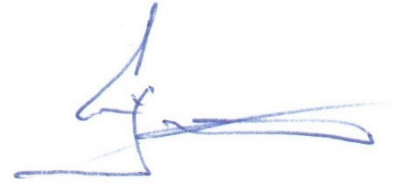


На правах рукописи



Сумеркин Юрий Алексеевич

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

2.1.10 –Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

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

Официальные оппоненты: **Оленьков Валентин Данилович**
доктор технических наук, доцент

Литвинова Наталья Анатольевна
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Ведущая организация: ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук»

Защита диссертации состоится «12» октября 2023 г. в 14:30 (по местному времени) на заседании диссертационного совета 24.2.339.04, созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» по адресу: г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Зал Ученого Совета.

С диссертацией, авторефератом можно ознакомиться на сайте www.mgsu.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 202__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сысоева Елена Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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.

С 80-х годов 20-го века, при изучении метеорологического режима городских территорий стали использовать понятие, как «городской каньон». 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 альбедо территории, что приводит к повышенному усвоению приходящей солнечной энергии на единицу городской территории по сравнению с сельскохозяйственной. 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.

Продолжающаяся урбанизация и уплотнение городов, главное направление 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 настоящей 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.

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.

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.

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.

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

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. Разработан и применен новый метод моделирования тепловой нагрузки на

территории городского двора в 3D формате, позволяющего в отличие от существующих методов, учесть влияние каждого элемента в составе окружающих 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 развитии 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 объемно-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.

Личный вклад соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации заключается в развитии 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 ТНС-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.

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.

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. 4 статьи опубликованы в других научных журналах и изданиях.

Объем и структура 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, степень ее разработанности, научная гипотеза, сформулированы цель и задачи диссертации, ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость. Приводятся методология и методы диссертационного исследования, положения, выносимые

на защиту, личный вклад соискателя, степень достоверности и апробации результатов, публикации, объем и структура работы.

Глава 1 «Современное состояние проблемы оценки тепловой нагрузки городской среды в условиях увеличивающейся плотности застройки» посвящена обзору существующих научно-методических подходов к изучению климата городов в целом и на отдельных его территориях в работах отечественных и зарубежных авторов.

Рассмотрен вопрос, какие факторы идентифицируют городскую среду и какие требования комфорта предъявляются к ней.

Исходя из основных требований комфорта городской среды (открытых пространств) было установлено, 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.

Выявлено, что тепловая нагрузка, формируемая в природно-технической системе, как городской двор, при непрерывном взаимодействии его объектов с воздушными массами подстилающей поверхности городской среды, является одним из факторов (физиологический), определяющих степень комфорта пребывания на его территории.

Были проанализированы механизмы формирования тепловой аномалии – «городской остров тепла» в основе которых, 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). На рисунке 1 представлен геометрический фактор «городского острова тепла» связанный с: увеличением площадей поверхностей застройки на единицу площади земли, участвующих в энергообмене; «поглощением» солнечной энергии за счет многократного переотражения внутри городского объема, что способствует понижению интегрального альбеда по отношению к пригороду и сельской

местности; уменьшением площадь видимой части неба, как наиболее холодной поверхности в процессе теплообмена с поверхностями города.

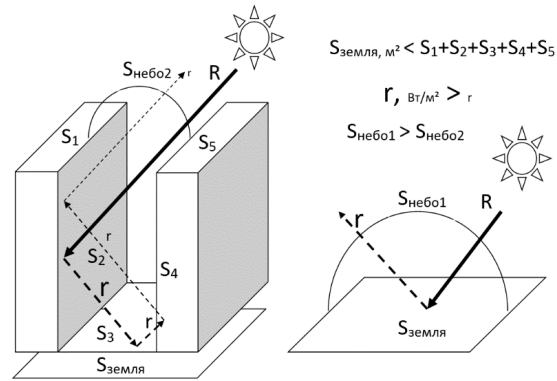


Рисунок 1 - Пример трех геометрических факторов, отличных от сельской местности, где S_i - активная плоскость; $S_{небо}$ - площадь видимой части неба; R, r – мощность входящего солнечного излучения и мощности коротковолнового преотражения, исходящего с плоскости.

Определен масштаб исследования городского климата – микроклимат (рисунок 2).

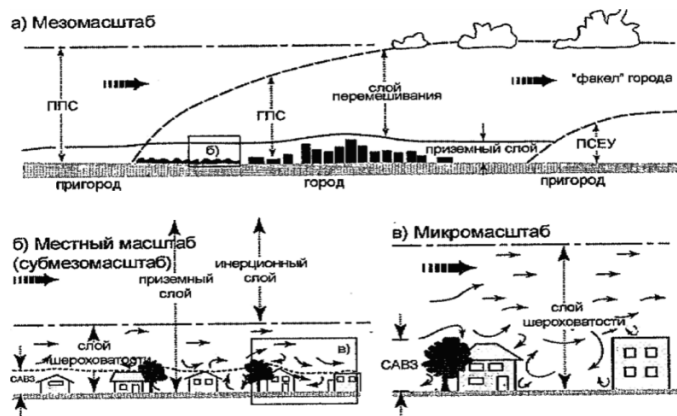


Рисунок 2 - Схема климатических масштабов и элементов атмосферы для условий города:
 ППС – планетарный пограничный слой атмосферы; ГПС – городской пограничный слой;
 ПСЕУ – пограничный слой для естественных условий; САВЗ – слой атмосферного воздействия внутри застройки

С целью определения плотности городской застройки были проанализированы планировочные морфотипы крупных, крупнейших городов и мегаполисов. Выявлено, что таким морфотипом является высокоплотная ячеистая застройка, которая может быть представлена в виде квартала, микрорайона. В том и другом случае, внутри ячеек образуется приватная территория, предназначенная для жителей, посетителей и др. с соответствующими функциональными свойствами. Для настоящего исследования вызывает интерес изменения тепловой нагрузки на территориях городских дворов с плотностью застройки: 10,0-20,0 тыс. $m^2/га$ – средняя плотность; 20,0-30,2 тыс. $m^2/га$ – высокая плотность; свыше

30,2 тыс. м²/га – застройка повышенной (за нормативной) плотности, как природно-технических систем, демонстрирующих закономерности роста тепловой аномалии - «городского острова тепла».

В главе 2 «Моделирование тепловой нагрузки на территории городского двора и исследование параметров, влияющих на создание комфортной среды жизнедеятельности» был сформулирован комплексный подход к моделированию, включающий этапы: первый, определение масштаба и уровня (поверхности) исследования; второй, определение факторов и явлений, действующих в этом масштабе, и их описание математическим аппаратом; третий, выбор биоклиматического показателя оценки степени комфортности окружающей среды на территории городского двора; четвертый, по достижению положительного эффекта в моделировании тепловой нагрузки оценка влияния тех или иных факторов на другие климатические масштабы.

Несмотря на то, что ранее был определен масштаб исследования (микrokлиматический), этого оказалось недостаточно для оценки факторов, влияющих на формирование тепловой нагрузки и определения теплового баланса на территории городского двора. Было установлено, что понятие микrokлиматического масштаба охватывает достаточно большое пространство с несколькими уровнями над поверхностью земли, микrokлиматические процессы на которых могут развиваться по разным сценариям. В связи с этим, потребовалось установить уровень исследования («исследовательскую поверхность») (рисунок 3).

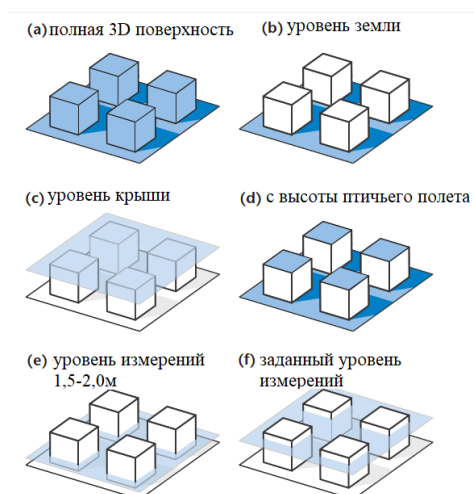


Рисунок 3 - Потенциальные определения или перспективы "поверхности" (синим цветом) упрощенного представления городской системы.

Так как целью моделирования тепловой нагрузки на территории городского двора является оценка микроклиматических условий окружающей среды на предмет комфортности, индикатором такой оценки является человек. Поэтому, в данной работе исследовательской «поверхностью» была определена стандартная высота климатических и метеорологических измерений погодных условий 1,5 м над землей (рисунок 3е.).

Для этой поверхности был определен тепловой и радиационный баланс (рисунок 4):

$$K_{\downarrow} + K_{\uparrow} + L_{\uparrow} = q_c + q_r \quad (1)$$

где: K_{\downarrow} - поглощенный коротковолновой поток суммарного солнечного излучения, Вт/м²; K_{\uparrow} - отраженный коротковолновой поток от окружающих стен первого порядка, Вт/м²; L_{\uparrow} - длинноволновые радиационные потоки от стен, земли Вт/м²; q_c - конвективный поток теплообмена между поверхностью двора и воздухом, Вт/м²; q_r - собственный радиационный поток, Вт/м².

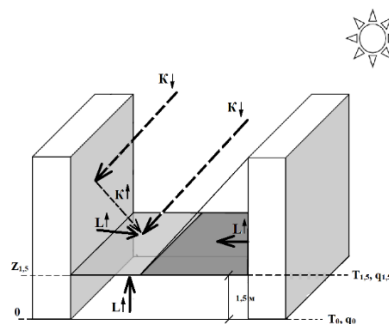


Рисунок 4 - Радиационный баланс исследовательской поверхности, 1,5 метра над землей

Раскрывая уравнение 1, получим:

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

где: $Q^* = (J' + i)$ — суммарный коротковолновой поток солнечного излучения на поверхность земли, стены: J' - прямой солнечный поток; i - поток рассеянной солнечной радиации, (Вт/м²); 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, Вт·м⁻²·К⁻⁴; T_i - температуры i поверхностей, °К; h_c - коэффициент конвективного теплообмена между поверхностью двора и окружающим воздухом, Вт/(м²·°К); T_o - температура поверхности двора, °К; T_a - температура воздуха, °К.

Из уравнения 2 был сделан вывод, что на территории городского двора тепловая нагрузка (тепловой баланс) в основном будет определяться интенсивностью радиационного теплообмена между окружающими поверхностями.

Для оценки степени комфортности пребывания на территории городского двора был проведен анализ биоклиматических показателей, учитывающих радиационный теплообмен. Обязательным условием применения биоклиматического показателя была возможность расчета результирующих радиационных температур, как основное положение моделирования тепловой нагрузки на территории двора. Обоснован выбор индекса тепловой нагрузки окружающей среды (ТНС-индекс) (уравнение 3) и выбор применения шарового термометра для натурного обследования микроклимата окружающей среды на территории городского двора.

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

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

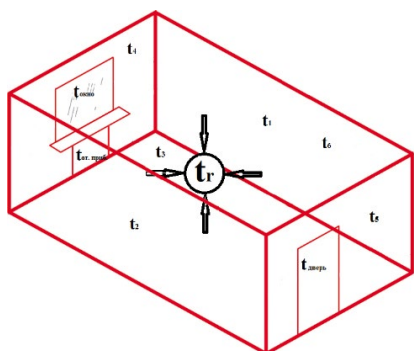
Глава 3 «Теоретическое и практическое решение модели тепловой нагрузки на территории городского двора в условиях плотной застройки» посвящена анализу методов расчета радиационных температур окружающей среды, как основополагающего механизма при моделировании тепловой нагрузки на территории городского двора.

Территория городского двора, «погружаясь» все глубже на дно окружающей застройки, приобретает более закрытый характер формирования микроклиматических условий, мало подверженных внешнему влиянию, например: застой воздуха; устойчивость температурных полей, пониженная влажность и т. д.

Пространство городского двора становится похожим на помещение, ограниченное шестью плоскостями (сторонами): пол – земля, стены – фасады окружающих зданий, потолок – небо (рисунок 5). В такой ситуации, возможно представить пространство городского двора (параллелепипед), как закрытую систему, в

которой действуют законы термодинамики, связанные с теплообменом излучением в прозрачной среде.

а).



б).

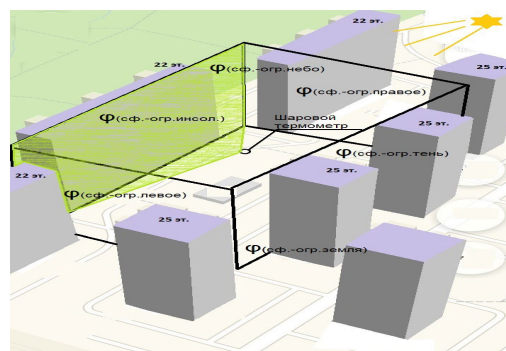


Рисунок 5 – а). Пространство помещения; б). Воображаемое пространство (параллелепипед) городского двора

Был выбран существующий математический аппарат расчета средних радиационных температур для помещений (уравнение 4):

$$t_{ri} = \sum_1^6 \sum_{n=1}^N t_{эл.} \times \varphi_{сф-пл.} \quad (4)$$

где: $\varphi_{сф-пл.}$ - коэффициент облученности с шарового термометра в сторону элементарной площадки конкретного ограждения; $t_{эл.}$ - температура элементарной площадки (0,1×0,1 м), °С; N - количество элементарных площадок на ограждении.

Три закона лучистого теплообмена:

1. Закон взаимности лучистых потоков.
2. Закон замкнутости лучистых потоков.
3. Закон распределительности лучистых потоков.

позволили модифицировать уравнение расчета средней радиационной температуры помещения для применения в масштабе городской застройки (уравнение 5):

$$t_{ri} = \sum_1^6 \sum_{n=1}^N t_{пр.пл.} \times \varphi_{сф-пл.} \quad (5)$$

где: $\varphi_{сф-пл.}$ - коэффициент облученности с шарового термометра в сторону приведенной площадки конкретного ограждения; $t_{пр.пл.}$ - температура приведенной площадки (1,5×1,8 м), °С; N - количество приведенных площадок на ограждении.

Проверка правильности и точности расчетов в соответствии с правилом замкнутости лучистых потоков показала погрешность равенства менее 1%

$\sum \varphi_{сф-пл} = 0,9914$, доказывая возможность применения уравнения 4 для расчетов средней радиационной температуры в масштабах городской застройки.

Был сделан вывод, что площадка размерами 1,5×1,8 м является предельной для соблюдения точности расчетов коэффициентов облученности с элементов городской застройки.

Анализируя уравнение 5 и формулу дополнительного нагрева поверхности материалов на солнце (t_i):

$$t_i = t_a + (a_n \times E) / h_{mo}, \quad (6)$$

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°

были определены способы управления радиационной температурой окружающей среды на территории городского двора:

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

- ориентацией вертикальных и наклонных поверхностей по сторонам света регулируется мощность приходящей солнечной энергии на м² облучаемой поверхности (E) и солнцезащитные мероприятия;

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

Разработан алгоритм моделирования тепловой нагрузки окружающей среды (ТНС-индекс) на территории городского двора и выполнено моделирование (рисунок 6).

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 (рисунок 7).

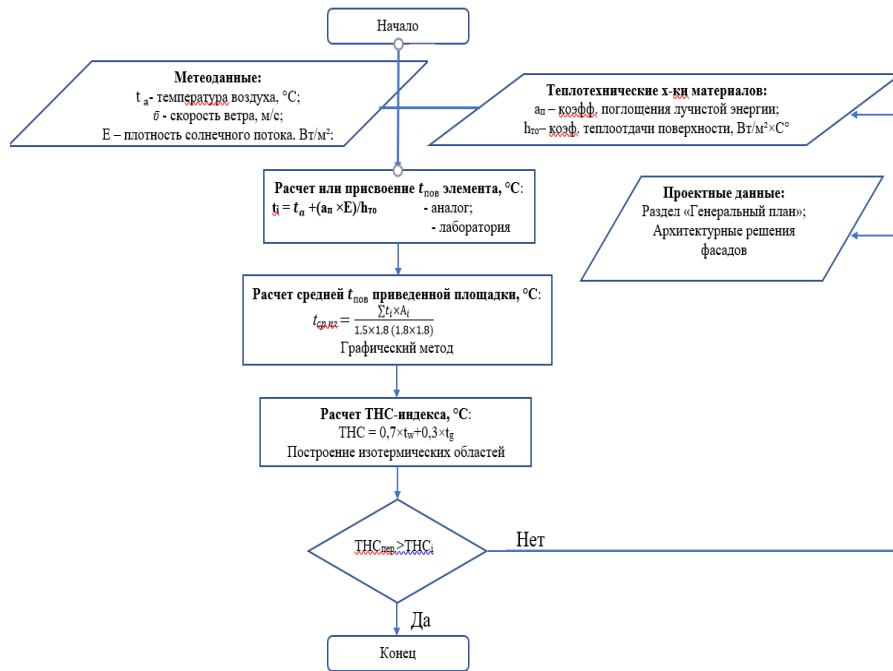


Рисунок 6 - Блок-схема алгоритма расчета радиационных температур и ТНС-индекса

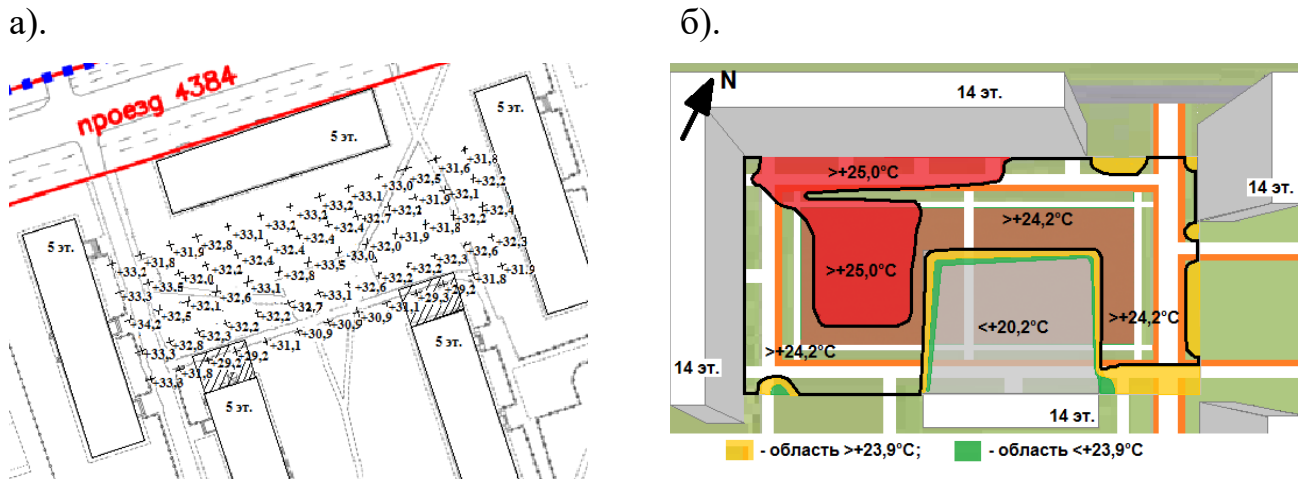


Рисунок 7 – а). Радиационные температуры двора; б). Области ТНС-индекса

Таблица 1 - 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)

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

В главе 4 «Результаты исследования и рекомендации по управлению тепловой нагрузкой на территории городского двора в условиях плотной застройки для создания комфортной среды жизнедеятельности» приводятся

результаты расчетов и натурных обследований, подтверждающих рост температурной аномалии – «городского острова тепла» при увеличении плотности застройки, за счет сокращения влияния видимой части неба в процессе теплообмена, как «холодной» поверхности, при одновременном росте влияния окружающих вертикальных плоскостей (рисунок 8). Данный факт и корреляция с другими методами расчета подтверждают достоверность полученных результатов.

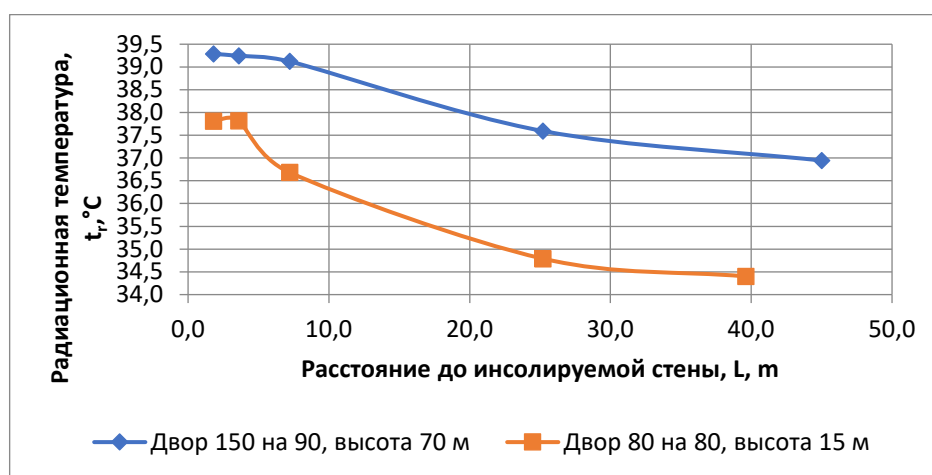


Рисунок 8 - Графики радиационных температур окружающей среды у инсолируемой стенки при одинаковых метеорологических условиях и архитектурно-строительных решениях при различных объемно-планировочных решениях дворов

В процессе исследования выявлена поверхность основного «вклада» в формирование тепловой нагрузки – земля, в диапазоне 31÷48%, причем этот диапазон не зависит от плотности застройки и размеров дворов.

Определено, 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°C может достигать +63,2°C, при этом температура асфальта «всего» +48°C, газона +40°C. Так как в планировочной структуре площади этих покрытий значительны, то важно на чем «стоит» облучаемый объект. В связи с этим, условно принимать изотропной поверхность земли, как и фасадов зданий для оценки микроклимата на территории городского двора недопустимо.

Были предложены практические рекомендации проектировщикам, строителям, эксплуатирующим организациям по повышению экологической безопасности окружающей среды городских дворов в условиях плотной

застройки в теплый период года, а именно: по объемно-планировочным решениям; применяемым фасадным материалам, искусственным покрытиям; планировочным решениям дворов и придомовых территорий; по размещению объектов озеленения.

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 4).

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).

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 4). Три закона лучистого теплообмена позволили модифицировать существующий математический аппарат для расчета радиационных температур окружающей среды в масштабах городской застройки (уравнение 5).

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 расчета радиационных температур окружающей среды в масштабах застройки показал хорошую корреляцию с «секторальным» методом Мягкова М.С.

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 3). 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 и выполнено моделирование (рисунок 6). 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); тренд изменения радиационных температур на территории городского двора; значительную разницу радиационных температур на участках двора, связанную с материалами мощения и близости к инсолируемой стене; температуру солнечного воздействия на шаровой термометр.

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 работ, опубликованных автором по теме диссертации:

Публикации в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий:

1. Теличенко В.И., Сумеркин Ю.А. Градостроительные проблемы и перспективы точечной (уплотнительной) застройки // Промышленное и гражданское строительство. 2015, № 2, с. 12-16.
2. Сумеркин Ю.А., Теличенко В.И. Параметры оценки экологической безопасности при реконструкции сложившихся городских территорий // Промышленное и гражданское строительство. 2016, № 2, с. 64-69.
3. Сумеркин Ю.А. Натурное обследование жилой застройки на предмет энергетического влияния зданий на микроклиматические условия дворового пространства. // Промышленное и гражданское строительство. 2017, № 5, с. 76-80.
4. Сумеркин Ю.А., Теличенко В.И. Оценка экологической безопасности придомовых территорий жилых районов // Промышленное и гражданское строительство. 2017, № 6, с.75-79.

5. Сумеркин Ю.А. Расчет радиационной температуры окружающей среды городской застройки // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 4. С. 34-40. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.04.34-40.

6. 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.

Статьи, опубликованные в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, Web of Science и др.

7. V. Telichenko, Y. Sumerkin. Modeling of the Microclimate of a Residential Courtyard During Renovation / V. I. Telichenko, Yu. A. Sumerkin // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2022. – Vol. 18, No. 3. – P. 44-53. – DOI 10.22337/2587-9618-2022-18-3-44-53. – EDN ERYGFC.

Статьи, опубликованные в других научных журналах и изданиях:

8. Сумеркин Ю.А. Обзор научно-исследовательских изысканий в вопросах экологической безопасности городской среды населенных пунктов России // Строительство: наука и образование. 2017. Т. 7. № 1 (22). С. 3. DOI: 10.22227/2305-5502.2017.1.3

9. 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. DOI: 10.5281/zenodo.4677264

10. 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. DOI: 10.5281/zenodo.4743998

11. 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.