементам планировки, например, к площади участков озеленения [19].



Рисунок 1.2. Среднеэтажная квартальная застройка от АГСПКД



Рисунок 1.3. Микрорайон в г. Уфе

Плотность застройки неразрывна связана с градостроительной емкостью территории. Территории подлежат зонированию по функциональному назначению, например, жилая, производственная, общественно-деловая зоны. В зависимости от функционального назначения городских территорий застройка приобретает характерные качества, относящиеся только к конкретному участку. Например, в пределах города может быть район коттеджной застройки. Из таблицы 1.1 видно, что процент застроенности участка для этого вида функционального использования не может превышать 30%, а плотность застройки: $2,0 \div 4,0$ тыс.м²/га – низкая; $4,0 \div 9,0$ тыс.м²/га – средняя; $9,0 \div 13,0$ тыс.м²/га – высокая. Кроме того, к таким участкам не предъявляют дополнительные требования к использованию подземного пространства [20].

Таблица 1.1

Расчетные показатели средней этажности коттеджной застройки [20]

Плотность застройки тыс.кв.м/га % застроенности	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0
2% - 5%	2,0	4,0												
10%	1,0	2,0	3,0	4,0										
15%		1,5	1,9	2,5	3,1	3,7	4,3	4,9						
20%		1,6	2,5	2,9	3,7	4,0	4,7	4,5	5,0					
25%			1,7	1,6	2,0	2,4	2,8	3,1	3,6	4,0	4,4	4,8		
30%			1,8	1,9	1,7	2,0	2,1	2,7	3,0	3,7	3,6	4,6		
35%				1,1	1,4	1,7	1,9	2,1	2,5	2,5	3,0	3,3	3,8	3,9
40%				1,0	1,3	1,4	1,7	1,7	2,3	2,4	2,6	2,9	3,1	3,3
45%					1,1	1,3	1,3	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9
50%					1,4	1,4	1,4	1,4	1,9	2,0	2,3	2,4	2,6	2,8
55%						1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,2	2,4	2,6
60%						1,0	1,1	1,2	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3

Примечания: 1. В ячейках указана этажность застройки. 2. Плотность застройки дана в габаритах наружных стен.

А - коттеджи
 Б - блокированные дома

Рекомендуемые к применению типы коттеджной застройки

Плотность застройки московских морфотипов приведена в таблице 1.2 [20]. Видно, что плотность застройки характерных для Москвы территорий на порядок выше чем для участков коттеджной застройки. И если для коттеджной застройки уровень будет считаться высокоплотным, то для морфотипов может не иметь таких критических показателей, а быть более чем средними. Плотность застройки в первую очередь зависит от функционального назначения территории.

Таблица 1.2

Допустимые показатели плотности застройки морфотипов (тыс.кв.м/га) [20]

% застройки средняя этажность	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
1												
1,5			4,5									
2,0		5,0	6,0									
2,5	5,0	6,25	7,5									
3,0	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	15,0					
3,5			10,5	12,2	14,0	15,7	17,5					
4,0			12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0	30,0
4,5			13,5	15,7	18,0	20,2	22,5	24,7	27,0	29,2		
5,0			15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,0	30,0			
5,5							27,5	30,2				

старомосковский разноэтажный
 традиционно разноэтажный
 периметрально-компактный

Например, средняя плотность застройки пятиэтажного фонда 60-х годов в границах внутренних проездов составляет 12,0÷14,0 тыс. м²/га (рисунок 1.4, б), а плотность 17-этажной застройки домов серий П-44 – ~ 30,2 тыс. м²/га (рисунок 1.4, а).

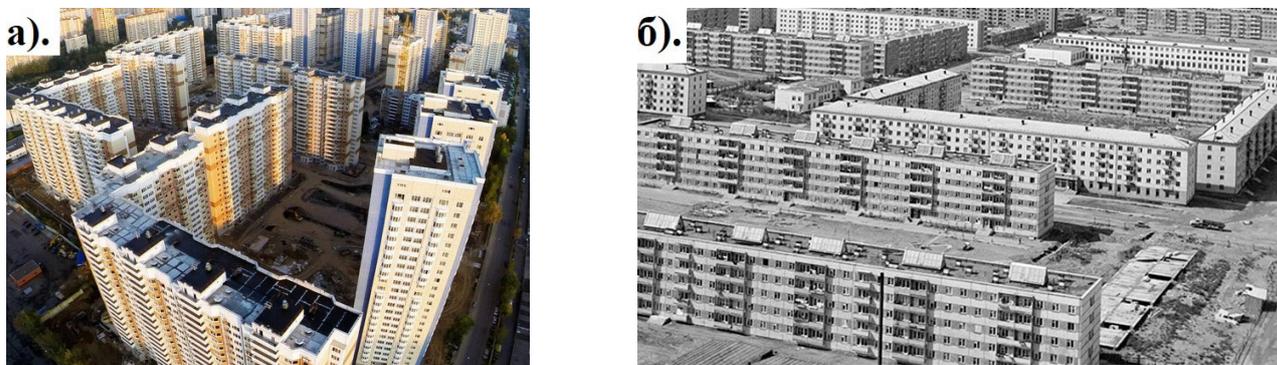


Рисунок 1.4. Морфотипы г. Москвы: а). Застройка микрорайона 80-х годов; б). Застройка 60-х годов

До сегодняшнего дня, эти два морфотипа являются массовыми в градостроительной политике Москвы. В условиях реновационного тренда и ним присоединяется третий морфотип – урбан-блок (группа многоквартирных жилых домов) рисунок 1.5 [21].



Рисунок 1.5. Основные принципы реновации жилищного фонда г. Москвы [21]

Например, при реновации территории кварталов 58, 59 района Фили-Давыдково (ЗАО) в целях реализации программы реновации жилищного фонда в городе Москве плотность застройки в жилых урбан-блоках начинается с 31,91 тыс. м²/га достигая 56,82 тыс. м²/га при среднем показателе 44-45 тыс. м²/га [22]. На лицо

динамика значительного уплотнения городских территорий.

С исследовательской точки зрения вызывает интерес изменения тепловой нагрузки на территориях городских дворов с плотностью застройки: 10,0-20,0 тыс. м²/га – средняя плотность; 20,0-30,2 тыс. м²/га – высокая плотность; свыше 30,2 застройка повышенной (за нормативной) плотности [23].

В данном исследовании моделируются тепловые условия на территориях городских дворов с плотностью застройки с 12,0 тыс. м²/га и более, принимая во внимание, что городским двором является пространство:

- отделенное застройкой и/или объектами озеленения, естественными преградами и пр.: от транспортной инфраструктуры; от территорий общественного пользования, объектов общественно-делового назначения и социальной инфраструктуры; организаций образования

- с планировочной структурой приватной территории в зависимости от функций застройки, предназначенное для комфортного пребывания и/или использования жителями, посетителями и др.

Исходя из анализа условий комфорта городской среды городской двор является природно-технической системой, к которой предъявляются требования комплексного решения проблем экологической безопасности, безопасности жизнедеятельности [24, 25]. Городской двор, как система должна удовлетворять физиологические и функциональные потребности, отражающие социальные запросы населения (его групп), в природно-антропогенном ландшафте в сочетании с климатом территории.

На территории городского двора в зависимости от принятых градостроительных решений формируется обособленный климат - микроклимат, связанные с повышенной тепловой нагрузкой по отношению к естественной среде. [2].

1.4 Тепловая нагрузка (аномалия) городской среды

1.4.1. Городской климат, климатический масштаб

Под действием застройки изменяется природный ландшафт территорий, при этом формируется собственный специфический климат. Если климатическое воздействие характеризуется сочетанием температуры и влажности воздуха, скорости ветра, интенсивности солнечной радиации и теплового излучения окружающих поверхностей, то все эти параметры претерпевают изменения в городской среде относительно естественной.

В 1981 году Всемирная метеорологическая организация сформулировала определение «городского климата» - климат формирующийся и изменяющийся в непрерывном процессе контакта воздушных масс с подстилающей поверхностью городской среды [26].

Процессы, происходящих в городской атмосфере, разделяют по масштабам. В городской климатологии для оценки соответствующих эффектов используют понятие «климатический масштаб».

Если рассматривается климат крупного города в целом, то говорят о мезоклимате. Кварталы, районы города с «местным» климатом соответствуют субмезомасштабному. Территории в пределах окружающей застройки, образуют ячейки, характеризующиеся микроклиматом своей территории. В такой размерности климатические процессы описываются в микромасштабе на расстоянии не более нескольких сотен метров (рисунок 1.6.) [27].

Кроме территориального деления по масштабам формирования и воздействия метеорологических условий, в природе городского климата существует его четко выраженная морфологическая структура с увеличением высоты над «омываемой» воздушными потоками поверхностью.

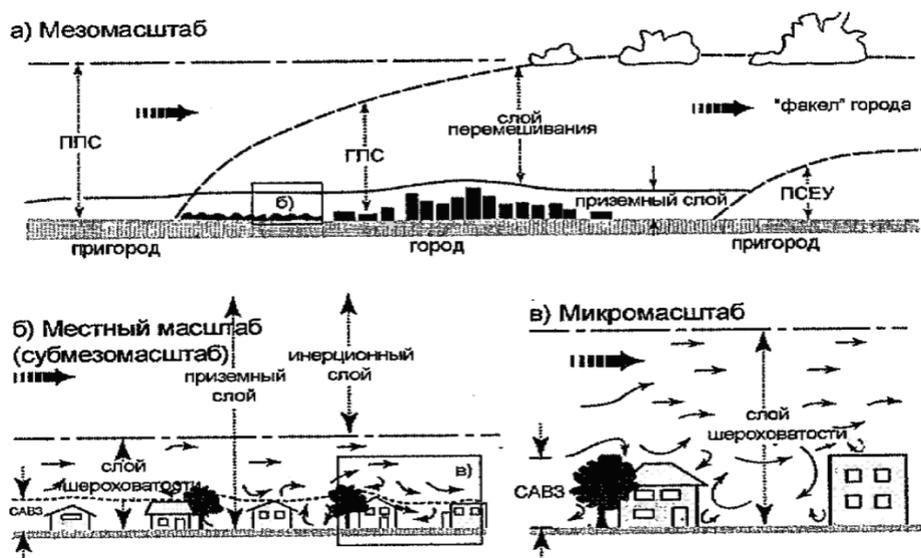


Рисунок 1.6. Схема климатических масштабов и элементов атмосферы для условий города [27]: ППС – планетарный пограничный слой атмосферы; ГПС – городской пограничный слой; ПСЕУ – пограничный слой для естественных условий; САВЗ – слой атмосферного воздействия внутри застройки

Как и в плане, по высоте климатические факторы по масштабу воздействия делятся на: микро-, субмезо- (местный или локальный), мезо- масштабы. Например, на территории городских дворов будет формироваться микроклимат в большей степени зависящий от интенсивности обмена тепловой энергией между окружающими поверхностями (фасады зданий, поверхность земли), интенсивностью испарения выпавшей или содержащейся влаги в слоях земли, конвективного теплообмена между инсолируемыми плоскостями и воздухом (рисунок 1.6 в).

Над этой территорией выше крыш будет формироваться местный климат (субмезомасштабный) с учетом лучистой энергии от поверхности крыш, конвективного потока, поднимающегося с территории двора, и адвекции переносимых воздушных масс в горизонтальном направлении. Воздушные массы с поверхности городского двора, взаимодействуя с массами, перемещающимися над крышами, становясь теплее/прохладнее, насыщеннее/суше, чище/грязнее и т.д. изменяют свои климатические параметры (рисунок 1.6 б) [2].

Поднимаясь выше, в процессе атмосферной турбулентности, каждая климатическая особенность, образованная над конкретной городской территорией,

объединяется с другими формируя атмосферные слои мезомасштабного уровня. Эти масштабные воздушные массы, образованные над городской территорией, содержащие тепловые, влажностные, кинетические эффекты факелом (шлейфом) десятки километров воздействуют на атмосферу пригородов и сельских мест, а загрязнителей воздуха распространяют на несколько сот километров, за границей города (рисунок 1.6а) [28].

Все эти атмосферные процессы зависят от времени суток (день/ночь), времени сезона, режимов работы производств и трудовой деятельности человека, и т.д.

Важно отметить, что городской климат всегда находится под воздействием синоптических погодных явлений, которые в более длительных временных масштабах создает фоновый климат места [26]. А это значит, что при расчете или оценке показателей городского климата возможно говорить только об эффектах, формирующихся при конкретных фоновых метеорологических условиях. Например, прогнозирование (моделирование) тепловой нагрузки на территории двора возможно на основе фоновых метеорологических данных (температура воздуха, влажность, скорость ветра, солнечное излучение).

Начало исследований, посвященных городской климатологии, прослеживается с 1 века до н.э. [27]. Однако, только в 19 веке впервые удалось получить количественную оценку особенности городского климата. Л. Ховард на примере Лондонской агломерации первым инструментально подтвердил, что температура воздуха городской среды выше чем в пригороде. Им открыта температурная аномалия, как «городской остров тепла» (рисунок 1.7.) [29].

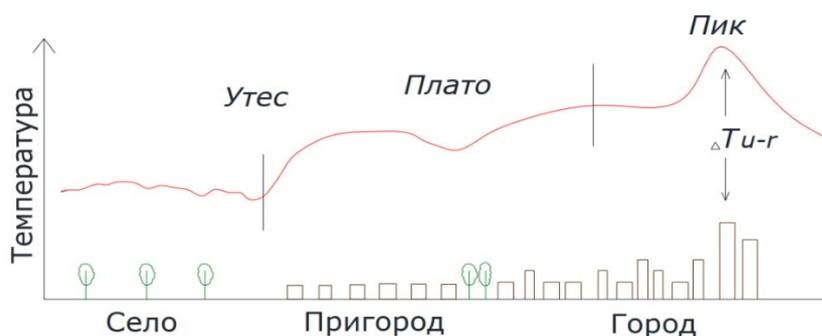


Рис.1.7. Характерное сечение «острова тепла» при переходе от сельской местности к городу: ΔT_{u-r} – температурная разница между городскими (urban) и сельскими (rural) районами [2]

В конце 19 века Эмиль Рено также фиксирует и подтверждает это открытие на примере Парижа [30-32], в начале 20 века Вильгельм Шмидт на примере Вены [33, 34], Митчелл на примере городов США [35, 36].

Со второй половины 20 века исследователи Оке (1968), Terjung (1974), уже непосредственно, переходят к описанию физических процессов возникновения эффекта «городского острова тепла» [37, 38].

1.4.2. Явление тепловой аномалии

В отличие от естественной среды, трансформация городского климата связана с поступлением в приземный слой атмосферы антропогенной тепловой энергии, что приводит к изменению структуры теплового баланса. Это стало основой следующего этапа в теории формирования городского климата - добавление в уравнение теплового баланса земной поверхности (формула 1.1) антропогенного потока тепла (формула 1.2) (Маруп, 1969) [39].

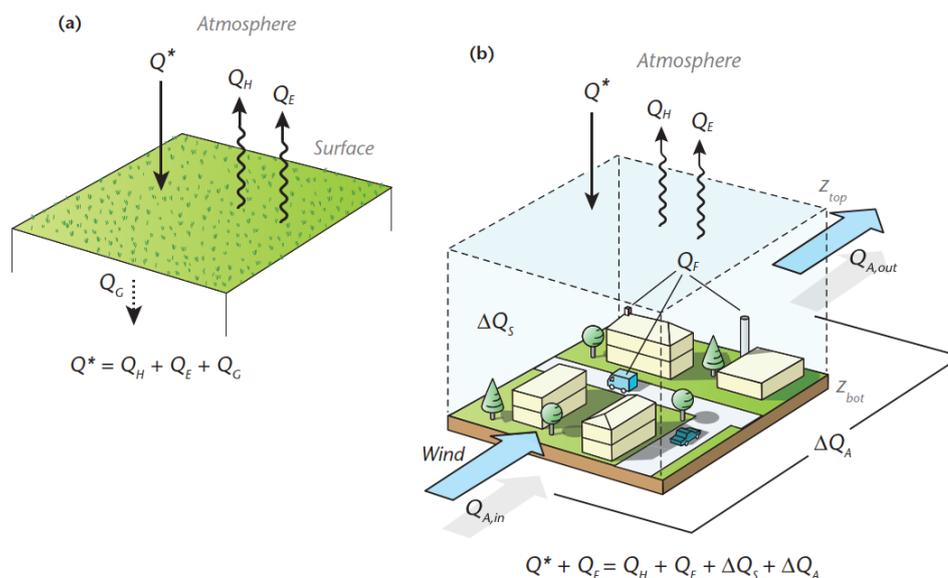


Рисунок 1.8. Схема тепловых балансов (а) сельского и (б) городского объема здания-почвы-воздуха [40]

Тепловой баланс земной поверхности:

$$Q^* = Q_H + Q_E + Q_G \quad (1.1)$$

где Q^* — суммарное радиационное излучение на поверхности земли, ($\text{Вт}/\text{м}^2$);
 Q_H — турбулентный теплообмен между подстилающей поверхностью и атмосферой, ($\text{Вт}/\text{м}^2$);

Q_E — скрытая теплота фазовых переходов воды (испарение, плавление, замораживание) ($\text{Вт}/\text{м}^2$);

Q_G — теплообмен слоев земли с подстилающей поверхностью ($\text{Вт}/\text{м}^2$);

Тепловой баланс городской поверхности для плоскости выше крыши:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \quad (1.2)$$

где Q^* — суммарное радиационное излучение на поверхности земли, ($\text{Вт}/\text{м}^2$);
 Q_F — антропогенный тепловой поток, ($\text{Вт}/\text{м}^2$);
 Q_H — турбулентный теплообмен между подстилающей поверхностью и атмосферой, ($\text{Вт}/\text{м}^2$);

Q_E — скрытая теплота фазовых переходов (испарение, плавление, замораживание) ($\text{Вт}/\text{м}^2$);

ΔQ_S — тепловой поток чистой накопленной энергии, ($\text{Вт}/\text{м}^2$);

$\Delta Q_A = Q_{in} - Q_{out}$ - тепловой поток чистой энергии от адвекции, ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Для оценки воздействия на человека метеорологических режимов городского подслоя, наибольший интерес вызывают механизмы его формирования в нижней части атмосферного пограничного слоя, располагающегося ниже уровня крыш зданий (Оке, 1976) [41]. Процессы, происходящие в этом подслое, тесно связаны с особенностями городской среды, особенно с характеристиками радиационного обмена, в основном зависящих от геометрии городского ландшафта – улиц, площадей, стен зданий. Таким образом, основным средством спецификации территории при изучении метеорологического режима города стал так называемый городской каньон – упрощенная геометрическая форма «улицы в профиль», имеющей два борта (стены домов) и дно (сама улица) [42].

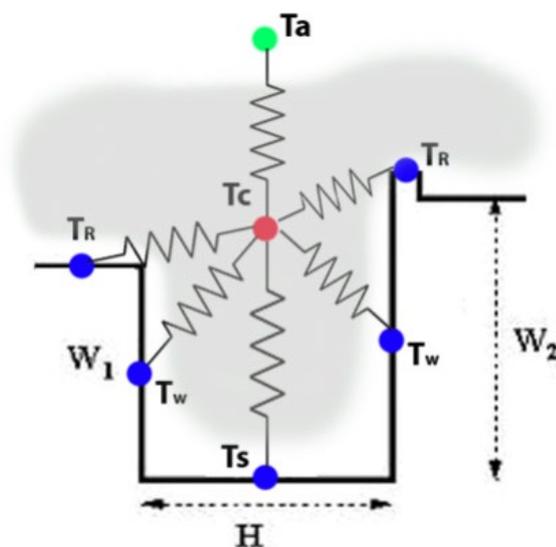


Рисунок 1.9. Энергетическая структура городского каньона [42]
Серым цветом показана квазиоднородная в термическом плане область каньона

В конце 20 века исследования Оке (1987) выявили зависимость в природе образования городского острова тепла связанную с отношением высоты зданий к расстоянию между ними. Температурная разница между городом и пригородом

$\Delta T_{u-r(\max)}$, в зависимости от соотношения средневзвешенной высоты застройки к расстоянию между, описывается следующим математическим уравнением [43]:

$$\Delta T_{u-r(\max)} = 7,54 + 3,97 \ln(H/W), \quad (1.3)$$

где H – средневзвешенная высота участка застройки, W – среднее расстояние между зданиями.

В настоящее время в моделировании метеорологических процессов на городских территориях широко используется либо модели энергетического баланса (surface energy balance (SEB) model), например, концепция городского каньона, либо модели, разрешающие процессы обтекания зданий различными потоками (вода, воздух) ((computational fluid dynamics (CFD) models) [42].

1.4.3. Причины возникновения тепловой аномалии

Основными причинами формирования эффекта «городского острова тепла» являются:

- характерная городская застройка, связанная с высокой плотностью антропогенных объектов - повышенная шероховатость подстилающей поверхности;
- рост этажности зданий приводящий к увеличению окружающих площадей вертикальных поверхностей, уменьшению видимой части неба;
- применение в покрытиях антропогенных поверхностей материалов аккумулирующих, излучающих тепловую энергию более интенсивно чем естественные;
- уменьшение или полное отсутствие площадей природной растительности, использование водонепроницаемых покрытий;
- техногенные выбросы, тепловыделения от транспорта, промышленности, коммуникаций.

В общем виде закономерности изменения микроклиматических характеристик в застройке представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Основные закономерности изменения микроклимата в городских условиях [43]

Климатические характеристики	Закономерности формирования микроклимата по отношению к фоновым условиям
Солнечная радиация	Снижение до 20% в зависимости от уровня загрязнения воздуха, времени года и суток, высоты окружающей застройки.
Температура воздуха	Повышение на 1-4 °С в зависимости от плотности застройки, относительной площади искусственных покрытий и зеленых насаждений, условий аэрации.
Скорость ветра	Снижение на 20-70% в среднем по территории в зависимости от плотности застройки и направленности основных транспортных магистралей относительно преобладающего направления ветра.
Влажность и осадки	Воздух над городом суше на 5-10%. Вследствие наличия «ядер конденсации» и аэрозолей в воздухе. Количество атмосферных осадков над городом увеличивается зимой на 50%, а летом на 15% и прослеживается на 40-50 км с его подветренной стороны. Также увеличивается их интенсивность, а повторяемость гроз в городе выше, чем в его окрестностях.

1.4.4. Ветровой режим городской застройки

Ветер, как метеорологический элемент наиболее подвержен сильному влиянию со стороны рельефа и различного рода препятствий. Воздушные массы ветра открытых территорий сталкиваясь с препятствиями в приземном слое (деятельном) на городских территориях изменяют свои скорости и характеры движения [44]. Обычно скорость ветра на городских территориях меньше, чем за его пределами (таблица 1.3).

Для динамической оценки влияния подстилающей поверхности на параметры воздушного потока используют термин – коэффициент шероховатость поверхности (Z_0), который характеризует степень расчлененности местности непосредственно вблизи пункта измерений. Фактически Z_0 – это высота, на которой скорость ветра становится равной 0, если профиль скорости имеет логарифмический характер изменения (рисунок 1.10)

Профиль ветра в приземном слое воздуха достаточно точно может быть описан с помощью логарифмического уравнения [45]:

$$u_z = \frac{u^*}{\kappa} \ln \left(\frac{z - z_d}{z_0} \right) \quad (1.4)$$

где u_z – средняя скорость ветра, м/с, на высоте z , м; u^* – скорость ветра, возникающая в результате воздействия силы трения, м/с; z_0 – параметр шероховатости, м; z_d – высота смещения нулевой плоскости, м; κ – константа Кармана (обычно принимают равной 0,4) [45].

На уровне шероховатости средняя скорость ветра обращается в ноль; ниже этого уровня имеют место только турбулентные пульсации. Высота смещения нулевой плоскости z_d характеризует вертикальное смещение профиля скорости ветра из-за наличия на поверхности элементов шероховатости (рисунок 1.10).

Параметр шероховатости и высота смещения нулевой плоскости в вертикальном профиле скорости ветра над городом выше, чем в пригородных районах и на открытых участках с преобладанием луговой или сельскохозяйственной растительности [46].

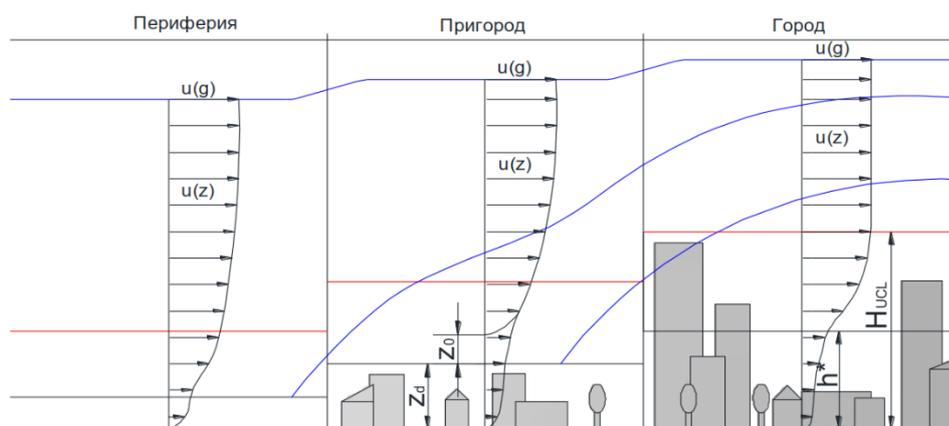


Рисунок 1.10. Схематичное представление вертикального профиля скорости ветра над группой элементов шероховатости подстилающей поверхности над городом, его периферией и в пригороде [46]: $u(g)$ – геострофический ветер; $u(z)$ – вертикальный профиль ветра в слое шероховатости; H_{UCL} – высота городского пограничного слоя атмосферы; h^* – средневзвешенная высота препятствий

В таблице 1.4 приведены средние значения высоты (H) различных объектов городской и естественной среды и соответствующие им параметры шероховатости (z_0) [47].

Таблица 1.4

Шероховатость территории населенных мест [47]

Наименование территории	H, м	z ₀ , м
Жилая застройка малой этажности (1-2 этажа)	5-8	0,5-1
Жилая застройка средней этажности ¹ (3-5 этажей)	11-15	1-2
Жилая застройка средней этажности ² (5-9 этажей)	15-30	2-4
Жилая застройка повышенной этажности (свыше 9 этажей)	30	4
Промышленные территории	По проекту	0,1H
Коммунально-складские зоны	6-12	0,5-1,0
Парки и лесопарки	10-20	1-2
Акватории	0,002-0,01	0,0002-0,01
Поля и луга	0,2-0,5	0,02-0,1
Лес молодой	10	1
Лес	15-20	2

Из таблицы 1.4 можно сделать вывод, что на территории городского двора с ростом этажности и соответственно плотности окружающей застройки средняя скорость ветра приобретает стабильные нулевые значения.

На основании этого можно констатировать, что на территории городского двора обмен тепловой энергией при перемешивании воздушных масс, движущихся в горизонтальном направлении, самого двора с массами приземного слоя (адвекция) отсутствует или ничтожно мал. Слагаемое теплового баланса - результирующая теплового потока от адвекции (ΔQ_A , Вт/м²) в условиях плотной застройки будет стремиться к нулю, $\Delta Q_A \approx 0$ (формула 1.2).

1.4.5. Влажностный режим территорий

На Земле постоянно происходит циклический круговорот воды в природе. Цикл обеспечивается глобальным балансом поверхностной энергии посредством метеорологических процессов, таких как испарение воды с влажных поверхностей (например, растительности, почв, озер, океанов), вертикальное перемешивание, перенос ветрами, конденсация в виде облаков и ее окончательное возвращение на поверхность в виде осадков в различных формах (снег, дождь, выпадение росы, капельки тумана), где они пополняют запасы воды (влажность почвы, грунтовые воды, снежные покровы, ледники, озера, океаны) (рисунок 1.11) [48].



Рисунок 1.11. Упрощенная схема круговорота воды в природе

Процессы, связанные с переходом воды из жидкого в парообразное состояние и обратно, влияют на влажность воздуха являющегося неотъемлемой частью метеорологических показателей климата, характеризующих территорию по комфорту пребывания на ней.

На влажность воздуха влияет интенсивность процесса испарения. Над сушей данный процесс вызывается двумя факторами:

- Мощностью нагрева земной поверхности солнцем.
- Растениями, испаряющими влагу в процессе транспирации (до 99,5% воды, которую растения поглощают через корневую систему, испаряется).

Также активное испарение происходит с поверхности открытых водных объектов (озера, реки, болота и т.д.) и почвенного слоя, который при периодичности увлажнения осадками или искусственным поливом может испарят воду какое-то время [49].

Развитие городов и освоение территорий под массовую застройку означает расчистку территории от зеленых насаждений, сокращение открытых поверхностей водных объектов (например, направление рек, ручьев в подземные коллектора), уплотнение приповерхностных грунтов, что приводит к снижению как содержания влаги в почве, так и испарения, и создание непроницаемого поверхностного покрытия, приводящего к значительному увеличению объема и

скорости отвода поверхностных вод при осадках. В связи с этим, влажность воздуха в городах ниже по сравнению с его окрестностями [50].

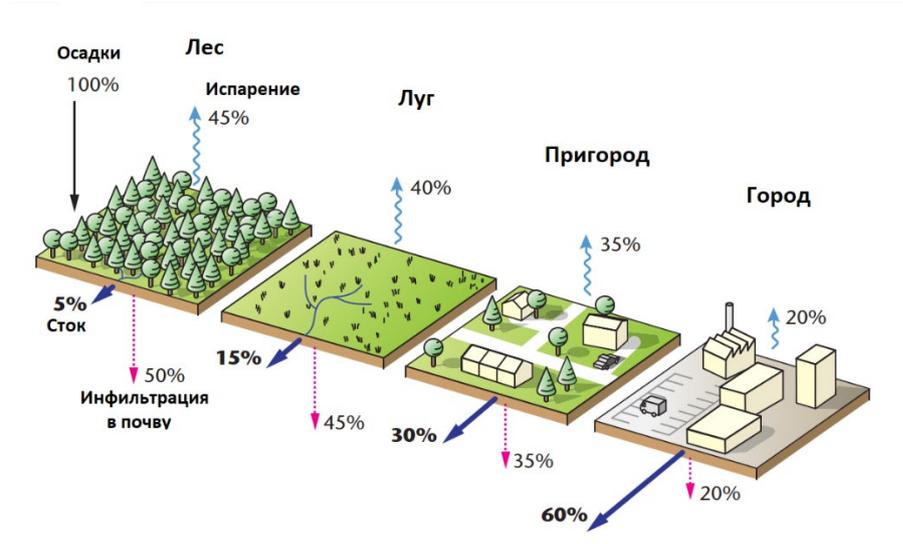


Рисунок 1.12. Обобщенная схема влияния растительного покрова на распределение осадков (100%) между испарением, инфильтрацией и стоком [38]

Условия достижения наибольшей разницы во влажности между городом и его окрестностями зависят от времени дня – в вечерние часы и периода года - летом. Так же, возможно повышенное увлажнение городского воздуха в зимнее время за счет паров техногенных источников.

В условиях сельской и пригородной местностей затраты тепла на испарение (Q_E) являются одной из основных расходных частей теплового баланса земной поверхности. В дневное время затраты на испарения имеют отрицательный знак ($-Q_E$), тем самым понижая тепловой баланс земли (формулы 1.1-2).

Сплошное мощение городских территорий водонепроницаемыми покрытиями, организованный сбор и отвод в короткий промежуток времени атмосферных осадков сокращают интенсивность испарения, что приводит к нарушению естественного водного баланса. Происходит экономия энергии. Так по Москве за теплый период в среднем не затрачивается на испарение около 90 МДж/м² в месяц. Снижение затрат тепла на испарение приводит к увеличению тепловой баланс городской поверхности за счет турбулентного и радиационного теплообмена между поверхностями с атмосферой и поверхностями между собой

соответственно. Это приводит к усилению температурной аномалии над городом [51].

1.5. Тепловой баланса городской поверхности

Городской двор является первичным элементом в объемно-территориальной городской структуре. Формированию микроклимата на его территории также относятся законы городской температурной аномалии. Однако, слагаемы этой аномалии в локальном масштабе городского двора могут принципиально отличаться от показателей большего масштаба, например, быть значительно высокими или быть ничтожно малыми стремясь к нулю в зависимости от градостроительных решений.

Города обладают большей способностью поглощать, аккумулировать и излучать тепло относительно пригородов и сельской местности. В основе это явления лежат три взаимосвязанных фактора: геометрическая форма городской структуры; наличие испаряющих поверхностей; теплотехнические свойства материалов и их конструкций, используемых в покрытиях городских поверхностей (земля, стены, крыши).

Геометрическая форма городской структуры по отношению к плоским поверхностям естественного ландшафта такова, что во-первых, увеличивается площадь поверхностей участвующих в обмене энергией на единицу площади земной поверхности [40].

Во-вторых, коротковолновое излучение солнца, приходящее на вертикальные, горизонтальные внутренние поверхности городских каньонов многократно переотражаясь выходит из него значительно ослабнув по отношению к плоской поверхности естественной среды. Это значит, что интегрально альbedo городских территорий ниже пригородов и территорий сельской местности, что приводит к большему усвоению приходящей солнечной энергии внутри городского объема. С плотностью застройки интегральное альbedo городских территорий понижается [51].

В-третьих, с увеличением плотности застройки уменьшается площадь видимой части неба, что приводит к уменьшению его влияния, как наиболее холодной поверхности в процессе теплообмена с поверхностями города. [40].

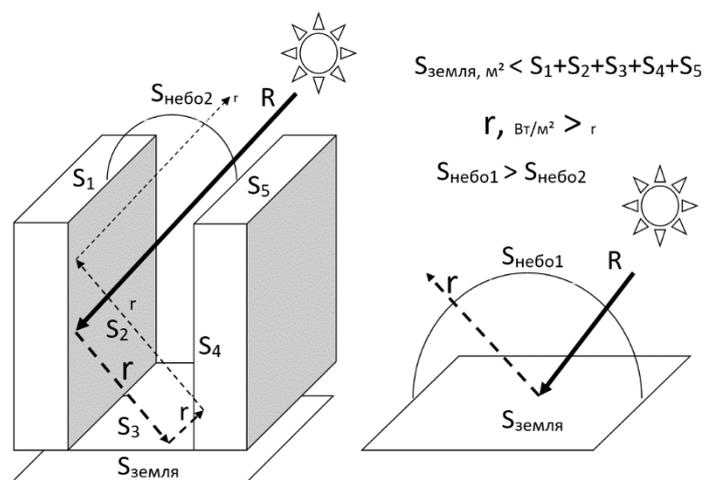


Рисунок 1.13. Пример трех геометрических факторов, отличных от сельской местности, где S_i - активная плоскость; $S_{небо}$ - площадь видимой части неба; R , r – мощность входящего солнечного излучения и мощности коротковолнового преотражения, исходящего с плоскости

Можно сделать вывод, что геометрическая форма городского двора один из важных факторов, оказывающих влияние на формирование микроклимата его территории, например, ориентация застройки по сторонам света будет связана с площадью инсолируемой поверхности и количеством солнечной коротковолновой энергии поступающей в его объем. От глубины каньона или высоты окружающей застройки будет зависеть температурный фон, связанный с площадью видимой части неба, как наиболее холодной поверхностью, участвующего в теплообмене поверхностей двора [52].

Что же касается затрат энергии на испарения (Q_E) с территории городского двора, то ввиду: водонепроницаемости покрытий и мощения земли; уплотнения почв, которое приводит к малому содержанию влаги; организованного стока осадков в подземные коммуникации; полного отсутствия растительности или ее незначительности, а также её нахождение в различных фазах существования (роста, стабильности, стагнации и т.п.) они ничтожно малы и стремятся к нулю

($Q_E \approx 0$) в обычных метеорологических условиях теплого периода года средней полосы.

С учетом проведенного анализа теплового баланса городской поверхности (формула 1.2) можно резюмировать, что антропогенный тепловой поток от деятельности производства, транспорта и пр. на территории городского двора отсутствует или ничтожно мал и/или кратковременен, например, машина завелась и уехала ($Q_F \approx 0$). Ввиду того, что рассматриваемая нами деятельная поверхность городского двора погружена на дно каньона или окружена высокой застройкой процессы адвекции не влияют на её микроклимат ($\Delta Q_A \approx 0$). Так же городские дворы общественно-деловых зон могут быть полностью лишены какой-либо растительности и не иметь поверхностей, испаряющих влагу в постоянном режиме. Размещение на территории городских дворов объектов озеленения, в т.ч. по нормативам для жилых групп, носит лишь характер дополнительных мероприятий по улучшению микроклимата, т.к. растительность в новостройках не развита и в зависимости от вида, сорта, времени посадки и т.д. находится в различных фазах собственного существования и её влияние не может быть полноценно оценено в долгосрочной перспективе ($Q_E \approx 0$).

В таких условиях тепловой баланс городского двора будет представлять взаимобмен энергиями окружающих поверхностей, формула 1.5.

Тепловой баланс поверхности городского двора в момент времени:

$$Q^* = Q_H \quad (1.5)$$

где Q^* — суммарное радиационное излучение на поверхности земли, ($\text{Вт}/\text{м}^2$);

Q_H — турбулентный теплообмен между подстилающей поверхностью и атмосферой, ($\text{Вт}/\text{м}^2$);

Именно теплообмен окружающих поверхностей будет определять тепловую нагрузку на территории городского двора в нормальных условиях рисунок 1.14.

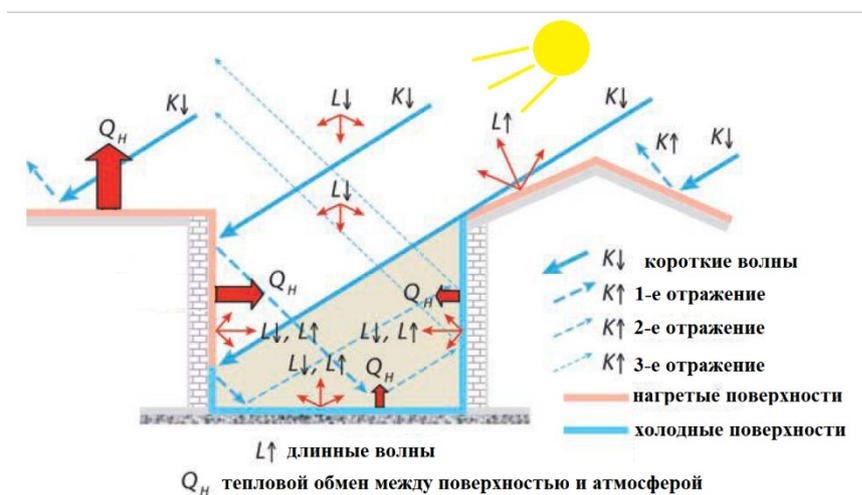


Рисунок 1.14. Тепловой баланс поверхности городского двора в момент времени

Выводы по Главе 1

1. Проведен анализ научно-методических подходов к изучению климата городов и на его территориях в работах зарубежных и отечественных авторов.
2. Проанализированы механизмы формирования тепловой нагрузки деятельного слоя в условиях городской среды и методики расчета их показателей.
3. Определены масштаб исследования и слагаемые теплового баланса поверхности городского двора.

ГЛАВА 2. Моделирование тепловой нагрузки на территории городского двора и исследование параметров, влияющих на создание комфортной среды жизнедеятельности

2.1. Определение порядка моделирования тепловой нагрузки на территории городского двора

Ранее было указано, что в городской атмосфере формируются и протекают разномасштабные климатические процессы. Этим процессам присущи свои определенные эффекты, которые могут быть получены от различных градостроительных решений городских территорий, накладываемые на фоновый климат региона [26]. В своих изысканиях исследователь для описания конкретных явлений оперирует известными математическими аппаратами соответствующего масштаба или новые должны коллерироваться с общепринятыми.

Более того, важно признать взаимную зависимость результатов в одном масштабе от другого. Вполне возможно, что достижение положительных климатических результатов в одном масштабе сведет на нет или даже ухудшит в другом масштабе, если эти зависимости не принимаются во внимание [53].

Например, одним из методов понижения интенсивности «городского острова тепла» (ГОТ) является размещение на городских территориях открытых водных поверхностей с целью снижения тепла за счет испарения, которое забирает часть энергии из окружающей среды, вызывая её охлаждение [54]. Масштаб такого воздействия суб-, мезоклиматический, от района до части города [40].

Поток излучения $Q_{ГОТ}$, Вт/м², обеспечивающего увеличение температуры ГОТ по отношению к пригороду описывается формулой [55]:

$$Q_{ГОТ} = Q_F + \Delta Q_{пов} + \Delta Q_a + \Delta Q_E - \Delta Q_H^{ГОТ} \quad (2.1.)$$

Разность затрат тепла на испарение между городом и пригородом (фоновый район) (ΔQ_E) определяется по формуле:

$$\Delta Q_E = Q_E \times \left(\frac{a_{\text{фон}} - a_{\text{гор}}}{a_{\text{фон}}} \right) \quad (2.2)$$

где Q_E – поток тепла, связанного с испарением и конденсацией водяного пара, Вт/м²;

$a_{\text{фон}}$, $a_{\text{гор}}$ – абсолютные влажности в городе и фоновом районе, г/м³.

Из уравнения 2.2 видно, что при обводнении городских территорий достигая неравенства $a_{\text{гор}} > a_{\text{фон}}$, величина затрат тепла на испарения (ΔQ_E) в формуле 2.1 приобретает знак "-" понижая интенсивность «городского острова тепла» (рисунок 2.1.).

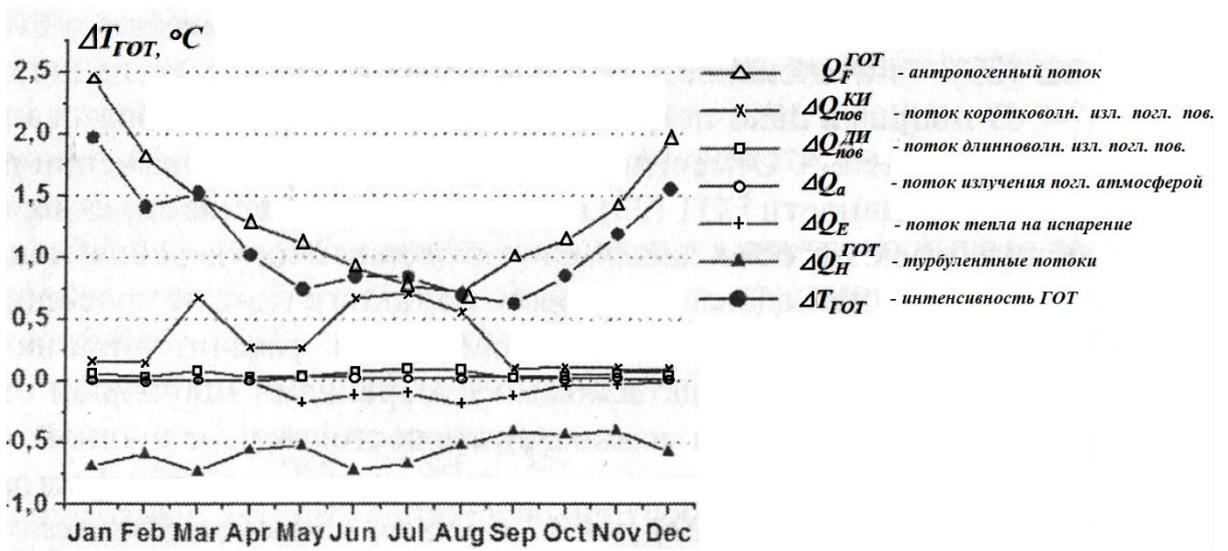


Рисунок 2.1. Приращение температуры воздуха в городе за счет всех потоков тепла [55]

Из графика видно, что потоки тепла на испарение (ΔQ_E) снижают интенсивность «городского острова тепла» ($\Delta T_{\text{Гот}}$) в теплое время года (рисунок 2.1.).

Однако, на микроклиматическом уровне происходит понижение температуры воздуха с одновременным повышением его относительной влажности. Известно, что различные сочетания метеорологических показателей вызывают одни и те же теплоощущения человека [56].

На примере теплового индекса эффективной температуры (ЭТ), путем экспериментов было получено, что эффект одинакового теплоощущения в неподвижном воздухе сохраняется при следующих сочетаниях температуры (Т) и влажности (f): (таблица 2.1.) [57].

Таблица 2.1

Сочетания температуры и влажности воздуха, вызывающие одинаковые теплоощущения [57]

T, °C	17,8	18,9	20,1	20,7	21,7	22,2	23,2
f, %	100	80	60	50	40	30	20

Далее, к двум параметрам была добавлена скорость движения воздуха и тепловые свойства окружающей среды расширились. Новый параметр получил название эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ). Так же, как и у ЭТ, у ЭЭТ возможны различные сочетания T, °C; V м/с и f%, с одинаковой степенью теплоощущения (таблица 2.2.) [57].

Таблица 2.2

Сочетания температуры и влажности воздуха, скорости движения воздуха, вызывающие одинаковые теплоощущения [57]

T, °C	17,8	22,4	25,0
f, %	100	70	20
V м/с	0	0,5	2,5

Из представленных таблиц 2.1., 2.2. можно выявить закономерность по одинаковому теплоощущению, температура ниже – влажность выше и наоборот.

Вызывает интерес изменение микроклимата на территории размещения водного объекта, на сколько эффективен прием обводнения территорий с биоклиматической точки зрения при снижении интенсивности «городского острова тепла» за счет испарения?

В своей работе Ле Минь Туан смоделировал в программе ENVI-met два варианта интенсивности теплового острова нового микрорайона Ван Фу, города

Ханой с водными объектами (озеро, фонтаны) и без. Результаты представлены в графиках температур воздуха и влажности (рисунки 2.2., 2.3.) [58].

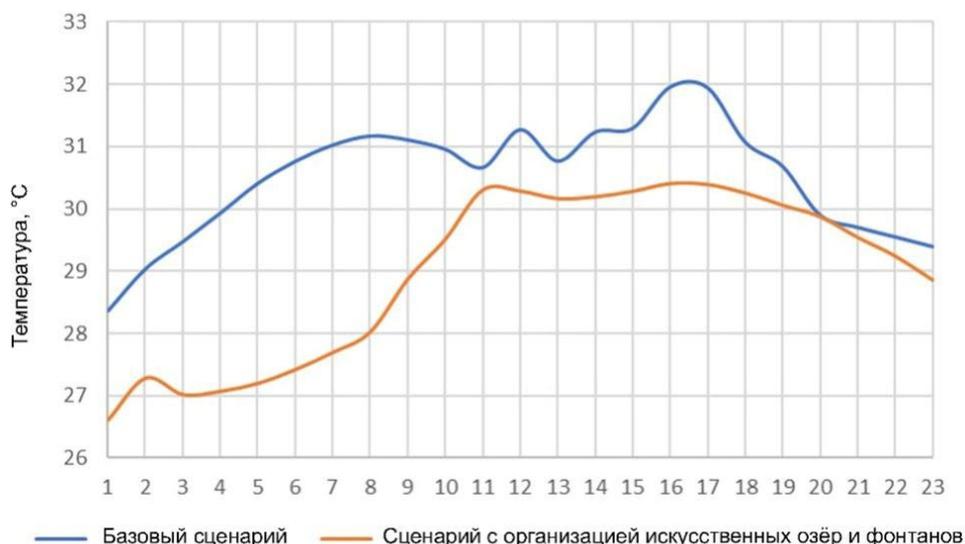


Рисунок 2.2. Температура воздуха в базовом сценарии и сценарии с организацией искусственных озёр и фонтанов в городском квартале Ван Фу города Ханоя, модель рассчитана для 24-часового периода [58]



Рисунок 2.3. Влажность воздуха в базовом сценарии и сценарии с организацией искусственных озёр и фонтанов в городском районе Ван Фу города Ханоя, модель рассчитана для 24-часового периода [58]

При расчете ЭТ (по Стедману) для обоих вариантов на основе температуры и влажности воздуха, и скорости ветра на высоте 10,0 м были получены результаты, представленные в графике ниже (рисунок 2.4.).

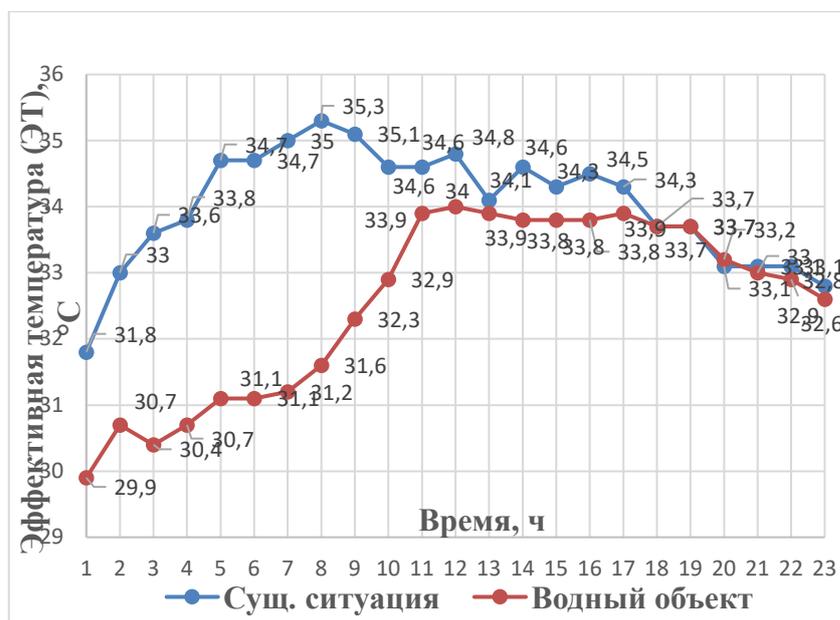


Рисунок 2.4. Суточный ход ЭТ в базовом сценарии и сценарии с организацией искусственных озёр и фонтанов в городском районе Ван Фу города Ханоя

Несмотря на существенную разницу во влажности воздуха и заметную разницу его температур в течении суток (рисунки 2.2., 2.3.), биоклиматическая оценка при сравнении двух градостроительных вариантов показывает, что наибольший эффект от размещения водных объектов достигается во второй половине ночи и в течении всего утра с 1-00 до 10-00, т.е. когда «уличной» активности нет или она набирает темп. Что же касается самого «перегретого» периода с 11-00 до 19-00, то различия температурных индексов ЭТ не превышают 2,3%, а с 18-00 показатели выравниваются.

На основании проведенного анализа, можно сделать вывод, что водные объекты способствуют понижению интенсивности «городского острова тепла», однако, размещение их в данном районе (предложенной характеристики: площадь, глубина и т.д.) оказалось малоэффективным, как с точки зрения мелиорации микроклимата территории, так и экономически (изъятие земли из оборота, устройство непроницаемого основания пруда, его чистка, подпитка водой,

обслуживание и т.д.). Надо отметить, что сам исследователь неоднозначно оценивает полученные результаты.

Следующий примером достижения спорного эффекта уже на одном микроклиматическом уровне при улучшении одного показателя за счет другого, и ухудшения показателя в большем масштабе, могут послужить исследования, связанные с очищением воздуха в уличных каньонах за счет турбулентного теплообмена между поверхностями и воздухом.

Аэрация внутренних объемов застройки особенно актуальна в регионах с жарким маловетренным, штилевым климатом. Для эффективного очищения воздуха, предполагается, за счет использования энергии солнца путем применения механизма взаимодействия инсоляции с энергоактивными поверхностями городской застройки, образовывать потоки местных ветров, так называемый термический ветер. В тоже время указывается, что сочетание жары с безветрием является наихудшим фактором воздействия на человека. Смягчения теплового воздействия, возможно, даже при незначительном движении воздуха со скоростью около 1 м/с [59].

Определенно, исследователи ставят перед собой задачу, созданием местных термических ветров улучшить аэрацию междомовых территорий и омывающим воздушным потоком снизить эффект жары для человека (рисунок 2.5.).

В ходе этих исследований была установлена зависимость вертикальной скорости от критериев Грасгофа – C_r и Архимеда – A_r , [60]:

$$u_B = \frac{1,15 \times C_r \times (\rho_0 - \rho)}{A_r} \quad (2.3.)$$

где $(\rho_0 - \rho)$ - линейная зависимость плотности воздуха от температуры.

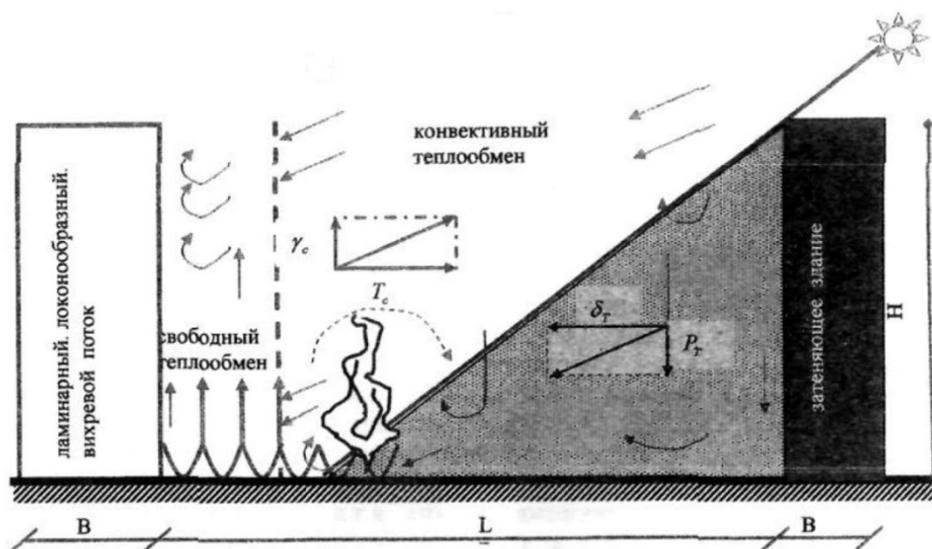


Рисунок 2.5. Расчетная схема воздушной циркуляции в зоне многоэтажного дома в междомовом пространстве [60]

Из уравнения видно, что чем больше разница линейных зависимостей плотности воздуха от температуры, тем выше вертикальная скорость конвективного потока. В застройке такой эффект достигается у «перегретых» инсоляцией горизонтальных и вертикальных плоскостей, когда воздушный поток меньшей плотности (ρ) и с большей температурой «выталкивается» (всплывает) вверх [61].

Так же, было установлено, что для условий Центральной Азии тепловой баланс жилой застройки имеет следующее уравнение [60]:

$$R = (I - A) \times (J' + i) - 456 = |L|, \text{ Вт/м}^2 \quad (2.4.)$$

где J' - поток прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность, Вт/м²;

i - поток рассеянной солнечной радиации, Вт/м²;

L - турбулентный поток тепла, Вт/м²;

A - альbedo деятельной поверхности, %.

Уравнение турбулентного потока тепла L (Q_H) [40]:

$$Q_H = h_c \times (T_o - T_a), \text{ Вт/м}^2 \quad (2.5.)$$

где h_c - коэффициент конвективного теплообмена между поверхностью и окружающим воздухом, Вт/(м²×°К);

T_o – температура поверхности, °К;

T_a – температура воздуха, °К.

Тогда уравнение 2.4. примет вид:

$$(1-A) \times (J' + i) - 456 = h_c \times (T_o - T_a), \text{ Вт/м}^2 \quad (2.6.)$$

Из уравнения теплового баланса городской поверхности можно сделать вывод, что для инициирования турбулентного теплообмена со скоростями воздушного потока около 1,0 м/с необходимо, чтобы разность температур поверхности и окружающего воздуха была как можно больше ($T_o > T_a$, скобка правой части уравнения). Для этого необходимо увеличить значение поглощенной лучистой энергии солнца и атмосферы снижая коэффициент отражения (альbedo, A) (первая скобка слева). С точки зрения термодинамики происходит максимальное поглощение лучистой энергии солнца поверхностями городского каньона из-за пониженного альbedo, формирование мощного конвективного потока вдоль инсолируемой стены из-за большой разницы поверхностных температур, с последующим выносом «перегретого» воздуха над крышами (рисунок 2.6.) [40].

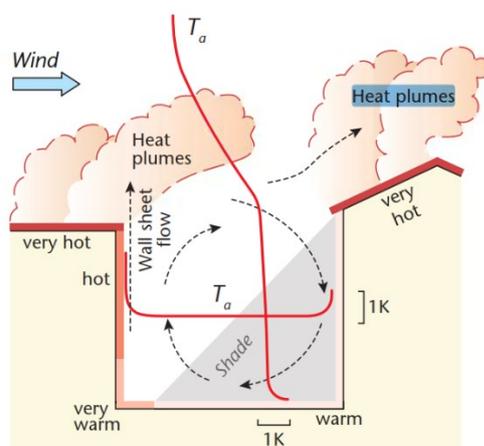


Рисунок 2.6. Схематическое представление вертикальных профилей температуры воздуха в приповерхностном слое городской местности в дневное время, со слабым ветром и небольшим количеством облаков или вообще без них [40]

Можно сделать вывод, что тепловой шлейф с городского двора, интегрируясь в тепловой поток адвекции (ΔQ_A) увеличивает его мощность, тем самым повышая тепловой баланс городской территории в суб-, мезомасштабе (см. формулу 1.2.).

С точки зрения биоклиматического эффекта, опять обратим внимание, что различными сочетаниями метеорологических показателей достигаются одинаковые теплоощущения человека, например, если температура воздуха выше, должна быть выше его скорость и наоборот (таблица 2.2). На примере температурных индексов нужно проводить более подробный анализ, т.к. на разных территориях или у плоскостей, как температуры воздуха, так и их скорости движения различны (рисунок 2.5.). И скорее всего, из-за планировочного решения двора многоквартирной застройки человек не будет находиться в толще воздуха, движущегося с предполагаемой скоростью. Например, противопожарные проезды и тропиночно-тротуарная сеть не устраиваются вдоль стен, где конвективные потоки максимальны.

О чем можно сказать утвердительно, что на человека усилятся воздействия радиационных температур от окружающих поверхностей, а это приведет к его дискомфортным теплоощущениям.

Отметим, что с точки зрения термодинамики, такой прием возможен для аэрации воздуха закрытой территории, только получаемый эффект может значительно ухудшить другие компоненты климата.

Из приведенных примеров можно сделать вывод, что при решении климатологической задачи надо руководствоваться комплексным подходом, достигнув определенного эффекта необходимо дать ему оценку, в т.ч. биоклиматическую, в других городских масштабах.

На основании вышеизложенного сделан вывод, что для моделирования тепловой нагрузки на территории городского двора требует комплексного подхода: во-первых, надо определиться с масштабом исследования; во-вторых, определить какие факторы и явления действуют в этом масштабе, и как они описываются математическим аппаратом; в-третьих, определить биоклиматический показатель степени комфортности окружающей среды на территории городского двора; в четвертых, по достижению положительного эффекта в моделировании тепловой нагрузки сделать оценку влияния тех или иных факторов на другие климатические масштабы.

2.2. Определение исследовательской городской «поверхности» и параметров, влияющие на создание комфортной среды жизнедеятельности

На территории городского двора действует микроклиматический масштаб метеорологических условий, характеризующихся сочетанием температуры и влажности воздуха, скорости ветра, интенсивности солнечной радиации и тепловыми излучениями окружающих поверхностей. Однако, этого понимания недостаточно для оценки факторов и явлений, их степени влияния на тех или иных уровнях («поверхностях») городской застройки.

На рисунке 2.7. представлены характерные исследовательские «поверхности» в представлении взаимодействия городской системы с атмосферой [40]:

- (a) Идеальная или полная трехмерная (3-D) поверхность, на которой учитывается каждый элемент структуры (горизонтальный, вертикальный). Моделирование свойств сверхсложное, применяют упрощенные модели.
- (b) Точка зрения наблюдателя - поверхность земли. Влияние вертикальных элементов не рассматривается или принимается как незначительное.
- (c) Вид с крыши, который по существу игнорирует пространственную сложность самой городской структуры и рассматривает систему внизу как 'черный ящик'. Процессы и свойства в меньших масштабах, чем коробка, объединяются вместе, и учитывается только конечный результат в верхней части коробки.
- (d) План, или вид с высоты птичьего полета - это то, что "видно" удаленным датчиком, смотрящим вертикально вниз на систему. С этой точки зрения вертикальные поверхности, такие как стены, не видны, а другие поверхности скрыты от глаз (например, под деревьями).
- (e) Вид поверхностных измерений погодных условий, стандарт климатических и метеорологических наблюдений, обычно от 1,5 до 2 м над землей.
- (f) Вид принятого исследователями некой заданной («нулевой») поверхности влияние на которую микрометеорологических эффектов наиболее важно,

например, при рассмотрении обмена над сельскохозяйственными культурами и лесами, имеющими слой полога.

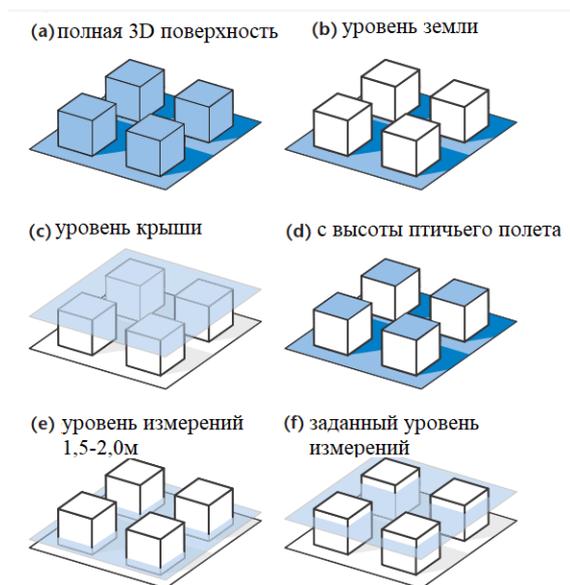


Рисунок 2.7. Потенциальные определения или перспективы "поверхности" (синим цветом) упрощенного представления городской системы [40].

Целью моделирования тепловой нагрузки на территории городского двора является оценка микроклиматических условий окружающей среды на предмет комфортности в зависимости от различных градостроительных решений застройки. Индикатором такой оценки является человек. Поэтому, в данной работе исследовательской «поверхностью» является стандартная высота климатических и метеорологических измерений погодных условий 1,5 м над землей для дальнейшего использования полученных результатов в биоклиматических показателях для определения степени комфортности среды (рисунок 2.7. (e)).

2.2.1. Тепловой баланс исследовательской «поверхности» и параметры влияния на комфорт среды жизнедеятельности

Несмотря на то, что исследовательский уровень находится на высоте 1,5 метра над землей, при использовании теории теплового баланса слой атмосферного

воздействия внутри застройки (САВЗ) считается квазиоднородным и изотермическим (рисунки 1.6., 1.9.). К нему относится утверждение об обмене энергией между поверхностью земли и воздухом.

На рисунке 2.8. представлена схематическая структура модели энергетического баланса в городах. Слой между землей 0 (T_0, q_0) и Z_0 (T_0, q_0), в котором находится исследовательский уровень, является изотермическим, поэтому, тепловой баланс исследовательской «поверхности» $Z_{1,5}$ ($T_{1,5}, q_{1,5}$) будет равен тепловому балансу поверхности городского двора (0 (T_0, q_0)) [59].

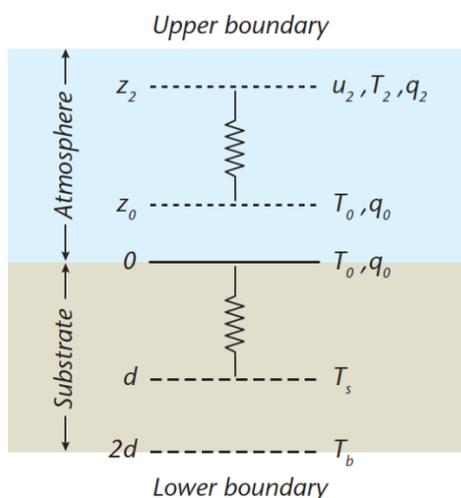


Рисунок 2.8. Схематическая структура Мугур (1969) модель баланса поверхностной энергии в городах. ‘Поверхность’ расположена на высоте z_0 , а слой между землей (0 м) и z_0 представляет собой изотермический городской навес. Передачи между поверхностью и вышележащим воздухом на высоте z значительно выше городского навеса и между поверхностью и подложкой показаны символом сопротивления, т.е. поток пропорционален разнице в свойствах на расстоянии [62]

По закону теплового баланса «приходящая» энергия на поверхность равна «исходящей» с этой поверхности энергии. В нашем случае на поверхность городского двора приходят: поглощенный коротковолновой поток суммарного солнечного излучения (K_{\downarrow}); отраженный коротковолновой поток от окружающих стен первого порядка (K_{\uparrow}) (последующие отражения не рассматриваются в виду ничтожности [63]); длинноволновые радиационные потоки от стен (L_{\uparrow}). С поверхности двора исходит конвективный поток теплообмена между

поверхностью двора и воздухом (q_c), и собственный радиационный поток (q_r), уравнение 2.8., (рисунок 2.9.):

$$K_{\downarrow} + K_{\uparrow} + L_{\uparrow} = q_c + q_r \quad (2.7.)$$

или

$$Q^* \times (1 - A_o) + (A_w \times Q^*) \times (1 - A_o) + \sum a_i \times \sigma \times T_i^4 = a_o \times \sigma \times T_o^4 + h_c \times (T_o - T_a), \text{ Вт/м}^2 \quad (2.8.)$$

где $Q^* = (J' + i)$ — суммарный коротковолновой поток солнечного излучения на поверхность земли, стены: J' — прямой солнечный поток; i — поток рассеянной солнечной радиации, (Вт/м^2);

A_o, A_w - альbedo поверхности двора, стены, %;

a_i, a_o — коэффициенты поглощения лучистой энергии i материалом стены и поверхностью двора, %;

σ — постоянная Стефана-Больцмана, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$;

T_i — температуры i поверхностей, °К;

h_c — коэффициент конвективного теплообмена между поверхностью двора и окружающим воздухом, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°К})$;

T_o — температура поверхности двора, °К;

T_a — температура воздуха, °К.

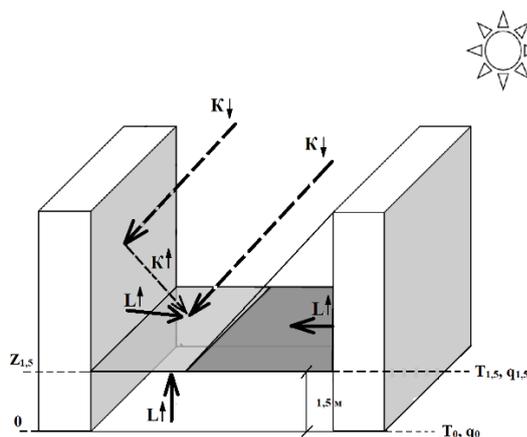


Рисунок 2.9. Радиационный баланс исследовательской поверхности, 1,5 метра над землей

Другие источники тепловой энергии на поверхности городского двора в тепловом балансе не учтены, т.к. отсутствуют: антропогенный поток тепла ($Q_F \approx 0$); адвекция ($\Delta Q_A \approx 0$); скрытая теплота испарения воды ($Q_E \approx 0$) (раздел 1.4.4.).

Из уравнения 2.7. можно сделать вывод, что интенсивность теплового баланса на поверхности городского двора будет в меньшей степени зависеть от суммарного потока солнечного излучения, как некой постоянной величины, зависящей от широты места, времени суток, периода года, и в большей степени от характеристик материалов на окружающих поверхностях (стены, земля), таких как: альbedo (A), коэффициент поглощения лучистой энергии (a), поверхностная температура (T). Для того чтобы уменьшить интенсивность теплообмена, возникающего в системе поверхность городского двора – атмосфера, необходимо: увеличить количество отраженной лучистой энергии солнца материалом (альbedo), в тоже время, понизить количество поглощенной лучистой энергии солнца материалом (коэффициент поглощения). От этих двух величин зависит температура окружающих поверхностей.

На основании изложенного можно сделать вывод, что на территории городского двора тепловая нагрузка (тепловой баланс) в основном будет определяться интенсивностью радиационного теплообмена между окружающими поверхностями.

2.3. Физиологические основы оценки и нормирования комфортности городской среды с учетом температурных индексов

Необходимым условием жизнедеятельности человека является равенство прихода и расхода тепла в его тепловом балансе. Система терморегуляции организма позволяет в определенных пределах обеспечивать баланс продуцируемого и теряемого телом тепла. Однако возможности терморегуляции ограничены. Любые температурные воздействия, выходящие за рамки «термически нейтральных», вызывают ту или иную степень напряжения организма (холодно, жарко). Тепловое состояние с незначительным напряжением системы терморегуляции, определяется как состояние теплового комфорта [57].

Для оценки теплового состояния организма, испытывающего суммарное влияние метеорологических факторов были разработаны «температурные

индексы» или «комплексные биоклиматические показатели», учитывающие одновременное воздействие различных метеорологических, физических факторов на организм человека [64-66]. В основе характеристик качества окружающей среды по температурным индексам лежит принцип термостабильного состояния организма, при котором, обеспечивается равенство теплопродукции и суммарной теплоотдачи, что является единственным условием теплового комфорта человека. Поэтому климатические параметры теплового комфорта служат гигиенической нормой микроклиматических условий помещений [57].

Наиболее значимыми микроклиматическими показателям, влияющим на тепловое состояние человека, являются: температура и относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха; тепловое излучение окружающих предметов. При теплообмене с окружающей средой по достижении теплового баланса организма микроклимат, характеризующийся комплексом метеорологических показателей, определяется как комфортный.

Широко применяемые биоклиматические показатели представлены в таблице 2.3. [67].

Ранжирование основных биометеорологических показателей

(Трубина М.А., 2003 г.) [67]

Обозначение	Название
1. Температурно-влажностные показатели	
ЭТ, °С	Эффективная температура (по Миссенарду)
DI, баллы	Индекс дискомфорта (США) или ТВИ температурно-влажностный индекс (по Тому)
DY, баллы	Индекс дискомфорта (Япония)
2. Температурно-ветровые показатели (индексы холодового стресса)	
W, ккал/м ² ·ч	Ветро-холодовый индекс (по Сайллу)
W C	Уточненный ветро-холодовый индекс (Wind Chill, Канада)
S, баллы	Индекс суровости (по Бодману)
T, баллы	Коэффициент жесткости погоды (по Арнольди)
H, Вт/м ² ·°С	Индекс ветрового охлаждения (по Хилту)
S ₀ , баллы	Модифицированная формула индекса суровости – жесткость погоды суток (по Осокину)
ЭШТ, °С	Эквивалентно-штилевая температура (оценка суровости погоды производится без учета теплоизоляции одежды)
3. Температурно-влажностно-ветровые показатели	
ЕТ, °С	Эквивалентно-эффективная температура (показатель тепловой чувствительности с учетом влияния ветра)
ID, баллы	– индекс дискомфорта, характеризующий группы тепловой чувствительности человека по ЕТ
ЭЭТ, °С	Эквивалентно-эффективная температура (по Миссенарду)
НЭЭТ, °С	Нормальная ЭЭТ (по Бутьевой)
4. Температурно-влажностно-ветровые показатели, учитывающие солнечную радиацию	
РЭЭТ, °С	Радиационная эффективно-эквивалентная температура (по Шелейховскому и с уточнением Русанова)
БАТ, °С	Биологически активная температура
T _{пр} , °С	Индекс "приведенной температуры" (по Адаменко и Хайруллину)
Q _s , Вт/м ²	Сальдо теплового баланса тела человека (по Русанову)
C, ед. кло	Коэффициент теплоизоляции одежды (1 кло соответствует термическому сопротивлению одежды, равному 0,155 °С·м ² ·Вт ⁻¹)
КТ, баллы	Коэффициент дискомфорта климата (по Русанову)
5. Индексы патогенности и изменчивости погоды и климата	
I	Общий индекс патогенности погоды (по Бокша и Богутскому)
I ₁	– отражает состояние погоды суток по основным метеопараметрам
I ₂	– отражает межсуточную изменчивость электромагнитного поля, геомагнитного поля и солнечной активности
pO ₂ , г/м ³	Биоклиматический индекс, выражающий весовое содержание кислорода в воздухе (по Овчаровой)
K, %	Индекс изменчивости класса погоды момента (по Русанову)
БИСМ, у.е.	Биоклиматический индекс суровости метеорежима (по Белкину)
МИЗ, у.е.	Комплексный показатель – метеорологический индекс здоровья (МИЗ) (по Богаткину)
ТР	Комплексный показатель, определяющий тип погоды или класс погоды момента (по Русанову)
ИПН, у.е.	Интегральный показатель нагрузки (по Матюхину и Кушниренко)
6. Индексы континентальности климата	
K _к , %	– по Л. Горчинскому
K _{кпр} , %	– по С.П. Хромову

Ранее было определено, что именно радиационный теплообмен окружающих поверхностей будет определять микроклимат и тепловую нагрузку на территории городского двора, поэтому, в исследовании рассматриваются биоклиматические показатели, учитывающие радиационную компоненту, а именно:

- радиационно-эквивалентно-эффективная температура (РЭЭТ, °С);
- индекс «приведенной температуры» (по Адаменко и Хайруллину) (T_{пр}, °С);
- сальдо теплового баланса тела человека (по Русанову) (Q_s, Вт/м²);

- оперативная температура (t_o) по стандарту ANSI/ASHARE 55-2017;
- WBGT-индекс;
- интегральный показатель тепловой нагрузки среды (THC-индекс).

Индексы были проанализированы с точки зрения удобства расчета и измерения показателей микроклимата окружающей среды, их реакции на изменение: пространственной ориентации строительных объектов и их объемно-планировочных решений; теплотехнических характеристик применяемых покрытий.

Предложенные к рассмотрению температурные индексы были разделены на две группы: первая – индексы, для расчета которых радиационное излучение должно быть задано (измерено с помощью приборов); вторая – индексы, в которых есть расчет радиационного излучения окружающей среды.

2.3.1. Температурные индексы первой группы

В первую группу были отнесены биоклиматические показатели: радиационно-эквивалентно-эффективная температура (РЭЭТ, °С) (формула 2.8) [64]; индекс «приведенной температуры» (по Адаменко и Хайрулину) ($T_{пр}$, °С) (формула 2.9) [68]; сальдо теплового баланса тела человека (по Русанову) (Q_s , Вт/м²) (формула 2.10) в своей структуре учитывают радиационную составляющую как заданную величину [66].

$$РЭЭТ=125 \times \lg(1+0.02 \times T+0.001 \times (T-8) \times (f-60)-0.045 \times (33-T) \times \sqrt{\bar{v}}+185 \times B) \quad (2.8)$$

где T – температура воздуха, °С; f – относительная влажность воздуха, %; \bar{v} – скорость ветра, м/с; B – поглощенная поверхностью тела солнечная радиация, кВт/м².

$$T_{пр}=\theta_{в}+\Delta\theta_{пр} \quad (2.9)$$

где $\theta_{в}$ - температура воздуха, °С;

$\Delta\theta_{пр}$ - приведенная температурная поправка, °С.

Приведенная температурная поправка рассчитывается:

$$\Delta\theta_{\text{пр}} = \Delta\theta_{\text{В}_0, \vartheta} - 8,2\sqrt{\bar{v}} \quad (2.9.1)$$

где $\Delta\theta_{\text{В}_0, \vartheta}$ – радиационная поправка, °С;

\bar{v} – скорость ветра, м/с.

Радиационная поправка:

$$\Delta\theta_{\text{В}_0, \vartheta} = \frac{2,5 \times \text{В}_0}{0,04 + 0,01 \sqrt[3]{e\bar{v}}} \quad (2.9.2)$$

где В_0 – радиация, приходящая на открытые участки тела, кал/(см²×мин)

$$Q_s = \left(\frac{S \text{ctgh}}{\pi} - \frac{1}{2D} \right) \times (1 - \alpha) + M + 0,04 \text{ЭЭТ} - 0,98 \quad (2.10)$$

где S – прямая солнечная радиация, кВт/м²;

D – рассеянная радиация, кВт/м²;

h – высота солнца, °;

α – альbedo непигментированной кожи;

π – коэффициент - 3,14;

M – теплопродукция организма человека, кВт/м²;

ЭЭТ - эквивалентно-эффективная температура, °С.

По биоклиматическим показателям первой группы можно сделать вывод, что отсутствие расчета радиационного излучения от плоскостей окружающего ландшафта не дает возможности их использования для решения исследовательской задачи.

2.3.2. Температурные индексы второй группы

Оперативная температура (эквивалентная, действующая) (t_o), °С - равномерная температура воображаемого замкнутого пространства, в котором человек теряет такое же количество тепла от конвекции и излучения, как и в реальной среде (с неравномерной температурой).

В зависимости от скорости движения окружающего воздуха с помощью коэффициентов «взвешивания» определяется степень воздействия радиационной температуры и температуры воздуха при осреднении этих температур.

Расчет оперативной температуры имеет следующий вид:

$$t_o = A \times t_a + (1-A) \times t_r \quad (2.11)$$

где t_a – температура воздуха, °С

t_r – средняя радиационная температура, °С

Коэффициент А при скорости ветра (\bar{v} , м/с):

\bar{v} < 0,2 0,2-0,6 0,6-1,0

А 0,5 0,6 0,7

По показаниям оперативной (действующей) температуры и температуры точки росы определяют приемлемые микроклиматические условия окружающей среды (рисунок 1.15.) [57].

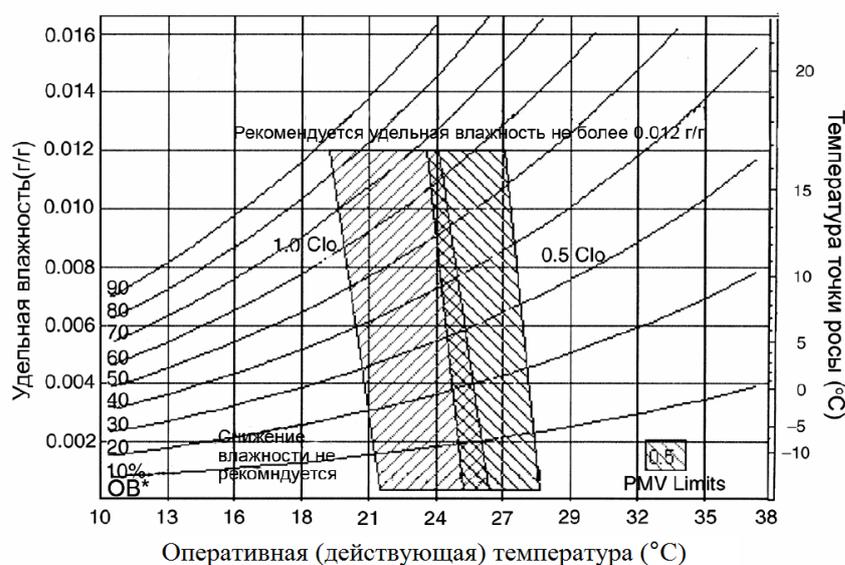


Рисунок 2.10. Допустимые значения оперативной (действующей) температуры и влажности для административных и жилых помещений. ОВ* - относительная влажность воздуха, % [57]

Кроме этого, оперативная (эквивалентная) температура используется для определения комфортности теплового режима с использованием показателя прогнозируемой средней оценки качество воздушной среды (PMV) (таблица 2.4) [69].

Таблица для определения прогнозируемой средней оценки (PMV)

Одежда		Эквивалентная температура, °C	Относительная скорость движения воздуха, м/с								
кло	м ² ·К/Вт		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	
0	0	27	-2,55	-2,55							
		28	-1,74	-1,76	-2,23	-2,62					
		29	-0,93	-1,02	-1,42	-1,75					
		30	-0,14	-0,28	-0,60	-0,88					
		31	0,63	0,46	0,21	0,01					
		32	1,39	1,21	1,04	0,89					
		33	2,12	1,97	1,87	1,78					
0,25	0,039	34		2,73	2,71	2,68					
		26	-1,92	-1,94	-2,29	-2,57					
		27	-1,30	-1,36	-1,67	-1,92	-2,31	-2,62			
		28	-0,69	-0,78	-1,05	-1,26	-1,60	-1,87	-2,10	-2,89	
		29	-0,08	-0,20	-0,42	-0,60	-0,89	-1,12	-1,31	-1,97	
		30	0,53	0,39	0,21	0,06	-0,17	-0,36	-0,51	-1,05	
		31	1,12	0,99	0,84	0,73	0,55	0,41	0,29	-0,13	
		32	1,71	1,58	1,49	1,41	1,28	1,18	1,09	0,80	
		33	2,29	2,19	2,13	2,08	2,01	1,95	1,90	1,73	

Примечание: Уровень активности: 46 Вт/м (0,8 мет)

В России аналогом оперативной температуре (t_o) по межгосударственному стандарту ГОСТ 30494-2011 "Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях" является результирующая температура (t_{su}).

Мягковым М.С. предложено при определении степени комфортности городских территорий применять ГОСТ по определению результирующей температуры (t_{su}) микроклимата для помещений [57]. Однако, это невозможно по нескольким принципиальным положениям:

- Расчет результирующей температуры (t_{su}) не учитывает инсоляцию, которой подвержены открытые территории в теплый период года, солнечное излучение вносит ощутимый вклад в микроклиматические показатели окружающей среды. По этой причине показатели комфорта на открытых территориях должны

характеризоваться своими показателями, например, индекс тепловой нагрузки окружающей среды (ТНС-индекс);

- Локальная асимметрия результирующей температуры в помещении ограничена $2,5 \div 3,5^\circ\text{C}$. Малая асимметрия достигается за счет того, что коэффициенты излучения стен одинаковые или близки по значению, а площадь окон и отопительных приборов значительно мала по сравнению с площадью внутренних стен, что во дворе или на улице в принципе невозможно, т.к. есть инсолируемая стена и стена в тени, от которых разница радиационных температур значительно превышают эти значения. К тому же, сами стены и покрытия придомовых территорий по коэффициентам излучения гетерогенны (неоднородны). И если в помещении можно говорить о некоторых усредненных показателях микроклимата в виду сравнительно небольшого объема, то для городской среды это невозможно, т.к. стоите Вы на газоне или асфальте, резиновом покрытии спортплощадки, у светлого или темного фасада, близко, далеко от инсолируемой стены, Вы испытываете довольно различную тепловую нагрузку.

Индекс температуры влажного шарика психрометра (индекс WBGT) [70]. Для расчета индекс WBGT вне зданий с солнечной нагрузкой необходимы измерения трех производных параметров, естественной температуры влажного шарика термометра (t_{nw}), температуры излучения (t_g), и температуры воздуха (t_a)

$$\text{WBGT} = 0.7 t_{nw} + 0.2 t_g + 0.1 t_a \quad (2.12)$$

Степень комфортности окружающей среды по биоклиматическому показателю индекс WBGT определяют по таблице 2.5.

Таблица справочных значений индекса WBGT теплового перегрева [70]

Класс выделения метаболического тепла	Выделение метаболического тепла		Справочное значение			
	Относительно единицы площади поверхности кожи, Вт/м ²	Всего (для средней площади поверхности и кожи 1,8 м ²), Вт	Человек, акклиматизированный к теплу, °С		Человек, не акклиматизированный к теплу, °С	
0 (отдых)	M≤65	M≤117	33		32	
1	65<M≤130	117<M≤234	30		29	
2	130<M≤200	234<M≤360	28		26	
3	200<M≤260	360<M≤468	Нет заметного движения воздуха 25	Заметное движение воздуха 26	Нет заметного движения воздуха 22	Заметное движение воздуха 23
4	M>260	M>468	23	25	18	20

Примечание - Данные значения были установлены с учетом максимальной ректальной температуры 38 °С у изучаемых лиц.

По ISO 7243 взаимосвязь между температурой шарового термометра и радиационной температурой окружающей среды при естественной конвекции, т.е. $\bar{v} < 0.15 \text{ ms}^{-1}$ определяется как:

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + 0.4 \times 10^8 \times |t_g - t_a|^{1/4} \times (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (2.13)$$

$$t_g = \frac{t_r + 2.44 \times t_a \times \sqrt{\bar{v}}}{1 + 2.44 \times \sqrt{\bar{v}}}, \quad (2.14)$$

где для обеих формул:

t_r – радиационная температура окружающей среды, °С;

t_a – температура воздуха, °С;

t_g – показания шарового термометра, °С;

\bar{v} – скорость ветра, м/с.

Индекс тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс) [71]. ТНС-индекс используется в российских нормативных документах по гигиенической оценке факторов рабочей среды нагревающего микроклимата независимо от периода года и открытых территорий в теплый период года. ТНС-индекс эмпирический показатель, характеризующий сочетанное действие на организм человека

параметров микроклимата (температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения) [71]. Он также, как и оперативная температура (t_o), определяется как взвешенная сумма двух температур:

$$\text{ТНС} = 0,7 \times t_w + 0,3 \times t_g \quad (2.15)$$

здесь t_w - температура смоченного термометра аспирационного психрометра, °С;
 t_g - показания шарового термометра, °С.

ТНС-индекс имеет хорошую совместимость с WBGT-индексом (рисунок 1.17).

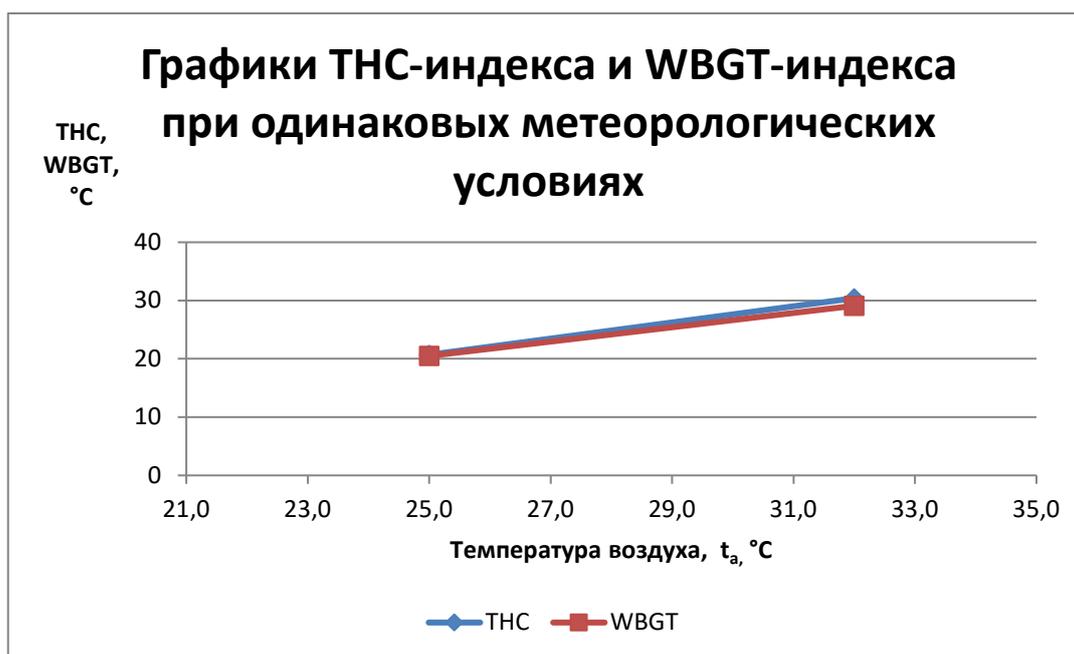


Рисунок 2.11. Графики ТНС-индекса и WBGT-индекса при одинаковых метеорологических условиях

Так же, как у индекса WBGT при расчете ТНС-индекса взаимосвязь между температурой шарового термометра (t_g) и радиационной температурой окружающей среды (t_r) определяется по уравнениям 2.13, 2.14.

Для решения ранее поставленной задачи по расчету и измерениям показателей микроклимата окружающей среды наиболее подходят следующие температурные индексы: оперативная температура; индекс WBGT; ТНС-индекс. В структуре каждого биоклиматического индекса есть показатель теплового излучения. Однако, оперативная температура определяет степень комфортности микроклимата только для помещений, т.к. имеет ограничения по локальной асимметрии поверхностных температур окружающих плоскостей. Для

определения индекса WBGT необходимо измерить три показателя. Наиболее выгодно для решения поставленной задачи использовать TNC-индекс. Для которого надо измерить два показателя, к тому же TNC-индекс имеет хорошую совместимость с WBGT-индексом (рисунок 2.11).

Поток радиационного излучения носит векторный характер, а это значит, что для его корректного измерения датчик приема должен находиться в положении, когда его поверхность перпендикулярна приходящему излучению. Для измерений лучистого тепла в больших пространствах окруженного гетерогенными плоскостями, подверженным разным режимам инсоляции плоские и цилиндрические приемники не подходят из-за ограниченного угла «зрения». При измерении теплового излучения от нескольких источников такими приборами необходимо работать по каждому направлению, что в конечном счете усложняет получение корректного интегрального результата. Наиболее подходящим прибором с изотропной чувствительностью, для измерения интегрального (всестороннего) теплового облучения, представляется шаровой термометр показания которого входят в температурные индексы: WBGT, TNC-индекс [72].

Выводы по Главе 2

1. Проанализированы механизмы проявления различных климатических положительных эффектов, могущих привести к ухудшению компонентов окружающей среды в других масштабах.
2. Определен порядок комплексного подхода для моделирования тепловой нагрузки на территории городского двора.
3. Определена исследовательская «поверхность» и определены соответствующие параметры, влияющие на создание комфортной среды жизнедеятельности.
4. Проанализированы биоклиматические показатели, определяющие степень комфортности окружающей среды. Обоснован выбор температурного

индекса, индекса тепловой нагрузки окружающей среды (ТНС-индекс), как критерия оценки тепловой нагрузки на территории городского двора.

5. Обоснован выбор применения шарового термометра для оценки микроклимата окружающей среды на территории городского двора.

ГЛАВА 3. Теоретическое и практическое решение модели тепловой нагрузки на территории городского двора в условиях плотной застройки

3.1. Теоретическое решение модели

3.1.1 Известные способы расчета радиационных температур окружающей среды

Ранее было определено, что тепловой баланс поверхности городского двора в условиях плотной застройки будет определяться радиационным теплообменом окружающих поверхностей (формула 2.7.). Были подобраны биоклиматические показатели для качественной оценки окружающей среды по степени её комфорта, в структуре которых содержится расчетная радиационная температура (раздел 2.3.2.).

Далее, были рассмотрены существующие методы расчета радиационных температур окружающей среды, результаты которых учитываются в температурных индексах.

Средняя температура излучения от окружающих поверхностей может быть рассчитана [73]:

- по температуре окружающих поверхностей, как среднеарифметический показатель;
- по коэффициенту облученности между человеком (в т.ч. элементарной площадкой) и окружающими поверхностями, учитывающего размеры и положение этих поверхностей по отношению к объекту воздействия, а также форму объекта (человек, элементарная площадки и т.д.).

Среднеарифметический расчет радиационной температуры. Средняя температура излучения по температуре окружающих поверхностей определяется, как среднеарифметический показатель по формуле [74]:

$$t_r = \frac{\sum A_i \times t_i}{\sum A_i} \quad (3.1)$$

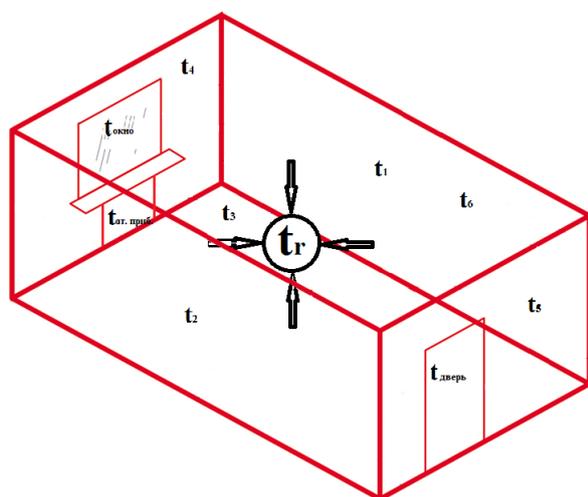
где A_i – площадь i поверхности, м²

t_i - температура i поверхности, °С.

Результат этого расчета входит в состав правого слагаемого с учетом

весового коэффициента, соответствующего скорости движения воздуха, формулы 2.11.

Такой подсчет более чем упрощенный и применяется в помещениях с изотропными показателями поверхностных температур окружающих ограждений, когда площади окон, дверей, отопительных приборов малы или разница их поверхностных температур с температурой основной площади невелика (рисунок 3.1.). При этом локальная асимметрия результирующей температуры в помещении ограничена $2,5 \div 3,5^\circ\text{C}$, что в принципе невозможно на открытых территориях подверженных инсоляции и затенению, а значит этот способ неприемлем для поставленной задачи [74]:



t_i – температура i поверхности, $^\circ\text{C}$;

S_i – площадь i поверхности, m^2 .

$$t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5 = t_6$$

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 \gg \gg S_{\text{окно}} +$$

$$S_{\text{от.приб.}} + S_{\text{дверь}}$$

Рисунок 3.1. Условия для расчета средней арифметической радиационной температуры помещения (формула 3.1.)

Расчет средней радиационной температуры с применением коэффициентов облученности. Такой расчет отражает действительность, т.к. учитывает положение излучающей поверхности по отношению объекта радиационного воздействия. Кроме того, излучающая поверхность может быть гетерогенной с мозаичным характером поверхностных температур, которые будут учтены при данном способе расчета.

Необходимо отметить, что коэффициент облученности учитывает форму объекта при расчете радиационных температур между ним и излучающими

поверхностями. Т.е. каждому объекту, в зависимости от его геометрической формы, присущи свои коэффициенты облученности на окружающие поверхности (сидящий, стоящий человек, элементарная площадки, шаровой термометр и т.д.).

Наиболее широкое применение получили расчеты средних радиационных температур с использованием коэффициентов облученности между излучающими поверхностями и:

- Элементарной площадкой (0,1×0,1) (параллельной, перпендикулярной излучающей поверхности) (рисунок 3.2.) [73];

$$T_{pr}^4 = T_1^4 \times F_{p-1} + T_2^4 \times F_{p-2} + \dots + T_N^4 \times F_{p-N} \quad (3.2)$$

где T_{pr} – радиационная температура элементарной площадки, в °К;

T_N – поверхностная температура N поверхности, в °К;

F_{p-N} – коэффициент облученности между элементарной площадкой и поверхностью N.

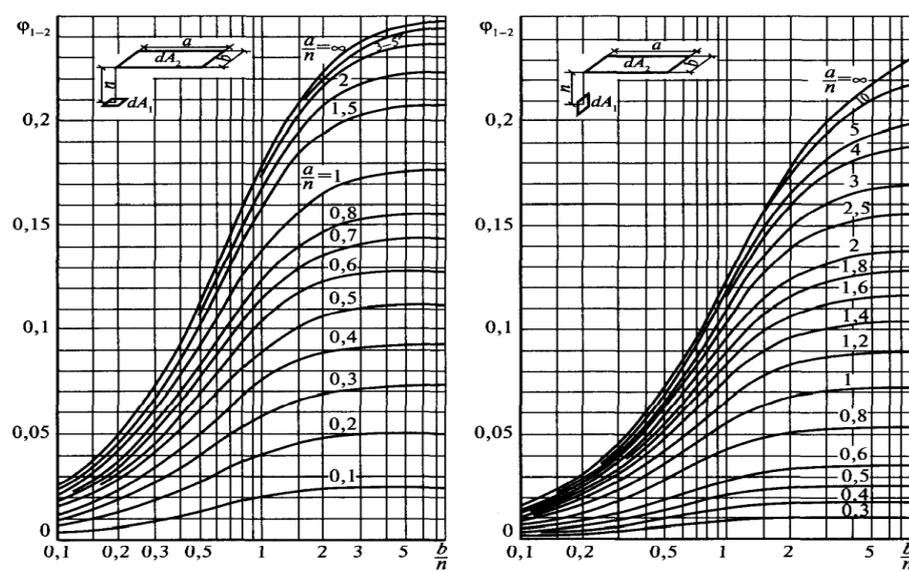


Рисунок 3.2. Определение коэффициента облученности между излучающей поверхностью и перпендикулярно расположенной по отношению к ней элементарной площадкой [73]

- Человеком сидящим, стоящим (рисунок 3.3.) [73];

$$\bar{T}_r^4 = T_1^4 \times F_{p-1} + T_2^4 \times F_{p-2} + \dots + T_N^4 \times F_{p-N} \quad (3.3)$$

где \bar{T}_r – средняя радиационная температура, в °К;

T_N – поверхностная температура N поверхности, в °К;

F_{p-N} – коэффициент облученности между человеком и поверхностью N.

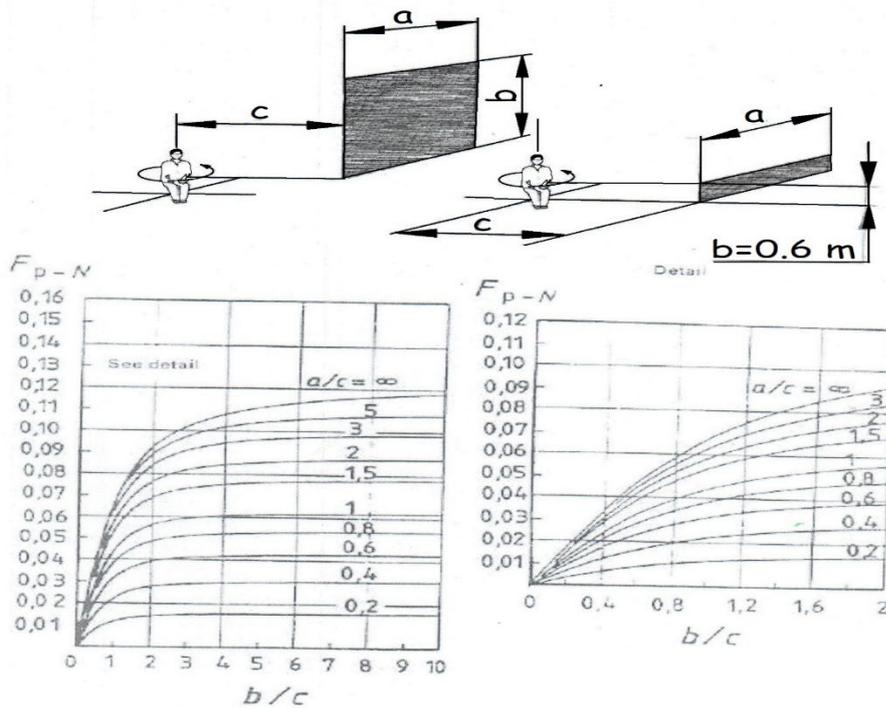


Рисунок 3.3. Определение коэффициента облученности между излучающей поверхностью и сидящим человеком [73]

□ Шаровым термометром [75]:

Уравнение средней радиационной температуры шарового термометра для i стоянки:

$$t_{ri} = \sum_1^6 \sum_{n=1}^N t_{эл.} \times \varphi_{сф-пл.} \quad (3.4)$$

где: $\varphi_{сф-пл.}$ - коэффициент облученности с шарового термометра в сторону элементарной площадки конкретного ограждения;

$t_{пл.}$ – температура элементарной площадки ($0,1 \times 0,1 \text{ м}$), °С;

N – количество элементарных площадок на ограждении.

Секторальный метод расчета средней радиационной температуры окружающей среды. При расчете радиационной температуры окружающей среды в точке нахождения человека (высота 1,5 м от поверхности) Мягковым М.С. предложено оперировать сегментами, в которых «видны» различные поверхности с соответствующими температурами, где сумма всех сегментов составляет 360° (рисунок 3.4.) [57].

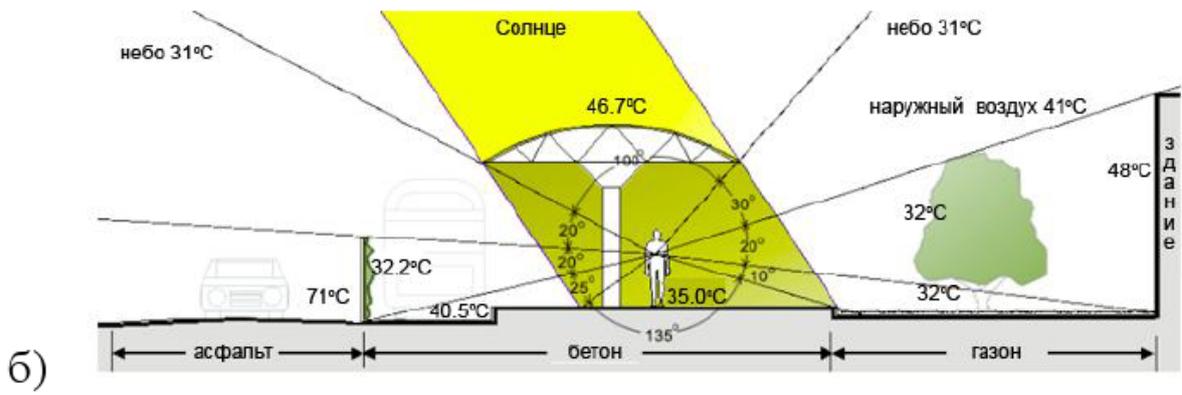
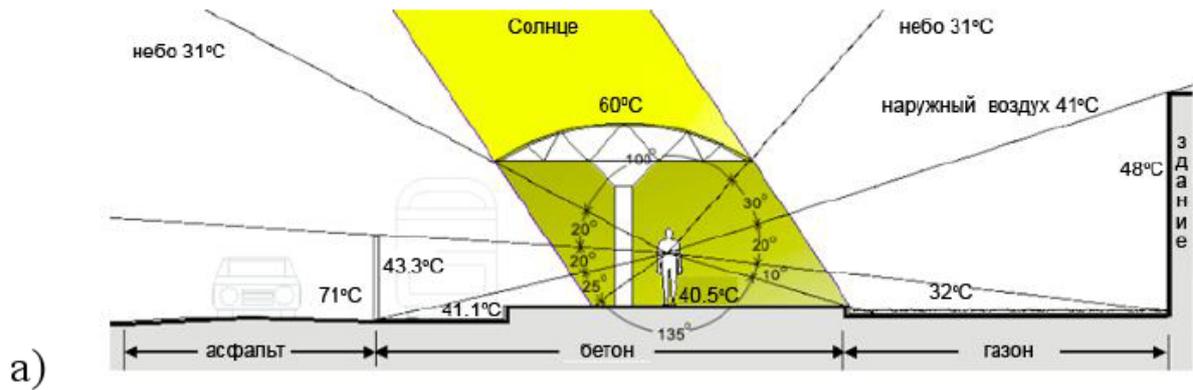


Рисунок 3.4. Градостроительные условия: а – исходный вариант; б - вариант после климатомелиоративных мероприятий [57]

Радиационная температура до мероприятий:

$$M_{Rt} = \frac{60 \times 100 + 31 \times 30 + 48 \times 20 + 32 \times 10 + 40.5 \times 135 + 41.1 \times 25 + 43.3 \times 20 + 31 \times 20}{360} = 45.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Радиационная температура после мероприятий:

$$M_{Rt} = \frac{46.7 \times 100 + 31 \times 30 + 32 \times 20 + 32 \times 10 + 35.0 \times 135 + 40.5 \times 25 + 32.2 \times 20 + 31 \times 20}{360} = 37.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Этот способ возможен только при условии расчета радиационной температуры окружающей среды в объемно-планировочном пространстве условно бесконечной длины, например, улица (городской каньон), т.к. он не учитывает влияния торцов некоего пространства. Для расчетов в замкнутом пространстве, например, двор он не подходит. К тому же, поверхности в этом методе рассматриваются, как изотропные.

3.1.2 Выбор математического аппарата для расчета радиационных температур на территории городского двора

Как ранее было определено, застройка с увеличением высоты зданий, «погружаясь» на дно городского каньона, приобретает более закрытый характер с формированием специфических микроклиматических условий, например: застой воздуха; устойчивость температурных полей, пониженная влажность и т. д. [76].

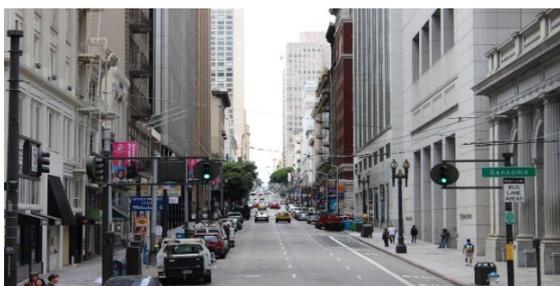


Рисунок 3.5. «Погружение» на дно городского каньона

Пространство городского двора становится похожими на помещение, ограниченное шестью плоскостями (сторонами): пол – земля, стены – фасады окружающих зданий, потолок – небо. В такой ситуации, возможно представить пространство городского двора (параллелепипед), как закрытую систему, в которой действуют законы термодинамики, связанные с теплообменом излучением в прозрачной среде, и расчет средней радиационной температуры вести по формуле 3.4., используя коэффициенты облученности между шаровым термометром и площадками на окружающих ограждениях (рисунок 3.6.).

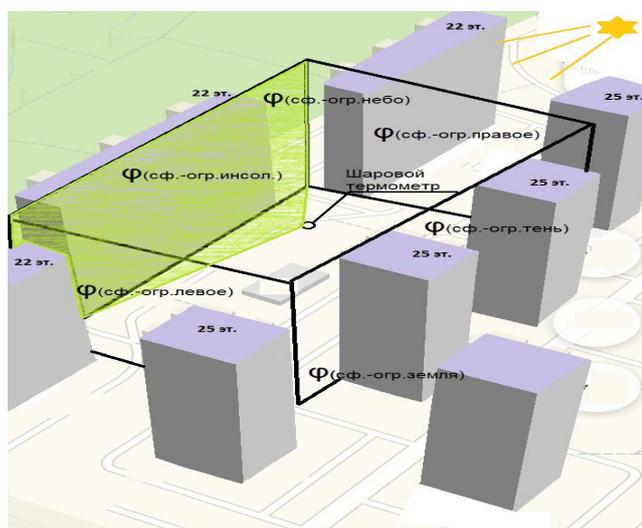


Рисунок 3.6. Воображаемое пространство (параллелепипед) городского двора

Для использования существующего математического аппарата выполнен процесс математической формализации задачи заключающегося в следующем:

1. Математическая формулировка задачи – возможно ли использовать расчет средней радиационной температуры шарового термометра для помещений в масштабах городской застройки.
2. Возможно ли модифицировать уравнение расчета средней радиационной температуры для помещений с целью удобства применения в масштабе городской застройки.
3. Математическое моделирование тепловой нагрузки от: объемно-планировочных решений окружающей застройки городского двора; вариантов планировочных структур двора; теплотехнических характеристик, используемых в облицовке поверхностей материалов; наличия объектов озеленения.
4. Обоснование метода решения
5. Анализ полученных результатов

Расчет коэффициента облученности (φ_i). Для оценки возможности использования уравнения 3.4. при расчете средней радиационной температуры в масштабе двора необходимо установить правило расчета коэффициентов облученности.

За основу расчета коэффициентов облученности со сферы в сторону окружающих плоскостей двора ($\varphi_{сф-пл}$) были взяты исследования в помещениях Малявиной Е.Г. [77].

Используя уравнения из сферической геометрии был рассчитан коэффициент облученности с плоской площадки на сферу диаметром d м (рисунок 3.7) формулы (3.5-3.7):

$$\varphi_{пл-сф} = \frac{c}{L} \cdot \frac{d^2}{(2L)^2}, \quad (3.5)$$

$$L = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}, \quad (3.6)$$

$$\varphi_{пл-сф} = \frac{c}{\sqrt{(a^2 + b^2 + c^2)}} \cdot \frac{d^2}{4(a^2 + b^2 + c^2)}, \quad (3.7)$$

где a и b – горизонтальная и вертикальная проекции линии, связывающей центр площадки и центром сферы, на плоскость, по которой перемещается элементарная площадка, м;

c – расстояние шарового термометра от плоскости, по которой перемещается элементарная площадка, м;

d – диаметр шарового термометра, м.

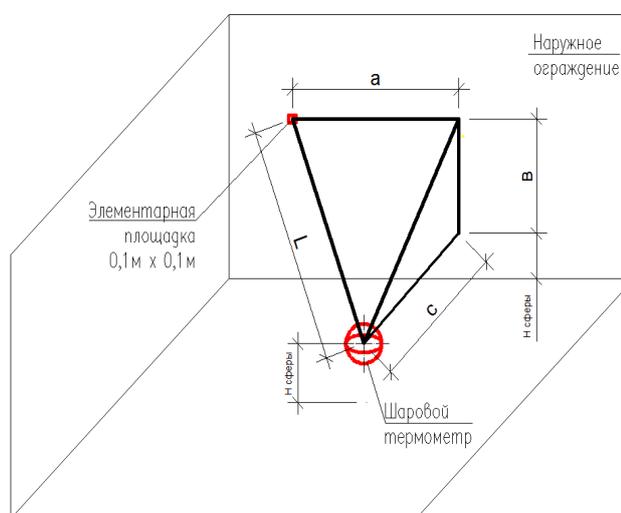


Рисунок 3.7. Положение шарового термометра относительно элементарной площадки на внутренней поверхности ограждения [77]

Так как для расчетов радиационных температур окружающей среды нужны коэффициенты облученности со сферы на плоскости ограждающих конструкций, был применен закон взаимности лучистых потоков, который утверждает, что поток с поверхности 1 на поверхность 2 равен потоку с поверхности 2 на поверхность 1 [78], следовательно,

$$A_1 \varphi_{1-2} = A_2 \varphi_{2-1}, \quad (3.8)$$

где φ_{1-2} – коэффициент облученности с поверхности 1 на поверхность 2;

φ_{2-1} – коэффициент облученности с поверхности 2 на поверхность 1

Пользуясь законом взаимности излучения и считая площадку размерами 0,1 м x 0,1 м получаем:

$$\varphi_{сф-пл} = \varphi_{пл-сф} \cdot 0,01 / (\pi d^2), \quad (3.9)$$

где $\varphi_{пл-сф}$ – коэффициент облученности с элементарной площадки на шаровой термометр;

$\varphi_{сф-пл}$ – коэффициент облученности с шарового термометра на элементарную площадку.

Для определения коэффициента облученности с поверхности шара на всю внутреннюю поверхность какой-либо ограждающей конструкции необходимо суммировать все коэффициенты облученности с поверхности шара $\varphi_{сф-пл}$ на все элементарные площадки, покрывающие это ограждение.

$$\varphi_{сф-огр} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \varphi_{сф-пл}, \quad (3.10)$$

где $\varphi_{сф-огр}$ – коэффициента облученности с поверхности шара на всю внутреннюю поверхность какой-либо ограждающей конструкции. Свойство замкнутости лучистых потоков для невогнутых поверхностей состоит в том, что сумма коэффициентов облученности с поверхности 1 в сторону всех окружающих поверхностей n равна единице, т.е. [79].

$$\sum \varphi_{1-n} = 1. \quad (3.11)$$

Все значения $\varphi_{сф-огр}$ для каждого ограждения складываются. Проверкой правильности расчета является равенство 1,000 до третьего знака после запятой суммы всех коэффициентов облученности со сферы на все внутренние поверхности ограждающих конструкций.

$$\sum_{n=1}^N \varphi_{сф-огр} = 1,000 \quad (3.12)$$

По аналогии определения коэффициентов облученности со сферы в сторону окружающих поверхностей помещения ($\varphi_{сф-пл}$) были определены коэффициенты облученности со сферы в сторону окружающих поверхностей двора, где: потолок – небо; стены – фасады домов, небо; пол – мостовые, тротуары, газоны и т.д.

Расчеты по определению коэффициентов облучения с шарового термометра ($\varphi_{сф-пл}$) были выполнены для типового жилого двора, из домов серии П-44, микрорайон «Крылатское», размером 180×90×51 м (рисунок 3.8.а) для

элементарных площадок $0,1 \times 0,1$ м. в среде Microsoft Excel. В процессе расчетов для одной расчетной стоянки шарового термометра обрабатывалось 4 350 000,00 элементарных площадок ($0,1 \times 0,1$ м).

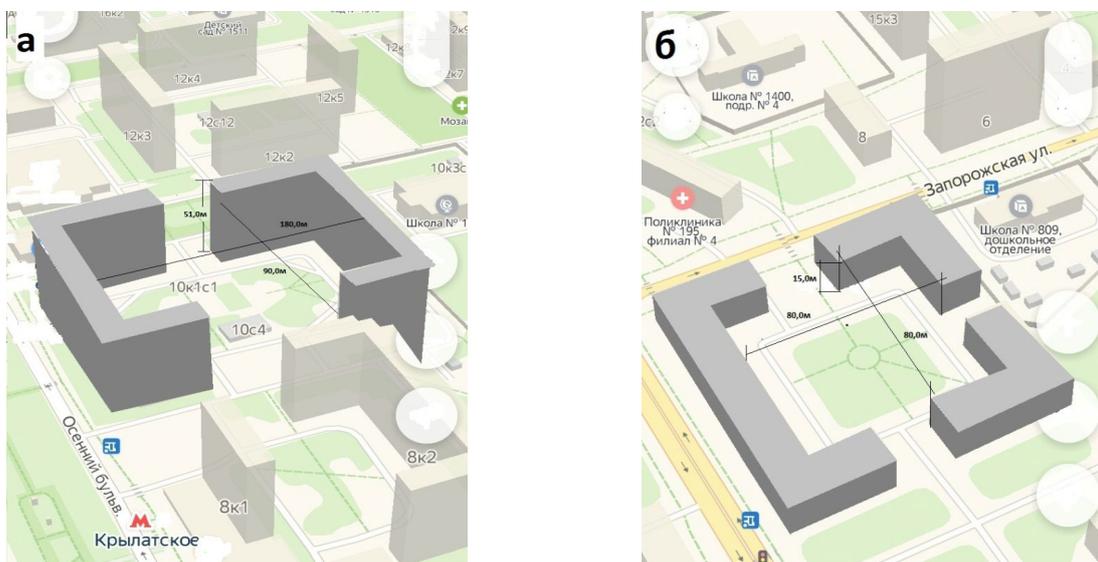


Рисунок 3.8. Типовые жилые дворы размерами: а - $180 \times 90 \times 51$ м; б - $80 \times 80 \times 15$ м

Проверка правильности и точности расчетов показала равенство $\varphi_{сф-огр} = \sum(\varphi_{сф-пл}) = 1,000$ до третьего знака после запятой суммы всех коэффициентов облученности со сферы на все поверхности ограждающие двор (таблица 3.1.). Этот результат доказывает, что уравнение 3.4 возможно применять для расчета средней радиационной температуры в масштабах городской застройки [52].

3.1.3. Модификация уравнения для расчетов в масштабах городской застройки

Использование в расчетах элементарной площадки ($0,1 \times 0,1$ м) неудобно, так как приходится обрабатывать их большое количество: делить плоскости (фасады) на их множество; присваивать им поверхностные температуры.

Закон распределительности лучистых потоков состоит в том, что поток от поверхности 1 к поверхности 2 может быть представлен в виде суммы потоков между отдельными частями этих поверхностей (уравнение 3.13) [80]:

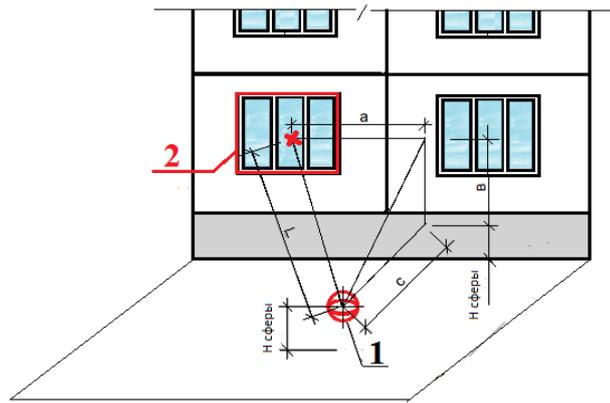
$$A_1 \varphi_{1-2} = \sum_j^M \sum_n^N A_j \varphi_{j-n}, \quad (3.13)$$

$$(\sum_{j=1}^M A_j = A_1) (\sum_{n=1}^N A_n = A_2)$$

Для данного исследования это означает, что элементарную площадку можно заменить на некую приведенную площадку для расчетов в масштабах городской застройки, но удовлетворяющей с высокой степенью (с малой/ничтожной погрешностью) требованию $\sum \varphi_{1-n} = 1$.

Ряд вычислений в поисках приведенной площадки показал, что при определении коэффициентов облученности вышеприведенному условию соответствует площадка размером (h×b) 1,5×1,8м (далее приведенная площадка) (рисунок 3.9.).

При вычислении суммы коэффициентов облученности с шарового термометра на ограждающие поверхности двора, как для жилого двора размером 180×90×51 м, так и для двора размером 80×80×15 м. (рисунок 3.8.б) погрешность составила менее 1% ($\sum \varphi_{сф-пл} = 0,9914$). К тому же размер 1,5×1,8 м. чаще является однородным архитектурным элементом плоскости фасада, например, размер стандартного окна или четверть средней стеновой панели и т.д., что удобно для присвоения материалам приведенных площадок коэффициентов поглощения излучения (a_n) и температуры поверхности (t_i).



а и в - горизонтальная и вертикальная проекции ливни, связывающие центр площадки с центром сферы, на плоскость, по которой перемещается приведенная площадка, м;
с - расстояние шарового термометра от плоскости, по которой перемещается приведенная площадка, м;
L - расстояние между шаровым термометром и центром приведенной площадки, м.

Рисунок 3.9. Положение шарового термометра относительно приведенной площадки на поверхности фасада: 1- шаровой термометр; 2- приведенная площадка 1,5×1,8 м (окно)

При определении коэффициента облученности со сферы на горизонтальные поверхности (земля, небо) ($\varphi_{сф-земля/небо}$) использовалась приведенная площадка размером 1,8×1,8 м.

Дальнейшее увеличение размеров приведенных площадок, например, до размеров средней стеновой панели 3,6×3,0 м, приводит к накоплению неприемлемой погрешности при вычислении суммы коэффициентов облученности ($\Sigma\varphi_{сф-огр}=0,871495$) (таблица 3.1.).

Таблица 3.1

Результаты расчетов коэффициентов облученности для различных площадок: элементарной (ЭП), приведенной (ПП).

	ЭП 0,1×0,1	ПП 1,5×1,8	ПП 3,6×3,0
ОГРАЖДЕНИЕ	$\varphi_{сф-огр}$	$\varphi_{сф-огр}$	$\varphi_{сф-огр}$
ФАСАД инсолируемый	0,256204	0,256317	0,224192
ФАСАД в тени	0,062515	0,062517	0,061844
ФАСАД левый	0,032315	0,032316	0,031981
ФАСАД правый	0,032315	0,032316	0,031981
ЗЕМЛЯ	0,463438	0,454187	0,367749
НЕБО	0,153723	0,153729	0,153746
Σ	1,00051	0,991382	0,871493

На этапе определения предельных размеров приведенной площадки, можно сделать вывод, что площадка размерами 1,5×1,8 м. является предельной при расчетах коэффициентов облученности с элементов городской застройки. В каждом конкретном случае размер приведенной площадки должен соответствовать

размерам элементов застройки, но не превышать указанный размер для соблюдения точности расчетов.

Для расчета средней радиационной температуры окружающей среды с применением коэффициентов облученности с шарового термометра на окружающие приведенные площадки ограждений городского двора модифицированное уравнение 3.4 примет вид:

$$t_{ri} = \sum_1^6 \sum_{n=1}^N t_{пр.пл} \times \varphi_{сф-пл}. \quad (3.14)$$

где $\varphi_{сф-пл}$ - коэффициент облученности с шарового термометра в сторону приведенной площадки конкретного ограждения;

$t_{пр.пл}$ - температура приведенной площадки (0,1×0,1 м), °С;

N - количество приведенных площадок на ограждении.

Конкретно для исследуемого пространства жилого двора размером 180×90×51 м, (рис. 3.8.а) уравнение расчета радиационной температуры окружающей среды для i стоянки (уравнение 3.14) будет иметь следующий вид:

$$t_{ri} = \sum_1^{3400} t_{пл. инсол. огр.} \times \varphi_{сф-пл. инсол. огр.} + \sum_1^{3400} t_{пл. теневое огр.} \times \varphi_{сф-пл. теневое огр.} + \\ + \sum_1^{1700} t_{пл. правое огр.} \times \varphi_{сф-пл. правое огр.} + \sum_1^{1700} t_{пл. левое огр.} \times \varphi_{сф-пл. левое огр.} + \\ + \sum_1^{5000} t_{пл. земля огр.} \times \varphi_{сф-пл. земля огр.} + \sum_1^{5000} t_{пл. небо огр.} \times \varphi_{сф-пл. небо огр.} \quad (3.15)$$

В процессе расчетов для одной расчетной стоянки шарового термометра в среде Microsoft Excel обрабатывалось 20 200 приведенных площадок размерами: 1,5×1,8 м - для вертикальных плоскостей, 1,8×1,8 м - для горизонтальных плоскостей (рисунок 3.10.).

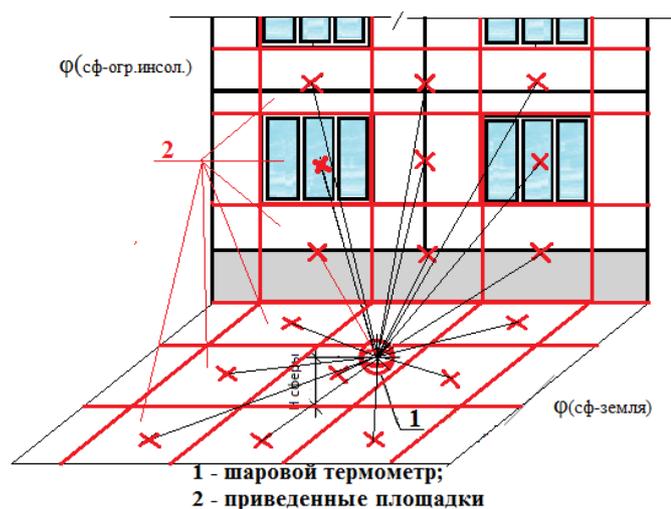


Рисунок 3.10. Положение шарового термометра относительно приведенных площадок

Три закона лучистого теплообмена:

1. Закон взаимности гласит, что поток с поверхности 1 на поверхность 2 равен потоку с поверхности 2 на поверхность 1, формула 3.8.
2. Закон замкнутости лучистых потоков для невогнутых поверхностей состоит в том, что сумма коэффициентов облученности с поверхности 1 в сторону всех окружающих поверхностей n равна единице, формула 3.11.
3. Закон распределительности лучистых потоков состоит в том, что поток от поверхности 1 к поверхности 2 может быть представлен в виде суммы потоков между отдельными частями этих поверхностей, формула 3.13.

позволили модифицировать уравнение расчета средней радиационной температуры помещения с использованием коэффициента облученности для применения в масштабе городской застройки, формула 3.14.

Поверхностная температура приведенных площадок на окружающих плоскостях. При присвоении поверхностной температуры для приведенной площадки решается две задачи:

1. Присвоение различным покрытиям соответствующих температур ($t_{np.nl}$), °С;
2. В случае гетерогенности приведенной площадки расчет ее средней поверхностной температуры ($t_{cp.np.nl}$), °С.

Так как городской климат, это постоянное взаимодействие фоновых

метеорологических условий с городским ландшафтом и изменение их под его влиянием, то дополнительный нагрев поверхностей на солнце (t_i) будет определяться по формуле [81]:

$$t_i = t_a + (a_n \times E) / h_{mo}, \quad (3.16)$$

где t_a – температура воздуха, °С;

a_n – коэффициент поглощения лучистой энергии материалом;

E – плотность солнечного потока, Вт/м²;

h_{mo} – коэф. теплоотдачи поверхности, Вт/м²×С°

по ГОСТ Р 53615-2009:

Температура воздуха (t_a) и плотность солнечного потока (E) являются характерными региональными метеорологическими показателями. Коэффициенты поглощения лучистой энергии материалом (a_n) и теплоотдачи поверхности (h_{mo}) являются собственными характеристиками материалов, применяемых в отделке фасадов и покрытиях земли.

Для соблюдения шага и размера приведенной площадки на вертикальном 1,5×1,8м и горизонтальном 1,8×1,8м ограждении при определении средней температуры поверхности приведенной площадки $t_{cp.пл.}$ применяется графический способ методом наложения вышеуказанной сетки на архитектурно-строительное решение фасада и плана благоустройства соответствующего масштаба с целью определения доли поверхностей с различными температурами в приведенной площадке (рисунок 3.11.).

Расчет средней температуры приведенной площадки рассчитывается по формуле:

$$t_{cp.пл.} = \frac{\sum t_i \times A_i}{1,5 \times 1,8 (1,8 \times 1,8)} \quad (3.17)$$

где t_i – температура i поверхности, входящей в приведенную площадку, °С;

A_i – площадь i поверхности, входящей в приведенную площадку, м².



Рисунок 3.11. Разбивка фасада на приведенные площадки: 1- приведенные площадки $1,5 \times 1,8$ м

Солнечная составляющая в расчете радиационных температур. Участки городских дворов могут находиться в тени и на солнце (инсолироваться) (рисунок 2.9.). Уравнение 3.14 используется при расчете средних радиационных температур на затененной территории городского двора. Для расчета радиационных температур на инсолируемой части двора необходимо учитывать солнечный поток, приходящий на поверхность шарового термометра.

На поверхность шарового термометра приходит параллельный солнечный поток, который падает на половину поверхности сферы (рисунок 3.12.). Средний полусферический солнечный поток будет равен [82]:

$$E = \frac{E_0}{2}, \quad (3.18)$$

где E_0 -сила потока, приходящаяся на нормальную поверхность (90°) шара.

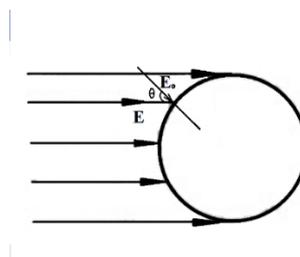


Рисунок 3.12. Средний полусферический солнечный поток на шаровой термометр

Согласно закону Стефана-Больцмана, плотность излучения абсолютно черного тела (E) [83]:

$$E = c \times \left(\frac{T}{100}\right)^4, \text{ Вт/м}^2 \quad (3.19)$$

где c – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К}^4)$;

T – температура поверхности тела, $^\circ\text{К}$

Тогда, солнечная составляющая на шаровый термометр:

$$T_c = \sqrt[4]{\frac{\frac{E_0 \times 10^8}{2}}{5,67}} \quad (3.20)$$

Для широты Москвы суммарная лучистая энергия солнца, поступающего на нормальную поверхность шара июль, полдень $E_0 = 858,82 \dots 882,35 \text{ Вт/м}^2$.

Тогда, температура солнца:

$$T_{\text{солнца}} = \sqrt[4]{\frac{(429,41 \div 441,18) \times 10^8}{5,67}} = +295 \div 297^\circ\text{К} = +22 \div 24^\circ\text{С}$$

Для расчета средней радиационной температуры окружающей среды на инсолируемых территориях городского двора уравнение 3.14 примет вид:

$$t_{ri} = \sum_1^6 \sum_{n=1}^N t_{\text{пр.пл}} \times \varphi_{\text{сф-пл}} + T_c \quad (3.21)$$

где $\varphi_{\text{сф-пл}}$ - коэффициент облученности с шарового термометра в сторону приведенной площадки конкретного ограждения;

$t_{\text{пр.пл}}$ – температура приведенной площадки ($0,1 \times 0,1 \text{ м}$), $^\circ\text{С}$;

N – количество приведенных площадок на ограждении;

T_c – шаровая температура солнца, $^\circ\text{С}$.

3.1.4. Управление радиационной температуры окружающей среды

Анализируя уравнения 3.14, 3.16 можно сделать выводы, что на радиационную температуру окружающей среды (t_r) можно влиять следующими способами:

- подбором теплотехнических свойств отделочных материалов и материалов покрытий, мощностей и т.д. (коэффициент поглощения (a_n)) окружающих поверхностей;

- ориентацией вертикальных и наклонных поверхностей по сторонам света (мощность приходящей солнечной энергии на m^2 облучаемой поверхности (E)), солнцезащитными мероприятиями;

- варьирования количеством разнообразных антропогенных поверхностей (t_i) и расстоянием до них от человека (их плотностью) (учитываются коэффициентами облученности (φ_i)).

3.1.5. Алгоритм расчета ТНС-индекса

Для биоклиматической оценки степени комфортности окружающей среды необходимо на основании определения радиационных температур рассчитать температурный индекс тепловой нагрузки окружающей среды ТНС-индекс.

Алгоритм расчета (рисунок 3.13.):

Исходные данные:

- метеорологические показатели: температура и влажность воздуха; скорость воздуха; плотность солнечного потока
- проектные данные из разделов «Генеральный план», «Архитектурные решения фасадов»;
- теплотехнические характеристики материалов и покрытий.

Шаг 1. Определение габаритов воображаемого пространства двора (параллелепипед) (рисунок 3.6.) и разбивка окружающих его шести плоскостей на приведенные площадки (рисунок 3.10.).

Шаг 2. Расчет или присвоение на основании лабораторных, полевых исследований поверхностных температур приведенным площадкам, и/или расчет средней температуры в случае её гетерогенности (уравнение 3.17.).

Шаг 3. Расчет средних радиационных температур окружающей среды для i точки двора на высоте 1.5 м. от поверхности земли (уравнение 3.14.).

Шаг 4. Расчет показания шарового термометра (t_g) для i точки двора по уравнениям 2.13, 2.14 при естественной конвекции, т.е. $\bar{v} < 0.15 \text{ ms}^{-1}$.

Шаг 5. Расчет ТНС-индекса для i точки двора по формуле 2.15.

Вывод: Изменяя (корректируя) градостроительные решения, а именно: объемно-планировочные решения окружающей застройки; пространственную ориентацию городского двора; теплотехнические характеристики материалов, применяемых в покрытиях и облицовке; размещением объектов и элементов озеленения добиваемся снижения ТНС-индекса повышая экологическую безопасность города.

Владея расчетом средней радиационной температуры для i точки возможно моделировать, прогнозировать качество окружающей среды по ТНС-индекс.

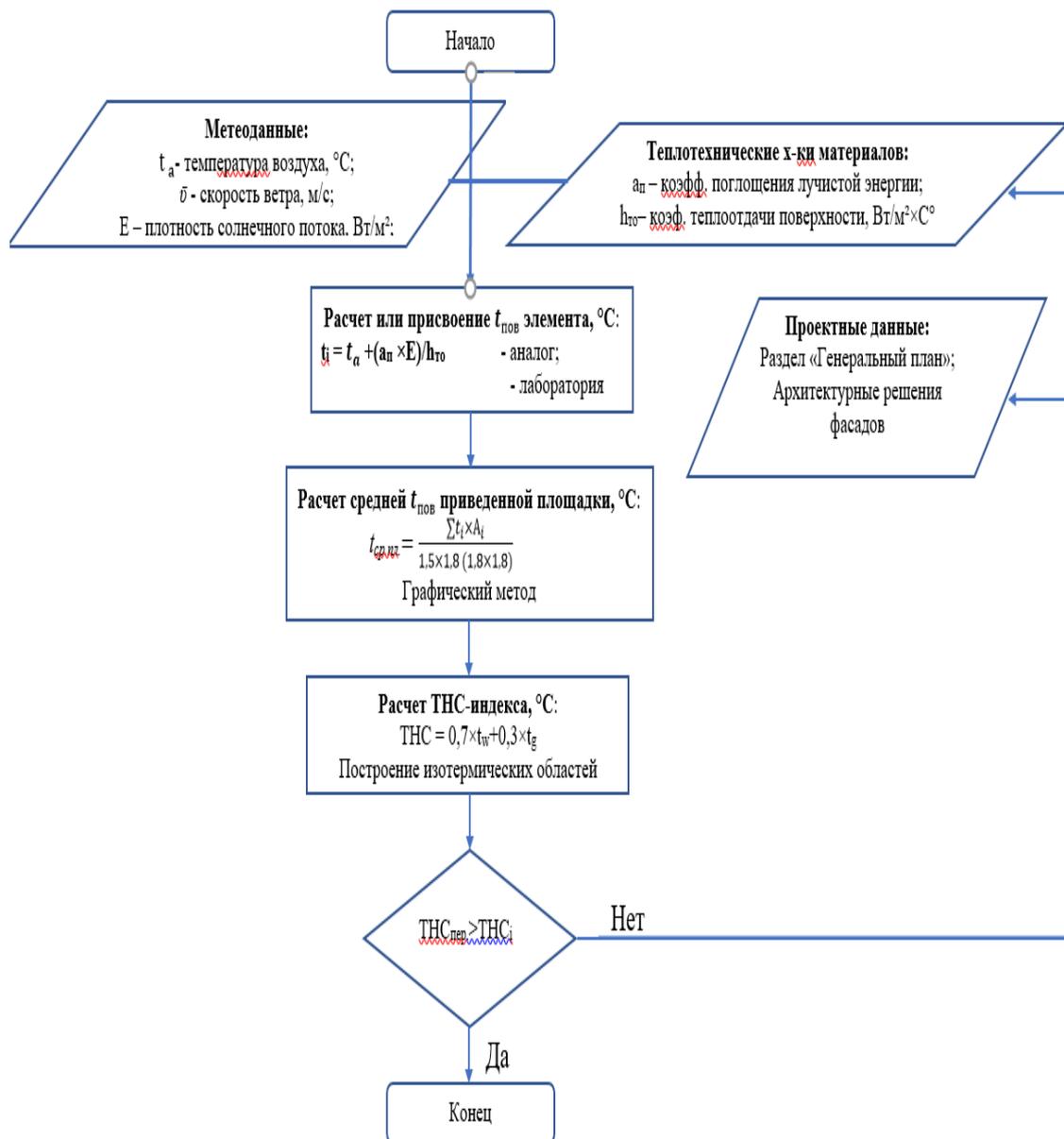


Рисунок 3.13. Блок-схема алгоритма расчета радиационных температур и ТНС-индекса

3.2. Практическое решение модели

3.2.1. Расчеты радиационных температур

Точки расчета радиационных температур t_{ri} воображаемого пространства двора (параллелепипед) определяются для характерных участков передвижения, занятия спортом и отдыха жителей, посетителей на высоте 1,5 метра от земли. Программа также позволяет вести расчеты на всей территории двора с шагом 1,8 метра.

На рисунке 3.14 представлен двор пятиэтажного жилого фонда. Для двора было рассчитано 65 точек [84]. Такое количество точек позволяет строить изотермы радиационных температур с целью определения областей повышенной тепловой нагрузки.

а)



б)

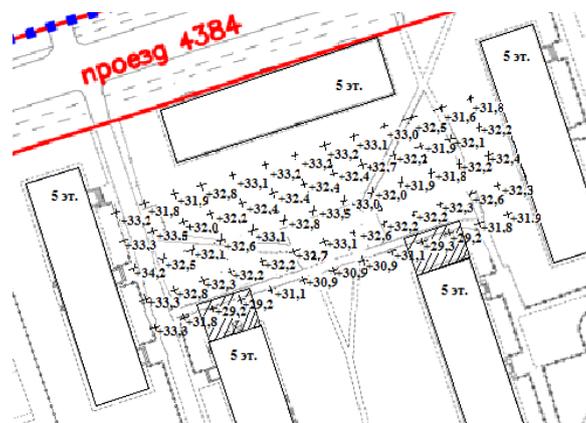


Рисунок 3.14. Пятиэтажный жилой фонд: а) Расчетное пространство двора; б) Радиационные температуры (t_r) двора

Так как лучистый теплообмен между окружающими поверхностями связан с конвективными потоками, возникающими в пространстве городского двора, то расчет радиационных температур на его территории может использоваться для определения мощности «перегретого» воздуха, выносимого над крышами и его вклада в изменение теплового баланса городской поверхности уже в суб-, мезомасштабах (рисунок 2.6.).

В соответствии с предложенным выше секторальным методом расчета средней радиационной температуры окружающей среды (раздел 3.1.1.), используя: приведенную площадку размерами 1,5×1,5 м, так же были выполнены расчеты. Необходимо отметить, что верхней границей воображаемого расчетного пространства (параллелепипеда) стал навес на высоте 6,0 м над землей. Так как высота деревьев – 10,0 м, а здания - 26,0 м на ограждении «небо» появились проекции приведенных площадок с температурами поверхностей деревьев и здания соответственно (рисунок 3.15.) [52].

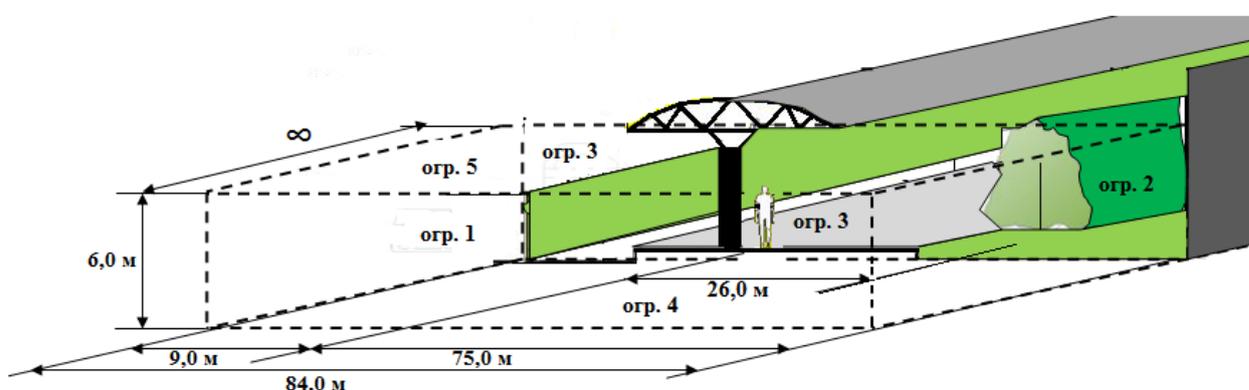


Рисунок 3.15. Параметры расчетного пространства по градостроительной ситуации, предложенной Мягковым М.С.

Результаты расчетов по авторской методике:

Радиационная температура до мероприятий:

$$t_{ri} = 37,5 t_{\text{среднее, 1 огр.}} \times 0,1 \varphi_{\text{среднее, 1 огр.}} + 48,0 t_{\text{среднее, 2 огр.}} \times 0,01 \varphi_{\text{среднее, 2 огр.}} + 2 \times 31,63 t_{\text{среднее, торцевое огр.}} \times 0,0023 \varphi_{\text{среднее, торцевое огр.}} + 40,0 t_{\text{среднее, 4 огр.}} \times 0,47 \varphi_{\text{среднее, 4 огр.}} + 52,0 t_{\text{среднее, 5 огр.}} \times 0,42 \varphi_{\text{среднее, 5 огр.}} = + 44,5^{\circ}\text{C}$$

Радиационная температура после мелиоративных мероприятий:

$$t_{ri} = 31,6 t_{\text{среднее, 1 огр.}} \times 0,1 \varphi_{\text{среднее, 1 огр.}} + 32,0 t_{\text{среднее, 2 огр.}} \times 0,04 \varphi_{\text{среднее, 2 огр.}} + 2 \times 31,6 t_{\text{среднее, торцевое огр.}} \times 0,0023 \varphi_{\text{среднее, торцевое огр.}} + 35,4 t_{\text{среднее, 4 огр.}} \times 0,46 \varphi_{\text{среднее, 4 огр.}} + 41,9 t_{\text{среднее, 5 огр.}} \times 0,4 \varphi_{\text{среднее, 5 огр.}} = + 37,5^{\circ}\text{C}$$

Полученные результаты показали хорошую корреляцию с расчетами Мягкова [57].

3.2.2. Расчет индекса тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс)

Для качественной оценки окружающей среды недостаточно ограничиться расчетом радиационных температур. В настоящем исследовании для определения комфортности среды используется ТНС-индекс в структуре которого радиационная температура является компонентой (уравнения 2.13-15).

Как и для расчета радиационных температур, программа позволяет вести расчеты ТНС-индекса на всей территории двора с шагом 1,8 метра. Такой шаг расчетов позволяет строить области ТНС-индексов с различными условиями тепловой нагрузки, характеризующие степень комфортности микроклимата (рисунок 3.16.) [84].

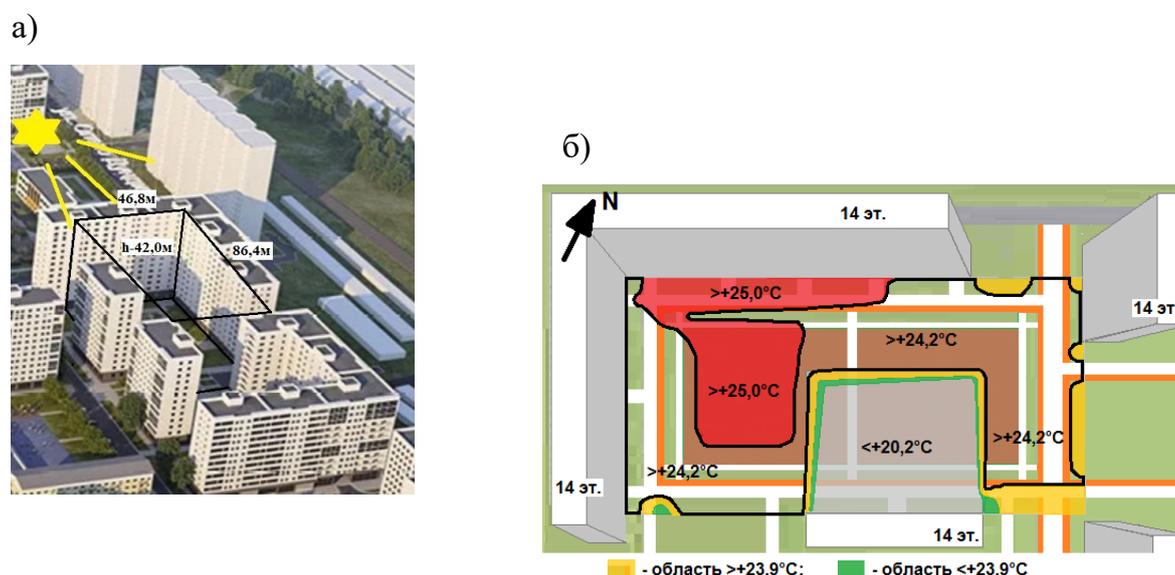


Рисунок 3.16. а). Расчетное пространство двора после реновации; б). Области ТНС-индекса ($^{\circ}\text{C}$) двора после реновации

Например, по таблице 3.2. напряжение системы терморегуляции человека при выполнении категорий работ Па, строка 3, соответствует физическим усилиям, сопоставимые с идущим горожанином, несущим продуктовую сумку весом до 10 кг [71].

Таблица 3.2

Условия труд по показателю ТНС-индекса (°С) для рабочих помещений с нагревающим микроклиматом независимо от периода года и открытых территорий в теплый период года (верхняя граница) [71]

Категория работ*	Условия труда					
	Допустимые*	Вредные				Опасные (экстрем.)
		3.1	3.2	3.3	3.4	
Ia	26,4	26,6	27,4	28,6	31,0	31,0
Iб	25,8	26,1	26,9	27,9	30,3	30,3
IIa	25,1	25,5	26,2	27,3	29,9	29,9
IIб	23,9	24,2	25,0	26,4	29,1	29,1
III	21,8	22,0	23,4	25,7	27,9	27,9

Из рисунка 3.16.б можно сделать вывод, что при заложенных в расчет исходных метеорологических данных на территории двора перемещаться с грузом до 10 кг комфортно (оптимальные условия), однако в красной области система терморегуляции человека будет испытывать допустимые условия микроклимата на границе вредного воздействия тепловой нагрузки окружающей среды.

Выводы по Главе 3

1. Проанализированы методы расчета радиационных температур окружающей среды, определен математический аппарат расчета.
2. Проведена модификация существующего математического аппарата для расчета в масштабе городской застройки, получено уравнение расчета радиационной температуры окружающей среды с применением коэффициентов облученности с шарового термометра на окружающие приведенные площадки ограждений городского двора. Проверена его адекватность.
3. Определены факторы управления радиационной температурой окружающей среды на территории городского двора.
4. Разработан алгоритм моделирования тепловой нагрузки окружающей среды (ТНС-индекс) на территории городского двора и выполнено моделирование.
5. Определено, что практическое решение модели заключается в построении изотерм радиационных температур с целью определения областей повышенной тепловой нагрузки на территории городского двора и построению областей ТНС-индекса для определения степени комфортности пребывания в них.

ГЛАВА 4. Результаты исследования и рекомендации по управлению тепловой нагрузкой на территории городского двора в условиях плотной застройки для создания комфортной среды жизнедеятельности

Моделируя тепловую нагрузку окружающей среды на территориях городских дворов, при различных градостроительных решениях, были подтверждены основные положения «городского острова тепла», выявлены закономерности, получены новые результаты.

4.1. Фактор неба и поверхность основного «вклада» в формирование тепловой нагрузки

Фактор неба. Многочисленные расчеты показывают, что с ростом этажности окружающей застройки уменьшается «видимая» часть неба. Это касается в том числе городских дворов, к которым предъявляются требования по инсоляции территории [85], т.е. несмотря на увеличение площади жилого двора с ростом этажности влияние неба, как более холодной поверхности, в процессах теплообмена уменьшается, приводя к росту тепловой нагрузки внутри застройки (таблица 4.1.). Это подтверждает один из «феноменов» тепловой аномалии «городского острова тепла» (раздел 1.4.4.).

Пример расчета коэффициентов облученности со сферы шарового термометра в сторону ограждающих территорию двора поверхностей застройки ($\varphi_{сф-огр}$) для одинаковых точек двора (середина) двух вариантов объемно-планировочного решения (рисунок 3.8.)

Ограждение	Дворы, размеры а×б×в, м	
	180×90×51 (рисунок 3.8.а)	80×80×15 (рисунок 3.8.б)
Фасад инсолируемый	0,119917	0,040925
Фасад в тени	0,119917	0,040925
Фасад левый	0,035778	0,040925
Фасад правый	0,035778	0,040925
Земля	0,478984	0,473801
Небо	0,200751	0,35366
Σ	0,991126	0,991161

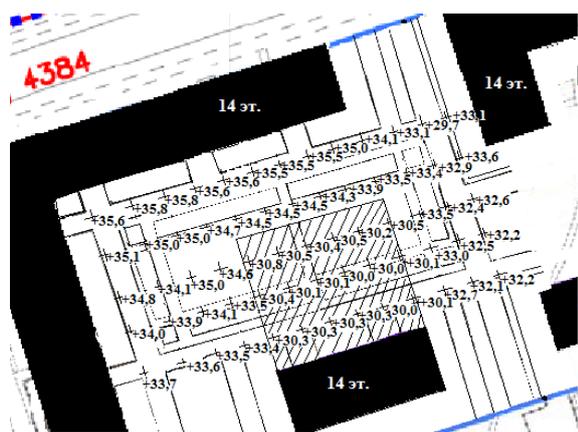
Из таблицы 4.1. видно, что коэффициент облученности со сферы в сторону неба (фактор неба) во дворе пятиэтажного жилого фонда в 1,75 раза больше чем во дворе типовой семнадцатипятиэтажной застройки микрорайона «Крылатское» несмотря на меньшую площадь двора. В целом, расчеты коэффициентов облученности с шарового термометра в сторону ограждения-небо ($\varphi_{сф-небо}$) показали, что доля небосвода, как одного из шести ограждений воображаемого пространства двора для пятиэтажной жилой застройки составляет диапазон 13÷35% (от угла к центру двора), а семнадцатипятиэтажной 8÷20%.

При повышении этажности, окружающей застройки, увеличивается влияние вертикальных плоскостей (фасадов). Это подтверждает фактор увеличения энергоактивных площадей в тепловом балансе городской поверхности по сравнению с пригородом и сельской местностью.

Так как с ростом этажности застройки неизбежно идет увеличение тепловой нагрузки на территории городского двора, то необходимы мероприятия по снижению интенсивности ее роста. Расчеты показали, что при одинаковых градостроительных решениях, таких как: применение в отделке фасадов и мощении одних и тех же материалов; одинаковой планировочной структуры территории

дворов до и после реконструкции (реновации), наибольшее снижение интенсивности роста тепловой нагрузки возможно в случае окружения территории двора зданиями башенного типа. Снижение происходит за счет открытых плоскостей по обе стороны от башни, как поверхностей с меньшими температурами (рисунок 4.1.) [84].

а).



б).

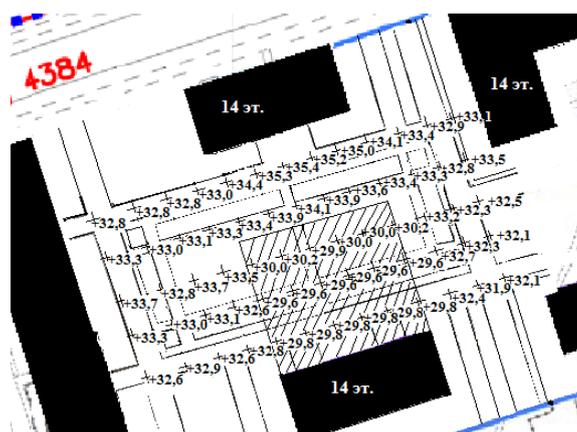


Рисунок 4.1. Радиационные температуры на территории двора (t_r) при различных объемно-планировочных вариантах: а). Инсолируемый фасад дома-стены; б). Инсолируемый фасад здания-башни

Таблица 4.2

Сравнение радиационных температур для объемно-планировочных вариантов рисунок 4.1

Варианты	$t_{r, \text{ср.}}$, °C	$t_{r, \text{max}}$, °C
Дом-стена (рисунок 4.1.а)	+32,9	+35,8
Здание-башня (рисунок 4.1.б)	+32,3	+35,4
Δ	+0,6	+0,4

Поверхность основного «вклада» в тепловую нагрузку. Расчеты показали, что основной «вклад» в величину радиационной температуры t_r независимо от высоты окружающей застройки вносит ограждение-земля с диапазоном коэффициентов облученности $\varphi_{\text{сф-земля}} = 0,31 \div 0,48$ (от угла к центру) (таблица 4.1.). Важно отметить, что влияние земли с расстояния 5 метров от стен уже более 40%.

На основании этого можно сделать заключение, что наиболее важны теплотехнические характеристики применяемых материалов в покрытиях и мощности поверхности земли.

На рисунке 4.2. изображены области ТНС-индекса по условиям микроклимата на территории двора построенные для двух вариантов покрытия земли [86]. За счет замены покрытия спортплощадки с литой резиновой крошки на газон удалось снизить вредность тепловой нагрузки на левой части на один класс, а на правой части на два класса в соответствии с таблицей 3.2. Большее понижение на правой части спортплощадки ТНС-индекса связано с открытым участком неба на инсолируемой плоскости воображаемого пространства двора (параллелепипеда).

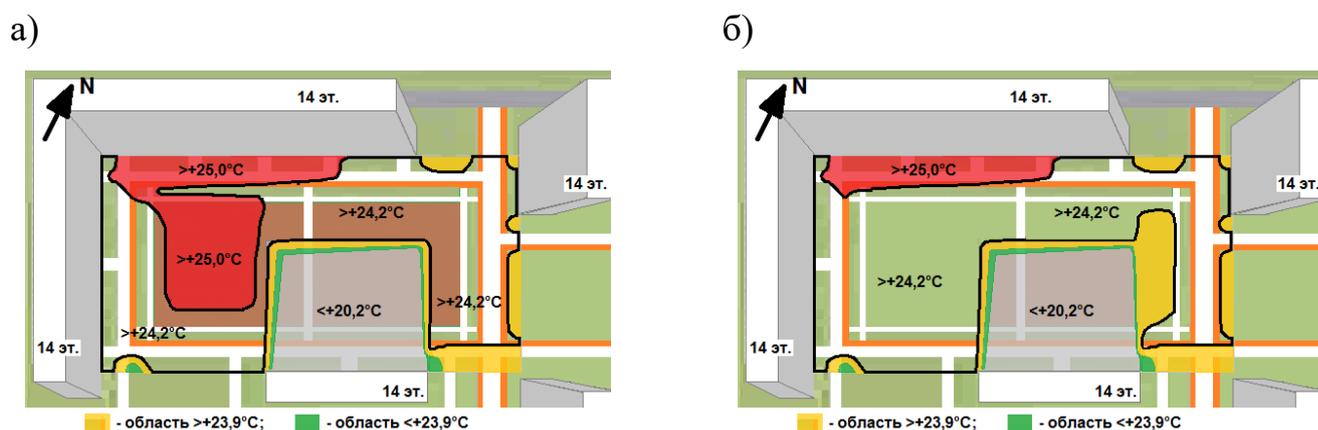


Рисунок 4.2. Области ТНС-индекса ($^{\circ}\text{C}$): а). Покрытие спортплощадок резиновой крошкой; б). Замена покрытия спортплощадки на газон [86]

Анализируя результаты расчетов радиационных температур и ТНС-индексов в зависимости от материалов покрытий и мощности земли делается заключение, что оперировать в расчетах с целью их упрощения средними значениями поверхностных температур окружающих ограждений $t_{\text{ср.пл}}$ нельзя, т.к. очень важно на чем «стоит» шаровой термометр (газон, асфальт, в тени и т.д.) и как близко он расположен относительно «горячих» элементов в отделке фасада. Так, например, при средней поверхностной температуре ограждения-земля на объекте после реновации равной $t_{\text{ср. земля}} = +40,7^{\circ}\text{C}$ шаровой термометр в тени «видит» среднюю

поверхностную температуру $t_{\text{ср. земля}} = +32,4^{\circ}\text{C}$, а на резиновом покрытии спортплощадки $t_{\text{ср. земля}} = +46,0^{\circ}\text{C}$.

При средней поверхностной температуре ограждения-инсолируемый фасад после реновации равной $t_{\text{ср. инсол.фасад}} = +32,9^{\circ}\text{C}$ шаровой термометр на крайней левой стоянке «видит» $t_{\text{инсол.фасад}} = +38,4^{\circ}\text{C}$, на противоположном краю $t_{\text{инсол.фасад}} = +22,6^{\circ}\text{C}$ (на фоне небосвода).

Вывод: Средняя радиационная температура двора (не точки) $t_{\text{ср.пл}}$ не дает полного представления о безопасности окружающей среды по микроклиматическим показателям, необходимо рассчитывать радиационную температуру для каждой характерной точки $t_{r,i}$, поэтому принятие условной изотропной поверхности окружающих двор (фасады, мощения земли и т.д.) не может применяться в оценке микроклимата городских территорий, а только для расчетов в более укрупненном климатическом масштабе (суб-, мезомасштаб).

Методика расчета коэффициентов облученности с применением приведенной площадки позволяет максимально точно определять влияние фактора неба (как и других энергоактивных ограждающих плоскостей) в отличие от графического метода с использованием широкоформатного фотоаппарата «рыбий глаз», при определении которого необходимо учитывать угловое искажение объектива и косинусный отклик поверхности (рисунок 4.3.) [87].

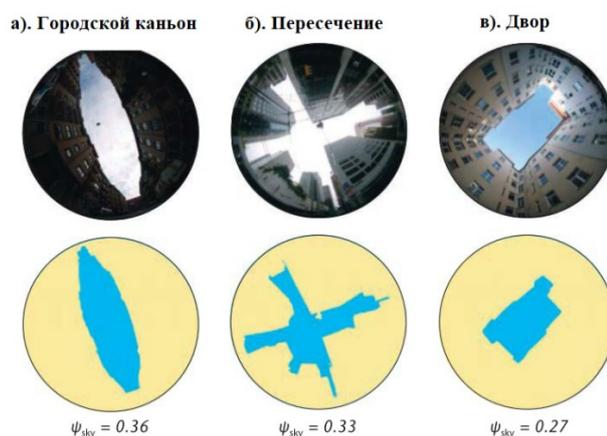


Рисунок 4.3. Фотографии с видом на небо, полученные с использованием объектива "рыбий глаз" в ряде городских объектов. Факторы, влияющие на вид с неба (ψ_{sky}) рассчитываются для точек на земле [87]

4.2. Влияния фасадов на тепловую нагрузку окружающей среды

Расчеты и натурные исследования показали, что наибольшая тепловая нагрузка окружающей среды формируется у инсолируемой стены. В данном случае взаимодействие двух поверхностей земли и фасада усиливают тепловой эффект. С ростом этажности застройки диапазоны максимальных радиационных температур отодвигаются от инсолируемой стены и охватывают области размещения пожарного проезда, тротуаров, что усугубляет проблему воздействия тепловой нагрузки на человека. По мере удаления от облученной солнцем стены ее влияние уменьшается (рисунок 4.4.).

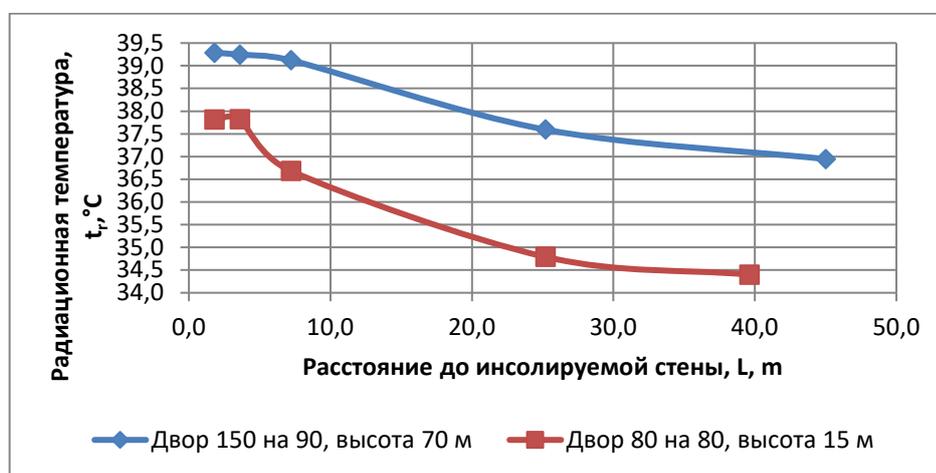


Рисунок 4.4. Графики радиационных температур окружающей среды у инсолируемой стенки при одинаковых метеорологических условиях и архитектурно-строительных решениях при различных объемно-планировочных решениях дворов (рисунок 3.8.)

Расчеты коэффициентов облученности с шарового термометра в сторону окружающих ограждений параллелепипеда двора (φ_i) показали, что доля влияния инсолируемого фасада на шаровой термометр для семнадцатизэтажной застройки составляет $4 \div 35\%$, для пятиэтажной $1 \div 34\%$

В этой связи становится актуальным, кроме подбора материалов покрытий и мощений двора, и подбор по теплотехническим характеристикам наиболее безопасных отделочных фасадных материалов для уменьшения тепловой нагрузки на окружающую среду жилого двора для теплого периода года.

Ниже приводится пример расчета радиационных температур (t_r), генерируемых инсолируемым четырнадцатизэтажным фасадом после предполагаемой реновации, которые проводились на тротуарно-дорожной сети в сечение наибольшего влияния теплового излучения на человека (сечение 1-1) (рисунок 4.5.) [86].

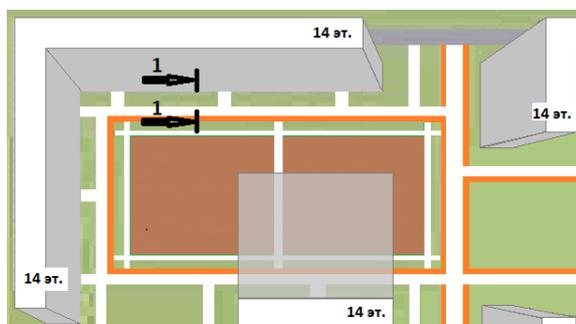


Рисунок 4.5. Сечение 1-1 наибольшего влияния инсолируемого фасада на тротуарно-дорожную дворовую сеть

Расчеты производились для трех вариантов архитектурно-строительных решений фасада.

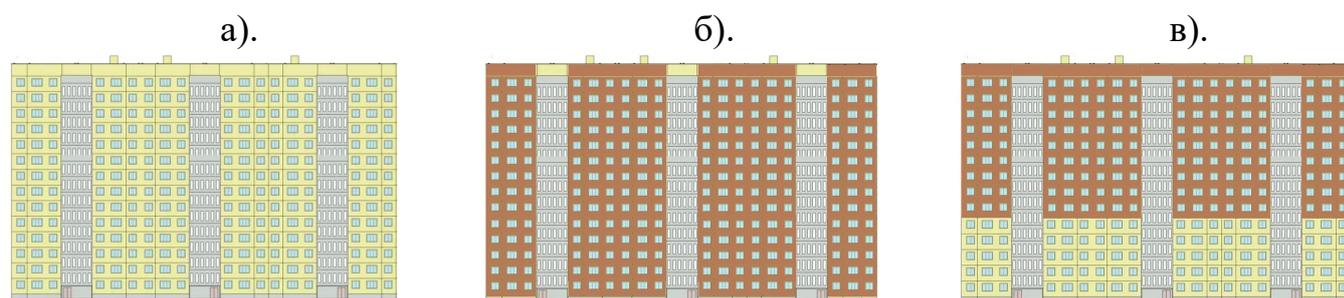


Рисунок 4.6. Варианты архитектурно-строительного решения инсолируемого фасада: а). «светлый»; б) «темный»; в). «смешанный»

Исходные данные для расчетов радиационных температур:

- координаты расчета: г. Москва, 55.737420 с.ш. и 37.480920 в.д. Квартал принят широтной ориентации (рисунок 4.5.).
- период года: июль
- временной период расчета: 11.00-13.00 часов
- температура воздуха $+26,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – обеспеченностью 0,98 [88];
- скорость ветра до 0,15 м/с;
- ясно.

Поверхностные температуры различных покрытий ($t_{пл}$), соответствующие вышеприведенным метеорологическим условиям, были получены на основании полевых исследований аналогичных объектов с помощью инфракрасного пирометра (таблица 4.3) [89].

Таблица 4.3

Поверхностные температуры окружающих объектов и материалов

№	Наименование покрытия	Поверхностная температура, °C
1	2	3
1	Фасад «светлый» - крашенная в светлые тона бетонная поверхность	+30,0
2	Фасад «темный»	+36,0
3	Окна	+28,0

Конкретно для исследуемого пространства (параллелепипед $86,4 \times 46,8 \times 42,0$ м) уравнение 1 расчета радиационной температуры окружающей среды (t_r) для i стоянки, для приведенных площадок: $1,5 \times 1,8$ м – на вертикальных ограждениях; $1,8 \times 1,8$ м – на горизонтальных ограждениях, будет иметь следующий вид:

$$t_{ri} = \sum_1^{1344} t_{пл. инсол. огр.} \times \varphi_{сф-пл. инсол. огр.} + \sum_1^{1344} t_{пл. теневое огр.} \times \varphi_{сф-пл. теневое огр.} + \sum_1^{728} t_{пл. правое огр.} \times \varphi_{сф-пл. правое огр.} + \sum_1^{728} t_{пл. левое огр.} \times \varphi_{сф-пл. левое огр.} + \sum_1^{1248} t_{пл. земля огр.} \times \varphi_{сф-пл. земля огр.} + \sum_1^{1248} t_{пл. небо огр.} \times \varphi_{сф-пл. небо огр.} \quad (4.1)$$

Так как мы оцениваем влияние инсолируемого фасада на придомовую территорию, то в уравнении 4.1 нас интересует первое слагаемое, состоящее из произведения двух членов:

$$t_{ri} = \sum_1^{1344} t_{пл. инсол. огр.} \times \varphi_{сф-пл. инсол. огр.} + \dots$$

где φ_i - коэффициенты облученности в расчетном сечении 1-1 находятся в диапазоне: $0,21 \div 0,35$

Результаты расчетов радиационных температур (t_r), генерируемых инсолируемыми фасадами при вариантном архитектурно-строительном исполнении, представлены на рисунке 4.7. [90].

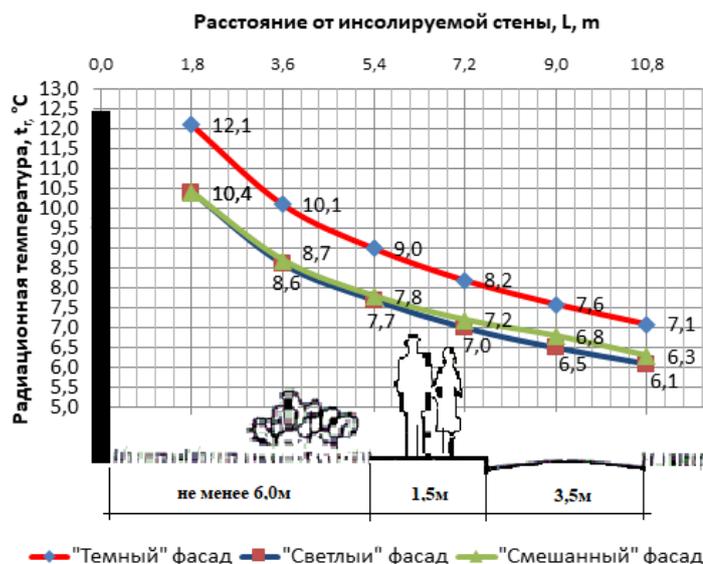


Рисунок 4.7. Графики радиационных температур, генерируемых инсолируемым фасадом при различных архитектурно-строительных решениях [90]

Увеличение радиационной температуры окружающей среды для «темного» фасада на +1,1 °C (тротуар) приводит к увеличению на +0,2°C индекса тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс), а это при пограничных условиях может перевести показатели тепловой нагрузки из допустимых во вредные. Кроме того, обращенные открытые участки тела человека (например, лицо) будут испытывать ощутимую разницу в тепловом излучении от стены и независимо от допустимых значений интегрального биоклиматического показателя ТНС-индекса при определенных метеорологических условиях человек будет испытывать локальный дискомфорт.

Из приведенного примера можно сделать заключение, что при необходимости в архитектурно-строительных решениях применения «темных» (коэффициент поглощения лучистой энергии материалом ~ 0,8) элементов фасада для четырнадцатизэтажной застройки целесообразно облицовку первых пяти этажей выполнить из «светлого» материала (коэффициент поглощения лучистой энергии не более 0,6). При этом на первые пять этажей приходится не менее 50% теплового излучения, генерируемого инсолируемым фасадом в расчетном сечении (рисунок 4.5.).

4.3. Влияние объектов озеленения и их элементов на тепловую нагрузку городского двора

В настоящем исследовании из объектов озеленения и их элементов основное внимание уделялось газонному покрытию по следующим причинам:

- современная технология устройства газонного покрытия позволяет использовать его сразу после ввода объекта в эксплуатацию и его свойства хорошо изучены [91];

- с 2020 года планировочная структура придомовых и дворовых территорий жилых домов нормируется, в т.ч. по площади озеленения [19]. Это означает, что газоны «резервируют» площади на которых в последствии появятся объекты озеленения;

- деревья и кустарники имеют разные интенсивности роста и в процессе жизненного цикла находятся в разных фазах существования. Это затрудняет прогнозирование их комплексного влияния на тепловой режим территории городского двора.

На основании вышеизложенного делается вывод, что градостроительное решение городской застройки без учета озеленения должно соответствовать экологической безопасности и комфорту, в т.ч. и по тепловому режиму. Объекты озеленения и их элементы носят только дополнительный характер в целях повышения комфорта.

Моделирование тепловой нагрузки окружающей среды городского двора показывает, что озелененные территории должны носить количественный и прикладной характер. Например, равномерное распределение озелененных участков позволяет равномерно распределить показатели изотерм тепловой нагрузки двора (рисунок 4.9.). В дальнейшем на этих участках можно вырастить отдельные деревья или группы деревьев, которые улучшат микроклимат в теплое время года эффектом экранирования [92].

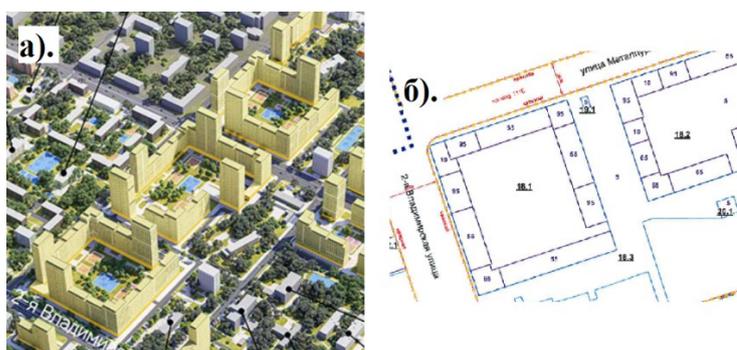


Рисунок 4.8. Пример градостроительного решения реновации квартала г. Москва

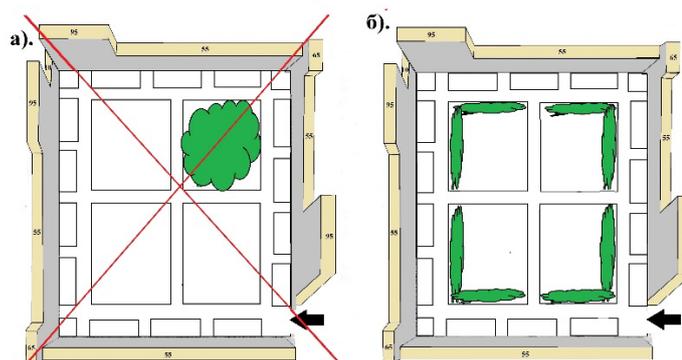


Рисунок 4.9. а). Количественный характер озеленения; б). Прикладной характер озеленения.

Примеры понижения тепловой нагрузки за счет замены «горячих» покрытий газонами представлены выше (рисунок 4.2.).

Для примера оценки влияния на тепловую нагрузку озелененной вертикальной инсолируемой поверхности выбран вьющийся виноград, как наиболее распространенное быстрорастущее растение средней широты с хорошо изученными свойствами (рисунок 4.10.) [93].

В процессе моделирования микроклимата были выявлены требования к винограду, а именно:

1. Снижение интенсивности прямой солнечной радиации – 100%.
2. Высота растения - 6÷8 метров.

При чем высота растения в 6÷8,0 метров достаточна, т.к. дальнейшее увеличение высоты вертикального озеленения к существенным изменениям тепловой нагрузки не приведет (данные расчета).



Рисунок 4.10. Пример озеленения фасада здания.

Расчет показал снижение радиационных температур (t_r) на пешеходном маршруте при озеленении стенки (рисунок 4.11.) [94]. Тротуар вдоль инсолируемой стены становится более комфортной областью ТНС-индекса (рисунок 4.12.б).

Смещение повышенной области ТНС-индекса ($>+25,1^{\circ}\text{C}$) к центральной части двора обусловлено применением в покрытии детских площадок, площадок для отдыха и спорта литого резинового покрытия с высоким коэффициентом поглощения солнечной энергии ($\sim 0,8$). Рекомендуется замена материала покрытия площадок на материалы с коэффициентом поглощения солнечной энергии ($0,5 \div 0,6$).

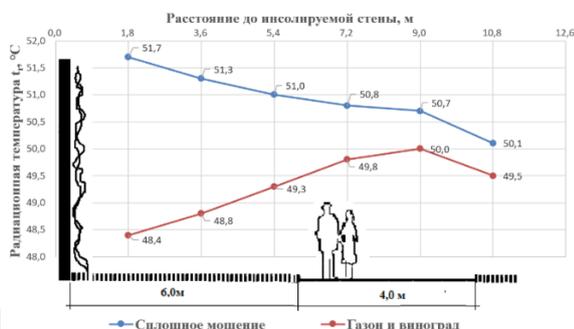


Рисунок 4.11. Графики радиационных температур с озеленением и без

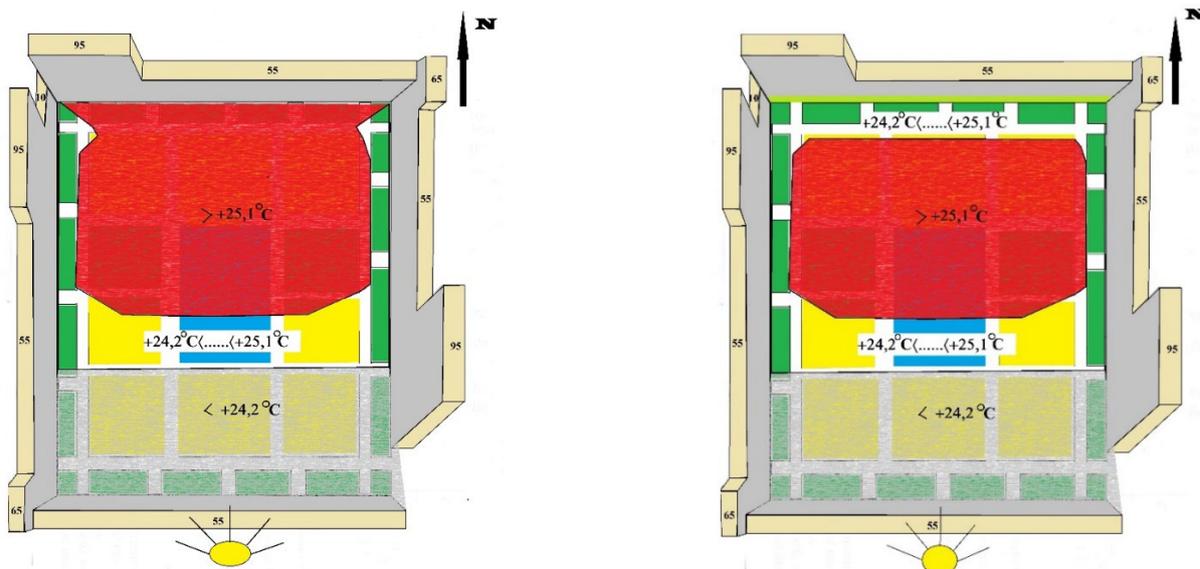


Рисунок 4.12. Области ТНС-индекса (°C): а). Без озеленения (газон, виноград); б). С озеленением (газон, виноград)

4.4. Аэрационный режим

В современных социально-экономических реалиях в градостроительстве широко применяется морфотип замкнутой, полузамкнутой застройки [95].

Аэрация в таких дворах практически отсутствует, температурные поля носят более устойчивый характер чем в разреженной застройке (здания-башни).

Моделирование ТНС-индекса показывает, чтобы улучшить теплоощущения на территории двора достаточно увеличить скорость движения воздуха до 0,5 м/с. Для аэрации городских дворов предлагается делать дополнительные разрывы в периметральной застройке и несколько сквозных арок с учетом розы ветров теплового периода года (рисунок 4.13.).

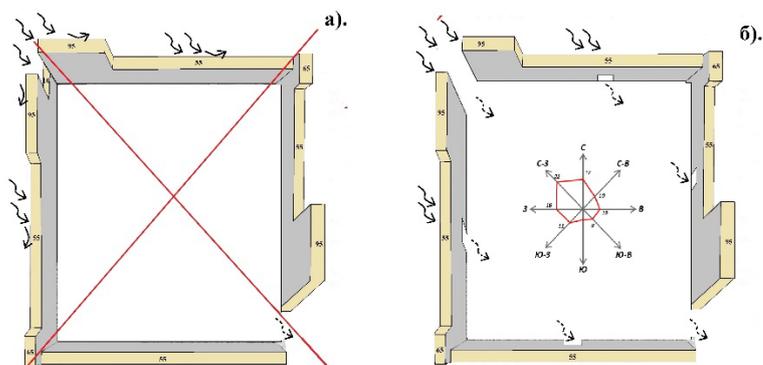


Рисунок 4.13. а). Аэрации двора нет; б). Аэрация двора.

4.5. **Натурные обследования городских дворов**

Натурные обследования городских дворов проводились в июле в г. Москве и в микрорайоне «Новая Трехгорка», Одинцовского района при различных градостроительных решениях застройки.

Для всех объектов:

Период и часы обследования: с 11-00 до 13-00

Метеорологические условия обследования:

Ясное небо или дымка, скорость ветра: от штиля до ветра не более 2,0 м/с.

Исследования проводились в следующих направлениях:

1. Выявление метеорологических показателей;
2. Замер ТНС-индекса;
3. Замер энергетической освещенности (зона УФ-(A+B)), мВт/м²;
4. Выявление поверхностных температур различных покрытий, мощений и т.д.

Исследования 1-3 велись на уровне 1,5 м

Используемые приборы:

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| 1. Мультимедийный прибор «Экофизика». | 2. ТКА-ПКМ42 |
| | 3. Пирометр PHOTOTEMP M×6 |

Места замеров ТНС (стоянки):

- | | |
|---|------------------------------|
| 1. Открытое пространство (нет постороннего влияния) | 3. Середина тротуаров |
| 2. У стены на отмостке (на солнце, в тени) | 4. Середина дороги |
| | 5. Середина детской площадки |

Целью исследования было сравнение теоретических результатов с натурными.

Ниже представлены некоторые результаты натурального обследования жилых дворов микрорайона «Новая Трехгорка», расположенного в 3-х км от МКАД на западном направлении близ города Одинцово. Координаты: 55.707112 с.ш., 37.321600 в.д. (рисунок 4.14.).

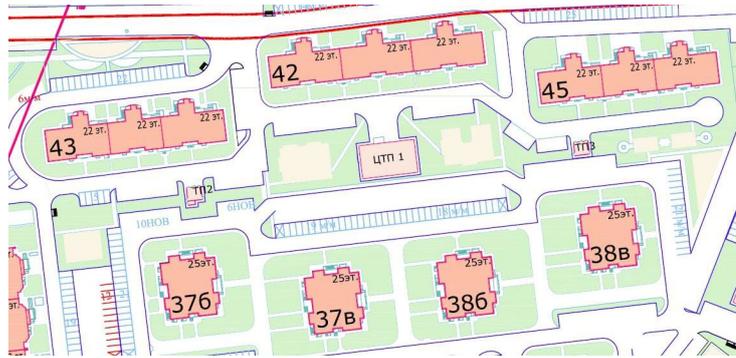


Рисунок 4.14. Фрагмент схемы генплана микрорайона «Новая Трехгорка»

Особенностью этих дворов является то, что при одинаковых объемно-планировочных решениях жилых зданий (корп. 42, 45 - многосекционные; корп. 38 б, 38 в - башенного типа,) и характеристик фасадов, в одном случае, двор «широкий» переотражение отсутствует, во втором случае, двор «узкий» в наличии переотражение от вертикальных плоскостей (рисунок 4.15.) [2].

а).

б).

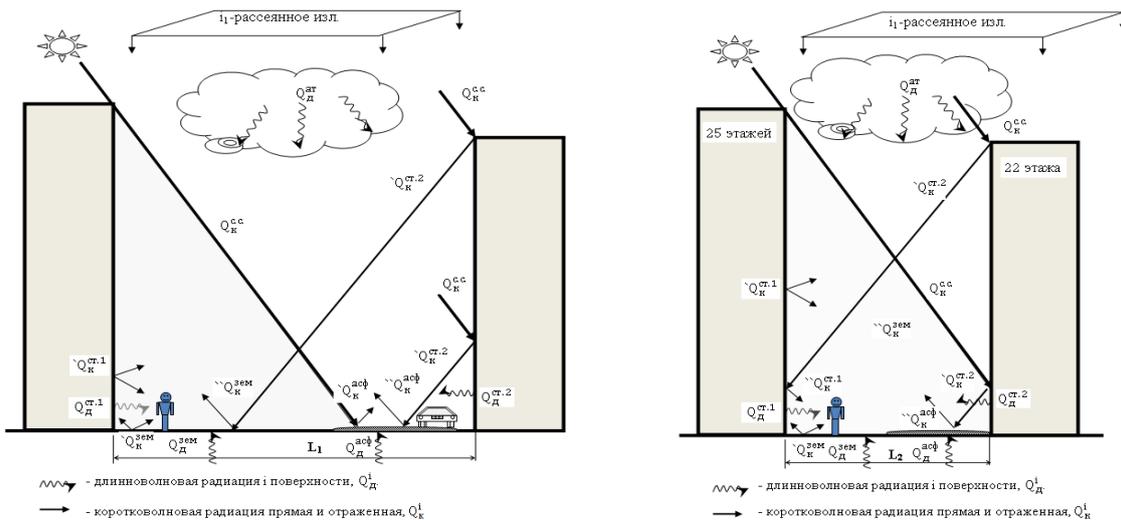


Рисунок 4.15. Радиационные балансы дворов: а). двор «широкий»; б). двор «узкий»

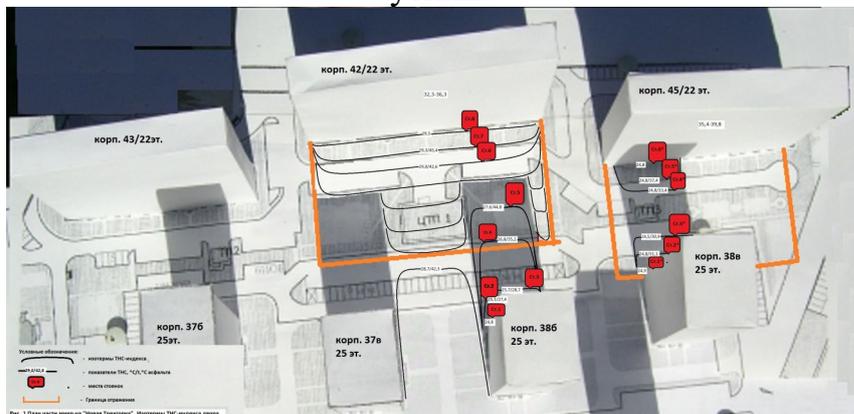


Рисунок 4.16. Фрагмент схемы генплана. Изотермы ТНС-индекса.

Общими условиями для обоих дворов были: рельеф спокойный; озеленение кустарниками, деревьями отсутствует. Ориентация вертикальных плоскостей (фасадов) – широтное (восток-запад).

Одинаковые материалы стен, остекления, одинаковая площадь остекления.

По результатам инструментальных замеров были построены графики ТНС-индексов для двух вариантов планировочных решений дворов.

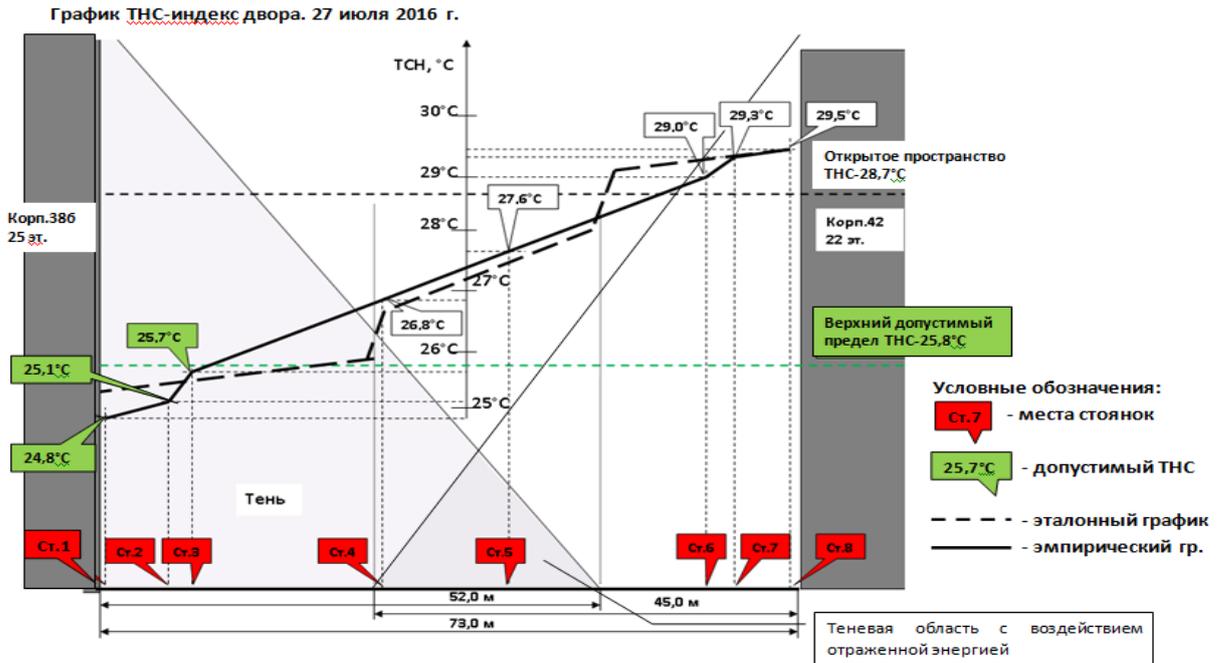


Рисунок 4.17. График ТНС-индекс для «широкого» двора

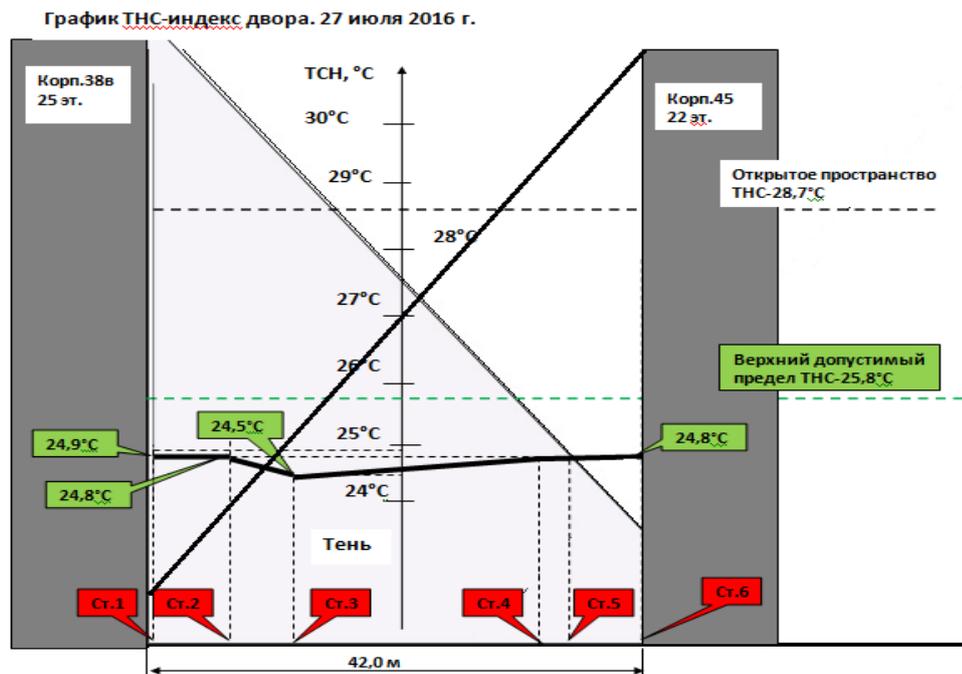


Рисунок 4.18. График ТНС-индекс для «узкого» двора

4.5.1. Результаты натурных исследований

1. Подтверждено превышение температур воздуха и радиационных в городской застройке над температурами открытых пространств при одинаковых метеорологических условиях (эффект городского острова тепла) (рисунок 4.19.).
2. Подтверждено, что наиболее опасные участки теплового воздействия на человека находятся под инсолируемыми вертикальными поверхностями (фасады зданий) (рисунок 4.17.).
3. Наиболее безопасные участки двора находятся в тени зданий, переотражение лучистой энергии не оказывает существенного влияния на силу теплового воздействия (рисунки 4.17-18.).
4. Подтверждено, что основной «вклад» в тепловую нагрузку территории двора вносит поверхность-земля 31~48%.
5. Подтверждено, что во дворе существуют участки (области) со значительной разницей тепловой нагрузки. Например, температура покрытия детских площадок из коричневой резиновой крошки в солнечную погоду при температуре воздуха +32,2°С может достигать +63,2°С, при этом температура асфальта «всего» +48°С, газона +40°С. Так как в планировочной структуре площади этих покрытий значительны, то важно на чем стоит облучаемый объект. В связи с этим, условно принимать изотропность поверхности земли для оценки микроклимата невозможно.
6. Проведенные замеры температуры шарового термометра в тени и на солнце подтвердили расчетную температуру солнца на широте г. Москвы (формула 3.20.) (рисунок 4.19.).
7. Подтверждена линейная зависимость ТНС-индекса от радиационной температуры при естественной конвекции, $v > 0,15$ м/с (рисунок
8. Подтверждено понижение ТНС-индекса при увеличении скорости движения воздуха с 0,15 до 0,5 м/с (рисунок 4.20.).

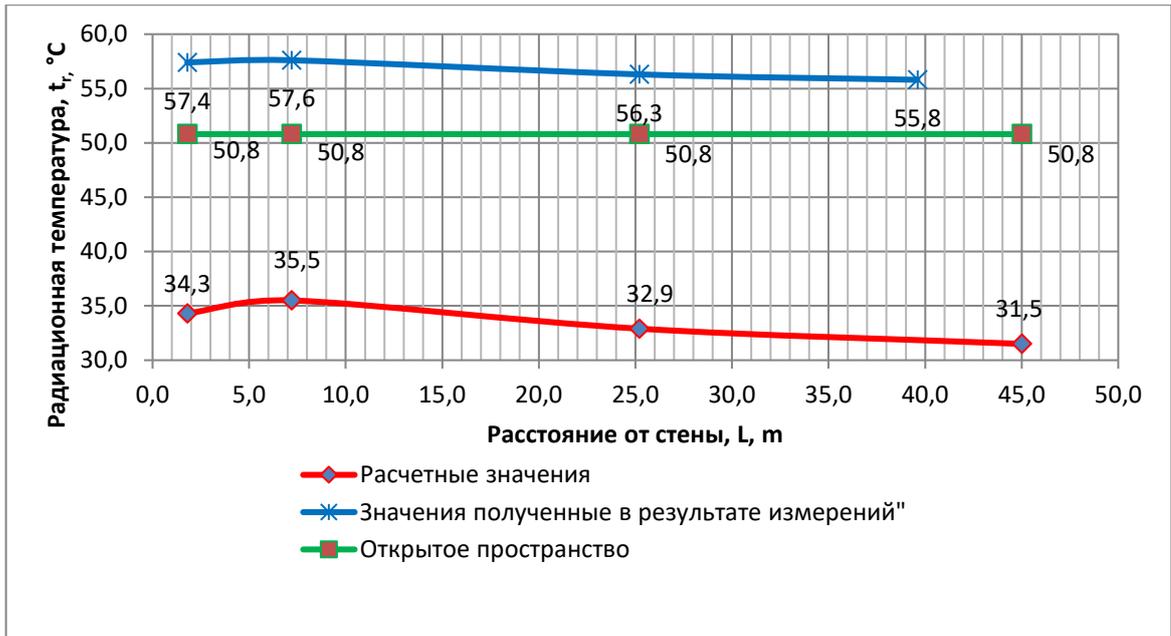


Рисунок 4.19. Графики радиационных температур (t_r) окружающей среды расчетные и полученные измерениями. Расчетное значение (красное) без учета солнечной температуры

Натурные замеры ТНС-индекса и его составляющих: температуры влажного и шарового термометров в различных объемно-планировочных решениях городского двора показали высокую корреляцию с расчетными данными.

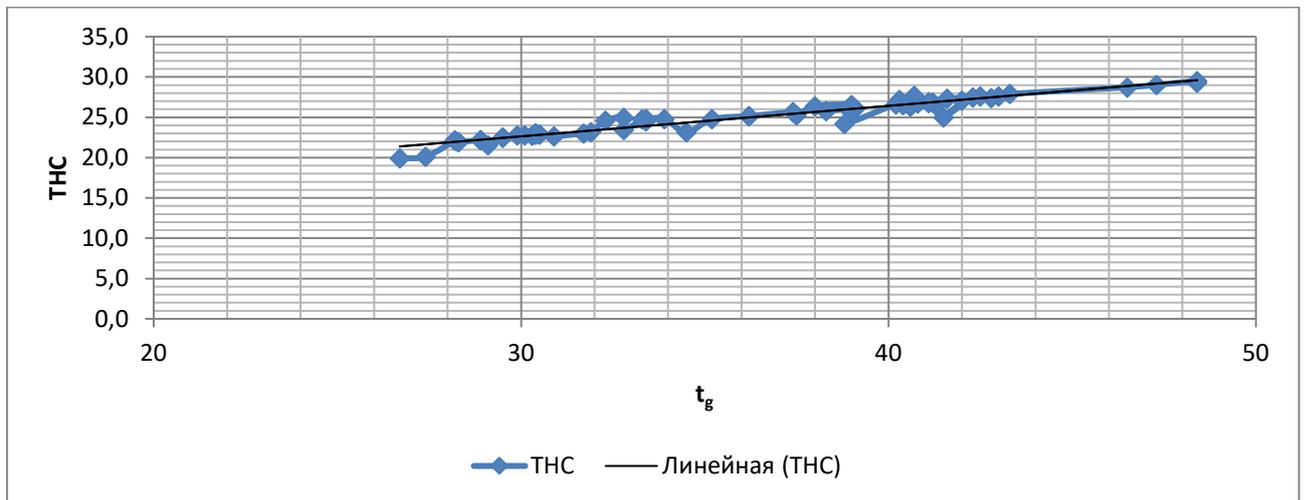


Рисунок 4.20. График зависимости ТНС-индекса от температуры шарового термометра (t_g), полученных измерениями

На рисунке 4.20. представлен график прямой зависимости ТНС-индекса от температуры шарового термометра (t_g) при естественной конвекции ($v > 0,15$ м/с), полученный в процессе натурного исследования.

Важно, обратить внимание на скачки показаний ниже уровня линии тренда ТНС-индекса, которые связаны с порывами ветра до 0,5 м/с, что свидетельствует о снижении тепловой нагрузки окружающей среды при аэрации территории при небольшой скорости движения воздуха.

4.6. Рекомендации по управлению тепловой нагрузкой на территории городского двора

При моделировании тепловой нагрузки на территории городских дворов в условиях плотной застройки были получены результаты, подтвержденные натурными исследованиями, позволяющие разработать конкретные рекомендации с целью обеспечения экологической безопасности городского строительства.

Объемно-планировочные решения. При выборе объемно-планировочного решения окружающей застройки городского двора необходимо руководствоваться фактором «перегретых» территорий (областей), формирующихся под стенами южной ориентации. В приоритете размещение зданий башенного типа (рисунок 4.21.) и меридианная ориентация квартальной застройки (рисунок 4.22.)



Рисунок 4.21. Жилой комплекс «Взлетный» г. Красноярск



Рисунок 4.22. Ориентация кварталов: а). Меридианная; б). Широтная

При квартальной (колодезной) застройке рекомендуется предусматривать разрывы между зданиями, сквозные арки и пр. для аэрации территории городского двора с учетом розы ветров для теплого периода года (рисунок 4.13б).

Планировочные решения. При широтной ориентации квартальной застройки или длины противопожарного проезда более 50,0 м вдоль стены южной ориентации необходимо предотвратить безальтернативное движение человека вдоль освещенной солнцем многометровой стены. Рекомендуется в планировке двора предусмотреть подходы ко входам в здание и объектам во дворе, так же по кратчайшим путям (рисунок 4.23.).

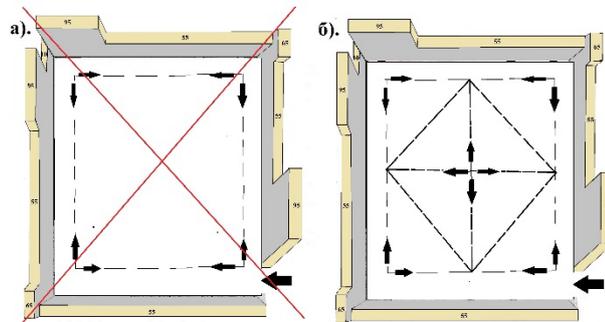


Рисунок 4.23. а). в планировочной структуре двора только пожарные проезды с тротуарами; б). в планировочной структуре двора развитая тротуарно-тропиночная сеть.

Рекомендуется равномерное распределение площадей под озеленение (газонное покрытие) с возможностью установки на них солнцезащитных конструкций напротив фасадов южной ориентации (рисунок 4.9.б). В процессе эксплуатации объекта не допускается изменение функционального назначения площадей под озеленение без экспертной оценки и компенсационных мер.

Архитектурно-строительные решения. Для исключения или уменьшения дополнительного теплового влияния вертикальных поверхностей, рекомендуется здания с северной стороны городского двора устанавливать «на ноги» или прикрывать первые этажи от уменьшения прямого солнечного облучения консолями (рисунок 4.24.).

а)



б)

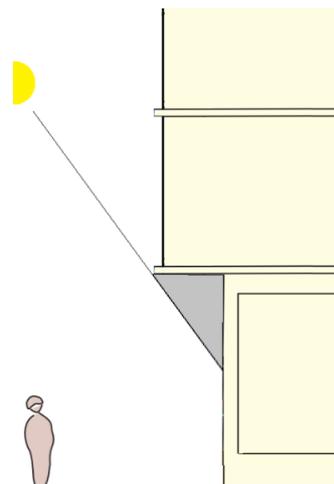


Рисунок 4.24. Архитектурно-строительное решение: а). Здание «на ножках»; б). Консольная надвигка.

При необходимости в архитектурно-строительных решениях применения «темных» (коэффициент поглощения лучистой энергии материалом $\sim 0,8$) элементов фасада целесообразно облицовку первых пяти этажей выполнить из «светлого» материала (коэффициент поглощения лучистой энергии не более $0,6$). При этом на первые пять этажей приходится не менее 50% теплового излучения, генерируемого инсолируемым фасадом (рисунок 4.25.).

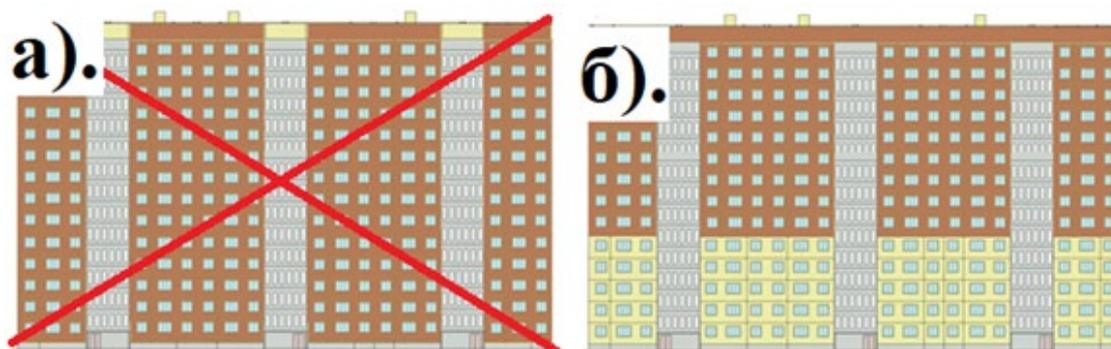


Рисунок 4.25. Возможные варианты облицовки инсолируемого фасада: а) Невозможно; б) Возможно

Подбор теплотехнических свойств материалов, применяемых в отделке фасадов, мощности и др. покрытиях. На территориях и поверхностях городских дворов, подверженных инсоляции в теплый период года: участки земли; фасады, необходимо применять материалы с коэффициентом поглощения не более $0,6$.

Особенно это важно при мощении земли и устройства покрытий детских площадок и площадок для спорта.

Отсутствие норм по применению материалов в отделке фасадов и покрытий придомовых и дворовых территорий с точки зрения тепловой нагрузки в настоящее время не способствуют экологической безопасности строительства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая диссертационная работа посвящена разработке метода моделирования тепловой нагрузки окружающей среды на территории городского двора с целью управления тепловым режимом для создания комфортной и безопасной среды жизнедеятельности.

В отличие от существующих методов данный метод является сравнительно простым (расчеты в среде Excel) и учитывает влияние каждого элемента в составе окружающей плоскостей на формирование тепловой нагрузки, что коренным образом меняет представление о якобы термической квазиоднородности пространства городского каньона.

По результатам данного исследования, можно сделать следующие выводы:

1. По итогам проведенного анализа научно-методических подходов к изучению климата городов и на его территориях было определено, что городской двор – это природно-техническая система, сформированная объектами городского строительства (здания, дороги, озеленение и пр.), находящимися в непрерывном взаимодействии с воздушными массами подстилающей поверхности городской среды, которые изменяются под их влиянием. Как городу в целом и его районам, городскому двору также присуще формирование тепловой аномалии «городского острова тепла» (ГОТ) в микроклиматическом масштабе. Основной «вклад» в формирование тепловой аномалии городского двора вносят: геометрия городской поверхности и теплотехнические характеристики поверхностных материалов (мощение, фасады и т.д.) (рисунок 1.13.).

2. При разработке методики моделирования тепловой нагрузки на территории городского двора была выявлена необходимость комплексного подхода заключающемся в следующем: во-первых, определение масштаба исследования с уточнением «исследовательской поверхности»; во-вторых, определение факторов и явлений, действующих в этом масштабе и на поверхности, как они описываются математическим аппаратом; в-третьих, определение биоклиматического показателя степени комфортности окружающей среды на

территории городского двора; в четвертых, по достижению положительного эффекта в моделировании тепловой нагрузки сделать оценку влияния тех или иных факторов на другие климатические масштабы.

3. Действуя по этапам комплексного подхода, было составлено уравнение теплового баланса «исследовательской поверхности», так называемого «сухого» каньона, в котором тепловой баланс определяется интенсивностью лучистого теплообмена между окружающими пространство двора поверхностями (радиационный теплообмен) и конвективного теплообмена, между поверхностями и воздухом (уравнение 2.8.).

4. Были проанализированы известные способы расчета радиационных температур окружающей среды, как в помещениях, так и на открытых пространствах. Выбран расчет радиационных температур в помещении с применением коэффициентов облученности между окружающими поверхностями и шаровым термометром (уравнение 3.4.). Три закона лучистого теплообмена позволили модифицировать существующий математический аппарат для расчета радиационных температур окружающей среды в масштабах городской застройки (уравнение 3.14.).

Разработан метод расчета радиационной температуры окружающей среды с применением коэффициентов облученности с шарового термометра на окружающие приведенные площадки ограждений городского двора при различных объемно-планировочных решениях, пространственной ориентации строительных объектов и теплотехнических характеристик применяемых покрытий. Метод расчеты радиационных температур окружающей среды в масштабах застройки показал хорошую корреляцию с «секторальным» методом Мягкова М.С. (рисунки 3.4., 3.15.).

Возможность расчета радиационных температур в масштабах городской застройки позволяет моделировать тепловую нагрузку на территории городского двора в условиях плотной застройки с учетом различных градостроительных решений: объемно-планировочные решения окружающей застройки; пространственной ориентации городского двора; теплотехнических характеристик

материалов, применяемых в покрытиях и облицовке; использования объектов и элементов озеленения.

5. Был определен биоклиматический показатель комфортности окружающей среды на территории двора «чувствительный» к изменению радиационных температур – индекс тепловой нагрузки (ТНС-индекс) (уравнение 2.15.). Обоснован выбор применения шарового термометра для оценки микроклимата окружающей среды на территории городского двора при натурном обследовании.

6. Разработан алгоритм моделирования тепловой нагрузки окружающей среды (ТНС-индекс) на территории городского двора (рисунок 3.13.) и выполнено моделирование. Моделирование тепловой нагрузки окружающей среды на территориях городских дворов при различных градостроительных решениях подтверждает эффекты ГОТ.

7. Проведены натурные исследования, которые подтвердили основные результаты моделирования: тепловую аномалию интенсивности «городского острова тепла» (ГОТ) (рисунок 4.19.); тренд изменения радиационных температур на территории городского двора (рисунок 4.19.); значительную разницу радиационных температур на участках двора, связанную с материалами мощения и близости к инсолируемой стене; температуру солнечного воздействия на шаровой термометр (уравнение 3.20.).

8. Предложены практические рекомендации проектировщикам, строителям, эксплуатирующим организациям по обеспечению, повышению экологической безопасности окружающей среды жилых дворов в условиях уплотнительной застройки в теплый период года, а именно: по объемно-планировочным решениям; применяемым фасадным материалам, искусственным покрытиям; планировочным решениям дворов и придомовых территорий.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

1. Расчетами и натурным обследованием подтверждено, что различные участки двора могут иметь значительную разницу тепловой нагрузки и соответствующую степень комфорта, а это значит, что усреднять тепловую

нагрузку по территории двора или условно принимать температурную изотропность ограждающих поверхностей (земли, стен и т.д.) нельзя. Это определяет принципиально новый подход при исследовании городского климата на микроклиматическом уровне.

2. Результаты научного исследования могут найти применение в определении мощности тепловых шлейфов (факелов), поднимающихся с территории городских дворов для оценки изменения атмосферных слоев на суб-, мезомасштабном уровне городского климата.

3. Практические рекомендации должны учитываться проектировщиками при определении градостроительных решений городской застройки.

4. Возможно, результаты исследования должны учитываться в гигиенических нормативах к теплотехническим характеристикам материалов наружной облицовки и мощения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Howard L. The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations Made in the Metropolis and at Various Places Around it // London, Harvey and Darton. -1833.
2. Oke T.R. Boundary layer climates / T.R. Oke. - London: Routledge, 1987(1999). – 435 p.
3. Мягков М.С. Механизм формирования теплового баланса в городской застройке на примере г. Москвы.: автореф. дис. канд. тех. наук: 25:00:30 / Мягков М.С. // Государственный университет по землеустройству. – Москва, 2004. – 26 с.
4. Masson V., 2000: A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Boundary-Layer Meteorology*, 94, 357–397.
5. Kusaka H., K. Nawata, A. Suzuki-Parker, Y. Takane & N. Furuhashi, 2014: Mechanism of precipitation increase with urbanization in Tokyo as revealed by ensemble climate simulations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53, 824–839.
6. Константинов П. И. Изменение летних условий микроклимата Московского мегаполиса в условиях глобального потепления.: автореф. дис. канд. географ. наук: 25:00:30 / Константинов П. И. // Московский государственный университет. – Москва, 2011. – 23 с.
7. Адаменко В.Н., Хайруллин К.Ш. Проблемы биоклиматической оценки суровости погоды и мелиорация микроклимата застройки // Труды ГГО. - 1973. - Вып. 306. - С. 74-81.
8. Мягков М.С. Нормирование и нормативы микроклиматических условий территорий городской застройки. Реализация требований биоклиматической комфортности в проектной подготовке строительства. URL: https://marhi.ru/kafedra/techno/physics/myagkov_climat.pdf (дата обращения: 20.09.2019).

9. Гиясов А.И. Регулирование микроклимата застройки городов в условиях жаркого штилевого климата.: автореф. дис. докт. тех. наук : 18:00:04/ Гиясов А.И. // Московский строительный государственный университет. – Москва, 2004. – 23 с.
10. Шукуров И. С. Математическое моделирование влияния жилой застройки на тепловое состояние человека / И. С. Шукуров // Жилищное строительство. – 2006. – № 1. – С. 11-13. – EDN KZBBDJ.
11. Каганов Г.З. Формирование городской среды (вопросы теории). М.: ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре, 1987. 43 с.
12. Ильичев В.А. Некоторые вопросы проектирования поселений с позиции концепции биосферной совместимости / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, А.В. Берсенев, А.Л. Поздняков // Academia. Архитектура и строительство. - 2009. - №1. - С. 50-57.
13. М. Журавлева Лидеры урбанизации как внедрение локальных urban policies помогает трансформировать городские агломерации https://plus.rbc.ru/specials/modern_urban_policies_in_russia
14. Полякова Н.В. Диагностика комфортности среды проживания в городах: обоснование и формирование методики / Н.В. Полякова, В.Е. Залешин, В.В. Поляков. — DOI: 10.17150/2500- 2759.2020.30(1).121-129 // Известия Байкальского государственного университета. 2020. Т. 30, № 1. С. 121–129.
15. Кузьмин А. В. Качество жизни и качество пространственной среды - социальные стандарты и нормативы в градостроительстве, архитектуре, строительстве / А. В. Кузьмин, Г. С. Юсин // Градостроительство. – 2011. – № 4(14). – С. 16. – EDN RCLPJF.
16. David W. J. Gill. Hippodamus and the Piraeus. Historia: Zeitschrift für Alte Geschichte// Franz Steiner Verlag, Stuttgart//Historia, Band 55, H. 1 (2006), pp. 1-15 (15 pages).

17. Птичникова Г. А. Новые морфотипы архитектурного пространства современных городов / Г. А. Птичникова, А. В. Антюфеев // Социология города. – 2014. – № 2. – С. 5-19. – EDN SHPHHF.
18. Кожаева Л.Ю. Морфотипы застройки в теории и на практике. Архитектурный вестник, № 4. - 2011. - С. 43-47.
19. Свод правил СП 476.1325800.2020 «Территории городских и сельских поселений. Правила планировки, застройки и благоустройства жилых микрорайонов».
20. МГСН 1.01-99 «Нормы и правила проектирования планировки и застройки Москвы»
21. Благоустройство в реновации. Подходы и проблемы. / по заказу Комитета по архитектуре и градостроительству города Москвы — М.: Изд-во «А-Принт», 2018. — 268 с.
22. МОСКОМАРХИТЕКТУРА. «Подготовка проекта планировки территории кварталов 58, 59 района Фили-Давыдково (ЗАО) в целях реализации программы реновации жилищного фонда в городе Москве». Москва, 2019 г.// [https://fili-davydkovo.mos.ru/Утверждаемая_часть_Фили-Давыдково_58,59%20\(3\).pdf](https://fili-davydkovo.mos.ru/Утверждаемая_часть_Фили-Давыдково_58,59%20(3).pdf) (дата обращения 28.10.2022)
23. Крашенинников И.А. Перспективы анализа «пористости» городской ткани // Architecture and Modern Information Technologies. – 2017. – №3(40). – С. 215-226: http://marhi.ru/AMIT/2017/3kvart17/16_krashenninkov/index.php
24. Суздалева А. Л. Современный характер урбанизации и необходимость комплексного решения проблем экологической безопасности, безопасности жизнедеятельности и охраны труда / А. Л. Суздалева // Экология урбанизированных территорий. – 2014. – № 2. – С. 12-16. – EDN SLTWYF.
25. Графкина, М. В. Оценка экологической безопасности строительных систем как природно-техногенных комплексов (теоретические основы) / М. В. Графкина, А. Д. Потапов // Вестник МГСУ. – 2008. – № 1. – С. 23-28. – EDN MVNAJP.

26. Ландсберг Г.Е. Климат города / Г.Е. Ландсберг. – Л.: Гидрометеиздат, 1983 – 258 с.
27. Город, архитектура, человек и климат / М.С. Мягков, Ю.Д. Губернский, Л.И. Конова [и др.]. – М.: «Архитектура-С», 2007. – 344 с.
28. Clark, J.R., 1969: Thermal pollution and aquatic life. *Scientific American*, 220. - P. 19–27.
29. Howard, L. The climate of London: deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it // London, Harvey and Darton. -1833.
30. Renou. E. ‘Instructions météorologiques’ // *Annuaire Société Météorologie de France*. -1855. -Vol. 3(1). -P. 73–160.
31. Renou. E. ‘Différences de température entre, Paris et Choisy-le-Roi’. *Annuaire Société // Météorologique de France*. -1862. -Vol. 10. -P. 105–109.
32. Renou. E. ‘Differences de temperature entre la ville et la campagne // *Annuaire Société Météorologie de France*. -1868. -Vol. 3. -P. 83–97.
33. Schmidt.W. ‘Zum einfluss grosser städte auf das klima’// *Naturwissen*. -1917. - Vol. 5. -P. 494–495.
34. Schmidt,W. ‘Die Verteilung der minimum temperaturen in der frostnacht des 12 Mai 1927 im Gemeindegebiet von Wien’// *Fortschritte der Landwirtschaft*. -1929. -Vol. 2(21). -P. 681–686.
35. Mitchell, J. M. ‘On the causes of instrumentally observed secular temperature trends // *Journal of Meteorology*. -1953. -Vol. 10. -P. 244–261.
36. Mitchell, J. M. ‘The temperature of cities // *Weatherwise*. -1961. -Vol. 14. -P. 224–229, 258.
37. Oke, T.R., 1974: Review of urban climatology, 1968–1973. WMO Tech. Note 134, World Meteorological Organization, Geneva.
38. Terjung, W.H., 1974: Urban climatology: with reference to the inter-relationship between external weather and the microclimate in houses and buildings. In: *Progress in Biometeorology*, Vol.1, Pt.1, Ch.4, Sect.5, Tromp, S.W. (ed.), Swets and Zeitlinger, Amsterdam, 168–180.

39. Leonard O. Myrup A Numerical Model of the Urban Heat Island The Journal of Applied Meteorology and Climatology Vol. 8. Issue 6
40. Oke T.R. Urban climates / T.R. Oke, G. Mills, A. Christen [and other]. – Cambridge university press, 2017. – 546 p.
41. Oke, T.R., 1976: The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. Atmosphere, 14, 268–277.
42. Константинов П. И. Изменение летних условий микроклимата Московского мегаполиса в условиях глобального потепления.: автореф. дис. канд. географ. наук: 25:00:30 / Константинов П. И. // Московский государственный университет. – Москва, 2011. – 23 с.
43. Попова И.В. Методика геоэкологической оценки комфортности городской среды с учетом микроклиматических особенностей : автореф. дис. ... канд. геогр. наук/ И. В. Попова. - Воронеж, 2019. - 24 с.
44. Чистякова С.Б. Рекомендации по учету природно-климатических факторов в планировке, застройке и благоустройстве, городов и групповых систем населенных мест / С.Б. Чистякова. – М.: Изд-во ЦНИИПГрад., 1980. – 139 с.
45. Попова, И. В. Вычисление параметров шероховатости и оценка аэрационного потенциала городских территорий / И. В. Попова, Е. В. Любимова, С. А. Куролап // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 1(4). – С. 79-87. – EDN YMNENY.
46. Седяров О. И. Научно-практические основы разработки методов оценки и моделирования воздействия технологических процессов обувных предприятий на производственный персонал и окружающую среду: диссертация ... доктора технических наук : 05.19.05 / Седяров О. И.; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»]. - Москва, 2022. - 417 с.
47. Серебровский Ф.Л. Аэрация населенных мест / Ф.Л. Сребровский. – М.: Стройиздат, 1985. – 170 с.
48. Шепелев В. В. Фазовые переходы воды - основа природных водообменных циклов // Фундаментальные проблемы воды и водных

- ресурсов на рубеже третьего тысячелетия. - Томск: Изд-во НТЛ, 2000. -С. 495-498.
49. Shanahan, P., 2009: Groundwater in the urban environment. In: The Water Environment of Cities, Baker, L.A. (ed.), Springer Science+Business Media, 29–48.
50. Welty, C., 2009: The urban water budget. In: The Water Environment of Cities, Baker, L.A. (ed.), Springer Science+Business Media, 17–28.
51. Мягков М.С. Механизм формирования теплового баланса в городской застройке на примере г. Москвы.: автореф. дис. канд. тех. наук: 25:00:30 / Мягков М.С. // Государственный университет по землеустройству. – Москва, 2004. – 26 с.
52. Сумеркин Ю.А. Расчет радиационной температуры окружающей среды городской застройки // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 4. С. 34-40.
53. Mills, G., H. Cleugh, R. Emmanuel, et al., 2010: Climate information for improved planning and management of mega cities (needs perspective). *Procedia Environmental Sciences*, 1, 228–246.
54. Расчет интенсивности теплового острова в мегаполисах с помощью моделирования в программе ENVI-met / Ле Минь Туан, И. С. Шукуров, М. О. Гельманова, М. Ю. Слесарев // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, № 9. – С. 1262-1273. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.9.1262-1273. – EDN JVMHOU.
55. Дудорова Н.В. Исследование острова тепла в г. Томске и определяющих его факторов.: автореф. дис. канд. физ-мат. наук: 25:00:29 / Дудорова Н.В. // Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева. – Томск, 2016. – 24 с.
56. Ткачук С.В. Обзор индексов степени комфортности погодных условий и их связь с показателями смертности // Труды Гидрометцентра России. – 2012. вып. 347. – С. 194-209.
57. Мягков М.С. Нормирование и нормативы микроклиматических условий городской застройки. Реализация требований биоклиматической комфортности в проектной подготовке строительства. //URL:

https://marhi.ru/kafedra/techno/physics/myagkov_climat.pdf (дата обращения 20.09.2019).

58. Ле Минь Туан. Модели обеспечения экологической безопасности застройки (на примере г. Ханой - Вьетнам): дис. канд. тех. наук: 2.1.10 / Ле Минь Туан // Московский государственный строительный университет. – Москва, 2021. – 158 с.
59. Гиясов А.И., Гиясов Т.Б. Значение местных ветров в аэрации урбанизированных территорий с жарким штилевым условием климата // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 10. С. 1363–1371. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.10.1363-1371 DOI: 10.22227/1997-0935.2020.10.1363-1371
60. Шукуров И.С. Формирование тепло-ветрового режима жилой застройки городов жаркого климата: автореферат дис. доктора тех. наук: 18.00.04//Московский государственный строительный университет. - Москва, 2007. – 36 с.
61. Снегирёв А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009 — 143 с.
62. Murup, L.O., 1969: A numerical model of the urban heat island. *Journal of Applied Meteorology* 8, 908–918.
63. Сумеркин Ю.А., Теличенко В.И. Параметры оценки экологической безопасности точечной застройки при реконструкции городских территорий // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 2. С. 64-69.
64. Ткачук, С. В. Сравнительный анализ биоклиматических индексов для прогноза с использованием мезомасштабной модели / С. В. Ткачук // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2011. – № 20. – С. 109-118. – EDN ONOFBR.
65. Головина Е.Г. Методика расчетов биометеорологических параметров (индексов) / Е.Г. Головина, А.М. Трубина. – С.Пб. : Изд-во РГГМИ, 1997. – 110 с.

66. Русанов В.И. Методы исследования климата для медицинских целей / В.И. Русанов. – Томск: Изд-во ТГУ, 1973. – 190 с.
67. Трубина М.А., Хассо Л.А., Дячко Ж.К. Методы биоклиматической оценки северо-западного региона России. // Ученые записки № 13. Экология – С. 121-137.
68. Адаменко В.Н., Хайрулин К.Ш. Проблемы биоклиматической оценки суровости погоды и мелиорации микроклимата застройки // Труды ГГО. – 1973. – Вып. 306. – С. 3–18.
69. Пророкова М.В. Повышение эффективности энергосберегающих мероприятий с учетом комфорта микроклимата.: дис. канд. тех. наук: 05.14.04 / Пророкова М.В. // Ивановский государственный энергетический университет. – Иваново, 2017. – 202 с.
70. ИСО 7243:2007 "Термальная среда. Расчет тепловой нагрузки на работающего человека, основанный на показателе (температура влажного шарика психрометра)"
71. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Руководство р 2.2.2006-05
72. Федорович Г.В. Оценка тепловой обстановки с помощью шарового термометра // Безопасность и охрана труда. 2011. № 1. С. 68-71.
73. ISO7726:1998(E). Ergonomics of the thermal environment—Instruments for measuring physical quantities.
74. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
75. Малявина Е. Г. Теплопотери здания: справочное пособие / Е. Г. Малявина. — М.: АВОК-ПРЕСС, 2007 - 144 с. — 2 000 экз. - ISBN 978-5-98267-030-4.
76. Айзенштат Б.А. Оценка радиационного влияния различных элементов городской среды на тепловое состояние человека для целей градостроительства / Б.А. Айзенштат // Строительная климатология. – 1987. – № 6. – С. 66-71.

77. Малявина Е. Г., Барсукова М. А. Разработка методики расчета локальной асимметрии радиационной температуры. Научное обозрение. 2015. №8. С. 38-41.
78. Исаченко В.П. и др. Теплопередача. М.: Энергоиздат, 1981. -417 с.
79. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена Москва: Энергия, 1979. - 319 с.
80. Солодов, А. П. Электронный курс тепломассообмена / А. П. Солодов // Открытое образование. – 2013. – № 1(96). – С. 8-16. – EDN PVXHXР.
81. ГОСТ Р 53615-2009 «Воздействие природных внешних условий на технические изделия. общая характеристика. солнечное излучение и температура».
82. Иродов И. Е. Задачи по общей физике: учебное пособие для ву-зов /. — 10-е изд. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. — 431 с.
83. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1980. -469 с.
84. Сумеркин Ю.А. Расчет радиационной температуры окружающей среды территории двора при реновации //Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 6. С. 56-61. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.06.56-61.
85. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076—01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий».
86. Сумеркин Ю.А. Метод подбора искусственных покрытий для обеспечения экологической безопасности в жилом дворе в теплый период года // Инновационные научные исследования: сетевой журнал. 2021. № 3-1(5). С. 146-157. URL: <https://ip-journal.ru>
87. Stewart, I.D., T.R. Oke, & E.S. Krayenhoff, 2014: Evaluation of the ‘local climate zone’ scheme using temperature observations and model simulations. International Journal of Climatology, 34, 1062–1080.
88. СП 131.13330.2020 «Строительная климатология. СНиП 23-01-99*»
89. Сумеркин Ю.А. Натурное обследование жилой застройки на предмет энергетического влияния зданий на микроклиматические условия дворового

- пространства // Промышленное и гражданское строительство. 2017, № 5, с. 93-97.
90. Сумеркин Ю.А. Метод подбора отделки фасадов для обеспечения экологической безопасности в жилом дворе в теплый период года // Инновационные научные исследования: сетевой журнал. 2021. № 4-1(6). С. 243-256. URL: <https://ip-journal.ru/>
91. Краснощекова Н.С., Чистякова С. Б. Озеленение и микроклимат южных городов // Москва: Центр. науч.-техн. информации по гражд. строительству и архитектуре, 1968. - 34 с.
92. Березин Д.В. Снижение перегрева на придомовой территории путем рационального размещения зеленых насаждений // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». Том. 13, №2. – С. 16
93. Sandifer S., Givoni B. Thermal effects of vines on wall temperatures- comparing laboratory and field collected data // <https://www.sbse.org/sites/sbse/files/attachments/scholarships/Sandifer.pdf> (дата обращения 10.05.2022).]
94. Сумеркин Ю.А. Примеры влияния озелененных поверхностей на тепловой режим придомовой территории жилой застройки в теплый период года // НИУ МГСУ Устойчивое развитие территорий Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции (г. Москва, 30–31 мая 2022 г.). С. 219-224.
95. Трутнев Э.К., Вопросы морфологии застройки, предопределённой порядком градорегулирования https://urban.hse.ru/discussion_trutnev_morphology