На правах рукописи

КОРКИНА ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОСТЕКЛЕНИЯ В ЗДАНИЯХ ПРИ УЧЁТЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОСТУПЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Специальность
2.1.3 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН)

Научный консультант: **Шубин Игорь Любимович**,
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, директор федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук».

Официальные оппоненты:

Дацюк Тамара Александровна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительной физики, электроэнергетики и электротехники» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Корниенко Сергей Валерьевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Архитектура зданий и сооружений» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет».

Шеина Светлана Георгиевна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Городское строительство и хозяйство» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет».

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования **«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».**

Защита диссертации состоится «___» _____ 2025 г. в __ часов на заседании диссертационного совета 39.1.001.01, созданного на базе федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», по адресу: 127238, Москва, Локомотивный проезд, д. 21, светотехнический корпус, к. 205; тел. +7 (495) 482-40-76, факс +7 (495) 482-40-60; e-mail: niisf@niisf.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-методическом фонде НИИСФ РААСН и на сайте http://niisf.ru .

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета — Шмаров Игорь Александрович



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В соответствии с приоритетами научно-технической политики Российской Федерации строительство современных зданий с повышенной комфортностью должно соответствовать требованиям к энергосбережению. Важным направлением при этом является проектирование светопрозрачных ограждающих конструкций помещений зданий в соответствии с требованиями нормативных документов, составленными на основе решения многих задач, направленных на экономное расходование потребляемой на отопление и освещение энергии. Расчёт поступающего естественного освещения и теплоты от солнечной радиации является одной из таких задач, он включает в себя расчёт собственно поступлений солнечного излучения в видимом и инфракрасном диапазонах, а затем учёт влияния светопрозрачных конструкций на пропускание излучения в помещения зданий. В части учёта поступающего естественного освещения и теплоты от солнечной радиации в нормативных документах не в полной мере учитываются климатические и градостроительные особенности. Светопрозрачные конструкции с остеклением, имеющим энергосберегающие покрытия (низкоэмиссионные, солнцезащитные, мультифункциональные), обладают большим сопротивлением теплопередаче, однако их коэффициент пропускания солнечной радиации может быть ниже, чем у применявшихся ранее, что влияет на поступления теплоты и видимого света в помещения. В отечественных нормативных документах существуют требования к сопротивлению теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций, основанные только на снижении трансмиссионных теплопотерь через них. В настоящей работе решается **научная проблема** по обеспечению энергосбережения за счёт подбора светопрозрачных ограждающих конструкций на основе соотношения трансмиссионных теплопотерь и теплопоступлений от солнечной радиации через них с учётом требований по естественному освещению.

В связи с этим **актуальным** является развитие научных методов исследования и последующее их применение для определения поступлений от солнечной радиации в видимом и инфракрасном диапазонах через

светопрозрачные ограждающие конструкции, а также методов подбора светопрозрачных конструкций, в полной мере учитывающих теплопотери через них.

Степень разработанности темы диссертации. Разработкой методов расчётов поступающей в здания солнечной радиации и естественного освещения в нашей стране и за рубежом занимались и внесли большой вклад В.Н. Богословский, А.Л. Гершун, Н.М. Гусев, Б.А. Дунаев, К.Я. Кондратьев, Г.Б. Пигольцина, Л.П. Клягина, А.И. Круглова, Н.В. Оболенский, З.И. Пивоварова, А.К. Соловьев, В.Н. Куприянов, Ю.Б. Айзенберг, Н.Н. Киреев, Ю.А. Табунщиков, В.А. Земцов, Н.И. Щепетков, А.Т. Дворецкий, А.В. Спиридонов, J. Carmody, R. Kitler, K.J. Kontoleon и др.

На основе отечественных разработок была составлена методика расчёта теплопоступлений от солнечной радиации, вошедшая в нормативные документы, например, в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты», СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования», а также для расчёта естественного освещения помещений зданий СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Но существует ряд предпосылок для уточнения данных методик, таких как массовое использование светопрозрачных конструкций с энергосберегающими свойствами и более полный учёт факторов, влияющих на поступление солнечной радиации в помещения зданий.

Цель и задачи диссертационной работы:

Цель диссертационной работы – разработка методов подбора энергосберегающего остекления в зданиях с учётом градостроительных и климатических особенностей поступления солнечной радиации.

Задачи: провести обзор и анализ литературы по теме исследования; выполнить теоретическое исследование различных состояний небосвода по облачности на территории РФ с дальнейшим расчётом естественной освещённости внутри помещения; выполнить корректировку коэффициентов светового климата

на территории РФ с учётом различных состояний небосвода по облачности; разработать, адаптировать к инженерной практике и верифицировать методы расчёта поступающей солнечной радиации на фасад здания при наличии противостоящей застройки; выполнить экспериментальное исследование влияния энергосберегающих покрытий стекол на пропускание солнечной радиации стеклопакетами; изучить влияние светопрозрачных и непрозрачных наружных фасадных материалов на отражение солнечной радиации и на величину средневзвешенного коэффициента отражения и средневзвешенного альбедо фасада; провести и проанализировать натурные измерения пропускания солнечной радиации под углом к остеклению с энергосберегающими покрытиями; разработать критерии подбора энергосберегающего остекления по теплофизическим, светотехническим характеристикам и характеристикам пропускания теплоты от солнечной радиации для обеспечения энергосбережения; разработать подходы к экономической оценке эффективности применения остекления с энергосберегающими покрытиями; разработать рекомендации по внедрению результатов работы в нормативные документы.

Научная новизна работы:

1. Разработан метод расчёта естественной освещённости в помещении с учётом различной облачности небосвода.

2. Разработаны методы расчёта прямой, рассеянной, отраженной на фасад солнечной радиации с учётом влияния противостоящего здания.

3. Обосновано, что применение энергосберегающего остекления способствует сбережению энергии только в случае, если снижение теплопоступлений от солнечной радиации меньше, чем снижение трансмиссионных теплопотерь через светопрозрачные ограждающие конструкции.

4. Предложена радиационно-температурная характеристика фасада, как отношение поступающей на вертикальную поверхность суммарной солнечной радиации к значению ГСОП, которая может применяться для подбора энергосберегающего остекления.

5. Предложена теплопроводно-радиационная характеристика остекления, как показатель соотношения теплопотерь и теплопоступлений через стеклопакет, которая может применяться для подбора энергосберегающего остекления.

6. Разработаны критерии подбора остекления с энергосберегающими покрытиями по теплофизическим, светотехническим характеристикам, характеристикам пропускания теплоты от солнечной радиации и характеристикам климата для обеспечения энергосбережения на отопление, вентиляцию и искусственное освещение помещений зданий.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Разработан метод расчёта естественной освещённости помещения при учёте состояния небосвода различной облачности, способствующий повышению точности расчётов естественного освещения помещений зданий и энергосбережению на отопление, вентиляцию и искусственное освещение, а также являющийся возможной основой для разработки ряда методов развития расчётов естественного освещения.

2. Разработаны, адаптированы и верифицированы инженерные методы расчёта поступающей солнечной радиации с учётом влияния противостоящего здания, позволяющие повысить точность расчётов теплопоступлений от солнечной радиации в помещения зданий.

3. Разработан метод и проведены натурные исследования температуры нагрева стены здания от солнечной радиации, по результатам которых показана достаточная точность расчётов поступающей солнечной радиации по разработанным методам. Данный метод может использоваться для верификации разрабатываемых теоретических методов расчета солнечной радиации, поступающей на фасад.

4. Определены спектральные характеристики пропускания солнечной радиации в видимом и во всем спектре солнечного излучения остеклением с энергосберегающими покрытиями, которые могут быть использованы при расчетах естественного освещения и поступающей солнечной радиации.

5. На основе проведенных экспериментальных исследований сформированы и систематизированы данные по отражению солнечной радиации элементами фасадов: стеклопакетами, наружными поверхностями переплётов, непрозрачными фасадными покрытиями, что может быть использовано для определения средневзвешенного коэффициента отражения фасада и средневзвешенного альбедо фасада противостоящего здания в расчётах параметров естественного освещения помещения зданий и в расчётах отраженной солнечной радиации.

6. Разработан метод и проведены натурные измерения пропускания солнечного излучения при падении под углом к энергосберегающему остеклению. Показано, что увеличение количества стекол с покрытиями в стеклопакете приводит к более быстрому снижению коэффициентов светопропускания при увеличении угла падения солнечного излучения. Рекомендованы поправочные коэффициенты на румб светопроёма, позволяющие уточнить пропускание теплоты от солнечной радиации остеклением.

7. Проведена адаптация под инженерные расчёты коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплетах оконного блока, что может быть использовано в расчётах параметров естественного освещения и поступающей солнечной радиации в помещения зданий.

8. Представлена радиационно-температурная характеристика фасада и теплопроводно-радиационная характеристика остекления, учёт которых при выборе светопрозрачных ограждающих конструкций позволит повысить энергосбережение.

9. Теоретически обоснованы критерии подбора остекления с энергосберегающими покрытиями по соотношению теплофизических, светотехнических характеристик, характеристик пропускания теплоты от солнечной радиации и характеристик климата, применение которых в практических целях обеспечит энергосбережение на отопление, вентиляцию и искусственное освещение помещений зданий.

10. Расчётом по критериям, установлено, что влияние противостоящего здания на снижение теплопоступлений от солнечной радиации может быть существенным, что приводит к дополнительным затратам на отопление и вентиляцию и влияет на решение о выборе наиболее выгодного варианта остекления.

11. Теоретически обоснован показатель экономической оценки эффективности применения остекления с энергосберегающими покрытиями в заданном климате.

Методология и методы диссертационного исследования. В диссертационной работе все экспериментальные исследования были выполнены на территории и с помощью оборудования НИИСФ РААСН. Определение пропускания стеклами и отражения стеклами и фасадными покрытиями солнечной радиации проводилось на спектрофотометрах СФ-256 УВИ с приставкой ПДО -7 и СФ-256 БИК с приставкой ПДО-8 согласно ГОСТ EN 410–2014 и ГОСТ Р 56709–2015. Экспериментальные исследования температуры нагрева тонкого штукатурного слоя проводились на оборудовании ИТП-МГ 4.03/20(I) «ПОТОК». Измерение освещенности проводилось с использованием поверенных люксметров. Расчет теплопоступлений от солнечной радиации, приведенного сопротивления теплопередаче оконных конструкций проводился в соответствии с СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий». Расчеты естественного освещения помещений зданий проводились в соответствии с СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» и СП 367.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения». Расчет общего коэффициента светопропускания оконного блока проводился в соответствии с СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» и с ГОСТ 26602.4-2012. Определение температуры нагрева наружной поверхности стены от солнечной радиации проводилось с использованием специально созданной установки по разработанному методу. Определение светопропускания остекления при падении излучения под углом проводилось с использованием специально созданной установки по разработанному методу. Вся

обработка и анализ рассчитанных данных производились с применением программ Microsoft Office Excel, MATCAD. В качестве теоретической базы для исследования использованы фундаментальные законы теплопроводности и лучистого теплообмена, а также светотехнические законы (закон проекции телесного угла и закон светотехнического подобия) и научные труды по расчету естественного освещения и теплопередачи в ограждающих конструкциях.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод определения естественной освещённости в помещении при небосводе различной облачности.
2. Графический метод расчёта прямой солнечной радиации с учётом противостоящего здания.
3. Аналитический метод расчёта поступающей рассеянной солнечной радиации с учётом противостоящего здания.
4. Метод верификации расчёта дозы поступающей солнечной радиации в натурных условиях.
5. Результаты экспериментальных исследований по отражению солнечной радиации элементами фасадов: остеклением с энергосберегающими покрытиями, наружными гранями переплётов, непрозрачными фасадными покрытиями.
6. Метод натурных исследований светопропускания энергосберегающего остекления при различных углах падения солнечного излучения.
7. Радиационно-температурная характеристика фасада.
8. Теплопроводно-радиационная характеристика остекления.
9. Критерии подбора остекления с энергосберегающими покрытиями по соотношению теплофизических, светотехнических характеристик, характеристик пропускания теплоты от солнечной радиации и характеристик климата.

Степень достоверности результатов подтверждена сходимостью результатов расчетов по разработанным методам, общепринятым методикам и экспериментальным измерениям. Все эксперименты были проведены с

использованием общепринятых методик, оборудования и приборов, имеющих свидетельства о поверке.

Апробация результатов. Основные положения работы докладывались на научных конференциях: Российская конференция: VII всероссийская научно-техническая конференция «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции» в НИУ МГСУ, г. Москва, Россия, 8 ноября 2018 г.; Международная конференция: The International Conference on Innovative Applied Energy (IAPE'19) г. Оксфорд, Великобритания, 14 марта 2019 г.; Международная конференция: Академические чтения, посвященные памяти академика РААСН Осипова Г.Л., «Актуальные вопросы строительной физики. Энергосбережение, надежность строительных конструкций и экологическая безопасность» в НИИСФ РААСН г. Москва, Россия, в следующие года: 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024; Международная конференция: The 11th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC 2019) в секции «Modeling of Heat Transfer and Energy Saving in Buildings» Harbin Institute of Technology (HIT) г. Харбин, Китай, 14 июля 2019г.; Международная конференция: XXIII International Scientific Conference on Advance In Civil Engineering. Construction the formation of living environment (FORM-2020) в секции «New construction technologies», г. Москва, Россия, 23-26 сентября 2020г.; VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции», г. Москва, Россия, 12 ноября 2020г.; Первая Национальная конференция, НИУ МГСУ, г. Москва,30 сентября 2020г.; XXV International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering Construcrtion the formation of living environment (FORM 2022), Moscow Russia, April 20-22, 2022г.; Международная научная конференция «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды (Indoor air quality and environment.)», г. Волгоград, г. Москва, в следующие года: 2021, 2022, 2023, 2024; Вторая национальная конференция «Актуальные проблемы строительной отрасли и образования», Москва, 2022, 2023, 2024, 2025.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 63 печатные работы, в том числе 35 – в рецензируемых журналах из «Перечня рецензируемых научных

изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», 8 – в научных изданиях, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, 3 – в научных изданиях, индексируемых в международных реферативных базах Web of Science.

Внедрение результатов. Результаты диссертации использованы при разработке: СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий»; СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» с Изменениями №1 и №2; СП 367.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения» с Изменениями №2; СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования» с Изменениями №2.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 279 страницах, состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 337 наименований (в том числе 138 зарубежных источников), семи приложений (изложены на 224 страницах), содержит 70 рисунков и 39 таблиц.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационное исследование соответствует паспорту специальности 2.1.3 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение и направления исследования: п. № 2, п. № 4, п. № 5, п. № 7.

Благодарности, ссылки. Автор благодарит трудовой коллектив НИИСФ РААСН за содействие при подготовке и написании диссертации, а также при проведении натурных экспериментов. Особую благодарность автор выражает к.т.н. И.А. Шмарову и к.т.н. В.А. Земцову.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, степень ее разработанности, сформулированы цели и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы и положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит обзор методов моделирования температурного режима помещений зданий. Показано, что учёт теплопоступлений от солнечной радиации способствует сбережению тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания. Расчёт теплопоступлений от солнечной радиации через боковые светопрозрачные конструкции проводится по формуле:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{оп}} = \sum_j^J \left[I_j^{\text{вер}} \cdot \sum_{l=1}^{L} g_{jl} \cdot \tau_{2jl} \cdot A_{jl} \right], \quad (1)$$

где $I_j^{\text{вер}}$ – суммарная солнечная радиация за отопительный период для вертикальной поверхности, ориентированной по направлению *j*, без учёта влияния застройки, МДж/год·м^2; A_{jl} – площадь окон, ориентированных по направлению *j*, м^2; g_{jl} – коэффициенты общего пропускания солнечной радиации для окон; τ_{2jl} – коэффициенты, учитывающие потери солнечной радиации в переплетах оконных блоков.

Обзор показал, что следует разработать инженерные методы расчёта поступающей солнечной радиации с учётом наличия противостоящего здания, что уточнит расчёты теплопоступлений от солнечной радиации, а также энергии, требующейся на отопление и вентиляцию здания.

Расчёт коэффициента естественной освещённости (КЕО) проводится по формуле:

$$e_{\text{р}}^{\text{б}} = C_N \left(\sum_{i=1}^{L} \varepsilon_{\text{б}i} q(\gamma)_i + \sum_{j=1}^{M} \varepsilon_{\text{здj}} b_{\text{ф}i} k_{\text{здj}} \right) r_0 \tau_0 MF, \quad (2)$$

где C_N – коэффициент, учитывающий особенности светового климата, принимаемый в зависимости от светоклиматического региона для пасмурного неба, $\varepsilon_{\text{б}i}$, $\varepsilon_{\text{зд}i}$, $b_{\text{ф}j}$, r_0, MF, $k_{\text{зд}j}$; $K_з$ – параметры, учитывающие влияние противостоящего здания, конфигурацию помещения и светопроема, $q(\gamma)_i$ – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость для пасмурного неба МКО при угле γ возвышения *i*-го участка неба; τ_0 - общий коэффициент светопропускания, определяется с учётом коэффициента светопропускания стекла, τ_1, и коэффициента, учитывающего потери света в переплетах светопроема, τ_2, который рассчитывается из громоздкого выражения, требующего адаптации к проведению инженерных расчётов.

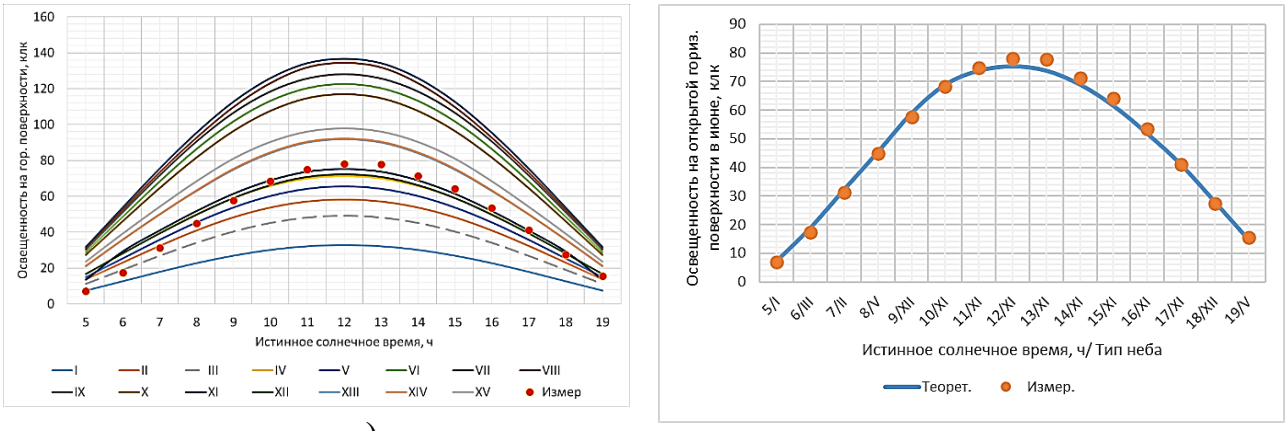
Из соотношения (2) показано, что необходимо разрабатывать методы расчета, учитывающие различное состояние небосвода по распределению облачности, что повысит точность расчётов естественного освещения помещений, повлияет на выбор заполнений светопроемов и, тем самым, поспособствует экономии энергии на отопление, вентиляцию зданий и искусственное освещение.

В части обзора характеристик светопрозрачных конструкций зданий рассмотрено остекление с низкоэмиссионными, мультифункциональными и солнцезащитными покрытиями, обеспечивающими энергосбережение за счет снижения теплопотерь через него. Рассмотрены светотехнические, энергетические и теплотехнические характеристики остекления. Исследования по подбору светопрозрачных конструкций с энергосберегающим остеклением показали, что подбор осуществляется в основном программно по наименьшему расходу энергии, затрачиваемой на отопление здания, с учётом характеристик климата и остекления. Показано, что необходимо формировать универсальный метод подбора остекления с целью энергосбережения. Выполненный обзор работ позволил сформулировать цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработке метода расчёта естественной освещённости помещения при учёте состояния небосвода различной облачности, состоящего из двух методов, и дальнейшему расчёту коэффициентов светового климата, C_N, (см. формулу (2)) для городов РФ.

Разработан метод подбора типа небосвода для заданной местности по распределению освещённости. Расчеты по методу проводятся для заданной местности и даты по часам светового дня. Метод основан на расчете освещённости из многолетних актинометрических наблюдений на всей территории России с применением светового эквивалента солнечной радиации. Полученные значения сравниваются с 15-ю теоретически возможными распределениями освещённости, полученными из распределения яркости согласно стандарту ГОСТ 57260-2016 (ISO 15469:2004) (рисунок 1). Подбор типа небосвода определяется по наименьшему отклонению при сравнении вычисленной из актинометрических данных освещённости и 15-ти теоретически возможных значений (рис. 1).

Разработан графо-аналитический метод расчета естественной освещенности в помещении при различном распределении яркости по небосводу. По подобранному распределению яркости на небосводе для заданной местности в конкретный час суток производится построение равнопромежуточной проекции небосвода, задающей распределение освещённости, создаваемой в центре небесной полусферы элементарными участками небосвода (рисунок 2).



а) б)

Рисунок 1 – а) Наружная освещенность в г. Москве в июне, клк, по часам светового дня: теоретические значения (сплошные линии), рассчитанные значения (точки); б) Подобранный тип неба по часам светового дня.

Для определения освещённости в заданной точке помещения на равнопромежуточную проекцию небосвода наносится контур светопроема в угловой мере (рисунок 2), определяемой проведением лучей из расчётной точки (р.т.) *M* помещения к наружным граням светопроема (рисунок 3).

Прямая освещённость, $E_{\text{п}}$, в р.т. *M* определяется суммированием освещённости от видимых через световой проем участков небосвода с учётом их долей (рисунок 2). Естественная освещенность в р.т. *M* определяется из выражения:

$$E_M = E_{\text{п}} r_0, \qquad (3)$$

где r_0 - коэффициент, учитывающий отражение света внутренними поверхностями помещения, определяется по работам Н.Н. Киреева.

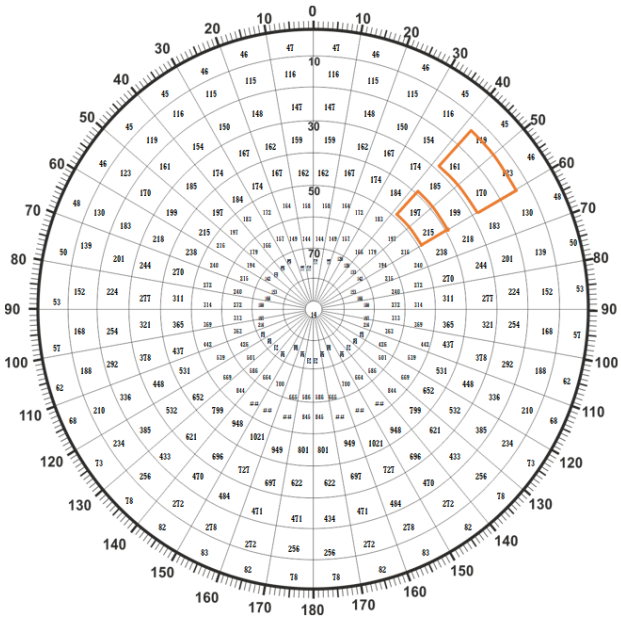


Рисунок 2 – Определение контуров светопроемов на диаграмме, значения освещённости - в лк

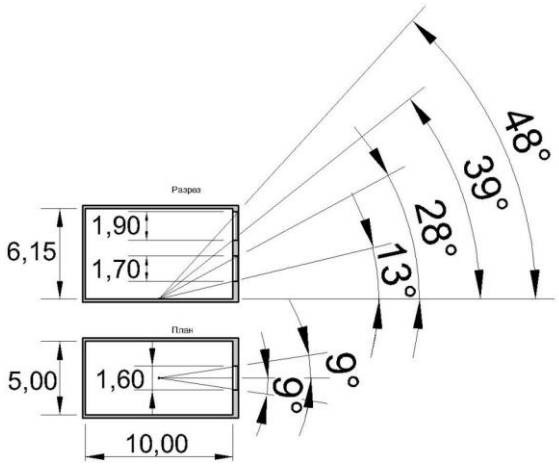


Рисунок 3 – Разрез и план помещения – малого спортивного зала в средней школе

Метод расчёта естественной освещённости помещения при учёте состояния небосвода различной облачности состоит из двух представленных методов, на основе которых проводится расчет коэффициентов светового климата:

$$C_N = \frac{H_р}{H_м}, \quad (4)$$

где: $H_р$, $H_м$ – годовое количество естественного освещения в данном регионе и в Москве, соответственно, лк.

Годовое количество естественного освещения рассчитывается по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^{12} M_i \left[S_i \sum_{j=t1}^{t2} E_{ij}^{я} + (1 - S_i) \sum_{j=t3}^{t4} E_{ij}^{обл} \right], \quad (5)$$

где: M_i – количество дней в i -ом месяце; S_i – вероятность солнечного сияния в i -ом месяце; $E_{ij}^{я}$, $E_{ij}^{обл}$ – освещенность в расчетной точке помещения, создаваемая в помещении за счет световых потоков от неба, Солнца и подстилающей поверхности, соответственно, при открытом и закрытом солнечном диске, клк.

На графики зависимости освещённости в р.т. M от времени наносится линия 200 лк и по точкам пересечения графиков определяется длительность использования только естественного освещения (рисунок 4) (t_2-t_1, t_4-t_3).

Проведены расчёты по разработанному методу для более, чем 65 городов всех светоклиматических регионов России. Определена годовая естественная освещенность по формуле (5) (рисунок 4) и вычислены коэффициенты светового климата, C_N, по формуле (4) (таблица 1). На основе проведённых исследований и расчётов составлены предложения в нормативные документы.

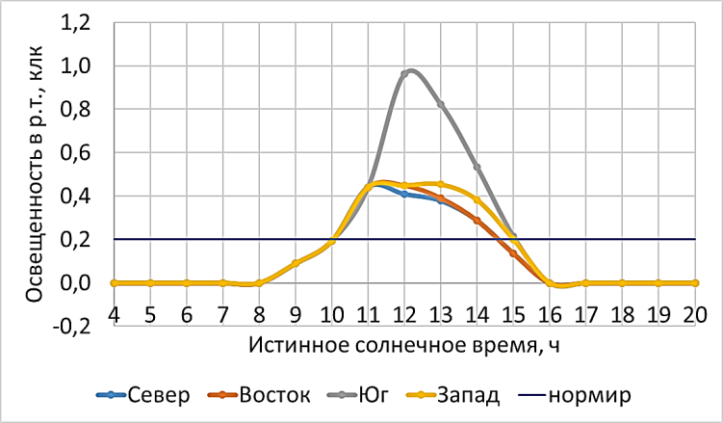


Рисунок 4 – Освещенность в январе в р.т. помещения, г. Москва.

Таблица 1 – Рассчитанные коэффициенты C_N.

№	Наименование местности	Север	Восток	Юг	Запад
1	Москва	1,00	1,00	1,00	1,00
2	Забайкальский край (ст. Чита)	1,08	1,19	1,75	1,28
3	Курская область (ст. Курск)	1,03	1,00	1,17	1,13
4	Магаданская область (ст.Магадан)	0,95	0,93	1,27	0,89
5	Архангельская обл. (ст. Архангельск)	0,80	0,82	1,07	0,90
6	Краснодарский край (ст. Краснодар)	1,14	1,15	1,24	1,21
7	Новгородская обл. (ст. Валдай)	0,93	0,92	1,13	0,96
8	Крым (ст. Никитский сад)	1,17	1,20	1,37	1,46

Третья глава диссертации посвящена учёту влияния противостоящей застройки на поступление теплоты от солнечной радиации к фасадам здания.

Суммарная солнечная радиация, поступающая на фасад с учётом противостоящего здания за отопительный период (ОП), МДж/м^{2}год:

$$\hat{I}_j^{\text{ОП}}(x,y) = \hat{S}_j^{\text{ОП}}(x,y) + \hat{D}_j^{\text{ОП}}(x,y) + \hat{R}_j^{\text{ОП}}(x,y) + R_{\text{пов}}^{\text{ОП}}, \quad (6)$$

где $\hat{S}_j^{\text{ОП}}(x,y)$, $\hat{D}_j^{\text{ОП}}(x,y)$, $\hat{R}_j^{\text{ОП}}(x,y)$, $R_{\text{пов}}^{\text{ОП}}$– прямая, рассеянная, отраженная на фасад от здания и от подстилающей поверхности солнечная радиация, соответственно.

Расчет поступающей прямой радиации с учётом противостоящего здания основан на ее суммировании за периоды облучения элементарного участка фасада:

$$\hat{S}_j^{\text{ОП}}(\text{x},y) = \sum_i^n \left[\sum_{t_\odot=t_{1н}}^{t_\odot=t_{1к}} S^{\text{вер}}(t_\odot) + \sum_{t_\odot=t_{2н}}^{t_\odot=t_{2к}} S^{\text{вер}}(t_\odot) + \sum_{t_\odot=t_{3н}}^{t_\odot=t_{3к}} S^{\text{вер}}(t_\odot)\right], \quad (7)$$

где значения $S^{\text{вер}}(t_\odot)$ определяются с использованием почасовых справочных значений прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, $S^{\text{гор}}$, и

коэффициентов пересчета прямой радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную, $K_{\text{ГВ}}(t_{\odot})$:

$$S^{\text{вер}}(t_{\odot}) = K_{\text{ГВ}}(t_{\odot}) \cdot \left[d_{i\text{ясн}} S^{\text{гор}}_{\text{ясн}}(t_{\odot}) + (d_i - d_{i\text{ясн}}) S^{\text{гор}}_{\text{обл}}(t_{\odot})\right], \quad (8)$$

где $d_{i\text{ясн}}$, d_i – количество ясных и облачных дней в i-м месяце.

В настоящей работе значения $K_{\text{ГВ}}(t_{\odot})$ рассчитаны и представлены в табличном виде для 38-80° с.ш. Для определения периодов облучения участка фасада разработан графический метод, основанный на определении тангенсов углов затенения в вертикальной и горизонтальной плоскостях:

$$L_{1L} = \left(\frac{x_1}{L}\right), L_{2L} = \left(\frac{x_2}{L}\right), H_L = H/L, \quad (9)$$

где x_1, x_2 – длина противостоящего здания слева и справа, соответственно, от перпендикуляра к исследуемому фасаду, м; L – расстояние между зданиями, м; H – высота превышения противостоящего здания, м.

Тангенсы углов затенения сравниваются с тангенсами координат Солнца в вертикальной и горизонтальной плоскостях:

$$L_{1L} \le tg(\psi_{\odot} - \psi_n) \le L_{2L}, \quad tg(h_{\odot}(\psi_{\odot})) \le H_L, \quad (10)$$

где $h_{\odot}$ - угловая высота Солнца, град.; $\psi_{\odot}$, ψ_n – азимут Солнца и азимут нормали к фасаду исследуемого здания, град., отсчитываемые от Севера.

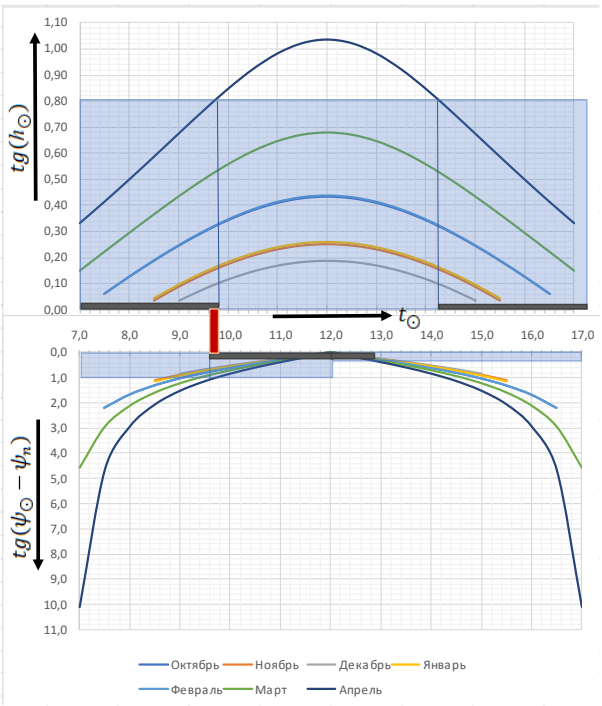


Рисунок 5 - Определение периода затенения и облучения прямой радиацией при $H_L = 0{,}8$, $L_{1L} = 1$, $L_{2L} = 0{,}33$.

Участок фасада затеняется при одновременном выполнении условий затенения (10), что графически означает совпадение верхней и нижней затененных областей (рисунок 5). Остальное время участок фасада облучается прямой радиацией. Далее проводится вычисление прямой радиации по формулам (7) и (8). Проведены расчёты и показано, что значение

поступающей к исследуемому фасаду прямой радиации снижается на 52% в сравнении с расчётом без затенения, что представляется значимым результатом для учёта влияния противостоящего здания. Показано, что наибольшее различие в длительности облучения фасада при сравнении с расчётом по солнечным картам составляет 12 минут, что является хорошим результатом. Метод рекомендуется использовать только в отопительный период для южного фасада. В разработанном методе производится автоматизированное построение графиков.

Разработан аналитический метод расчёта рассеянной солнечной радиации, основанный на рассмотрении перекрытия части небосвода противостоящим зданием. С учётом допущения об изотропности распределения рассеянной радиации показано, что при наличии противостоящего здания (рисунок 6) поступающая на элементарный участок фасада здания №1 рассеянная радиация вычисляется, как разность радиации, поступающей при открытом горизонте, $D_1^{\text{вер}}$, и радиации, перекрываемой зданием №2, $D_{\text{ЗД}}^{\text{вер}}(x,y)$:

$$\widehat{D}^{\text{вер}}(x,y) = D_1^{\text{вер}} - D_{\text{ЗД}}^{\text{вер}}(x,y) \qquad (11)$$

Выражение для определения $D_1^{\text{вер}}$ принято по работе академика К.Я. Кондратьева. Формула (11) преобразуется к виду:

$$\widehat{D}^{\text{вер}}(x,y) = \int_0^{\pi} \sin\psi\, d\psi \int_0^{\frac{\pi}{2}} D\cdot\cos^2 h\, dh - \int_{\psi_1}^{\psi_2} \sin\psi^*\, d\psi^* \int_0^{h^*(y,\psi^*)} D\cdot\cos^2 h\, dh = D\left[\frac{1}{2}\pi - \int_{\psi_1}^{\psi_2} \sin\psi^*\, d\psi^* \int_0^{h^*(y,\psi^*)} \cos^2 h\, dh\right] \qquad (12)$$

Из (11) и (12) получено выражение для определения $\widehat{D}^{\text{вер}}(x,y)$ которое с учётом ясных дней записывается в виде, МДж/м^{2}год:

$$\widehat{D}_j^{\text{ОП}}(\text{x},y) = \sum_i^n \left[d_{i\text{ясн}}\frac{D_{\text{ясн}\,ji}^{\text{гор}}}{2} + (d_i - d_{i\text{ясн}})\frac{D_{\text{обл}\,ji}^{\text{гор}}}{2}\right]\ (1-\varepsilon_{\text{ЗД}}(x,y)), \qquad (13)$$

где: i, $d_{i\text{ясн}}$, d_i – то же, что в (8), $D_{\text{ясн}}^{\text{гор}}$ и $D_{\text{обл}}^{\text{гор}}$ – рассеянная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность, МДж/м^2, в ясные и облачные дни, определяется по справочным данным; $\varepsilon_{\text{ЗД}}(x,y)$ – коэффициент перекрытия рассеянной радиации.

$$\varepsilon_{\text{ЗД}}(x,y) = \frac{2}{\pi}\int_{\psi_1}^{\psi_2} \sin\psi^* \left[\frac{arctg(H_L\cdot cos\,\psi*)}{2} + \frac{sin[2arctg(H_L\cdot cos\,\psi*)]}{4}\right] d\psi^* \qquad (14)$$

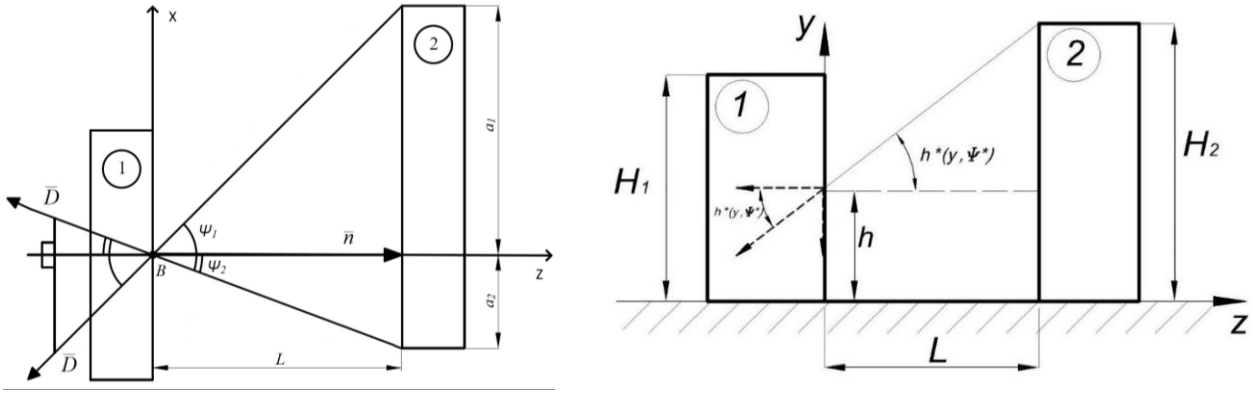


Рисунок 6 – Схема расположения зданий в плане (слева) и в разрезе (справа): 1 – исследуемое здание; 2 – противостоящее здание.

Интеграл (14) для определения $\varepsilon_{\text{ЗД}}(\text{x}, y)$ решен численно (см. таблицу 2).

Таблица 2 - Значения коэффициентов $\varepsilon_{\text{ЗД}}(\text{x}, y)$, $r_{\text{В}}(\text{x}, y)$, $r_{\text{Н}}(\text{x}, y)$.

Изм. азимута перекрытия		Значения $\varepsilon_{\text{ЗД}}(\text{x}, y)$, $r_{\text{В}}(\text{x}, y)$, $r_{\text{Н}}(\text{x}, y)$ при изменении вертикального угла перекрытия небосвода, h^*, град., и $tg(h^*)$							
ψ_2, град	$tg(\psi_2)$	1	12	24	36	48	60	72	84
		0,02	0,21	0,45	0,73	1,11	1,73	3,08	9,51
1	0,02	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,21	0,000	0,003	0,005	0,008	0,009	0,010	0,011	0,011
24	0,45	0,001	0,011	0,021	0,030	0,036	0,040	0,043	0,043
36	0,73	0,002	0,023	0,044	0,063	0,078	0,088	0,094	0,095
48	1,11	0,003	0,036	0,072	0,104	0,131	0,150	0,162	0,165
60	1,73	0,004	0,050	0,098	0,144	0,186	0,220	0,242	0,250
72	3,08	0,005	0,060	0,120	0,178	0,234	0,285	0,325	0,345
84	9,51	0,005	0,066	0,132	0,197	0,263	0,327	0,390	0,441

Для верификации расчётов $\varepsilon_{\text{ЗД}}(\text{x}, y)$ принимается расчёт с использованием графиков Данилюка, на которых участки небосвода имеют равную освещённость, а значит и равномерно распределённое значение рассеянной радиации при условии ее изотропности. Показана хорошая сходимость результатов при наиболее часто встречающемся расположении здании (расстояние не менее 30 метров). Минимальные различия составляют 0,03%. Разработанный метод прост в применении за счет табличного представления коэффициента $\varepsilon_{\text{ЗД}}(\text{x}, y)$.

Разработан аналитический метод расчёта отраженной от противостоящего здания солнечной радиации. На фасад противостоящего здания поступает и отражается суммарная солнечная радиация - $\hat{I}_2^{\text{ОП}}$, состоящая из прямой - $\hat{S}_2^{\text{ОП}}$ и

рассеянной - $\widehat{D}_2^{\text{ОП}}$ солнечной радиации, которые определяются по разработанным методам. Доля отраженной радиации от противостоящего здания называется коэффициентом поступления отраженной радиации:

$$r_{\text{ЗД}}(\text{x}, y) = r_{\text{В}}(x, y) + r_{\text{Н}}(x, y)\,, \qquad (15)$$

где $r_{\text{В}}(x, y)$ - коэффициент поступления отражённой радиации от верхней части противостоящего фасада, находящейся выше перпендикуляра к исследуемому участку фасада, $r_{\text{В}}(x, y) = \varepsilon_{\text{ЗД}}(x, y)$; $r_{\text{Н}}(x, y)$ - коэффициент поступления отражённой радиации от нижней части противостоящего здания определяется из таблицы 2, при $H_{1L} = \frac{h}{L}$ (см. рисунок 6).

Определяется отраженная от фасада противостоящего здания солнечная радиация, поступающая на участок исследуемого фасада:

$$\hat{R}_j^{\text{ОП}}(x, y) = \hat{I}_2^{\text{ОП}} \cdot r_{\text{ЗД}}(\text{x}, y) \cdot \frac{\text{A}_{\text{ЗД}}}{100} = (\hat{S}_2^{\text{ОП}} + \widehat{D}_2^{\text{ОП}}) \cdot r_{\text{ЗД}}(\text{x}, y) \cdot \frac{\text{A}_{\text{ЗД}}}{100}\,, \qquad (16)$$

где $A_{\text{ЗД}}$ – средневзвешенное альбедо противостоящего фасада (определяется по главе 4).

Указано, что провести верификацию метода расчёта отраженной от противостоящего здания солнечной радиации можно косвенно на основе переменных, которые входят в расчёт по формуле (16).

По разработанным методам проведены вычисления поступающей суммарной радиации для ряда городов с учётом влияния противостоящих зданий (формула (6)). Показано, что противостоящие здания оказывают влияние на поступление суммарной солнечной радиации к фасадам исследуемого здания (рисунок 7), при этом изменения теплопотерь не происходит. Значит, наличие застройки меняет климатические особенности местности, в которой расположено исследуемое здание, что необходимо учитывать при подборе энергосберегающего остекления в заданном климате. Рассмотрению данного вопроса посвящены последующие главы.

Методы расчёта прямой и рассеянной солнечной радиации проверяются по дозе облучения в натурных условиях при небосводе различной облачности, т.е. при преобладании прямой, рассеянной радиации или их совместном присутствии.

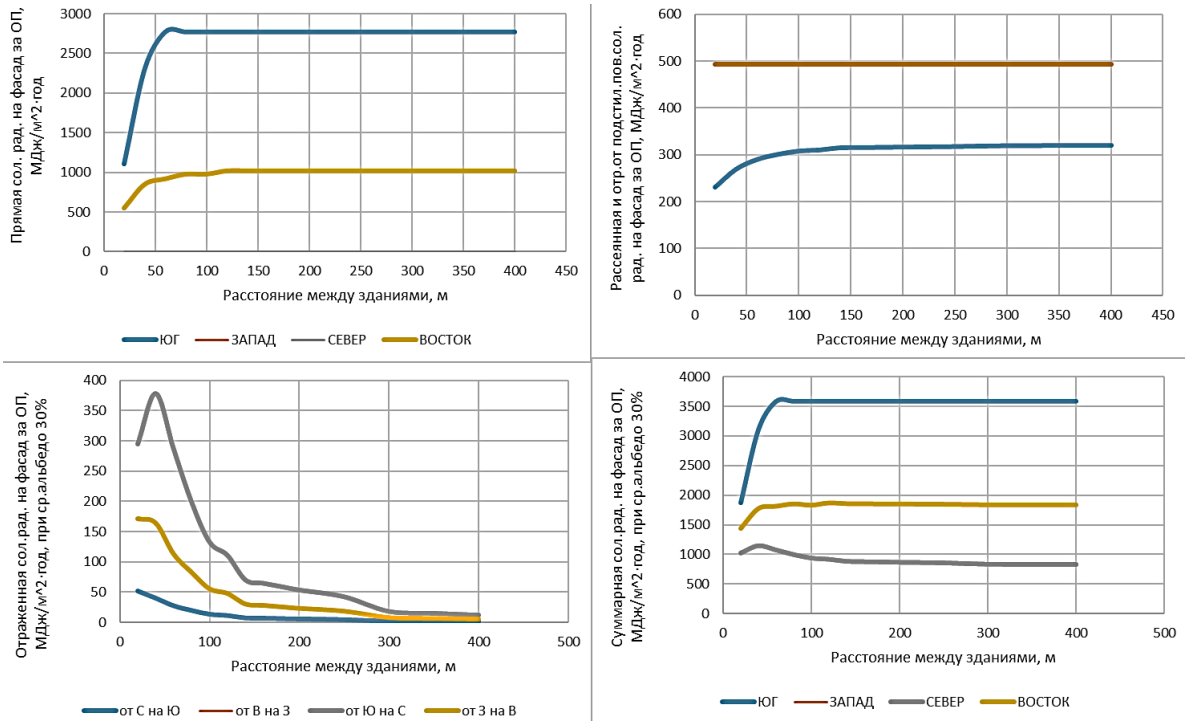


Рисунок 7 - Зависимости изменения $\hat{S}_j^{\text{ОП}}(x,y)$, $\hat{D}_j^{\text{ОП}}(x,y)$, $\hat{R}_j^{\text{ОП}}(x,y)$, $R_{\text{пов}}^{\text{ОП}}$, $\hat{I}_j^{\text{ОП}}(x,y)$ от расстояния до противостоящего здания, г. Владивосток.

Сравниваются измеренная, $t_{\text{н}}^{\text{изм}}$, и рассчитанная, $t_{\text{н}}^{\text{усл}}$, температура нагрева фасада от солнечной радиации. Величина $t_{\text{н}}^{\text{усл}}$ определяется по формуле А.М. Шкловера:

$$t_{\text{н}}^{\text{усл}} = t_{\text{н}} + \frac{I_{\text{ч}j}^{\text{вер}}(x,y)\cdot\alpha}{\alpha_{\text{н}}}, \qquad (17)$$

где $t_{\text{н}}$ – измеряемая температура наружного воздуха в тени, °С; $I_{\text{ч}j}^{\text{вер}}(x,y)$ – суммарная солнечная радиация, определяемая по верифицируемым методам, Вт/м^2; α – коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью фасада, определяется с использованием спектрофотометра в главе 4; $\alpha_н$ – коэффициент теплообмена у поверхности фасада, Вт/м$^{2\cdot}$°С.

Для реализации натурных измерений на территории НИИСФ РААСН была выполнена стена в виде системы фасадной теплоизоляционной композиционной (СФТК), ориентированной на юг, с вмонтированными в тонкий штукатурный слой датчиками температуры для непрерывного измерения $t_{\text{н}}^{\text{изм}}$ (рисунок 8). Для определения влияния прямой или рассеянной радиации в нагрев фасада, все дни наблюдения (28 дней) разделены на три группы: ясные (5 дней), промежуточные

(16 дней), пасмурные (7 дней). Для каждого часа каждого дня измерений произведен расчёт $t_{н}^{усл}$ (формула (17)) по вычисленным значениям поступающей на фасад суммарной солнечной радиации (рисунок 9).



Рисунок 8 - Исследуемая стена с датчиками температуры на фасаде и на выносе под козырьком.

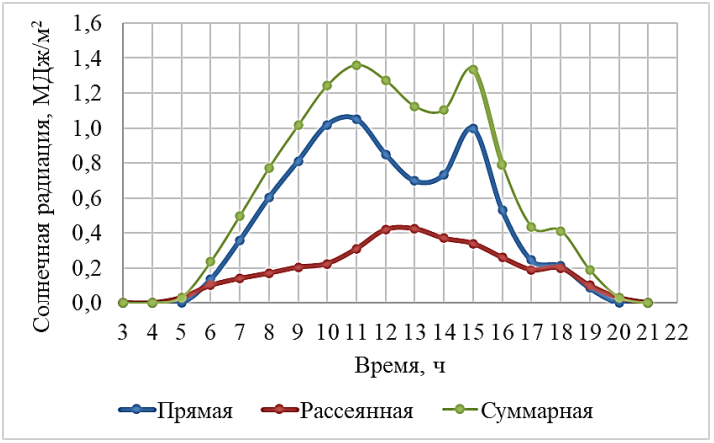


Рисунок 9 – Рассчитанная поступающая на фасад солнечная радиация для дня 2-ой группы по облачности.

Наименьшая и наибольшая средние разности $t_{н}^{изм}$ и $t_{н}^{усл}$ для групп дней за период с 10ч до 17ч составили: 1 группа, ясные дни, от -0,1 до 1,7℃; 2 группа, промежуточные по облачности дни, от -0,3℃ до 0,5℃; 3 группа, пасмурные дни, от -0,4℃ до 0, 3℃. Показано, что разработанные методы расчёта поступающей солнечной радиации обеспечивают достаточную для инженерных целей точность расчётов, как при преобладании прямой, так и рассеянной радиации. Разработанные методы предложено внести в нормативные документы.

В четвертой главе проведены теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия солнечной радиации с наружными ограждающими конструкциями, результаты которых использованы в разработанных далее методах подбора энергосберегающего остекления.

Проведены спектрофотометрические исследования остекления с энергосберегающими покрытиями (рисунок 10). Показано, что остекление с покрытиями снижает пропускание видимого света. Введено понятие светового эквивалента пропускания солнечного излучения остеклением:

$$k_{ve} = {}^{\tau}/_{\tau_e}\,, \qquad (18)$$

где τ - коэффициент светопропускания; τ_e – коэффициент прямого пропускания солнечной радиации.

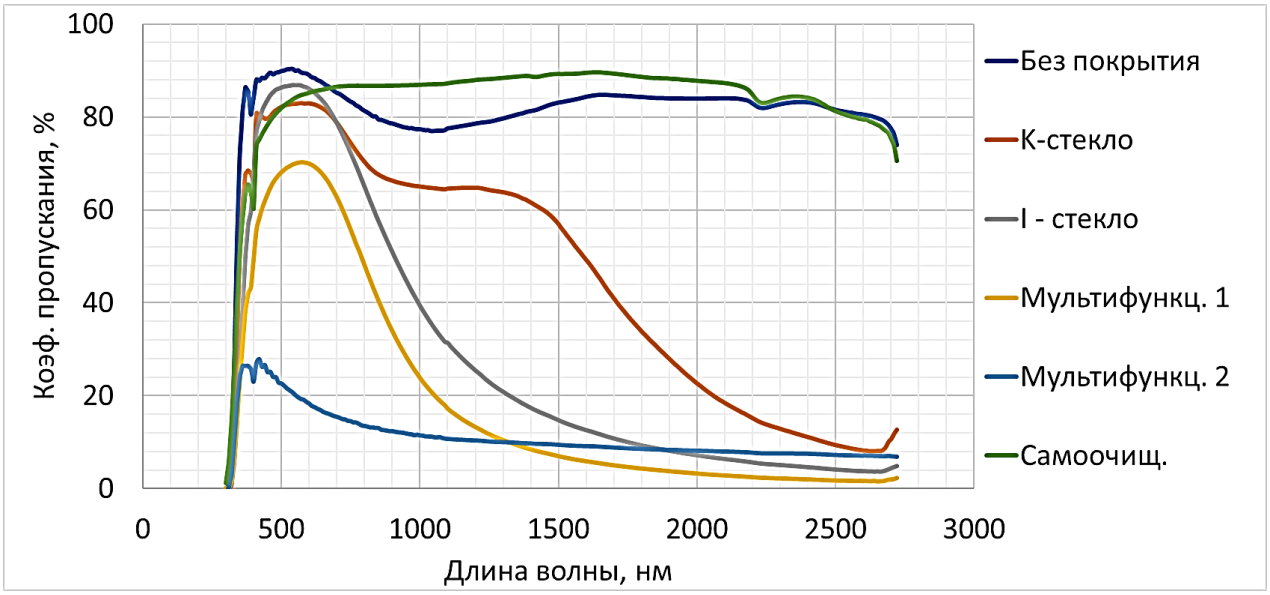


Рисунок 10 - Пропускание солнечной радиации остеклением с различными покрытиями: твердым (K) и мягким (I) низкоэмиссионными, мультифункциональным (2 шт.), самоочищающимся.

Исходя из исследованных значений k_{ve}, введена классификация энергосберегающих стекол по равномерности пропускания солнечного излучения. Соотношение k_{ve} может использоваться для совместной оценки эффективности пропускания видимого света (при расчётах естественного освещения) и теплоты от солнечной радиации (при расчётах энергии, затрачиваемой на отопление) остеклением с энергосберегающими покрытиями. Также показано, что стекла с энергосберегающими покрытиями пропускают ультрафиолетовое излучение, способствуя инсоляции помещений.

Проведены спектрофотометрические исследования коэффициентов отражения и поглощения солнечной радиации фасадными покрытиями (64 образца). Показано, что значения коэффициентов отражения во всем диапазоне солнечного излучения, ρ_e, могут значительно превышать коэффициенты отражения, рассчитанные только для видимой области, ρ_v. Показатель отражения радиации $\rho_{ve} = \rho_v/\rho_e$ возможно использовать для регулирования величины

отраженной солнечной радиации (формула (16)) и естественного света (формула (2)) при проектировании зданий. Проведена классификация фасадных материалов по значениям показателя ρ_{ve}. Показано, что необходимо обновлять данные нормативных документов полученными коэффициентами отражения фасадных материалов ρ_e и ρ_v, в том числе для расчётов отраженной на фасад радиации по формуле (16), в которой средневзвешенное альбедо фасада здания, $A_{ЗД}$, определяется из коэффициентов отражения материалов фасада, ρ_e, с учётом их площадей на фасаде. По коэффициентам отражения солнечной радиации вычислены коэффициенты поглощения солнечной радиации, которые используются в теплотехнических расчётах ограждающих конструкций.

Разработан натурный метод и проведены исследования определения пропускания солнечной радиации под углом к светопрозрачным конструкциям. В качестве объектов исследования отобраны образцы стекол и стеклопакетов с энергосберегающими покрытиями.



Рисунок 11 – Фотоэлектрическая установка со стеклопакетами

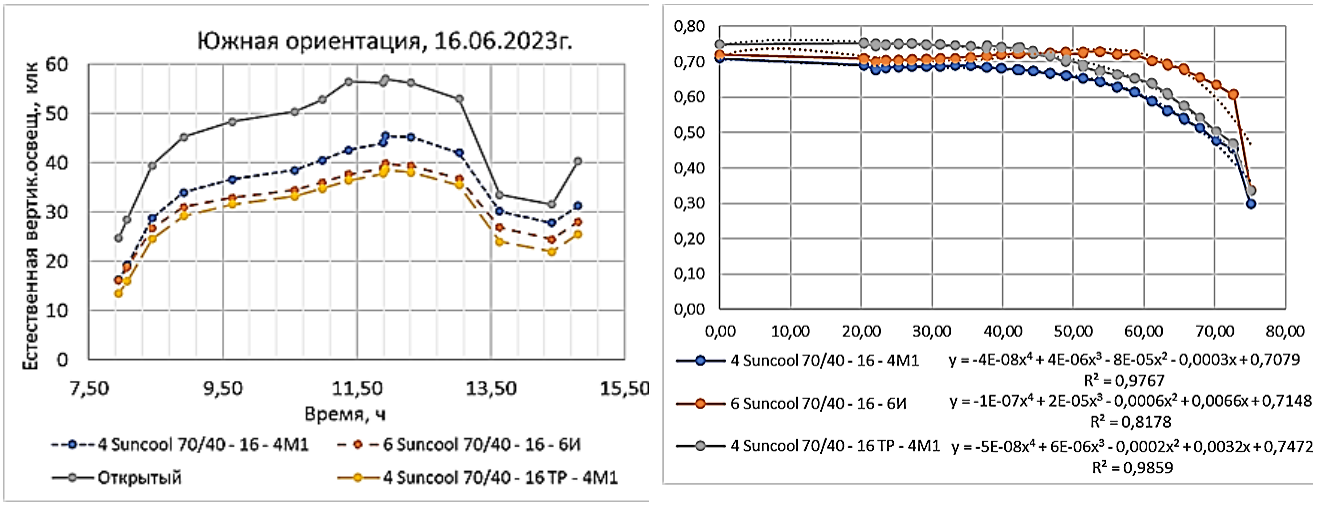
Исследования проводились на собранной фотоэлектрической установке, включающей люксметры с записью на карту памяти. Установка расположена на не затеняемой крыше административного корпуса НИИСФ РААСН (рисунок 11).

Метод заключается в измерении прямой освещённости в течение светового дня за остеклением с покрытиями и открыто рядом с ним (рисунок 12, а).

По отношению измеренных значений вертикальной освещённости определяется коэффициент светопропускания остекления $\tau(\gamma)$, зависящий от угла падения солнечных лучей. Для каждого остекления упорядочены значения

коэффициентов пропускания от угла падения и построены аппроксимационные зависимости (рисунок 12, б).

Показано, что наличие покрытия приводит к существенному снижению коэффициентов светопропускания при падении излучения под углом. Разработанный метод определения светопропускания остекления в зависимости от угла падения и полученные аппроксимационные уравнения могут использоваться для исследовательских целей по расчёту освещённости в помещении при неравномерной яркости небосвода по методам главы 2 и уточнению расчётов КЕО.



а б

Рисунок 12: а – Естественная вертикальная освещённость, клк; б - зависимость коэффициентов светопропускания от угла падения солнечных лучей для остекления с энергосберегающими покрытиями.

На основе проведённых исследований и теоретической зависимости A. Roos, получены коэффициенты поправки на румб светопроема, $k_{\text{румб}}$, для различных вариантов энергосберегающего остекления. Тогда общий коэффициент пропускания солнечной радиации остекления, g-фактор, в теплый период года определяется, как:

$$g_k = g \cdot k_{\text{румб}} \tag{19}$$

Представлен расчетный метод определения пропускания солнечной радиации оконных блоков:

$$\tau_{0e} = g\tau_2 \tag{20}$$

Произведена адаптация формулы расчета коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплетах оконного блока, под инженерные расчёты:

$$\tau_2 = \frac{1}{A_0}\sum_i A_i\,\tau_2^*\,, \qquad (21)$$

где τ_2^*: - при размерах ячейки, больших, чем 1х1,5м равен $\tau_2^* = 1$;

- при размерах ячейки, меньших, чем 1х1,5м:

$$\tau_2^* = (1 - \frac{1{,}09 - 0{,}94\cdot\rho}{\beta_i})\delta_{\tau i}\,, \qquad (22)$$

где поправочный коэффициент $\delta_{\tau i}$ представлен в табличном виде в зависимости от размеров светопрозрачных ячеек, для которых требуется поправка.

По результатам главы 4 предложены рекомендации в нормативные документы.

В пятой главе проводится оптимизация подбора светопрозрачных ограждающих конструкций на основе нормирования естественного освещения помещений зданий. Как показано в главе 4, энергосберегающее остекление имеет пониженное пропускание видимого света. В связи с этим формируется ряд критериев при условии неизменности, либо повышения КЕО, согласно нормативным документам. При учете неравномерной яркости небосвода в расчетах КЕО по методам главы 2, данные критерии также применимы к подбору светопрозрачных конструкций.

Разработка критерия подбора остекления по светотехническим и теплофизическим параметрам проводится на основе кандидатской диссертации автора путем модификации приведенных там выкладок для разработки комплексного подхода к оценке энергосберегающих свойств оконных блоков по совокупности нескольких критериев, представленных далее.

На основе соотношения равенства КЕО до и после замены оконных блоков на энергосберегающие для заданного помещения, представлен показатель эффективности применения оконного блока для энергосбережения:

$$P = \frac{\tau_1\tau_2}{(U_0 + \sum l_j\Psi_j)R_{\text{ст}} - 1} \qquad (23)$$

При применении оконного блока со стеклами с энергосберегающими покрытиями, снижается коэффициент светопропускания, τ_1, что показано в главе 4, но понижается и коэффициент теплопередачи стеклопакета, U_0. Тогда более эффективными по энергосбережению будет считаться оконный блок, у которого значение P будет выше, как обеспечивающий наибольшее энергосбережение при соблюдении нормированного КЕО.

Коэффициент τ_2 определяется из полученной формулы (21).

Критерий подбора остекления по светотехническим и теплофизическим параметрам имеет вид:

$$P_{\text{о}} = \frac{\tau_{\text{ЭП}}}{R_{\text{ст}}/R_{\text{ЭП}} - 1} \Big/ \frac{\tau_{\text{БП}}}{R_{\text{ст}}/R_{\text{БП}} - 1}$$
$$P_{\text{о}} \geq 1 \qquad (24)$$

При выполнении условия (24) применение оконного блока с энергосберегающими свойствами считается выгодным по соотношению светотехнических и теплофизических параметров. Проведены расчёты по критерию и выявлены случаи, когда применение энергосберегающего остекления является выгодным.

Разработаны критерии энергетической и экономической оценки энергосбережения при увеличении площади светового проема. Для вывода критериев рассмотрена задача увеличения размеров светопроемов на этапе проектирования с целью экономии энергии на искусственное освещение. Записывается уравнение теплообмена в помещении за сутки с учётом теплоты от осветительных приборов. Уравнение включает трансмиссионные теплопотери через стены ($Q_{\text{ст}}$), светопроемы ($Q_{\text{ок}}$) и вентиляционные теплопотери ($Q_{\text{вент}}$), а также приток теплоты от солнечной радиации ($Q_{\text{рад}}$), искусственных источников света ($Q_{\text{ио}}$), отопительных приборов ($Q_{\text{от}}$) и бытовых тепловыделений ($Q_{\text{быт}}$), Вт·ч/сут:

$$Q_{\text{эн}} = -Q_{\text{ст}} - Q_{\text{ок}} + Q_{\text{ио}} + Q_{\text{рад}} + Q_{\text{от}} + Q_{\text{быт}} - Q_{\text{вент}} \qquad (25)$$

При увеличении площади светового проема увеличиваются теплопотери через окна, но также увеличивается и приток теплоты от солнечной радиации $\hat{I}_z^{\text{вер}}$,

уменьшаются теплопотери через стены, уменьшается время использования искусственного освещения z_D, а значит и теплопоступления от искусственных источников света P_n; принимается, что остальные показатели остаются неизменными.

При условии экономии энергии, разность выражений вида (25) после увеличения площади светового проема и до увеличения должна быть положительной. Отсюда получается выражение для критерия оценки энергетической выгоды замены остекления:

$$W_{\text{эн}} = \frac{278 \cdot \Delta A \cdot g \cdot \tau_{2(2)} \cdot \sum_{z=z_{\text{утр}}}^{z=z_{\text{веч}}} \hat{I}_z^{\text{вер}}}{24 \cdot \Delta A \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_{\text{ст}}}\right) + \sum_j P_{n_j} \Delta z_D}, \quad W_{\text{эн}} > 1 \tag{26}$$

Физический смысл выражений (26) следующий: при увеличении площади оконного проема экономия энергии вследствие увеличения притока теплоты от солнечной радиации должна быть больше, чем экономия энергии на освещение от источников искусственного света и расход энергии вследствие увеличения трансмиссионных теплопотерь. При соблюдении неравенства (26) увеличение площади светопроема считается выгодным по энергетическим показателям.

Исходя из выражений (26) выводится выражение для критерия экономической оценки целесообразности увеличения площади светопроема:

$$W_{\text{эк}} = \frac{278 \cdot C_{\text{т}} \cdot \Delta A \cdot g \cdot \tau_{2(2)} \cdot \sum_{z=z_{\text{утр}}}^{z=z_{\text{веч}}} \hat{I}_z^{\text{вер}}}{24 \cdot C_{\text{т}} \cdot \Delta A \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_{\text{ст}}}\right) + C_{\text{э}} \cdot \sum_j P_{n_j} \Delta z_D}, \quad W_{\text{эк}} > 1 \tag{27}$$

Физический смысл выражений (27) следующий: при увеличении площади оконного блока экономия денежных средств вследствие увеличения притока теплоты от солнечной радиации должна быть больше, чем экономия денежных средств вследствие сокращения времени использования искусственных источников света и расход денежных средств вследствие увеличения трансмиссионных теплопотерь. При соблюдении выражения (27) увеличение площади светопроема считается оправданным по экономическим показателям.

В выражениях (26) и (27) длительность использования искусственного света, Δz_D, определяется по методам главы 2, в которой определялась длительность использования только естественного света (рисунок 4); поступающая солнечная радиация, $\hat{I}_z^{\text{вер}}$, рассчитывается с учётом противостоящего здания по методам главы 3, формула (6); коэффициент $\tau_{2(2)}$ определяется из полученной формулы (21).

Условия (26) и (27) можно использовать в качестве критериев для оценки выгоды увеличения площади светопроема при проектировании зданий по энергетическим и экономическим показателям. Чем больше значения безразмерных критериев $W_{\text{эн}}$ и $W_{\text{эк}}$, тем выгоднее увеличивать площадь светопроема в данном помещении. Произведены вычисления $W_{\text{эн}}$ и $W_{\text{эк}}$ для трех помещений различного назначения и показано, что по энергетическим показателям увеличение площади оконного блока для всех рассматриваемых помещений является выгодным ($W_{\text{эн}} > 1$). По экономическим показателям наблюдаются различия в расчётах по месяцам для рассматриваемых помещений.

По результатам главы внесены предложения в нормативные документы.

В шестой главе проводится оптимизация подбора светопрозрачных ограждающих конструкций на основе соотношения их теплофизических характеристик и характеристик климата, в которых эксплуатируется здание. В главе 4 было показано, что энергосберегающее остекление снижает не только теплопотери, но и теплопоступления от солнечной радиации. Также в главе 3 показано, что наличие противостоящего здания с определенным средневзвешенным альбедо фасада (определенным в главе 4), может существенно влиять на теплопоступления от солнечной радиации к исследуемому фасаду при неизменном уровне теплопотерь. Таким образом, при подборе энергосберегающего остекления необходимо учитывать совокупность указанных факторов.

Рассматривается основное соотношение для вывода критериев оценки энергосбережения при применении остекления с энергосберегающими покрытиями. Согласно СП 50.13330.2024 расчёт удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания проводится по формуле:

$$q_{\text{от}}^{\text{р}} = k_{\text{об}} + k_{\text{вент}} - \beta_{\text{КПИ}}(k_{\text{быт}} + k_{\text{рад}}) \quad (28)$$

При использовании энергосберегающего остекления, характеристики, входящие в формулу (28), изменяются: трансмиссионные теплопотери и теплопоступления от солнечной радиации снижаются, в этом случае $q_{\text{от}}^{\text{р}}$ становится меньше, чем при использовании остекления без покрытий.

Замена остекления на энергосберегающее может считаться выгодной, если энергия, затрачиваемая на отопление и вентиляцию, снижается, т.е.:

$$q_{\text{отБП}}^{\text{р}} > q_{\text{отЭП}}^{\text{р}} \quad (29)$$

Неравенство преобразуется к виду:

$$\text{ГСОП} \sum_i A_{\text{ф},i} \left[\frac{1}{R_{\text{БП},i}^{\text{пр}}} - \frac{1}{R_{\text{ЭП},i}^{\text{пр}}}\right] > 11{,}6 \sum_j^J \left[\hat{I}_j^{\text{ОП}} \cdot \sum_{l=1}^{L} \tau_{2jl} \cdot A_{jl} \left(g_{jl\text{БП}} - g_{jl\text{ЭП}}\right)\right] \quad (30)$$

Таким образом, для обеспечения энергосбережения на отопление и вентиляцию здания при применении низкоэмиссионного остекления, снижение трансмиссионных теплопотерь должно быть больше, чем снижение теплопоступлений от солнечной радиации.

Неравенство (30) рассматривается, как основа для вывода ряда критериев по подбору остекления с энергосберегающими покрытиями по соотношению трансмиссионных теплопотерь и теплопоступлений через них.

Из неравенства (30) получен критерий предварительного подбора энергосберегающего остекления, рассматривающий теплопотери и теплопоступления только через 1 м^2 остекления, при этом в расчёте поступающей солнечной радиации, $\hat{I}_j^{\text{ОП}}$, учитывается влияние противостоящего здания по разработанным методам главы 3:

$$\frac{\hat{I}_j^{\text{ОП}}}{0{,}0864 \cdot \text{ГСОП}} < \frac{(U_0^{\text{бп}} - U_0^{\text{эп}})}{(g_{\text{бп}} - g_{\text{эп}})} \quad (31)$$

Физический смысл данного неравенства следующий: количество теплоты от солнечной радиации, поступающей для обогрева за отопительный период в данном климате при учёте влияния противостоящего здания, не превышает разницы в количестве теплоты, теряемой при замене на стеклопакет, имеющий пониженное

пропускание солнечной радиации. Если неравенство выполняется, то замена стеклопакетов на энергосберегающие целесообразна.

Теплопроводно-лучистая характеристика стеклопакета, влияющего через свои физические параметры на потребление энергии зданием - G. Величина G показывает соотношение теплопотерь и теплопоступлений через стеклопакет. Физический смысл данного показателя в следующем: насколько стеклопакет уменьшает количество теряемой теплоты к уменьшаемой при этом доле солнечной радиации, поступающей в помещение, относительно стеклопакета без энергосберегающих покрытий, Вт/м$^{2\cdot}$ °С:

$$G = \frac{U_0^{\text{бп}} - U_0^{\text{эп}}}{g_{\text{бп}} - g_{\text{эп}}} \quad (32)$$

Вводится также понятие радиационно-температурной характеристики фасада в заданном климате за отопительный период, Вт/м$^{2\cdot}$ °С, как отношение поступающей на вертикальную поверхность суммарной солнечной радиации к ГСОП:

- с учётом влияния противостоящего здания $\hat{F}_j = \frac{\hat{I}_j^{\text{ОП}}}{0{,}0864 \cdot \text{ГСОП}}$; (33)

- без учёта влияния противостоящего здания $F_j = \frac{I_j^{\text{ОП}}}{0{,}0864 \cdot \text{ГСОП}}$ (34)

Чем выше данная характеристика, тем больше теплоты поступает от солнечной радиации на фасад за отопительный период к 1°С перепада температуры.

Условие эффективности замены стеклопакета с целью энергосбережения на отопление для фасада заданной ориентации имеет вид:

$$\hat{F}_j < G \quad (35)$$

Представленная радиационно-температурная характеристика фасада за отопительный период и теплопроводно-лучистая характеристика стеклопакета являются основными показателями для определения эффективности применения энергосберегающего остекления в заданном климате.

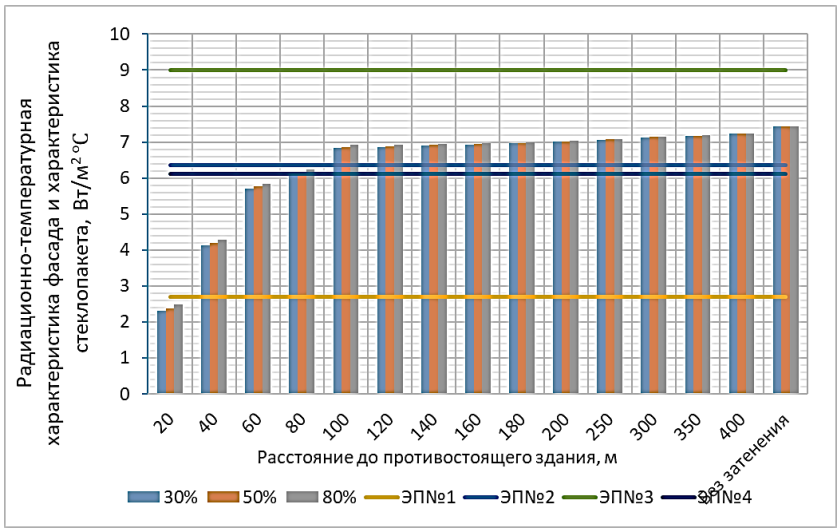


Рисунок 13 - Характеристики климата, $\hat{F}_j$ и F_j, и характеристика стеклопакета, G, Вт/м$^{2\cdot}$ °С, г. Владивосток.

На рисунке 13 показано графическое решение неравенства (35), вычисленное при отношении высоты превышения противостоящего здания к его ширине: $k_{HB} = 2{,}03$. Исходя из графика (рисунок 13) и неравенства (35), показано, что есть регионы, где замена стеклопакетов на энергосберегающие неэффективна, т.к. они значительно ограничивают теплопоступления в данном климате при наличии противостоящей застройки, что приводит к дополнительным затратам на отопление.

Такой подход является приближенным, так как при подборе энергосберегающего остекления следует учитывать характеристики здания, ориентацию его фасадов. Далее рассматривается более точный подход.

На основе соотношения (30) разработан критерии подбора светопрозрачных ограждающих конструкций для фасада и для всего здания с учётом влияния противостоящего здания на поступление солнечной радиации, определяемого по методам главы 3. Применение энергосберегающего остекления на данном фасаде и для всего здания в застройке считается оправданным при выполнении условий, соответственно:

$$\widehat{M}_j = \frac{0{,}0864 \cdot \text{ГСОП} \cdot \sum_{l=1}^{L_j} A_{jn} \cdot \left(\frac{1}{R_{jl\text{БП}}^{\text{пр}}} - \frac{1}{R_{jl\text{ЭП}}^{\text{пр}}}\right)}{\hat{I}_j^{\text{ОП}} \cdot \sum_{l=1}^{L_j} \tau_{jn} \cdot A_{jn} \cdot \left(g_{jl}^{\text{бп}} - g_{jl}^{\text{эп}}\right)}, \qquad (36)$$

$$\widehat{M}_j > 1$$

$$\widehat{M} = \frac{0{,}0864 \cdot \text{ГСОП} \sum_j^J \sum_{l=1}^{L_j} A_{jl} \left[\frac{1}{R_{jl\text{БП}}^{\text{пр}}} - \frac{1}{R_{jl\text{ЭП}}^{\text{пр}}} \right]}{\sum_{j=1}^J \hat{I}_j^{\text{ОП}} \cdot \sum_{l=1}^{L_j} \tau_{jl} \cdot A_{jl} \cdot (g_{jl}^{\text{бп}} - g_{jl}^{\text{эп}})}, \quad (37)$$

$$\widehat{M} > 1$$

Чем больше значение критериев $\widehat{M}_j$ и $\widehat{M}$, тем выгоднее применение в данном климате при наличии противостоящих зданий оконного блока с остеклением, обладающим энергосберегающими свойствами. На рисунке 14 представлено графическое решение неравенства (37) при использовании стеклопакетов с двумя низкоэмиссионными стеклами при средневзвешенном альбедо противостоящего здания 50%.

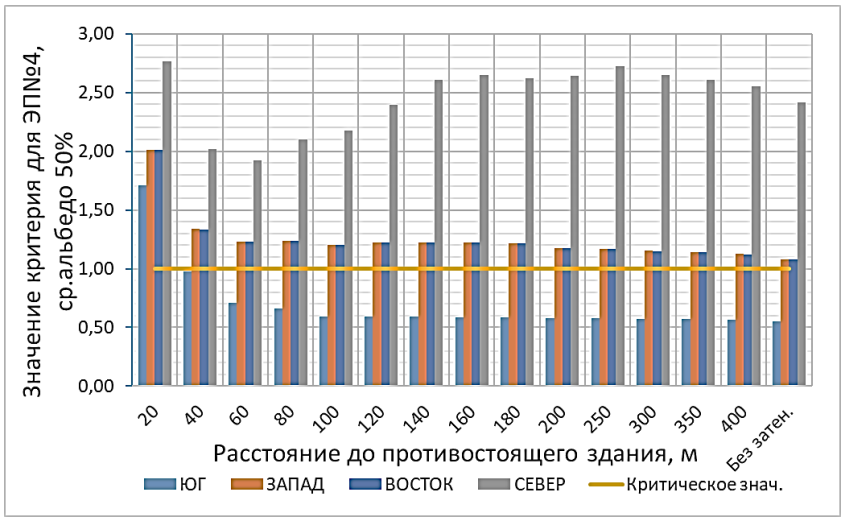


Рисунок 14 - Значение критериев M и $\widehat{M}_j$ для г. Владивостока.

Показано, что для решения по выбору остекления для всего здания с целью энергосбережения необходимо рассматривать, как характеристики самого здания, так и характеристики климата с учётом затенения солнечной радиации противостоящим зданием.

Разработан критерий подбора остекления по солнцезащитным свойствам.

При условии отсутствия других источников теплоты, температура воздуха в помещении складывается из температуры наружного воздуха и температуры нагрева от солнечной радиации.

Включение кондиционера требуется при внутренней температуре, большей 26°С. При условии, что остекление с солнцезащитными покрытыми должно обеспечивать температуру воздуха внутри помещения меньшей 26°С:

$$\left(t_{\text{н}} + t_{\text{рад}}\right) \leq 26 \quad (38)$$

Температура нагрева воздуха в помещении от солнечной радиации определяется по формуле, °С:

$$t_{\text{рад}} = \frac{3600 \cdot Q_{\text{общ}i}}{V\rho C}, \quad (39)$$

где $Q_{\text{общ}i}$ - тепловой поток через i-й световой проем помещения за время облучения, Вт·ч, определяется по Приложению П СП 370.1325800 Изм.№2.

Эта же величина, $Q_{\text{общ}i}$, без множителя в виде общего коэффициента пропускания солнечной радиации остеклением, g – фактора, и доли поглощения теплового потока поверхностями помещения, $a_{\text{п}}$, обозначается, как $q_{\text{св},i}$.

С учётом исследований главы 4, формула (19), выражение для подбора энергосберегающего остекления по солнцезащитным свойствам выглядит как:

$$g_k \leq \frac{26 - t_{\text{н}}}{3600 \cdot q_{\text{св},i}/V\rho C} \cdot k_{\text{румб}} \quad (40)$$

Т.е. при заданном тепловом потоке, поступающем в помещение через световой проем, температура воздуха в помещении будет ниже 26°С при наличии остекления с g - фактором, отвечающим условию (40).

На основании представленных формул составлена методика определения требуемых солнцезащитных свойств стеклопакетов в зависимости от региона, включенная в нормативные документы.

Проведена энергетическая и экономическая оценка энергосбережения при замене остекления на низкоэмиссионное. Для вывода показателя определяется величина теплопоступлений с учётом противостоящего здания по методам главы 3 и трансмиссионных теплопотерь через окна для всего здания при установке стеклопакетов со стеклами без покрытий, $\hat{Q}_{\text{рад}}^{\text{БП}}$ и $Q_{\text{тр}}^{\text{БП}}$, а затем при установке стеклопакетов со стеклами с энергосберегающими покрытиями, $\hat{Q}_{\text{рад}}^{\text{ЭП}}$ и $Q_{\text{тр}}^{\text{ЭП}}$, соответственно. При этом абсолютное и относительное изменение теплопотерь с учётом теплопоступлений до и после замены остекления на энергосберегающее составляет, соответственно:

$$e_{\text{эн}} = \Delta Q_{\text{тр}} - \Delta \hat{Q}_{\text{рад}} \quad (41)$$

$$E_{\text{эн}} = \frac{(Q_{\text{тр}}^{\text{БП}} - \hat{Q}_{\text{рад}}^{\text{БП}}) - (Q_{\text{тр}}^{\text{ЭП}} - \hat{Q}_{\text{рад}}^{\text{ЭП}})}{Q_{\text{тр}}^{\text{БП}} - \hat{Q}_{\text{рад}}^{\text{БП}}} 100\% \quad (42)$$

Вычисление показателя $E_{эн}$ производится с учётом архитектуры и материалов здания, а также климатических характеристик местности. Именно на эту величину следует делать поправку при расчётах экономии энергии на отопление и вентиляцию здания от замены стеклопакетов на энергосберегающие.

Показатель экономической эффективности замены оконных блоков на энергосберегающие определяется, как отношение разницы единовременных затрат к разнице сбережения тепловой энергии от применения энергосберегающего остекления, $e_{эн}$, выраженной в единицах стоимости тепловой энергии, $C_т$:

$$E_{эк} = \frac{K^{ЭП} - K^{БП}}{(\Delta Q_{тр} - \Delta Q_{рад}) \cdot C_т} \quad (43)$$

Показано, что использование оконных блоков с повышенными энергосберегающими свойствами считается экономически выгодным, если:

$$E_{эк} < 1/p, \quad (44)$$

где p – процентная ставка банка, которая в виде допущения принимается так же, как ставка рефинансирования, доли ед.

Приведен пример вычисления, где показано, что применение энергосберегающего остекления может быть выгодным в городах с длительным отопительным периодом и небольшими теплопоступлениями от солнечной радиации за отопительный период, а также при снижении ставки рефинансирования.

Таким образом, в ходе выполнения работы сформированы критерии подбора остекления с энергосберегающими покрытиями на основе решения задачи экономии энергии, потребляемой на отопление, вентиляцию и искусственное освещение помещений зданий в заданном климате, при сохранении, либо повышении уровня естественного освещения помещений, определяемого по КЕО. В критериях учитывается изменение теплопоступлений от солнечной радиации за счет наличия противостоящей застройки. Последовательность подбора остекления по разработанным критериям, следующая:

1. Критерий подбора остекления по солнцезащитным свойствам (40).

2. Критерий предварительного подбора энергосберегающего остекления с учётом противостоящего здания (35).

3. Критерий подбора остекления по светотехническим и теплофизическим параметрам (24).

4. Критерий подбора светопрозрачных ограждающих конструкций для всего здания в застройке (37).

5. Критерии энергетической и экономической оценки энергосбережения при увеличении площади светового проема (26), (27).

6. Показатель энергетической и экономической оценки энергосбережения при замене остекления на энергосберегающее (42), (43), (44).

Последовательный расчёт по приведённым критериям позволит подобрать энергосберегающее остекление, обеспечивающее сбережение энергии, потребляемой зданием на отопление, вентиляцию и искусственное освещение в заданном климате с учётом застройки, а также обеспечит комфортные световые условия в помещениях зданий.

Результаты проделанной работы позволяют подвести следующие **итоги**:

1. Проведен обзор и анализ литературы по теме диссертационного исследования. Показано, что необходимо совершенствовать методы расчёта теплопоступлений от солнечной радиации и естественного освещения помещений зданий в части учёта климатических особенностей местности и градостроительной ситуации, а также проводить оптимизацию подбора светопрозрачных конструкций по ряду параметров с целью энергосбережения.

2. Разработан метод расчёта естественной освещённости помещения при учёте состояния небосвода различной облачности, на основе которого рассчитаны коэффициенты светового климата для различных регионов РФ. Результаты расчётов можно использовать для уточнения расчётов КЕО по нормативным документам, что повысит точность расчётов естественного освещения помещений зданий и будет способствовать энергосбережению на отопление, вентиляцию и искусственное освещение, а также может послужить основой для разработки ряда

методов расширения расчётов естественного освещения, в том числе по целевому КЕО.

3. Разработаны, адаптированы под инженерные расчёты и верифицированы, в т.ч. в натурных условиях, методы расчёта поступающей на фасад исследуемого здания прямой, рассеянной, отраженной солнечной радиации с учётом противостоящего здания. Методы позволяют уточнять расчёт удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий.

4. На основе лабораторных, натурных и теоретических исследований показано, что энергосберегающее остекление способствует не только снижению теплопотерь из помещения в наружное пространство, но и ограничивает поступление видимого света и теплоты от солнечной радиации. Таким образом показано, что применение остекления с энергосберегающими покрытиями вместо остекления без покрытий обеспечивает энергосбережение в заданном климате на отопление и вентиляцию здания только в случае, если вследствие его применения снижение теплопоступлений от солнечной радиации меньше, чем снижение трансмиссионных теплопотерь.

5. Проведены экспериментальные исследования по изучению влияния светопрозрачных и непрозрачных наружных фасадных материалов на величину средневзвешенного коэффициента отражения и средневзвешенного альбедо фасада. Полученные данные позволят повысить точность расчётов естественного освещения помещений зданий и отраженной солнечной радиации.

6. Разработан метод и проведены натурные измерения светопропускания остекления с энергосберегающими покрытиями при падении солнечной радиации под углом и получение аппроксимационных зависимостей. Показано, что увеличение количества стекол с покрытиями в стеклопакете приводит к более быстрому снижению коэффициентов светопропускания при увеличении угла падения солнечного излучения. Рекомендованы поправочные коэффициенты на румб светопроёма, позволяющие уточнить пропускание теплоты от солнечной радиации.

7. Разработаны критерии подбора энергосберегающего остекления на основе соблюдения норм по естественному освещению, в том числе с учётом экономической составляющей. Критерии позволяют подбирать размеры и состав светопрозрачных конструкций, обеспечивающих энергосбережение на отопление и вентиляцию здания при соблюдении норм по естественному освещению.

8. Разработаны критерии подбора энергосберегающего остекления на основе соотношения теплофизических параметров и параметров, характеризующих пропускание теплоты от солнечной радиации, а также характеристик климата месторасположения здания. Определены показатели, оценивающие энергетическую и экономическую эффективность применения такого остекления. Расчётом по критериям, установлено, что влияние противостоящего здания на снижение теплопоступлений от солнечной радиации может быть существенным, приводить к дополнительным затратам на отопление и вентиляцию и влиять на решение о выборе наиболее выгодного варианта остекления.

9. Внедрение в нормативные документы представленных методов расчёта естественного освещения помещений зданий с учётом неравномерной яркости небосвода, методов расчёта поступающей солнечной радиации с учётом противостоящей застройки и критериев подбора остекления по светотехническим, теплофизическим характеристикам, характеристикам пропускания теплоты от солнечной радиации и характеристикам климата местности будет способствовать сбережению энергии на отопление и вентиляцию здания и на искусственное освещение.

По результатам проведенных исследований можно сформулировать следующие **рекомендации** по использованию результатов диссертации:

1. Внести рассчитанные для всех регионов РФ коэффициенты светового климата с учётом различной облачности небосвода, результаты измерений коэффициентов светопропускания и отражения энергосберегающего остекления, упрощенную формулу для определения коэффициента, учитывающего затенение светового проема непрозрачными элементами заполнения, критерий

энергосбережения при увеличении площади светового проема в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».

2. Внести адаптированные под инженерные методы расчёта прямой, рассеянной, отраженной на фасад поступающей солнечной радиации с учётом противостоящего здания, упрощенную формулу для определения коэффициента, учитывающего затенение светового проема непрозрачными элементами заполнения, критерий подбора остекления по светотехническим и теплотехническим параметрам, критерий предварительного подбора энергосберегающего остекления, критерий подбора светопрозрачных ограждающих конструкций для всего здания в застройке в СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты».

3. Внести результаты измерений коэффициентов поглощения несветопрозрачными материалами в СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий».

4. Внести коэффициенты поправки на румб при определении общего коэффициента пропускания солнечной радиации, методику определения требуемых солнцезащитных свойств стеклопакетов в зависимости от региона в СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования».

Перспективы дальнейшей разработки темы можно сформулировать следующим образом:

1. Совершенствование методов расчёта распределения естественной освещённости при различной яркости небосвода с учётом застройки.

2. Разработка методов нормирования КЕО по целевому значению.

3. Изучение пропускания остеклением с энергосберегающими покрытиями излучения при различных углах падения.

Список публикаций по теме диссертации

Основные положения диссертации изложены в следующих публикациях:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

1. Земцов, В.А. Расчетно-экспериментальный метод определения общего коэффициента пропускания света оконными блоками / В.А. Земцов, **Е.В. Коркина** (Е.В. Гагарина) // Academia. Архитектура и строительство.–2010.–№3. – С. 472-476.

2. Земцов, В.А. Исследование влияния энергосберегающих мероприятий при санации зданий серии II-18 на световой режим помещений / В.А. Земцов, **Е.В. Коркина** (Е.В. Гагарина) // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – №4. – С. 83-88.

3. Земцов, В.А. Методические принципы обеспечения нормированного регламента по естественному освещению на примере общеобразовательных школ / В.А. Земцов, **Е.В. Коркина** (Е.В. Гагарина) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. №31-2(50). С. 492-498.

4. **Коркина, Е.В**. Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам / Е.В. Коркина // Жилищное строительство. – 2015. – № 6. – С. 60–62.

5. Гагарин, В.Г. Исследование влияния мультифункционального покрытия стекла на спектральное пропускание света / В.Г. Гагарин, **Е.В. Коркина**, И.А. Шмаров, П.П. Пастушков // Строительство и реконструкция. – 2015. – №2(58). – С. 90–95.

6. Пастушков, П.П. Расчетное определение эксплуатационной влажности автоклавного газобетона в различных климатических зонах строительства / П.П. Пастушков, Г.И. Гринфельд, Н.В. Павленко, А.Е. Беспалов, **Е.В. Коркина** // Вестник МГСУ. – 2015. – №2. – С. 60–69.

7. Шмаров, И.А. Инсоляция: практика нормирования и расчета / И.А. Шмаров, В.А. Земцов, **Е.В. Коркина** // Жилищное строительство. – 2016. – № 7. – С. 48–53.

8. Гринфельд, Г.И. Система ограждающих конструкций, обеспечивающая повышенное энергосбережение в зданиях / Г.И. Гринфельд, **Е.В. Коркина**, П.П. Пастушков, Н.В. Павленко, И.В. Ерофеева // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – №3(43). – С. 25–35.

9. **Коркина, Е.В.** Основные соотношения для расчета облучения солнечной радиацией стен отдельно стоящих зданий / Е.В. Коркина, Е.В. Горбаренко, В.Г. Гагарин, И.А. Шмаров // Жилищное строительство. – 2017. – №6. – С. 27–33.

10. Гагарин, В.Г. Теплопоступления и теплопотери через стеклопакеты с повышенными теплозащитными свойствами / В.Г. Гагарин, **Е.В. Коркина**, И.А. Шмаров // Academia. Архитектура и строительство. – 2017. – № 2. – С. 106–110.

11. Горбаренко, Е.В. Радиационный режим различно ориентированных вертикальных поверхностей по данным МО МГУ / Е.В. Горбаренко, **Е.В. Коркина**, О.А. Ларин // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2017. – № 6. – С. 43–45.

12. **Коркина, Е.В.** Критерий эффективности замены стеклопакетов в здании с целью энергосбережения / Е.В. Коркина // Жилищное строительство. – 2018. – №6. – С. 6–9.

13. **Коркина, Е.В.** Сравнительный расчет теплопоступлений и теплопотерь при замене стеклопакетов в здании с целью энергосбережения / Е.В. Коркина, И.А. Шмаров // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2018. – №6(1006). – С. 52–53.

14. **Коркина, Е.В.** Графический метод расчета поступающей на фасад прямой солнечной радиации при наличии противостоящего здания / Е.В. Коркина // Вестник МГСУ. – 2019. – Т.14. – №2. – С. 237–249. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.237-249.

15. Земцов, В.А. Влияние фасадных элементов на инсоляционный режим помещений гражданских зданий / В.А. Земцов, **Е.В. Коркина**, И.А. Шмаров, В.В. Земцов // Жилищное строительство. – 2019. – № 6. – С. 16–23. DOI: https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-6-16-23

16. **Коркина, Е.В.** Теплопоступления на фасад здания в застройке при учете теплообмена излучением / Е.В. Коркина, Е.В. Войтович, Н.Ю. Плющенко, М.Д. Столяров // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – №9. – С. 46–53. DOI: 10.34031/article_5da44e83653801.83128737.

17. **Коркина, Е.В.** Исследование температуры нагрева поверхности фасада от солнечной радиации при различных условиях облучения / Е.В. Коркина, Е.В. Горбаренко, П.П. Пастушков, М.Д. Тюленев // Жилищное строительство. – 2020. – №7. – С. 19–25. DOI: 10.31659/0044-4472-2020-7-19-25

18. **Коркина, Е.В.** Почасовой расчет поступающей прямой солнечной радиации на фасады здания / Е.В. Коркина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2020. – №2. – С. 103–112. DOI: 10.32683/0536-1052-2020-734-2-103-112.

19. **Коркина, Е.В.** К расчету коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплетах оконных блоков / Е.В. Коркина, И.А. Шмаров, М.Д. Тюленев // Жилищное строительство. – 2021. – № 6. – С. 11–17.

20. **Коркина, Е.В.** Влияние современных фасадных покрытий на величину средневзвешенного альбедо фасада здания / Е.В. Коркина, И.А. Шмаров, М.Д. Тюленев // Строительные материалы. – 2021. – №6. – С. 33–40. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-792-6-33-40.

21. **Коркина, Е.В.** Влияние противостоящего здания на поступление отраженной и рассеянной солнечной радиации / Е.В. Коркина, М.Д. Тюленев, Е.В. Войтович // Жилищное строительство. – 2022. – №1–2. – С. 9–16. DOI: 10.31659/0044-4472-2022-1-2-9-16.

22. **Коркина, Е.В.** Аналитический метод расчета отраженной солнечной радиации от подстилающей поверхности на элементарный участок фасада / Е.В. Коркина, Н.Ю. Плющенко, Е.В. Войтович // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2022. – №12 (768). – С. 75–83.

23. Шмаров, И.А. Теоретические аспекты экономии энергии на искусственное освещение помещения при увеличении площади светового проема / И.А. Шмаров, **Е.В. Коркина**, Л.В. Бражникова, О.Г. Гагарина // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2022. – № 6 (1054). – С. 54–57.

24. **Коркина, Е.В.** Исследования времени наступления критической освещённости для оценки длительности дневного естественного освещения / Е.В. Коркина, И.А. Шмаров, Е.В. Войтович // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 6. – С. 35–42. DOI: https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-6-35-42

25. Гагарин, В.Г. Влияние противостоящих зданий на энергосбережение здания с низкоэмиссионным остеклением / В.Г. Гагарин, **Е.В. Коркина**, М.Д. Тюленев // Жилищное строительство. – 2022. – № 3. – С. 30–35. DOI: https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-3-30-35.

26. Шмаров, И.А. Оценка энергосбережения при использовании естественного и искусственного освещения в г. Москве / И.А. Шмаров, **Е.В. Коркина**, Л.В. Бражникова, О.Г. Гагарина // Жилищное строительство. – 2023. – №6. – С. 13–17. DOI: 10.31659/0044-4472-2023-6-13-17.

27. **Коркина, Е.В.** Применение инсографиков для определения отраженной солнечной радиации от подстилающей поверхности / Е.В. Коркина, Н.Ю. Плющенко, В.Г. Гагарин, Е.В. Войтович // Жилищное строительство. – 2023. – №6. – С. 31–37. DOI: 10.31659/0044-4472-2023-6-31-37.

28. **Коркина, Е.В.** Определение прямой естественной освещённости в помещении с использованием равнопромежуточной проекции небосвода / Е.В. Коркина, И.А. Шмаров, В.В. Земцов // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2023. – № 7 (1067). – С. 20–22.

29. **Коркина, Е.В.** К вопросу учета теплопоступлений от солнечной радиации, отраженной от горизонтальной поверхности / Е.В. Коркина, Н.Ю. Плющенко // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2023. – №6(1066). – С. 50–51.

30. Горбаренко, Е.В. Изменение характеристик отопительного периода в Москве в связи с глобальным потеплением климата / Е.В. Горбаренко, В.Г. Гагарин, **Е.В. Коркина** // Жилищное строительство. – 2024. – №6. – С. 25–31. DOI: 10.31659/0044-4472-2024-6-25-31.

31. Шубин, И.Л. Натурные исследования пропускания солнечного излучения остеклением с мультифункциональными покрытиями / И.Л. Шубин, **Е.В. Коркина**, И.А. Шмаров, С.С. Кучеров // Жилищное строительство. – 2024. – №7. – С. 8–14. DOI: 10.31659/0044-4472-2024-7-8-14.

32. Шубин, И.Л. Зависимость коэффициентов светопропускания мультифункционального остекления от угла падения излучения / И.Л. Шубин, **Е.В. Коркина**, В.В. Земцов, С.С. Кучеров // Жилищное строительство. – 2024. – №6. – С. 3–9. DOI: 10.31659/0044-4472-2024-6-3-9.

33. Шмаров, И.А. Снижение коэффициента естественной освещенности стационарными устройствами солнцезащиты с учетом ориентации светового проема / И.А. Шмаров, **Е.В. Коркина**, В.В. Земцов // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2024. – №5(1077). – С. 43–45.

34. **Коркина, Е.В**. Влияние различного распределения яркости по небосводу на естественную освещенность в помещении / Е.В. Коркина, И.А. Шмаров, Е.В. Горбаренко, Л.В. Бражникова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2024. – №6(786). – С. 140–148. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-786-6-140-148.

35. **Коркина, Е.В.** Основное соотношение для оценки энергосбережения при применении остекления с низкоэмиссионными покрытиями // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2025. – № 4. – С. 132-137.

Публикации в изданиях, включенных в международные базы цитирования Web of Science, Scopus

36. Shmarov, I.A. The influence of light transmission rate energy saving window units for compliance with hygienic requirements / I.A. Shmarov, V.A. Zemtsov, V.G. Gagarin, **E.V. Korkina** // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2016. – V. 364. – pp. 176–181

37. **Korkina, E.V.** Classification of coatings of window glass on light transmission / E.V. Korkina, I.A. Shmarov, V.G. Gagarin // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017. – V. 368. – pp. 118–124.

38. **Korkina, E.V.** Graphic method of calculation of the diffuse solar radiation received on the facade at partially obstructed sky / E.V. Korkina, V.A. Zemtsov, I.A. Shmarov, V.K. Savin // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018. – V. 375. – pp. 230 – 236.

39. **Korkina, E.V.** Analytical method of calculation of the diffuse solar radiation received on a vertical surface with partially / E.V. Korkina, I.A. Shmarov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018. – 375. – pp. 216 – 220.

40. **Korkina, E.V.** Analytical method of calculation of the reflected solar radiation from the facade of the opposing building / E.V. Korkina, I.A. Shmarov, V.A. Zemtsov, M.D. Tyulenev // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019. – V. 382. – pp. 189 – 196.

41. Zemtsov, V. Relative brightness of facades in the L-shaped urban buildings / V. Zemtsov, **E. Korkina**, I.Shmarov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol.896. – P.012027. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012027.

42. **Korkina, E.V.** Effectiveness of energy-saving glazing in various climatic zones of Russia / E.V. Korkina, I.A. Shmarov, M.D. Tyulenev // IOP Conference Series: Materials

Science and Engineering. – 2020. – Vol. 869. – P. 072010. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/7/072010.

43. **Korkina, E.** Energy Efficiency Criterion for Increasing the Area of the Window / E. Korkina, T.K.P. Nguyen, Z. Zhou, I. Shmarov, E. Voitovich // XXV International Scientific conference on Advance in Civil Engineering. Construction the formation of living environment. AIP Conference Proceedings 2791, 030001. – 2023. – DOI: 10.1063/5.0143579.

44. Nguyen, T.K.-P. Connectivity of the Window to Floor area Ratio and the daylight assessment criteria / T.K.-P. Nguyen, **E.V. Korkina** // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. – 2021. – No 45. – Pp.2035–2045. DOI: 10.1007/s40996-021-00681-0.

45. Wang, Y. An occupant-centric adaptive façade based on real-time and contactless visual and thermal discomfort estimation / Y. Wang, Y. Wu, **E. Korkina**, Z. Zhou, V. Gagarin // Building and Environment. – 2022. – Vol.214. – P.108907. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.108907.

46. **Korkina, E.V.** Temperature Evaluation of a Building Facade with a Thin Plaster Layer under Various Degrees of Cloudiness / E.V. Korkina, E.V. Gorbarenko, E.V. Voitovich, M.D. Tyulenev, N.I. Kozhukhova // Energies. – 2023. – Vol.16(15). – P.5783. DOI: 10.3390/en16155783.

Публикации в других изданиях:

47. Гринфельд, Г.И. Ограждающие конструкции, обеспечивающие повышенное энергосбережение в зданиях / Г.И. Гринфельд, **Е.В. Коркина**, П.П. Пастушков, Н.В. Павленко, И.В. Ерофеева, Д.А. Губанов // Актуальные вопросы архитектуры и строительства. Материалы XIV международной научно-технической конференции: в 2 частях. Отв. ред. В.Т. Ерофеев. – 2015. – С. 29–33.

48. Гринфельд, Г.И. Исследования теплопроводности ячеистых бетонов / Г.И. Гринфельд, **Е.В. Коркина**, П.П. Пастушков, Н.В. Павленко, И.В. Ерофеева, Д.А. Губанов // Актуальные вопросы архитектуры и строительства. Материалы XIV международной научно-технической конференции: в 2 частях. Отв. ред. В.Т. Ерофеев. – 2015. – С. 21–24.

49. Гринфельд, Г.И. Исследование физико-механических свойств ячеистых бетонов / Г.И. Гринфельд, **Е.В. Коркина**, П.П. Пастушков, Н.В. Павленко, И.В. Ерофеева, Д.А. Губанов // Актуальные вопросы архитектуры и строительства. Материалы XIV международной научно-технической конференции: в 2 частях. Отв. ред. В.Т. Ерофеев. – 2015. – С. 25–29.

50. Гагарин, В.Г. Определение светотехнических характеристик оконных стекол производства ООО «Пилкингтон гласс» / В.Г. Гагарин, **Е.В. Коркина** // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. Материалы XII международной научной конференции. Сиань (КНР). 14–29 апреля 2015. – С. 151–156.

51. **Коркина, Е.В.** Сравнение методов расчёта поступающей прямой солнечной радиации на фасады здания / Е.В. Коркина, М.Д. Тюленев // Сборник докладов Первой Национальной конференции. Москва, – 2020. – С. 496–500.
52. **Коркина, Е.В.** Расчет поступающей прямой солнечной радиации по часам светового дня / Е.В. Коркина, Е.В. Войтович, М.Д. Тюленев // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции. Сборник докладов VIII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 130-летию со дня рождения профессора П.Н. Каменева. Москва, 2020. – С. 41–46.
53. **Коркина, Е.В.** Сравнение подходов к расчету поступающей прямой солнечной радиации на фасады здания / Е.В. Коркина // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды (Indoor air quality and environment): материалы XIX Междунар. науч. конф. (Волгоград, 27–30 сент. 2021 г.). – Волгоград, 2021. – С. 25–35.
54. Гагарин, В.Г. Подбор низкоэмиссионного остекления с целью энергосбережения при наличии противостоящего здания / В.Г. Гагарин, **Е.В. Коркина**, М.Д. Тюленев // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования — 2021: сб. докл. Второй Нац. науч. конф. – М., 2022. – С. 120–127.
55. **Коркина, Е.В.** Исследование светового климата городов России на основе актинометрических данных / Е.В. Коркина, Н.Ю. Плющенко, С.С. Кучеров // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды (Indoor air quality and environment): материалы XX Междунар. науч. конф. (Москва, 21–24 сент. 2022 г.). – Волгоград: ВолгГМУ, 2022. – С. 66–72.
56. **Коркина, Е.В.** Натурный эксперимент по измерению температуры нагрева поверхности фасада от солнечной радиации / Е.В. Коркина, Н.Ю. Плющенко // Современные проблемы и решения в системах отопления, вентиляции и теплоснабжения: сб. материалов IX Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 130-летию со дня рождения проф. П.Н. Каменева. – М., 2022. – С. 62–65.
57. **Коркина, Е.В.** К вопросу определения отраженной солнечной радиации от подстилающей поверхности с использованием инсографиков / Е.В. Коркина, Н.Ю. Плющенко // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. Indoor air quality and environment. Материалы XXI Международной научной конференции. 2023. С. 66-73.
58. Шмаров, И.А. Применение программных средств расчета при проектировании освещения помещений световодами естественного света / И.А. Шмаров, В.А. Козлов, Е.В. Коркина // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования — 2022: сб. докл. Третьей Нац. науч. конф. – М., 2023. – С. 780–788.
59. **Коркина, Е.В.** Влияние условий облучения фасада на температуру его нагрева / Е.В. Коркина, Н.Ю. Плющенко, С.С. Кучеров // Актуальные вопросы развития строительной отрасли, экологической и промышленной безопасности.

Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Вологда, 2023. – С. 300–304.

60. **Коркина, Е.В.** Подбор энергосберегающего остекления для здания торгового центра в городе Чите / Е.В. Коркина, С.С. Кучеров, Е.В. Горбаренко // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования — 2022: сб. докл. Третьей Нац. науч. конф. – М., 2023. – С. 33–37.

61. **Коркина, Е.В.** Особенности подбора энергосберегающего остекления для холодного и солнечного климата / Е.В. Коркина, С.С. Кучеров // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. Материалы XXII Международной научной конференции. Волгоград, 2024. – С. 42–49.

62. **Коркина, Е.В.** Исследование параметров светового климата при различных типах неба для обеспечения энергосбережения в зданиях / Е.В. Коркина, В.Г. Гагарин, И.А. Шмаров // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2022–2023 годы. Научные труды РААСН. В 2-х томах. Москва, 2024. – С. 216–225.

63. **Коркина, Е.В.** Экспериментальные исследования пропускания солнечного излучения энергосберегающим остеклением / Е.В. Коркина, С.С. Кучеров // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования — 2024: сб. докл. V Нац. науч. конф. – М., 2025. – С. 170–176.