ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬНЫХ НАУК»
(НИИСФ РААСН)

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

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант
доктор техн. наук, профессор,
член-корреспондент РААСН,
заслуженный строитель РФ
ШУБИН ИГОРЬ ЛЮБИМОВИЧ

Москва 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 9

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА 20

1.1 Влияние поступающего солнечного излучения в видимом и в инфракрасном диапазонах на проектирование зданий 20

1.2 Теоретические методы учёта природно-климатических факторов, влияющих на теплофизические условия помещения при открытом горизонте и при наличии застройки 22

1.2.1 Моделирование температурного режима помещения 22

1.2.2 Расчёт поступающей солнечной радиации к фасадам зданий 24

1.2.3 Параметры здания и его ориентации в расчётах проникающей солнечной радиации 28

1.2.4 Методы учёта влияния застройки при расчётах поступающей в помещение солнечной радиации 31

1.3 Методы учёта факторов, влияющих на естественное освещение в помещении при открытом горизонте и при наличии застройки 36

1.3.1 Значимость проектирования естественного освещения для комфортного микроклимата помещений зданий и сбережения энергии 36

1.3.2 Отечественные методы расчёта КЕО 38

1.3.3 Целевой КЕО 42

1.3.4 Построение проекций небосвода для определения неравномерности распределения параметров дневного света 44

1.3.5 Расчет освещенности из распределения яркости по небосводу согласно российским и иностранным работам 47

1.3.6 Расчет освещенности из поступающей солнечной радиации 50

1.4 Влияние светопрозрачных ограждающих конструкций на теплофизические и светотехнические условия помещения 51

1.4.1 Характеристики остекления 52

1.4.2 Определение характеристик остекления при косых углах падения солнечного излучения 55

1.4.3 Характеристики переплетов 58

1.5 Исследования по подбору светопрозрачных оконных конструкций в отопительный и охладительный периоды 60

1.5.1 Исследовательские работы 61

1.5.2 Нормативные документы 64
Выводы по главе 1 64
ГЛАВА 2 МЕТОД РАСЧЁТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ УЧЁТЕ СОСТОЯНИЯ НЕБОСВОДА РАЗЛИЧНОЙ ОБЛАЧНОСТИ 67
2.1 Разработка метода подбора типа небосвода для заданной местности по распределению освещённости на основе стандарта МКО 68
2.1.1 Расчет суммарной наружной освещённости из актинометрических измерений 68
2.1.2 Расчёт наружной освещённости с применением положений международного стандарта МКО 70
2.1.3 Подбор типа небосвода по облачности согласно международному стандарту МКО для городов с различным световым климатом 72
2.2 Разработка графо-аналитического метода расчета естественной освещенности в помещении при различном распределении яркости по небосводу 73
2.2.1 Основы графо-аналитического метода 73
2.2.2 Пример определения прямой освещённости в помещении с двумя светопроемами 76
2.3 Расчёт коэффициентов светового климата при различной облачности небосвода 78
2.3.1 Теоретические основы расчёта 78
2.3.2 Подбор типа небосвода по градациям облачности 81
2.3.3 Расчёт освещённости в расчетной точке модельного помещения по графо - аналитическому методу для каждого часа светового дня каждого месяца в течение года 82
2.3.4 Определение временных интервалов начала и конца использования только естественного освещения за каждый месяц года 84
2.3.5 Суммирование освещённости за часовые интервалы начала и конца использования только естественного света в течение года 86
2.3.6 Проведение расчётов коэффициентов светового климата при различной облачности небосвода 89
2.4 Предложения в нормативные документы 94
Выводы по главе 2 94

ГЛАВА 3 ВЛИЯНИЕ ПРОТИВОСТОЯЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ОТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ К ФАСАДАМ ЗДАНИЯ.....95

3.1 Разработка графического метода расчета прямой солнечной радиации с учётом противостоящего здания..... 95

3.1.1 Формула расчёта прямой солнечной радиации с учётом противостоящего здания..... 95

3.1.2 Определение почасовых коэффициентов пересчёта прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную..... 96

3.1.3 Графическое определение длительности облучения прямой радиацией с учётом противостоящего здания..... 100

3.1.4 Последовательность вычислений по разработанному графическому методу расчёта прямой солнечной радиации с учётом противостоящего здания 109

3.1.5 Автоматизация графического метода расчёта прямой солнечной радиации с учётом противостоящего здания.....111

3.2 Разработка аналитического метода расчёта поступающей рассеянной солнечной радиации с учётом противостоящего здания..... 119

3.3 Разработка аналитического метода расчёта отраженной от противостоящего здания солнечной радиации..... 124

3.4 Вычисление суммарной солнечной радиации с учётом противостоящего здания..... 125

3.5 Анализ влияния противостоящего здания на поступление солнечной радиации 126

3.6 Верификация разработанных методов расчёта поступающей солнечной радиации..... 127

3.6.1 Верификация графического определения длительности облучения прямой радиацией с учётом противостоящего здания с использованием солнечных карт..... 128

3.6.2 Верификация доли облучения рассеянной радиацией исследуемого фасада с использованием графиков Данилюка..... 129

3.6.3 Метод верификации расчетов дозы поступающей солнечной радиации в натурных условиях 130

3.6.4 Натурный эксперимент по верификации дозы поступающей солнечной радиации..... 132

3.7 Предложения в нормативные документы 141

Выводы по главе 3..... 141

ГЛАВА 4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ С НАРУЖНЫМИ ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ 143

4.1 Спектрофотометрические исследования коэффициентов пропускания и отражения стекол с энергосберегающими покрытиями 143

4.2 Анализ спектрального состава солнечной радиации, прошедшей через остекление с энергосберегающими покрытиями 147

4.3 Гигиенические аспекты оценки светопропускания стекол с энергосберегающими покрытыми 149

4.4 Спектрофотометрические исследования коэффициента отражения солнечной радиации непрозрачными фасадными покрытиями 152

4.5 Анализ влияния прозрачных и непрозрачных материалов на средневзвешенный коэффициент отражения и средневзвешенное альбедо фасада здания 158

4.6 Обобщение результатов исследования по коэффициентам отражения несветопрозрачных фасадных материалов 162

4.7 Определение коэффициентов поглощения солнечной радиации несветопрозрачных фасадных материалов 162

4.8 Метод натурных исследований светопропускания энергосберегающего остекления при различных углах падения солнечного излучения 163

4.8.1 Описание объектов исследования 163

4.8.2 Фотоэлектрическая установка 164

4.8.3 Последовательность действий при применении метода 166

4.8.4 Результаты проведения натурных исследований 167

4.8.5 Определение зависимости коэффициента общего и прямого пропускания солнечной радиации остеклением от угла падения излучения . 178

4.9 Расчетный метод определения пропускания солнечного излучения оконных блоков 182

4.9.1 Разработка и адаптация метода под инженерные расчёты 182

4.9.2 Сравнительный анализ формул для расчёта коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплётах оконного блока 186

4.9.3 Метод расчёта коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплётах оконного блока 188

4.9.4 Сравнение расчётов с результатами натурных измерений 190

4.10 Предложения в нормативные документы 191
Выводы по главе 4 192
ГЛАВА 5 ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДБОРА СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ НОРМИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ 194
5.1 Критерий подбора остекления по светотехническим и теплофизическим параметрам 194
5.2 Критерии энергетической и экономической оценки энергосбережения при увеличении площади светового проема 196
5.3 Предложения в нормативные документы 202
Выводы по главе 5 202
ГЛАВА 6 ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДБОРА СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ СООТНОШЕНИЯ ИХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТА, В КОТОРЫХ ЭКСПЛУАТИРУЕТСЯ ЗДАНИЕ 203
6.1 Основное соотношение для вывода критериев оценки энергосбережения при применении остекления с энергосберегающими покрытиями 203
6.2 Критерий предварительного подбора энергосберегающего остекления 206
6.3 Критерий подбора светопрозрачных ограждающих конструкций для всего здания в застройке 214
6.4 Критерий подбора остекления по солнцезащитным свойствам 220
6.5 Энергетическая и экономическая оценка энергосбережения при замене остекления на энергосберегающее 223
6.5.1 Показатель энергетической оценки энергосбережения при замене остекления на энергосберегающее 223
6.5.2 Показатель экономической оценки энергосбережения при замене остекления на энергосберегающее 225
6.6 Последовательность применения разработанных критериев подбора остекления для обеспечения энергосбережения 226
6.7 Предложения в нормативные документы 228
Выводы по главе 6 228
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 230

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 234
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 241
ПРИЛОЖЕНИЯ ……..……...……... 280
Приложение А – Свидетельства о поверке приборов.....281
Приложение Б – Акт о внедрении результатов диссертационной работы 295
Приложение В – Дополнительные материалы к главе 2 296
В.1 Пример определения прямой освещённости и отношения прямой освещенности в помещении на различном расстоянии от окна к наружной освещенности для трех городов.....296
В.2 Актинометрические станции для групп городов РФ по ресурсам светового климата 301
В.3 Графики распределения освещенности в расчетной точке модельного помещения за год при последовательной ориентации светопроема по четырем румбам. 304
Приложение Г – Дополнительные материалы к главе 3.....385
Г.1 Значения рассчитанных почасовых коэффициентов пересчета, $К_{ГВ}$, для 38-80º с.ш. 385
Г.2 Расчет по разработанному графическому методу затенения прямой радиации противостоящим зданием и верификация с расчетом по солнечным картам 397
Г.3 Расчет по разработанному аналитическому методу определения рассеянной радиации с учётом противостоящего здания и верификация с расчетом по графикам Данилюка.....404
Г.4 Распределение поступающей солнечной радиации при изменении расположения зданий 411
Г.5 Зависимости изменения температуры нагрева поверхности стены, температуры воздуха и солнечной радиации от времени для дней наблюдения.....422
Приложение Д – Дополнительные материалы к главе 4 450
Д.1. Фотографии исследуемых образцов непрозрачных и прозрачных фасадных материалов и покрытий 450

Д.2 Спектрофотометрические исследования коэффициентов пропускания и отражения солнечной радиации однокамерных стеклопакетов. 455
Д.3 Спектрофотометрические исследования коэффициентов пропускания и отражения солнечной радиации двухкамерных стеклопакетов. 461
Д.4 Натурные измерения определения пропускания солнечной радиации остеклением под углом 469
Приложение Е – Дополнительные материалы к главе 5.....485
Е.1. Пример расчёта критерия энергосбережения при увеличении площади светового проема 485
Приложение Ж – Дополнительные материалы к главе 6 489
Ж.1 Порядок определения требуемых солнцезащитных свойств стеклопакетов в зависимости от региона 489
Ж.2 Пример расчёта требуемых солнцезащитных свойств стеклопакетов в зависимости от региона 491
Ж.3 Расчет показателя энергетической оценки энергосбережения при замене остекления на низкоэмиссионное.....496
Ж.4 Расчет показателя экономической оценки энергосбережения при замене остекления на низкоэмиссионное.....498
Ж.5 Расчет критерия подбора остекления по светотехническим и теплофизическим параметрам и критерия подбора светопрозрачных ограждающих конструкций для всего здания.....501

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации

В соответствии с приоритетами научно-технической политики Российской Федерации и положениями Федерального закона Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты 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 при различных условиях, а затем учёт влияния светопрозрачных конструкций на пропускание излучения в помещения зданий. В части учёта поступающего естественного освещения в нормативных документах расчёт проводится для облачного неба в то время, как для южных широт России и Дальнего Востока характерно малооблачное или ясное небо, поэтому данный расчёт следует скорректировать с учётом различного состояния небосвода. В части расчётов теплопоступлений от солнечной радиации применяются методы, разработанные около 50 лет назад, которые нуждаются в совершенствовании, так, например, не учитывается влияние окружающей застройки, которая может как существенно ограничивать поступление солнечной радиации, так и добавлять отраженную составляющую. Для современных светопрозрачных конструкций характерны разнообразные решения. Так, в целях снижения теплопотерь применяется остекление, имеющее энергосберегающие покрытия (низкоэмиссионные, солнцезащитные, мультифункциональные). В оконных, дверных, фасадных

светопрозрачных конструкциях применяются в основном материалы переплетов из ПВХ и алюминиевых сплавов. Данные конструкции обладают большим сопротивлением теплопередаче, однако их коэффициент пропускания солнечной радиации может быть ниже, чем у применявшихся ранее, что влияет на поступления теплоты 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

Поступление солнечной радиации в видимом и инфракрасном диапазонах является одним из важнейших факторов формирования микроклимата помещений зданий различного назначения. Она участвует в формировании тепло- и влагообмена, определяет общий приход теплоты к поверхностям помещений, имеет большое морфо-функциональное значение для людей, находящихся в помещении.

Исследуемый приход солнечной радиации находится в интервале длин волн 380 до 2700 нм. Актинометрические наблюдения в России включают в себя в основном измерения прямой, рассеянной, отраженной коротковолновой радиации и радиационного баланса подстилающей поверхности.

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, 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, 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, СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [168], СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» [165], СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования» [167], а также для расчёта естественного освещения помещений зданий СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [169]. Но существует ряд предпосылок для уточнения и расширения 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

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

Задачи диссертационной работы:

1. Провести обзор и анализ литературы по теме исследования.
2. Выполнить теоретическое исследование различных состояний небосвода по облачности на территории РФ с дальнейшим расчётом естественной освещённости внутри помещения.
3. Выполнить корректировку коэффициентов светового климата на территории РФ с учётом различных состояний небосвода по облачности.
4. Разработать, адаптировать к инженерной практике и верифицировать методы расчёта поступающей солнечной радиации на фасад здания при наличии противостоящей застройки.

5. Выполнить экспериментальное исследование влияния энергосберегающих покрытий стекол на пропускание солнечной радиации стеклопакетами.

6. Изучить влияние светопрозрачных и непрозрачных наружных фасадных материалов на отражение солнечной радиации и на величину средневзвешенного коэффициента отражения и средневзвешенного альбедо фасада.

7. Провести и проанализировать натурные измерения пропускания солнечной радиации под углом к остеклению с энергосберегающими покрытиями.

8. Разработать критерии подбора энергосберегающего остекления по теплофизическим, светотехническим характеристикам и характеристикам пропускания теплоты от солнечной радиации для обеспечения энергосбережения.

9. Разработать подходы к экономической оценке эффективности применения остекления с энергосберегающими покрытиями.

10. Разработать рекомендации по внедрению результатов работы в нормативные документы.

Научная новизна

Научная новизна работы заключается в следующем:

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 (свидетельство о поверке в Приложении А) 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» (свидетельство о поверке в Приложении А). Измерение освещенности проводилось с использованием поверенных люксметров (Приложение А). 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 (Приложение А).

Апробация результатов работы

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.

Акт о внедрении результатов работы представлен в Приложении Б.

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: п. № 2. Технологические задачи теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, разработка методов энергосбережения систем и элементов теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений. Очистка и расчет рассеивания загрязняющих веществ от вентиляционных выбросов; п. № 4. Разработка математических моделей, методов,

алгоритмов и компьютерных программ, использование численных методов, с проверкой их адекватности, для расчета, конструирования и проектирования систем теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений, повышения их надежности и эффективности; п. № 5 Разработка и развитие экспериментальных методов исследований, анализа и обработки экспериментальных данных, процессов в системах теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений; п. № 7 Светотехнический и акустический режимы в помещениях зданий, их оптимизация. Защита от шума и вибраций санитарно-технического и инженерного оборудования зданий (звукоизоляция, звукопоглощение, экранирование). Инсоляция и солнцезащита помещений зданий и сооружений. Оптимизация параметров, обеспечивающих световой комфорт помещений зданий.

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.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Влияние поступающего солнечного излучения в видимом и в инфракрасном диапазонах на проектирование зданий

В соответствии с приоритетами научно-технической политики Российской Федерации строительство современных зданий должно обеспечивать тепловые и световые комфортные условия в помещении, что показано в работах В.Н. Богословского [10, 11, 12], Д.В. Бахарева [6, 7, 8, 9], В.Г. Гагарина [17, 21, 22], Н.М. Гусева [44], Т.А. Дацюк [52], В.А. Земцова [65], Н.Н. Киреева [78], Ю.Я. Кувшинова [124], В.Н. Куприянова [125, 127, 128, 130], А.В. Лыкова [133], В.А. Могутова [139], А.К. Соловьева [156, 157, 158], Ю.А. Табунщикова [176], Н.П. Умняковой [178, 179], Ф.В. Ушкова [187], С.Г. Шеиной [185, 186], А.М. Шкловера [187], Н.И. Щепеткова [197, 198, 196] и др. Большое внимание уделяется разработкам экономической оценки расхода тепловой энергии, согласно указаниям ФЗ РФ об энергосбережении [180], на отопление и вентиляцию, например, в работах В.Н. Богословского[10, 12], В.Г. Гагарина и соавторов [234, 235, 236], Е.Г. Малявиной [134] и др. Важным направлением при этом является обеспечение зданий отопительными и вентиляционными системами, рассчитанными в соответствии с требованиями нормативных документов [168, 169], составленными на основе решения многих задач, направленных на экономное расходование тепловой энергии, что показано, например, в работах Ю.А. Табунщикова [176], И.Л. Шубина и А.В. Спиридонова [54, 55], Т.А. Дацюк [52], А.Т. Дворецкого [53], В.К. Савина [152,153], А.Г. Кочева [121], С.В. Корниенко [119, 120], А. М. Зиганшина [73, 74]. Одной из таких задач является расчёт теплопоступлений от солнечной радиации через светопрозрачные конструкции, который включает расчёт собственно поступающей солнечной радиации, что рассматривается, например, в работах Cheng Sun [215], P.M. Esquivias [230], и расчёт влияния светопрозрачных конструкций на пропускание солнечной радиации в помещения зданий, например, В.Н. Куприянов [125, 127, 128, 130], J. Carmody [212, 213], K.J. Kontoleon [276, 277], E.V. Korkina [279] и др.

Разработкой методов расчётов поступающей солнечной радиации в здание и естественного освещения помещений зданий в нашей стране занимались и внесли большой вклад В.Н. Богословский [11], Н.М. Гусев [44], Б.А. Дунаев [56], В.А. Земцов [58, 59, 65, 69], Н.Н. Киреев [78], Л.П. Клягина [76, 81], К.Я. Кондратьев [82, 83], А.И. Круглова [123], В.Н. Куприянов [125, 126, 129], Н.В. Оболенский [141], З.И. Пивоварова [145], Г.Б. Пигольцина [146], А.К. Соловьев [156, 158, 183, 322, 334], Ю.Б. Айзенберг [3, 172] и др.

Для расчётов поступающей солнечной радиации в нормативных документах [168] применяются разработанные около 50 лет назад методы, представленные в работах Р.Л. Каган [76], Л.П. Клягиной [81], К.Я. Кондратьева [82, 83], З.И. Пивоваровой [145]. В указанных методах не учитывается влияние окружающей застройки, которая может как затенять, так и отражать солнечную радиацию, например, с южного фасада на северный, а также радиация, поступающая в ясные дни, что приводит к завышению расчетных значений энергии, требующейся на отопление и вентиляцию здания.

Расчёт естественного освещения помещений зданий проводится при сплошной облачности небосвода, в то время как для средних и особенно южных широт России и Дальнего Востока характерно ясное или промежуточное состояние небосвода по облачности. Таким образом, настоящий расчёт может приводить к занижению требуемого уровня естественного освещения, увеличению размеров светопроёмов помещений зданий и, как следствие, к дополнительным теплопотерям и затратам энергии на отопление и вентиляцию здания.

С целью снижения теплопотерь применяется остекление, имеющее низкоэмиссионные, солнцезащитные и мультифункциональные покрытия, а также переплеты светопрозрачных конструкций из различного материала: ПВХ, алюминий, дерево и другие. Такие светопрозрачные конструкции обладают значительно бОльшим сопротивлением теплопередаче [54, 213], однако их коэффициент пропускания солнечной радиации может быть ниже, чем у применявшихся ранее, что влияет на количество пропускаемой солнечной радиации в видимом (естественное освещение) и в инфракрасном диапазонах и,

соответственно, на поступления дополнительной теплоты в помещения за отопительный период.

В связи с этим актуальным является развитие научных методов исследования и последующее их применение для определения поступающей и проходящей солнечной радиации в видимом и инфракрасном диапазонах через светопрозрачные ограждающие конструкции.

1.2 Теоретические методы учёта природно-климатических факторов, влияющих на теплофизические условия помещения при открытом горизонте и при наличии застройки

1.2.1 Моделирование температурного режима помещения

Задача моделирования температурного режима помещения часто возникала в процессе исследования теплофизических свойств помещений, ограждающих конструкций и слоев исследуемых материалов. Вероятно, первой такой математической моделью была модель, созданная Ж. Фурье [177]. Большое значение при этом уделялось влиянию солнечной радиации на температурный режим помещений. Этими задачами активно занимались в НИИ строительной физики Госстроя СССР в 1960 – 1970-е годы в связи с изучением малоинерционных ограждающих конструкций В.А. Могутовым [139], который разработал математическую модель и программу расчета теплового режима помещения здания в летних условиях. Ю.А. Табунщиков, а затем его аспирант И.О. Юрьев [199] также разработали математическую модель и программу для ЭВМ [135, 199]. Е.Г. Малявина [135] в настоящее время успешно применяет и усовершенствует программу Ю.А. Табунщикова.

Для модели теплового режима приняты следующие предпосылки.

Помещение не содержит перегородки и пр., воздух в помещении неподвижен, температура воздуха одинакова во всем объеме помещения, светопрозрачные конструкции безынерционны. Уравнение теплового баланса воздуха помещения имеет вид:

$$V_{\text{п}}(c\rho_0)_{\text{в}}\frac{dt_{\text{в}}}{dz}+\sum_{i=1}^{n}\alpha_{\text{к}\,in,i}\left(\tau_{\text{в}i}-t_{\text{в}}(z)\right)A_i+Q_{\text{к}}(z)+m(z)(c\gamma)_{\text{в}}V_{\text{п}}\left(t_{\text{в}}(z)-t_{\text{н}}(z)\right)=0\ , \quad (1.1)$$

где $V_{\text{п}}$ – объем помещения, м^3;

$c_{\text{в}}$ – теплоемкость воздуха (на единицу массы), Дж/(м^3 $^{\text{o}}$C)

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м^3;

$t_{\text{в}}$(z) – температура внутреннего воздуха помещения, зависящая от времени, $^{\text{o}}$C;

$t_{\text{н}}(z)$ – температура наружного воздуха, зависящая от времени, $^{\text{o}}$C;

z – время, с;

m – кратность воздухообмена, ч$^{-1}$;

n – количество ограждающих конструкций в помещении, участвующих в конвективном теплообмене;

$\alpha_{\text{к in }i}$ – коэффициент конвективного теплообмена внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м^2 $^{\text{o}}$C);

$\tau_{\text{в }i}$ – температура внутренней поверхности i -ой ограждающей конструкции, $^{\text{o}}$C;

A_i – площадь поверхности i – ой ограждающей конструкции, м^2;

$Q_{\text{к}}$(z) – поток теплоты, подаваемый в помещение, например, системой отопления, Вт.

Уравнения нестационарной теплопередачи фрагментов ограждающих конструкций:

$$c_{\text{с}}(x)\rho_{\text{с}}(x)\frac{dt(x)}{dz}=\frac{d}{dx}\left(\lambda(x)\frac{dt(x)}{dx}\right), \quad (1.2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала слоя конструкции, Вт/(м $^{\text{o}}$C);

$c_{\text{с}}(x)$ – теплоемкость материала слоя, Дж/м^3 $^{\text{o}}$C,

$\rho_{\text{с}}(x)$ – плотность материала слоя, кг/м^3.

Граничные условия, поскольку описывают условия теплообмена на поверхностях ограждающих конструкций, то включают в себя воздействие солнечной радиации. С наружной стороны наружных ограждающих конструкций:

$$\lambda_i(0)\frac{\partial t_i(0)}{\partial x}+\alpha_{\text{н}}(\tau_{\text{н}i}-t_{\text{н}}(z))-I_{\text{н}\,i}(z)\rho_i=0\ . \quad (1.3)$$

С внутренней стороны:

$$-\lambda_i(\delta)\frac{\partial t_i(\delta)}{\partial x}+\alpha_{\text{к}i}\left(\tau_{\text{в}i}(z)-t_{\text{в}}(z)\right)+I_{\text{вн}\,i}(z)\rho_{\text{вн}\,i}+\sum_{j=1}^{K}\alpha_{\text{л}ij}\left(\tau_{\text{в}i}(z)-\tau_{\text{в}j}(z)\right)=0\,, \quad (1.4)$$

где: K – число участков внутренних поверхностей ограждающих конструкций, участвующих в лучистом теплообмене в помещении;

$I_{\text{вн}\,i}$ – солнечная радиация, поступающая на i – ую внутреннюю поверхность в помещении, Вт/м^2;

$\rho_{\text{вн}\,i}$ – коэффициент поглощения солнечной радиации i – ой внутренней поверхности в помещении, доли ед.;

$\tau_{\text{в}i}(z)$, $\tau_{\text{в}j}(z)$ – температура внутренней поверхности i-ой и j-ой ограждающей конструкции, $^{\text{o}}$C;

$\tau_{\text{н}i}(z)$ – температура наружной поверхности j-ой ограждающей конструкции, $^{\text{o}}$C;

$\alpha_{\text{л}ij}$ – коэффициент лучистого теплообмена между i – ой и j – ой поверхностями в помещении, Вт/(м^2 $^{\text{o}}$C).

Данная математическая модель описывает изменение температуры в помещении в течение любого интервала времени, если заданы все функциональные зависимости от времени, входящие в уравнения этой модели, в том числе и зависящие от солнечной радиации.

1.2.2 Расчёт поступающей солнечной радиации к фасадам зданий

Поступление солнечной радиации к поверхности земли и вертикальным поверхностям зданий рассчитывают с использованием двух моделей распределения излучения: изотропной и анизотропной. Изотропное распределение излучения не зависит от направления, что и принимается в работах К.Я. Кондратьева [82, 83], А. И. Кругловой [123]. Анизотропная модель, для которой были разработаны несколько подходов, рассматриваемых в работах В.В. Стадник и др. [173], T. Klucher [274], N. A. Kotey [281], K. Lee [283] и применительно к строительству в работе A. Prada [310].

В анизотропных моделях и соответствующих расчетах участвуют такие параметры, как степень перекрытия небосвода облаками R. Levinson [286], E.V. Korkina [279], эффект просветления к горизонту A. Islahi [246], T. Klucher [274],

внеатмосферная радиация J. Hay [240], поглощение радиации различными газами атмосферы R. Mueller [297], чистота атмосферы ISO/FDIS 52010-1 [252], неравномерное распределение радиации по небосводу в виде яркостной характеристики S.M. Ivanova [255] и др. Также существуют работы по объединению изотропной модели и анизотропной поправки S.M. Ivanova [256]. Изотропная модель удобна в практическом применении, однако определить границы допустимости ее использования очень сложно.

Для верификации методов расчёта поступающей солнечной радиации используются результаты ее измерений, при выполнении которых требуется дорогостоящее оборудование, которое должно быть сертифицировано должным образом, что позволят проводить измерения в основном только на метеорологических станциях (G.M. Abakumova [200]). На метеорологических станциях наблюдается хорошая сходимость результатов измеренных и рассчитанных значений солнечной радиации, в том числе для наклонных поверхностей [173] и различных условиях облучения [1, 2]. Как показано в работе [201], при выполнении вычислений солнечной радиации в городской среде, необходимо вводить поправочные коэффициенты к расчёту на такие факторы, как: рельеф местности, растительность, атмосферные воздействия, наличие зданий и др.

В работе [30] показано, что результаты измерений солнечной радиации могут согласовываться с результатами её расчета с некоторой погрешностью, в среднем равной 10%, что допустимо для инженерных расчетов. В работе В.В. Стадник, Е.В. Горбаренко и др. [173] проводился расчет поступающей солнечной радиации за отопительный период с помощью пиранометра (прибора для измерения радиации). Показано, что расчет поступления солнечной радиации при использовании изотропной модели в большей степени сходится с данными измерений за отопительный период. Таким образом, применение изотропной модели для расчетов теплопоступлений от солнечной радиации в отечественных нормативных документах [164, 165, 168] обосновано.

Также в практических целях для сравнения расчётов и измерений солнечной радиации применяются косвенные методы, например, измерение температуры

нагрева наружных поверхностей от солнечной радиации. Работ, рассматривающих рассчитанное и экспериментальное определение температуры нагрева наружной поверхности стен (R. Vanaga [329]), наклонных поверхностей (В.В. Стадник [173], J. Hay [240]) или кровли (G. Agugiaro [201]) от солнечной радиации, не так много. В работе З.И. Пивоваровой [145] рассматривается расчет температуры нагрева стены с учетом солнечной радиации, лучистого теплообмена, интенсивности воздухообмена между внутренним воздухом и наружной средой и термического сопротивления стен. Расчет при учёте всех факторов показал, что за счет нагрева от прямой солнечной радиации возможна прибавка в температуре наружной поверхности стены до 4 °С относительно расчёта без учёта солнечной радиации.

В той же работе [145] показано, что расчет по формуле А.М. Шкловера [187], учитывающей влияние только солнечной радиации, даёт близкие значения к авторскому расчёту из [145] при отрицательных температурах воздуха, и прибавку до 2 °С при положительных температурах воздуха. Различия объясняются тем, что в формуле А.М. Шкловера не учтены процессы теплообмена, учтенные в формуле З.И. Пивоваровой [145]. Однако, не обнаружено сопоставления расчетного и измеренного значений температуры нагрева наружной поверхности стены.

На основе отечественных разработок была составлена методика расчёта теплопоступлений от солнечной радиации, представленная в СП 345.1325800 [165], по среднегодовым значениям. Эта методика основана на расчете удельных характеристик потребления и поступления энергии в здание. Влияние солнечной радиации на потребление энергии зданием отмечается и в иностранных работах D. Yogi. Goswami [238], J. Hay [240], D. Heinemann [241], в том числе с учетом характеристик заполнений светопроемов [230, 298], указано, что разрабатываются методы регулирования поступления солнечной радиации в теплый период года [137, 203, 330].

В отечественных нормативных документах поступление солнечной радиации учитывается посредством удельной характеристики теплопоступлений в здание [168]. Удельная характеристика теплопоступлений от солнечной радиации в здание $k_{\text{рад}}$ за отопительный период рассчитывается по формуле [165, 168]:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11{,}6 \cdot Q_{\text{рад}}^{\text{оп}}}{V_{\text{от}} \cdot \text{ГСОП}}, \quad (1.5)$$

где $V_{\text{от}}$ – отапливаемый объем здания, м^3; ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, $^{\text{o}}$С·сут/год; $Q_{\text{рад}}^{\text{оп}}$ – суммарные теплопоступления через светопрозрачные конструкции и зенитные фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж/год, рассчитываемые по формуле:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{оп}} = \sum_j^J \left[I_j^{\text{вер}} \cdot \sum_{l=1}^{L} g_{jl} \cdot \tau_{2jl} \cdot A_{jl} \right] + I^{\text{гор}} \cdot \sum_{y=1}^{Y} g_y \cdot \tau_{2y} \cdot A_y , \quad (1.6)$$

где $I_j^{\text{вер}}$ – суммарная солнечная радиация за отопительный период для вертикальной поверхности, ориентированной по направлению *j,* МДж/год·м^2;

A_{jl}, A_y – площадь окон, ориентированных по направлению j, и зенитных фонарей, соответственно, м^2;

g_{jl}, g_{y} – коэффициенты общего пропускания солнечной энергии для окон, где l-индекс окон, расположенных на j-том фасаде, и зенитных фонарей, соответственно;

τ_{2jl}, $\tau_{2\text{y}}$ – коэффициенты, учитывающие потери солнечной радиации в переплетах оконных блоков и зенитных фонарей, соответственно;

J – количество фасадов в здании;

L_j – количество окон на j-том фасаде;

Y – количество зенитных фонарей.

Общая (прямая, рассеянная и отраженная) солнечная радиация на вертикальную поверхность (стены и окна), $I_j^{\text{вер}}$, МДж/год·м^2, при действительных условиях облачности за отопительный период определяется по формуле [165]:

$$I_j^{\text{вер}} = \sum_{i=1}^{m} I_{ji}^{\text{вер}} = \sum_{i=1}^{m} (S_{ji}^{\text{вер}} + D_i^{\text{вер}} + R_i^{\text{вер}}) = \sum_{i=1}^{m} (S_i^{\text{гор}} K_{\text{ГВ}\,ji} + D_i^{\text{гор}}/2 + I_i^{\text{гор}} \cdot Ak_i/200) . \quad (1.7)$$

В формуле (1.3) прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность, рассчитывается через солнечную радиацию, поступающую на горизонтальную поверхность, умноженную на коэффициент пересчета $K_{\text{ГВ}ji}$ [77]:

$$S_{ji}^{\text{вер}} = S_i^{\text{гор}} K_{ГВ\,ji} . \quad (1.8)$$

Рассеянная солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность, рассчитывается по формуле:

$$D_i^{\text{вер}} = D_i^{\text{гор}}/2\ . \qquad (1.9)$$

Отраженная солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность, рассчитывается по формуле:

$$R_i^{\text{вер}} = I_i^{\text{гор}} Ak_i/200\ . \qquad (1.10)$$

Для рассматриваемого города или местности следующие величины в формулах (1.7)-(1.10) определяются по таблицам 1.8-1.10 [140]:

$S_i^{\text{гор}}$ – прямая солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность в *i*-ый месяц ОП, МДж/м^2;

$D_i^{\text{гор}}$ – рассеянная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность в *i*-ый месяц ОП, МДж/м^2;

$I_i^{\text{гор}}$ – суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность в *i*-ый месяц ОП, МДж/м^2;

Ak_i – альбедо подстилающей поверхности в *i*-ый месяц ОП, МДж/м^2.

1.2.3 Параметры здания и его ориентации в расчётах проникающей солнечной радиации

В предыдущем разделе рассмотрены модели расчета солнечной радиации, поступающей к фасадам зданий. Однако существенное влияние на теплопотупления от солнечной радиации оказывают сами характеристики здания, т.е. его ориентация по румбам и заполнения свтопроёмов (формула (1.6)). Учёт характеристик здания при расчётах теплопоступлений от солнечной радиации имеет большое значение и рассматривается в отечественных В.Г. Гагарин [21], В.Н. Куприянов, Ф.Р. Седова [128], А.К. Соловьев [156, 157] и иностранных работах С.М. Ивановой [75], D. Yogi Goswami [238], G. Pernigotto [307]. Характеристики остекления, влияющие на пропускание солнечной радиации, учитываются в отечественных нормативных документах [138, 164, 165], и в иностранных нормативных документах [253, 254].

Многие исследователи определяют наиболее выгодное положение здания для оптимизации теплопоступлений от солнечной радиации в сочетании с рядом

параметров. Такие работы направлены на повышение энергосбережения в зданиях, при этом решаются задачи, характерные для данного климата - как увеличение (холодный климат), так и уменьшение (жаркий климат) теплопоступлений.

Так, в работе S.M. Ivanova [257] описывается программа расчёта, ранжирующая положения здания по поступлению солнечной радиации в зависимости от его конфигурации, расположения помещений внутри здания, и, соответственно, формирования выступов и углублений. Автор указывает, что помимо коэффициента компактности, необходимо учитывать величину теплопоступлений при выборе планировочных решений зданий.

Проводятся исследования характеристик здания, таких, как заполнения светопроемов А.К. Соловьёв [156], K.J. Kontoleon [276, 277], а также внутренние солнцезащитные устройства N. A. Kotey [281] и толщина наружной стены A. Kerekes [264].

Интересны работы по изучению влияния ориентации фасадов здания в совокупности с другими параметрами на величину теплопоступлений. Так, в работе K.J. Kontoleon [277] рассмотрена теоретическая модель помещения, в котором одна из стен полностью остеклена (вставлен образец стеклопакета), затем сравниваются теплопоступления и теплопотери с разными стеклопакетами и разными ориентациями модели помещения. Преимуществом данного метода является точность и достоверность расчётов, зависимость результатов от времени нагрева.

В работе J. Carmody 2012 [212] проводилось сравнение различного остекления применительно к климатическим зонам США и различной ориентации светопроемов, также имеющим различные характеристики теплопоступлений и теплопотерь. Рассмотрена возможность теплового дискомфорта вблизи остекления разного типа в летний период (рисунок 1.1).

Одним из результатов работы является существенное влияние параметров светопроемов, таких, как общий коэффициент пропускания солнечной радиации и коэффициент теплопередачи остекления на теплопоступления от солнечной радиации и теплопотери здания. Преимуществом метода является анализ теплового комфорта, который также сказывается на экономии энергии на кондиционирование.

Метод недостаточно описан математически и больше нацелен на внедрение программного обеспечения.

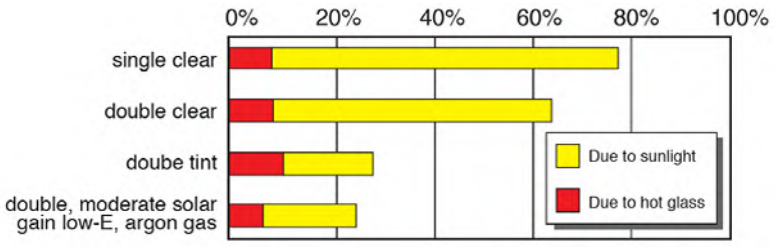


Рисунок 1.1 - Вероятность дискомфорта у окна летом [212]

В работе A. Prada и др. [310] территорию Европы разбили по ресурсам светового климата, применили различные модели расчёта солнечной радиации в каждом регионе, статистически сравнили результаты и выявили, что для всех моделей наибольшее влияние на поступление радиации оказывают характеристики окон и ориентация фасадов, что согласуется с расмотренными работами [212, 277].

Для жаркого климата различные авторы исследуют влияние конфигурации здания на снижение теплопоступлений от солнечной радиации и, как следствие, снижения нагрузки на систему кондиционирования. Эти работы могут быть полезны для применения в южных широтах России. В работе Lan Pan [282] на основе математического моделирования установлено, что возможно снизить установившуюся нагрузку охлаждения ограждающих конструкций здания на 12–42%, в зависимости от ориентации светопромов. В работе P.M. Esquivias [230] изучается баланс теплового нагрева от солнечной радиации и достаточное обеспечение дневным светом, т.к. указано, что перегрев помещения способствует установке внутренних солнцезащитных устройств и включению электрического освещения. В работе H. Takebayashi [324] рассмотрена защита от перегрева помещений зданий в летний период с помощью затенения фасадов растительностью и показана экономия энергии на кондиционирование воздуха. В некоторых работах рассмотрена возможность аккумуляции солнечной энергии с целью дальнейшего использования D. Yogi Goswami [238], D. Heinemann [241], O’Brien [304], что является перспективным направлением развития науки. Так, в

работе [305] рассмотрены способы аккумуляции солнечной энергии в стенах помещений здания.

Как показано, ориентации фасадов здания и заполнения светопроёмов существенно влияют на теплопоступления от солнечной радиации в помещения зданий.

1.2.4 Методы учёта влияния застройки при расчётах поступающей в помещение солнечной радиации

Попадание солнечной радиации в жилые помещения имеет большое гигиеническое значение. Первые работы в этом направлении были проведены датским ученым N. R. Finsen [147]. Будучи сам больным человеком, он обратил внимание на улучшение самочувствия при облучении солнечным светом. N.R. Finsen начал проводить исследования по фототерапии «красной волчанки» во время обучения в университете и добился успеха. Своими исследованиями он заложил основы фотобиологии. В 1903г. N.R. Finsen получил за свои работы Нобелевскую премию. В настоящее время исследования по фотобиологии продолжаются в Бостонском университете (США).

В отечественных нормах [154] регламентируется продолжительность инсоляции в помещениях зданий, в том числе жилых. Вся территория Российской Федерации разбита на три зоны по широте, и в каждой из этих зон устанавливается наименьшая допустимая продолжительность инсоляции для многокомнатных квартир и количество комнат, в которых нормируется эта продолжительность в определенные периоды года. Впервые нормы продолжительности инсоляции установлены в РФ в 1963 году, благодаря работам Б.В. Дунаева [56], Н.М. Гусева [47], Н.М. Данцига [49, 50, 51] и др. В отечественных нормах [154] продолжительность инсоляции принято определять по графикам изменения солнечных координат, и она нормируется для широт севернее 58° с.ш. не менее 2 часа, для широт 48° – 58° с.ш. не менее 1,5 часа, для широт менее 48° не менее 2 час. В 1963 году нормируемая продолжительность инсоляции была больше этих величин. Большие значения нормируемой продолжительности инсоляции

рекомендуются в работах медиков [49, 181]. В [189] приведены нормативные данные по продолжительности инсоляции жилища и других помещений в России и других странах (таблица 1.1). В [61, 70, 101, 122, 129, 149, 151, 181, 182, 196, 206, 224, 225, 233, 287] приведены обоснования данных по нормируемой продолжительности инсоляции и времени ее определения, приведенные в нормах различных стран: Германии, Англии, Италии, Швеции, Нидерландах, Чехии, Словакии, Словении, Украине, Китае, Монголии, Беларуси и Польши (таблица 1.1). Эти исследования показали, что продолжительность инсоляции имеет важное медицинское значение и ее продолжительность нормируется во всех развитых европейских странах.

Таблица 1.1 – Требования к продолжительности инсоляции жилища

Страна	Диапазон географи-ческих широт	Нормы продолжительности инсоляции		
		Период года	Расчетный день	Продолжительность инсоляции
1	2	3	4	5
Компендиум ЕЭК [26]	—	с 20 марта по 22 сент.	—	2 ч
Россия [1]	Севернее 58° с.ш.	с 22 апр. по 22 авг.	22 авг.	2ч 30 мин
	севернее 58° с.ш.	с 22 апр. по 22 авг.	22 авг.	2 ч
	48°-58°с.ш.	с 22 марта по 22 сент.	22 сент.	2 ч
	48°-58°с.ш.	с 22 марта по 22 сент.	22 сент.	1 ч 30 мин
	южнее 48° с.ш.	с 22 февр. по 22 окт.	22 февр.	41 ч 30 мин
Германия	47° - 55° с.ш.	с 21 марта по 21 сент.	21 марта	4 ч
		—	17 янв.	1 ч
Англия [2]	49,6° - 60,5° с.ш.	с 21 марта по 21 сент.	21 марта	25% от возм.врем. инсол. в год
		с 21 сент. по 21 марта	—	5% от возм.врем. инсол. в год
Франция	39° - 54° с.ш.	с 13 марта- по 28 сент.	—	2 ч
Италия	37° - 47° с.ш.	с 19 февр. по 21 окт.	—	2 ч
Швеция	55° - 69° с.ш.	—	20 марта и 22 сент.	5 ч

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5
Нидерланды	51° - 53° с.ш.	с 19 февр. по 21 окт.	—	2 ч
		с 21 янв. по 22 ноября	—	3 ч
Чехия [3]	48,3° - 51° с.ш.	с 10 февр. по 21 марта	1 марта	1 ч 30 мин
Словакия [4]	48,3° – 48,9° с.ш.	01 марта по 13 окт.	—	1 ч 30 мин
			—	1 ч
Словения	46,09° – 46,15° с.ш.	—	21 марта; 23 сент.	3 ч
		—	21 дек.	1 ч.
Польша	49° - 54° с.ш.	—	21 марта; 21 сент.	1ч 30 мин
Китай	21° – 53,3° с.ш.	—	11-13 янв.	2 ч
Монголия	севернее 48 ° с.ш.	с 22 марта по 22 сент.	22 марта; 22 сент.	2 ч 30 мин
	южнее 48° с.ш.	с 22 февр. по 22 окт.	22 февр.; 22 окт.	2 ч
Беларусь	—	с 22 марта по 22 сент.	22 марта; 22 сент.	2 ч
Украина	—	с 22 марта по 22 сент.	22 марта; 22 сент.	2 ч 30 мин

Примечание: [1]- учитываются теневые углы; [2] - учитываются погодные условия. [3]- в методике расчета инсоляции фиксируется горизонтальный теневой угол равный 25º, что соответствует потере как минимум 40 минут инсоляции; [4] - фиксируется горизонтальный теневой угол равный 25º, потеря 40 минут инсоляции.

Влияние застройки на поступление прямой солнечной радиации к фасадам зданий рассматривается в отечественных работах Р.Л. Каган [76] и Л.П. Клягиной [81], Г.Б. Пигольциной [146], при этом расчеты проводятся для бесконечно длинной улицы, т.е., когда Солнце не может светить сбоку от противостоящего здания. Между тем, для полного учета влияния противостоящего здания необходимо рассматривать все периоды облучения исследуемого фасада, как при определении длительности инсоляции помещений зданий.

В основном иностранные работы по учёту прямой солнечной радиации направлены на расчёт коэффициентов затенения. Так, в работе K. Lee и G. Levermore [285] применяется объектив «рыбий глаз» для определения затенения

горизонтальной поверхности зданиями, а затем вычисляются коэффициенты обзора неба и коэффициента облученности: отношение наблюдаемого количества часов облучения к максимально возможному. Применение метода адаптировано к вертикальным фасадам. Данный метод прост в реализации, однако не является универсальным.

В ряде иностранных работ представлены методы, реализуемые исключительно программно для определения затенения прямого излучения K. Källblad [259], S.M. Ivanova [257]. В некоторых работах проводится оценка затенения прямого излучения солнцезащитными козырьками W. Marion и S.Wilcox [294], а также учет изменения положения Солнца по часам в течение дня для определения нагрева помещения: P.M. Esquivias [230] и экономии энергии на отопление S. Khosla [265]. Исследования подтверждают важность учёта всех периодов облучения фасада при расчётах прямой солнечной радиации.

Расчет поступающей рассеянной радиации при наличии противостоящего здания осуществляется на основе специального рассмотрения перекрытия небосвода и описан в ряде работ. В работе Г.Б. Пигольциной [146] рассмотрена методика расчёта рассеянной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность при закрытом горизонте, при учёте её анизотропности. При этом отсутствует адаптация к практике. В работе К.Я. Кондратьева [83] проводится интегрирование по небесной полусфере поступления рассеянной радиации в центр небесной полусферы для открытого горизонта. В иностранных работах S.M. Ivanova [255] учитывается влияние противостоящих зданий на поступление анизотропной рассеянной солнечной радиации с использованием стереографической проекции небосвода. Предлагаемая модель может обеспечить хорошую точность расчётов, однако она имеет исключительно программную реализацию.

В условиях городской застройки противостоящие здания отражают часть поступающей на них солнечной радиации, что может быть существенно в солнечном климате для фасадов, обращенных на север, напротив которых находится фасад, обращенный на юг, к тому же имеющий, например,

солнцезащитное остекление. Так, в работе R. Levinson [286] вводится отношение поступающей солнечной радиации при наличии и отсутствии противостоящего здания. Показано, что при наличии значительной отраженной радиации происходит экономия энергии на отопление и вентиляцию в доме на 31%.

Как и в случае поиска оптимальной конфигурации зданий для снижения нагрузки на систему кондиционирования жарком климате (раздел 1.2.2), в иностранных работах в основном проводятся исследования по повышению отраженной радиации для уменьшения перегрева. Так, в работе R. Levinson [285] показано, что повышение городского альбедо увеличивает долю солнечного света, возвращаемого в космическое пространство, охлаждая помещения зданий, рассматриваются коэффициенты отражения наружных отделочных материалов. В работе N. L. Alchapar (Аргентина) [202] изучается влияние фасадных материалов на повышение температуры в городах. Устанавливается влияние морфологических характеристик, таких, как цвет, состав, отделка и текстура, на тепловое поведение и реакцию на старение фасадных красок и текстурированных облицовочных материалов. Показано, что фасадные краски более эффективно отражают излучение, чем текстурированные покрытия. В работе Y. Zhang (Китай) [335] рассматривается применение специальных светоотражающих фасадных материалов на уменьшение нагрузки на систему кондиционирования. Влияние остекления с различными отражающими покрытиями на затраты на кондиционирование в жарком и сухом климате Индии рассмотрено в работе S. Shaik [321]. В работе греческого автора K.J. Kontoleon [277] показана важность учёта свойств по отражению и пропусканию остекления при различной ориентации фасадов, отмечается важность энергосбережения при разработке систем отопления и кондиционирования воздуха.

1.3 Методы учёта факторов, влияющих на естественное освещение в помещении при открытом горизонте и при наличии застройки

1.3.1 Значимость проектирования естественного освещения для комфортного микроклимата помещений зданий и сбережения энергии

При проектировании современных зданий особое внимание уделяется вопросам энергосбережения. Одним из параметров, рассматриваемых в качестве потенциального источника сбережения энергии, является естественное освещение помещений зданий, что показано в работах Е.В. Горбаренко [27, 29, 173] и А.К. Соловьёва [158, 159, 160, 183]. При достаточном уровне естественного освещения происходит экономия электроэнергии на искусственное освещение, а также оказывается положительное влияние на самочувствие людей, находящихся в помещении. Однако, при проектировании естественного освещения следует учитывать, что от размеров светопроемов зависит величина трансмиссионных теплопотерь через окна и нагрузка на систему отопления и вентиляции. Методы расчёта естественного освещения помещений зданий, обеспечивающие достаточный уровень освещённости в помещении и приемлемую величину теплопотерь через светопроёмы, формировались в течение длительного периода трудами различных исследователей. Так, английским ученым R. Hopkinson [242] в конце пятидесятых годов прошлого столетия было доказано, что в помещениях, имеющих дефицит естественного света, невозможно обеспечить комфортную световую среду путем простого увеличения времени использования обычной системы искусственного освещения в светлое время суток, т.к. в подавляющем большинстве случаев интенсивность, цветность и другие параметры этой системы плохо сочетаются с параметрами естественного освещения и в связи с этим отрицательно оцениваются людьми, работающими в помещении.

Исследования, проведенные R. Hopkinson и E. Ne’eman в 1970 г. по этому вопросу [301] показали, что для обеспечения нормальной визуальной связи с наружным пространством площадь окон должна составлять не менее 1х16 от площади пола. Эта закономерность должна учитываться при определении

минимальной площади световых проемов в глубоких помещениях с постоянным дополнительным освещением и окнами в одной из наружных стен.

Было также установлено Н.Н. Киреевым [78], что для визуального контакта с наружным пространством ширина окон в большинстве случаев имеет большее значение, чем их высота. В небольших помещениях отношение ширины окна (или суммарной ширины всех окон) к глубине рабочей зоны помещения должно быть, как правило, не менее 0,5.

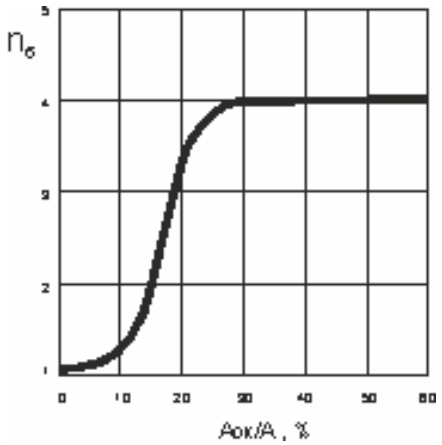


Рисунок 1.2 – Результаты субъективной оценки освещения в баллах ($n_Б$) в зависимости от отношения площади световых проемов ($A_{ок}$) к площади наружной стены (А), % [78]

Вопрос о минимальных размерах световых проемов в помещениях с боковым освещением, обеспечивающих удовлетворительную визуальную связь с наружным пространством, нашел отражение в работах Ю.Б. Айзенберга [3], В.К. Лицкевича [132], J.Bennett [204], C. Collingro [218], R. Kittler [271], T. Miyazaki [295], E. Ne´eman [300], G. Pleijel [309], анализ которых показывает, что при решении этого вопроса необходимо также учитывать наряду с геометрическими параметрами помещения, характеристики функциональных и зрительных процессов в помещении, а также особенности наружного пространства, которое обозревается через световые проемы, а также учитывать объемно-планировочное решение здания, характер зрительной работы, ориентацию световых проемов по сторонам горизонта. В ряде работ учитывается форма здания для оптимизации поступления

дневного света, теплового и визуального комфорта (Yuan Fang [231], Kang Hao Cheong [216]), эффективность дневного освещения в офисных зданиях Maltais L.-G. [288], влияние планировки помещений на энергетические показатели офисных зданий в различных климатических условиях T. Du [223].

В отечественных нормативных документах [166, 169] отношение площади окон к площади пола было рассчитано в зависимости от минимального значения КЕО в расчётной точке помещения:

$$100 \cdot \frac{S_{\text{ок}}}{S_{\text{пола}}} = \frac{e_{\text{н}} \cdot \eta_0 k_{\text{з}}}{\tau_0 \cdot r_0} \ , \qquad (1.11)$$

где: $S_{\text{ок}}$, $S_{\text{пола}}$ – площадь пола окон и пола, м^2;

$e_{\text{н}}$ – нормируемое значение КЕО, т.е. минимальное значение в расчётной точке, %; τ_0 – общий коэффициент светопропускания окна; r_0 - коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении, благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию; $k_{\text{з}}$ – коэффициент запаса; η_0 – световая характеристика окон, представленная в табличном виде.

Для упрощения расчетов по формуле (1.11) в [166] были построены графики для определения площади световых проемов в зависимости от параметров помещения и нормируемого значения КЕО, $e_{\text{н}}$.

1.3.2 Отечественные методы расчёта КЕО

Ввиду большой изменчивости наружной освещённости, в российской проектной практике принято рассчитывать относительную величину освещённости в помещении при помощи коэффициента естественной освещенности (КЕО) – для пасмурного неба. КЕО представляет собой отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба E_M, к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности под открытым полностью небосводом E_H, выраженное в процентах:

$$e_M = (E_M / E_H) \cdot 100\% \ . \qquad (1.12)$$

Метод расчета КЕО содержится в СП 367.1325800.2017 [166]. Разработка этого метода начиналась в 30-х годах 20-го века и основывалась на работах А.А. Гершуна [25], А.М. Данилюка [48] , Н.М. Гусева [44, 45, 46], Н.Н. Киреева [77, 78, 79, 80], В.А. Земцова [60], А.К. Соловьева [160, 162] и др.

Расчет коэффициента естественной освещенности (КЕО) следует производить по формуле [166, 169]:

$$e_p^{б} = C_N\left(\sum_{i=1}^{L} \varepsilon_{бi} q(\gamma)_i + \sum_{j=1}^{M} \varepsilon_{здj} b_{фi} k_{здj}\right) r_0 \tau_0 MF, \qquad (1.13)$$

где C_N – коэффициент, учитывающий особенности светового климата, принимают по таблице 5.1 [169], данные которой в сокращенном виде приведены в таблице 1.2, в зависимости от номера группы административных районов Российской Федерации;

L – число участков небосвода, видимых через световой проем из расчетной точки;

$\varepsilon_{бi}$ – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет от i-го участка неба, определяемый по графикам А.М. Данилюка I и II;

$q(\gamma)_i$ – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость i-го участка неба для пасмурного неба МКО согласно [34]:

$$q(\gamma) = 0{,}429(1 + 4(exp(-0{,}7/\sin\gamma))), \qquad (1.14)$$

где γ – угол возвышения Солнца над горизонтом i-го участка облачного неба, град.;

M – число участков фасадов зданий противостоящей застройки, видимых через световой проем из расчетной точки;

$\varepsilon_{здj}$ – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий свет, отраженный от j-го участка фасадов зданий противостоящей застройки, определяемый по графикам А.М. Данилюка I и II;

$b_{фj}$ – средняя относительная яркость j-го участка противостоящего (экранирующего) здания;

r_0 – то же, что в (1.11);

MF – коэффициент эксплуатации;

$k_{ЗДj}$ - коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий.

τ_0 - общий коэффициент светопропускания.

Общий коэффициент светопропускания, τ_0, определяется из выражения [169]:

$$\tau_0 = \tau_1\tau_2\tau_3\tau_4, \quad (1.15)$$

где τ_1 - коэффициент светопропускания стекла (раздел 1.4.1);

τ_2 - коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема (раздел 1.4.3);

τ_3 - коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях, при боковом освещении $\tau_3 = 1$;

τ_4 - коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах ;

$K_з$ – коэффициент запаса.

Формула (1.13) применяется при боковом освещении. Для верхнего естественного освещения методы расчета были предложены Н.Н. Киреевым [79], В.А. Земцовым [60], С.В. Стецким [174, 175], К.О. Ларионовой [131] и др.

Коэффициент r_0 в формуле (1.13) определялся экспериментально в отечественных работах [44, 79]. Исходя из выражения суммирования освещенности внутри помещения:

$$E_M = E_{прямая} + E_{отраженная}\,, \quad (1.16)$$

$$e_M = e_{прямой} + e_{отраженный}\,, \quad (1.17)$$

$$e_M = e_{прямой} \cdot \left(1 + \frac{e_{отраженный}}{e_{прямой}}\right) = e_{прямой} \cdot r_o\,. \quad (1.18)$$

Изменение коэффициента r_0 изучалось на установке искусственный небосвод в зависимости от размеров и отражательных свойств поверхностей помещения. В настоящее время r_0 определяется таблично согласно СП 367.1325800.2017 [166].

За границей методы расчёта КЕО развивались в работах P. Moon и D.E. Spencer [296], J. Mardaljevic [289, 290, 291, 292], P.R. Tregenza [326, 328]. Расчёт КЕО содержится в иностранных нормативных документах. В Великобритании по BS 8206-2 [218] рассчитывается средний КЕО по помещению, а в Германии КЕО определяется по DIN 5034-1:2021-08 [221] в отдельных точках помещения.

В формуле (1.13) коэффициент светового климата - коэффициент, учитывающий особенности светового климата. РФ отличается от других стран большим разнообразием условий природного освещения, поэтому задача учета особенностей светового климата при расчете и проектировании естественного освещения была впервые поставлена в нашей стране.

В решение этой задачи наибольший вклад внесли Гусев Н.М., Никольская Н.П. [45], Киреев Н.Н. [77, 79]. Разработанные ими методы основывались на светоклиматическом зонировании территории РФ и нахождении поправочных светоклиматических коэффициентов к нормированным для районов Москвы величинам коэффициента естественной освещенности. Значение КЕО определялось по формуле:

$$e_{\text{р}} = m \cdot e_{\text{н}} \,, \tag{1.19}$$

где $e_{\text{н}}$ – нормируемый коэффициент естественной освещенности для рассматриваемого района строительства.

При этом коэффициенты светового климата определялись на основе сравнения количества естественного освещения в рассматриваемом районе с количеством освещения в Москве:

$$m = \frac{H_{\text{М}}}{H_{\text{р}}} \,, \tag{1.20}$$

где $H_{\text{р}}$, $H_{\text{М}}$ - количество естественного освещения в рассматриваемом районе и в Москве за год, соответственно, клк.

В ряде работ рассматриваются различные аспекты, которые следует учитывать при расчёте коэффициентов светового климата: различные типы неба в работах Земцова В.А. [72], Гукетлова Х.М [43], динамическая оценка дневного освещения во времени и пространстве в работе Solovyov A. K. [322].

В настоящее время в нормативных документах коэффициент светового климата присутствует в формуле расчета КЕО (1.13) в виде показателя C_N и является величиной, обратной коэффициенту m, рассчитанной для пасмурного неба.

Таблица 1.2 – Коэффициенты светового климата, C_N

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата				
		Номер группы административных районов				
		1	2	3	4	5
В наружных стенах зданий	С	1	1,11	0,91	0,83	1,25
	З-В	1	1,11	0,91	0,91	1,25
	Ю	1	1,18	1,00	0,91	1,33

Из данных таблицы 1.2 видно, что коэффициенты светового климата зависят от группы района по ресурсам светового климата, а также от ориентации светопроема. Однако, на территории России наблюдается различная облачность даже внутри одной группы районов (п. 1.3.5), поэтому вычисление указанных коэффициентов следует проводить для городов более локально с учётом различной облачности небосвода, что повысит точность расчётов естественного освещения помещений, повлияет на выбор заполнений светопроемов и, тем самым, поспособствует экономии энергии на отопление и вентиляцию зданий и искусственное освещение.

1.3.3 Целевой КЕО

Как указывалось, при расчёте КЕО принимается пасмурное небо, при котором распространение солнечного излучения описывается изотропным распределением в пространстве. Существует другой подход к оценке достаточности уровня естественного света – не по относительной величине освещённости, а по абсолютной. При этом состояние небосвода может быть любым: ясное, промежуточное, пасмурное. При этом, согласно современному подходу J. Mardaljevic и J. Christoffersen [291] производится динамическая оценка естественного освещения в течение дня по площади рабочей поверхности помещения.

В европейском нормативном документе EN 17037 [226] заданы три уровня эффективности нормирования естественного освещения в помещении: низкий,

средний и высокий. Для каждого из уровней определяется целевой и минимальный КЕО. Целевой КЕО, DF_T, характеризует достаточную освещенность, а минимальный КЕО, DF_{TM} - равномерность освещённости. Для никого уровня освещенности принимаются следующие значения показателей: DF_T = 300 лк, DF_{TM} =100 лк, для среднего: DF_T = 500 лк, DF_{TM} =300 лк, для высокого: DF_T = 700 лк, DF_{TM} =500 лк. Кроме того, задаются требования к динамичности освещённости: при боковом освещении целевая освещённость должна обеспечиваться на 50% площади помещения, как минимум половину дня. Минимальные требования должны обеспечиваться на 95% площади помещения в течение половины дня. При этом для помещений с верхним светом требование целевого КЕО должно выполняться для 95% площади. Значимая площадь пола - это вся регулярно занимаемая площадь пола, меньшая зоны периметра на 0,5÷1 м [291, 292, 244].

Различные исследователи изучают вопрос динамической оценки естественного освещения в помещении [293, 299, 302, 316, 320]. На основе этих исследований в стандарте [226] приводится ссылка к расчёту динамического распределения освещенности, основанной на климатических данных для конкретной местности за целый год. Динамическое распределение освещенности рассчитывается программным способом с учётом реальной погоды и графически показывают процент рабочего времени в помещении, когда обеспечивается требуемая естественная освещённость, DF_T.

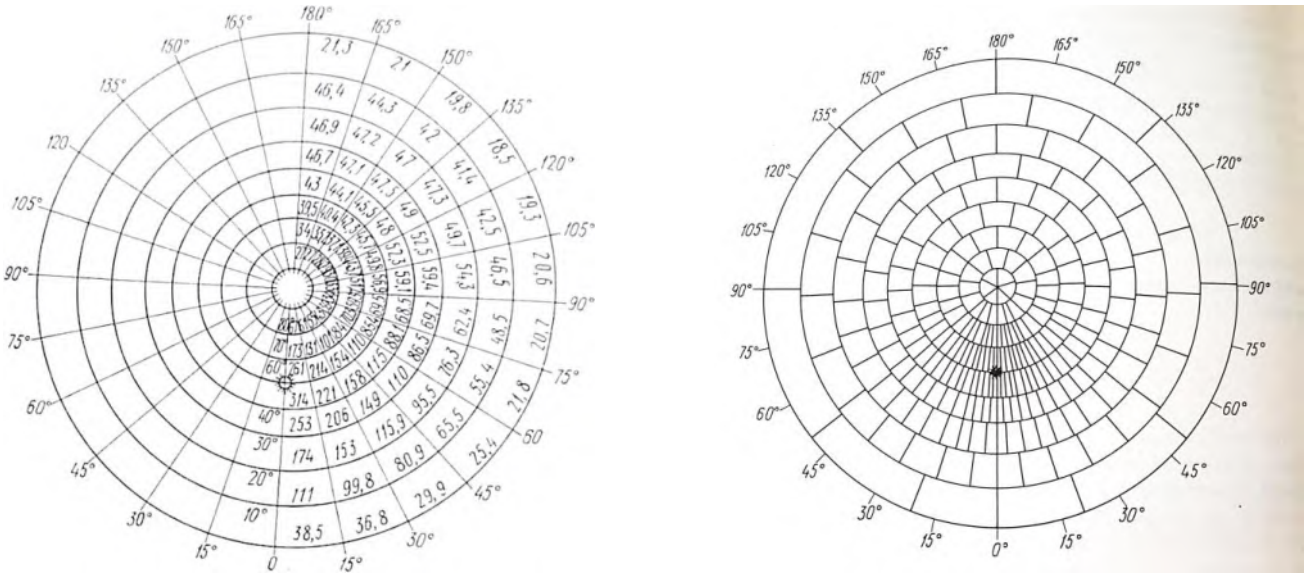
Таким образом, требуется разработка отечественных методов определения распределения естественной освещённости в различных точках помещения с учётом её изменения во времени (динамическая освещенность). Далее рассматриваются подходы, которые можно применить для расчёта динамической естественной освещённости в помещении.

1.3.4 Построение проекций небосвода для определения неравномерности распределения параметров дневного света

Как показано выше, при расчёте естественного освещения следует учитывать неравномерность распределения освещенности на небосводе, для чего строятся проекции небосвода на горизонтальную плоскость.

1. Равнопромежуточная проекция и проекция, дающая равную освещенность.

В работе Н.Н. Киреева и Л.Т. Карданова [80] заложены основы метода, а в работе И.Н. Марантиди и А.И. Смирнова [136] усовершенствованы два метода расчета освещенности участков безоблачного небосвода (рисунок 1.3). В первом случае небосвод разделен на участки с шагом 150 по азимуту и 100 по угловой высоте с различной освещенностью. Во втором случае – неравномерный шаг разделения, но участки имеют равную освещенность. При сравнении двух методов расчета на примере помещения с одним светопроемом показано, что расхождения в расчетах освещенностей, создаваемых участками видимого небосвода в помещении, не превышают 10%.



а) Участки элементарных освещенностей (вариант 1)

б) Участки равных освещенностей 60 лк (вариант 2)

Рисунок 1.3 - Разделение небосвода на участки. Стереографическая проекция небосвода для угловой высоты Солнца 50°

2. Разделение небосвода на сегменты.

Основы разделения небосвода на сегменты заложены в работах Tregenza P.R. [327, 328]. Полусфера разделена на полосы, параллельные горизонту, которые образуют вертикальный угол π/15 радиан (12°). Каждая полоса подразделяется по азимуту на четное число, которое дает ширину присоединенной зоны, наиболее близкую к 0,2 радиана на его средней высоте. В результате получается 151 зона. Строятся круговые сегменты, которые покрывают 71% небосвода (рисунок 1.4). Аналогичный подход представлен в работе J. Mardaljevic [292], предлагается разделение небосвода на 145 участков.

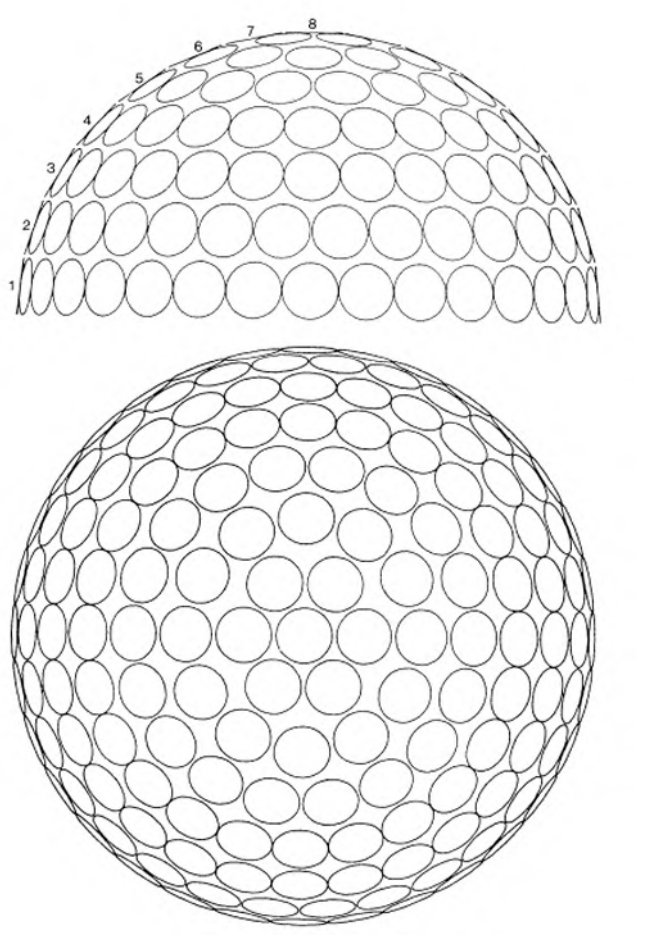


Рисунок 1.4 – Покрытие небосвода 151 круговым сегментом

В работе авторов S. Subramaniam и R. Mistrick [323] сравнивается подход к разделению небосвода на сегменты по P.R. Tregenza [328] и по J. Mardaljevic [292] с адаптацией C.F. Reinhart и O. Walkenhorst [317] (рисунок 1.5).

По предложенным схемам проводились расчёты освещённости в различных точках модельного помещения с учетом солнечного сияния. Показано, что модель J. Mardaljevic [292] точнее учитывает положение Солнца.

3. Стереографическая проекция.

Рассматривается в работах Ivanova S. M. [256, 257] и имеет структуру, которую можно реализовать только программным способом. Метод состоит в следующем: фиксируется стереографическая проекция купола небосвода над исследуемой точкой. Данная проекция разбивается на зоны, для каждой из которых рассчитываются анизотропные факторы. Затем тремя способами вычисляется рассеянная радиация, поступающая в исследуемую точку. Достоинством метода является предполагаемая точность оценки поступающей рассеянной радиации, т.к учитывается множество конфигураций застройки и анизотропная поправка. Однако, метод имеет исключительно программное исполнение, т.к. необходимо создавать стереографические проекции, проводить расчёт анизотропных факторов для каждого конкретного случая.

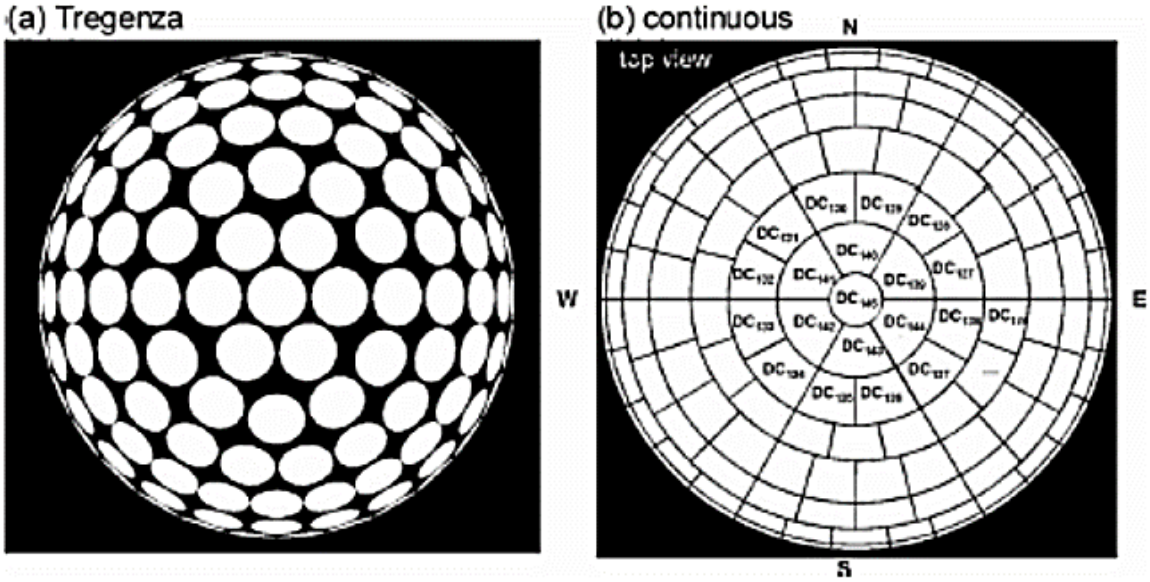


Рисунок 1.5 – Разделение небосвода на сегменты по Tregenza P.R. [328] (слева) и Mardaljevic J. [289] (справа)

1.3.5 Расчет освещенности из распределения яркости по небосводу согласно российским и иностранным работам

Основными характеристиками, определяющими ресурсы светового климата места строительства, являются яркость небосвода, режим облачности, прозрачность атмосферы. Исследованием распределения яркости по облачному небу посвящены работы P. Moon, D.E. Spencer [296], R. Perez [306], P. Petherbridge [308], Н.Г. Болдырева [13, 14], R. Kittler [270, 272, 273], H.H. Kimball [266, 267]. Наибольшее распространение получило распределение яркости по облачному небу Муна П. и Спенсер Д. [296]:

$$S(\theta) = (1 + 2\cos\theta)/3\ . \qquad (1.21)$$

Затем, с появлением целого ряда аппроксимаций распределения яркости по небосводу Kittler R. [268], Darula [220], Tregenza P. R. [327], Kocifaj M. [275], Igawa N. [245] возникла необходимость выбора и стандартизации одной функциональной зависимости распределения относительной яркости для возможности сопоставления результатов расчета естественной освещенности, производимых в разных странах. Поэтому Международная комиссия по освещению (МКО) рекомендовала два стандартных состояния небосвода - облачное небо МКО 1955 г. и ясное небо МКО 1969 г. В качестве ясного неба МКО принято распределение по небосводу, предложенное R. Kittler [273]:

$$S\left(\theta, \alpha, h_{\odot}, A_{\odot}\right) = \frac{\varphi(\theta) f(\xi)}{\varphi(0) f(h_0)}, \qquad (1.22)$$

где θ, α – зенитное расстояние и азимут рассматриваемой точки небосвода;

$h_{\odot}$, $A_{\odot}$ – соответственно, высота стояния и азимут Солнца;

$\varphi(\theta)$, $\varphi(0)$ – функция точки на небосводе и в зените, соответственно;

$f(\xi)$, $f(h_0)$ – стандартная индикатриса рассеяния для точки на небосводе и в зените, соответственно.

В РФ в решение задачи учета особенностей светового климата при расчете и проектировании естественного освещения наибольший вклад внесли Гусев Н.М. [45, 46], Киреев Н.Н. [78]. Разработанные ими методы основывались на светоклиматическом зонировании территории РФ и нахождении поправочных

светоклиматических коэффициентов к нормированным для Москвы величинам (1.20).

В работе Савельева О.Л. [150] показано, что светоклиматические особенности района строительства целиком определяют режим облачности, который существенным образом меняет картину широтного распределения прихода световой энергии на земную поверхность. Полученные на метеорологических станциях данные многолетних наблюдений [140] показывают, что даже в двух расположенных рядом географических пунктах режим облачности носит совершенно различный характер. Это объясняется зависимостью режима облачности от рельефа местности, характера подстилающей поверхности и других климатообразующих факторов. В работах А.К. Соловьёва [160, 161, 162] и N.T.K. Phuong [183, 303], В.А. Земцова [69, 334], G. Gillette [237] также показано влияние режима облачности на естественное освещение помещений зданий. При этом облачность различной бальности сложным образом воздействует на суммарный световой поток, поступающий на земную поверхность.

В странах Европы также изучаются вопросы распределения яркости по небосводу при разных режимах облачности в расчётах естественного освещения [209, 217, 219]. С целью более полного и детального учета светового климата при проектировании систем естественного освещения Международная комиссия по освещению разработала и приняла стандарт ISO15469/CIES011/E-2003 «Пространственное распределение естественного освещения», в русском варианте [34], в котором принято распределение вида (1.22) при изменении коэффициентов в функциях $\varphi(\theta)$, $\varphi(0)$ и $f(\xi)$, $f(h_0)$.

Исследования по стандарту [34] проводились в отечественной работе В.А. Земцова, А.К. Соловьева и И.А. Шмарова [72], где проведены расчёты распределения яркости для различных типов неба для г. Москвы и г. Хабаровска и указано дальнейшее развитие методов расчёта с использованием стандарта [34] для локального светоклиматического районирования территории России и уточнения коэффициентов светового климата в нормах естественного освещения.

Стандарт предназначен для двух целей:

- он является универсальной основой для классификации распределения яркости неба;

- он дает метод расчета яркости для проектной практики, что показано в работе В.А. Земцова, А.К. Соловьева и И.А. Шмарова [72].

Согласно стандарту [34] распределение яркости по небосводу описывается 15-ю типами неба, которые подразделяются на 6 групп по градации яркости от пасмурного неба до ясного неба. При этом стандартом задается распределение относительной яркости по небосводу в зависимости от координат Солнца (рисунок 1.6). В свою очередь координаты Солнца зависят от географической широты места, даты и времени. Поэтому распределение относительной яркости следует проводить для рассматриваемых городов по месяцам года, конкретной даты месяца и времени суток.

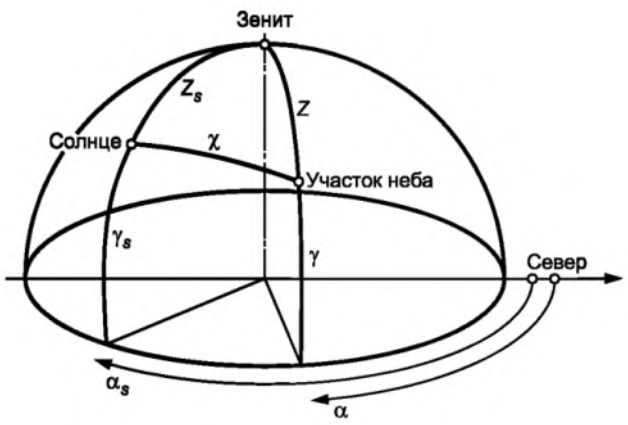


Рисунок 1.6 − Углы, определяющие положение Солнца и участка неба

В работе [269] авторами стандарта [34] подробно рассматриваются расчетные формулы абсолютного значения яркости в зените для каждого типа распределения относительной яркости. Расчёты по стандарту широко применяются авторами в различных исследовательских целях: как моделирование распределения яркости с различными индикатриссами рассеяния в работе Budak V.P. [210], так и сравнение рассчитанных и измеренных параметров дневного света в работе Zi Y., Sun C., Han Y. [337].

1.3.6 Расчет освещенности из поступающей солнечной радиации

Непосредственные измерения освещенности требуют специальной аппаратуры. Для получения надежных климатических данных радиационные измерения должны производиться по крайней мере в течение 10-летнего периода, что показано в работе О. Д. Бартеневой [5].

Одним из методов, с помощью которого можно получить информацию о световом режиме того или иного географического пункта без постановки специальных наблюдений над естественной освещенностью, может служить пересчет данных актинометрических наблюдений над интенсивностью солнечной радиации в величины освещенности с помощью светового эквивалента радиации.

Световым эквивалентом радиации принято называть отношение величины освещенности в тысячах люксов к одновременному значению интенсивности радиации. Его можно рассчитать, зная спектральный состав радиации Солнца I_λ и спектральную чувствительность нормального человеческого глаза – кривую видимости, V_λ, из выражения [5]:

$$K = \frac{\int_{380}^{780} I_\lambda \cdot V_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda d\lambda}. \qquad (1.23)$$

Определению величины светового эквивалента посвящено много исследований. Так, в работе Black J.N. [205] приводятся формулы для определения светового эквивалента в зависимости от облачности различной бальности и подстилающей поверхности (снег, трава). В отечественной работе Горбаренко Е. В. и соавторами [29] также приводится формула для расчёта светового эквивалента на основе данных современных наблюдений МО МГУ. Наблюдения в течение длительного периода по всей территории РФ приведены в работе О. Д. Бартеневой [5], где световой эквивалент представлен для прямой, суммарной и рассеянной радиаций в табличном виде от угловой высоты Солнца и облачности (таблица 1.3). В таблице 1.3 значения световых эквивалентов из работы [5] переведены в лм/Вт.

Таблица 1.3 − Световой эквивалент (лм/Вт) прямой, суммарной и рассеянной радиации в зависимости от высоты Солнца $h_{\odot}$, град., и облачности, баллы

$h_{\odot}$, град	Прямая радиация	Суммарная радиация	Рассеянная радиация		Суммарная радиация
	Обл. 0-3 б.	Обл. 0-6 б.	Обл.0-6 б.	Обл.1-10 б.	Обл. 3-10 б.
10	71	90	118	116	104
20	81	95			
30	90	98			
40	95	101			
50	99	103			
60	101	103			
70	103	104			
75	103	104			

Данные таблицы 1.3 показывают, что значения светового эквивалента рассеянной радиации изменяются в более широких пределах, чем значения светового эквивалента прямой и суммарной радиации, поскольку рассеянная радиация обладает значительно большей чувствительностью к аэрозольному состоянию атмосферы.

Указанные в таблице 1.3 величины световых эквивалентов, полученные на территории РФ в течение многолетних наблюдений, планируется использовать для пересчета значений суммарной солнечной радиации в освещённость.

1.4 Влияние светопрозрачных ограждающих конструкций на теплофизические и светотехнические условия помещения

Общий коэффициент пропускания света, τ_0, см. формулу (1.15) п. 1.3.2 оконного блока зависит от материала и площади светопрозрачного заполнения, общей площади оконных переплетов и от их конфигурации. Он определяется экспериментально в лабораторных установках на образцах оконных блоков в натуральную величину [32]. К достоинствам экспериментального метода определения общего коэффициента пропускания света можно отнести его высокую точность, зависящую только от приборов определения.

Однако, экспериментальные исследования сталкиваются со значительными трудностями, связанными с транспортировкой оконных блоков к месту испытания

и их монтажом. Сложность представляет также дороговизна эксплуатации лабораторной установки. Кроме того, для проведения экспериментальных исследований приходится изготавливать образцы каждого из типов блоков в трех экземплярах, которые в процессе проведения эксперимента теряют товарный вид и становятся непригодными для эксплуатации. Также в настоящее время выпускается большое количество энергосберегающих стекол, входящих в состав стеклопакетов. Данные стекла имеют различные светотехнические характеристики, которые также необходимо знать при расчете КЕО и теплопоступлений солнечной радиации в помещения зданий.

В настоящем разделе показана необходимость в поиске альтернативного варианта определения общего коэффициента пропускания света и солнечной радиации с использованием расчетных методов.

1.4.1 Характеристики остекления

Остекление характеризуется своими световыми, энергетическими (солнечными) и теплозащитными характеристиками, определёнными согласно нормативному документу [35, 251]:

– τ – коэффициент пропускания видимого света (380-760нм), отн.ед.;

– ρ – коэффициент отражения видимого света (380-760нм), отн.ед.;

– α – коэффициент поглощения видимого света (380-760нм) , отн.ед.;

– τ_e – коэффициент пропускания солнечной энергии (380-2500 нм), отн.ед.;

– ρ_e – коэффициент отражения солнечной энергии (380-2500 нм), отн.ед.;

– α_e – коэффициент поглощения солнечной энергии (380-2500 нм), отн.ед.;

– g – коэффициент общего пропускания солнечной энергии (380-2500 нм), отн.ед.;

– U_0 – коэффициент теплопередачи по центру остекления, Вт/м$^{2\cdot 0}$С.

Коэффициент общего пропускания солнечной энергии (g-фактор) остекления согласно [35] складывается из двух составляющих: коэффициента прямого

пропускания солнечной энергии τ_e (380-2500 нм) и коэффициента вторичной теплопередачи внутрь помещения q_i за счет конвекции и длинноволнового инфракрасного излучения части солнечной энергии, которая была поглощена остеклением:

$$g = \tau_e + q_i \,. \tag{1.24}$$

Это связано с тем, что солнечная радиация, поступающая на остекление, частично поглощается, частично отражается, частично проходит через него. При поглощении происходит преобразование энергии в тепловую [319]. Нагретые стекла являются дополнительным излучателем длинноволнового инфракрасного излучения во внутреннее пространство стеклопакета и помещения. Этот процесс назван вторичным излучением [251].

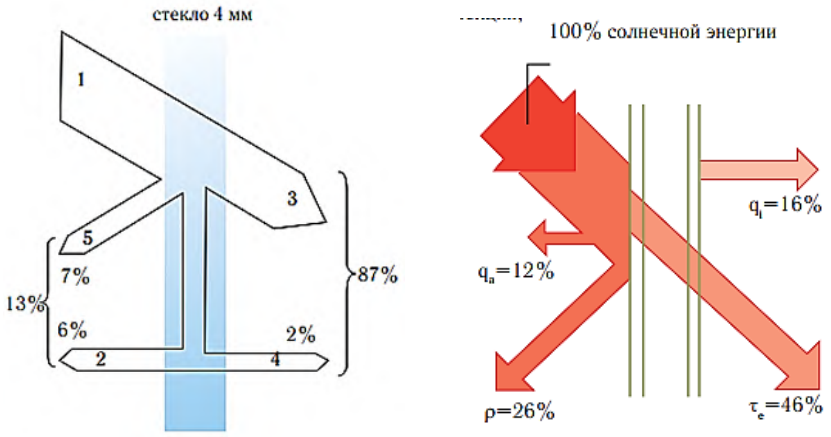
Коэффициент вторичной теплопередачи внутрь помещения для однослойного остекления определяется из выражения:

$$q_i = \alpha_e \frac{h_i}{h_i + h_e}\,, \tag{1.25}$$

где α_e, τ_e – коэффициенты поглощения и пропускания солнечной энергии в диапазонт 300-2700 нм;

h_e и h_i – коэффициенты внешнего и внутреннего теплообмена, принимаемые для вертикального остекления равными h_e = 23,0 Вт/м^2 K; h_i = 8,0 Вт/м^2 K.

В источнике [57] указывается, что для прозрачного стекла доля вторичного теплового излучения составляет 2–5% (рисунок 1.7). В стеклопакете со стеклами без покрытий увеличивается доля поглощённой солнечной радиации, а также происходит другое распределение лучистых тепловых потоков (рисунок 1.7) между наружным и внутренним стеклом, за счет чего наблюдается увеличение величины q_i.



а) б)

Рисунок 1.7 – Распределение солнечных лучей [215, 216]: а - в одинарном остеклении; б - в однокамерном стеклопакете: 1– прямая солнечная радиация 100%, 2 – вторичное излучение и конвекция; 3 – прямое пропускание; 4 – вторичное пропускание и конвекция; 5 – отражение

Характеристикой стеклопакета по трансмиссионной теплопередаче является коэффициент теплопередачи остекления или, так называемое в иностранных работах, U – значение, Вт/м^2 ^{o}С, которое в основном зависит от заполнения газом с низкой теплопроводностью камеры стеклопакета. При расчёте приведённого сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции применяется именно этот коэффициент.

В иностранной обзорной работе Hanam B. [239], рассматривающей нормативные документы США [312, 313] и Европы приводится сравнение U - значений и g - фактора при различных стандартных условиях их получения. В Канаде стандарт [211] устанавливает требования к теплозащитным характеристикам окон. Североамериканские и канадские стандарты фокусируются на оценке и сравнении продуктов для остекления, без рассмотрения переплетов.

Европейские стандарты [207, 227, 228, 247, 248, 249, 250] были разработаны таким образом, чтобы можно было определять энергетические характеристики остекления любого размера или конфигурации при стандартном наборе условий окружающей среды. Но также их можно использовать для оценки энергетических

характеристик остекления с конфигурацией переплетов, предусмотренных для конкретного здания. В работе [239] показано, что имеются существенные отличия в U-значениях, рассчитанных североамериканским и европейским стандартам, для двойного остекления и почти нет отличий для тройного остекления. Различия в g - факторах остекления, рассчитанных для центра остекления несущественны. С помощью программных продуктов в работе [239] проводится расчёт сравнения теплообмена через окна различной модификации, рассчитанных по рассматриваемым стандартам. Различия в расчётах достигают 23%. Таким образом, необходимо сравнивать низкоэмиссионное остекление по характеристикам, полученным по одному и тому же стандарту.

1.4.2 Определение характеристик остекления при косых углах падения солнечного излучения

Коэффициент τ_e в формуле (1.24) и α_e в формуле (1.25) согласно стандарту [35] определяется при нормальном падении луча на остекление. Однако, в реальных условиях угол падения отличается от нормального. Значит общий коэффициент пропускания солнечной радиации (g - фактор остекления, см. формулу (1.24)) в реальных условиях может существенно отличаться от заявленного производителями. Имеется несколько работ, изучающие данное явление.

В немецких нормах [222] рассматривается падение солнечного излучения под углом при расчёте коэффициента пропускания остекления при наличии ламели, наклоненной под 45 градусов:

$$\tau_{corr} = 0{,}65 \cdot \tau_e + 0{,}15 \cdot \rho_e \, . \qquad (1.26)$$

Рассматривается расчёт g-фактора при наличии различных солнцезащитных устройств.

В работе [57], где приведена формула расчета g-фактора при наличии наружных вертикальных солнцезащитных устройств:

$$g_{total} = g\left(1 - g \cdot \rho_e - \alpha_e \frac{A_{in}}{A_2}\right) , \qquad (1.27)$$

где: A_2 —коэффициент сопротивления теплообмену на поверхности внутренней стороны экрана, A_2 = 18 Вт/м^2 К;

A_{in} - сопротивление теплообмену для системы стеклопакет + внутренний экран, Вт/м^2 К.

В России также проводились исследования падения и пропускания солнечного излучения под углом к остеклению В.Н. Куприяновым и Ф.Р. Халиковой [128] в ультрафиолетовом диапазоне. Показано изменение в значении коэффициента пропускания при изменении угла падения. Также имеются работы, идеи которых можно применить к измерению пропускания остеклением солнечной радиации. Так в источниках Faye I. [232], Carvalho M. J. [214], Rahman S.S. [314] указано, что проводятся измерения поступающего спектрального излучения (суммарной и прямой радиации) на солнечные элементы, в результате чего устанавливается зависимость нагрева фотоэлементов, т.е. поглощенной им радиации, от угла падения.

В ряде иностранных работ [316, 318] представлены математические модели расчёта g -фактора с учётом угла падения излучения.

Так, в работе Roos A. [318] приводится уравнение:

$$g = g_0(1 - a \cdot z^{\alpha} - b \cdot z^{\beta} - c \cdot z^{\gamma}) . \qquad (1.28)$$

Параметры уравнения (1.28) задаются в зависимости от угла падения, типа покрытия и количества стекол. Рассматриваются другие модели расчёта и проводится их сравнение (рисунок 1.8), показано, что расчёты близки.

В работе [260] также приводятся результаты расчёта g-фактора по формуле (1.28) для ряда стеклопакетов от угла падения (рисунок 1.9), что показывает значительную зависимость проникания солнечной радиации от угла падения солнечного излучения. При этом задаются параметры q_1 и p_1 (рисунок 1.9). Параметр q_1, характеризует тип покрытия, находится в диапазоне от 1 до 10: q_1 = 1 соответствует сильно поглощающему окну или покрытию, q_1= 10 соответствует окну с покрытием с высоким показателем преломления, а q_1 = 4 представляет собой обычное флоат-стекло.

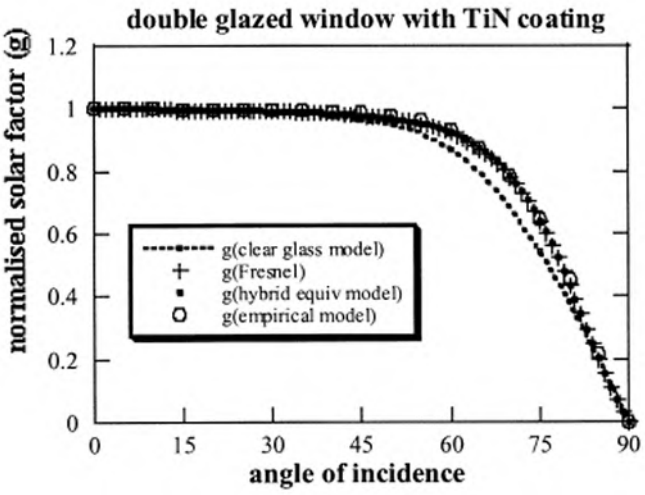


Рисунок 1.8 – Общий коэффициент пропускания солнечной энергии, g -фактор, в зависимости от угла падения для окна с двойным остеклением с одним покрытием на основе нитрида титана

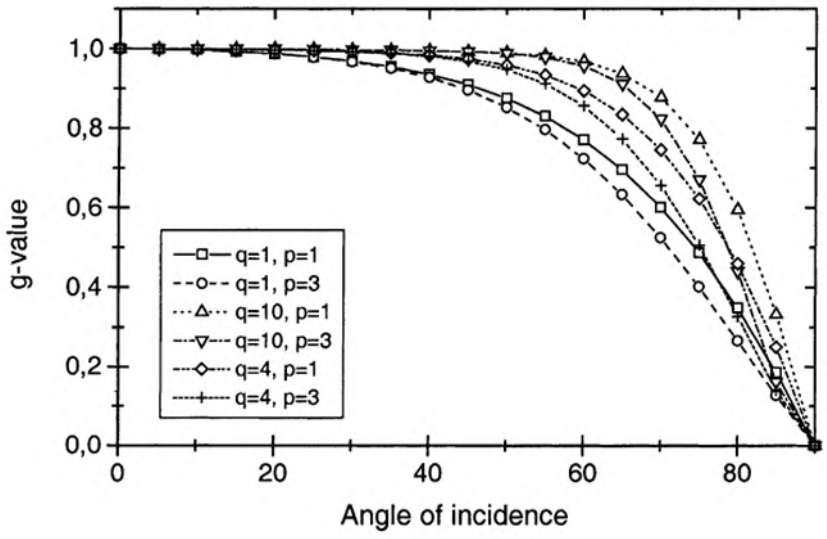


Рисунок 1.9 – Общий коэффициент пропускания солнечной энергии, g-фактор, для различных значений q_1 и p_1

Математическая модель (1.28) помещена в программное обеспечение WinSel [262]. Из рассмотренных работ следует, что имеются математические модели расчёта g-фактора под углом для различного типа остекления, однако для них отсутствует экспериментальное подтверждение.

Имеются экспериментальные исследования по изучению падения солнечной радиации под углом. В работе Reber G. [315] поставили эксперимент по

пропусканию излучения ксеноновой лампы для одинарного солнцезащитного стекла Pilkington Insulight™ Sun Neutral 68/34. Показано, что спектр ксеноновой лампы близок по спектру к солнечному излучению. Эксперимент проведен без учёта конвекции. Получили зависимость g-фактора и τ_e от угла падения излучения (рисунок 1.10).

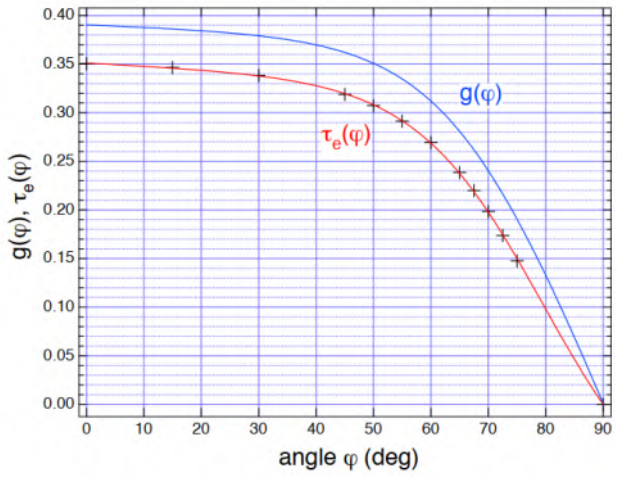


Рисунок 1.10 – Зависимость g-фактора и τ_e от угла падения излучения ксеноновой лампы с фильтром

Экспериментальные работы по изучению пропускания солнечного излучения под углом проведены в лабораторных условиях имеют ряд погрешностей:

- спектр излучения искусственного источника (ИИ) света моделирует спектр Солнца, однако не совпадает с ним;

- ИИ считается точечным источником света в то время, как солнечные лучи поступают в виде пучка параллельных лучей на стекло с тонким слоем металлического покрытия, разделяясь на прошедший, отраженный и поглощенный поток, в результате чего могут возникать возмущения лучей друг другом;

- отсутствует учет конвекции.

1.4.3 Характеристики переплетов

При расчётах проникающей в помещения зданий солнечной радиации (1.6) и КЕО (1.13) и (1.15) по нормативным документам [165, 169] применяется коэффициент, учитывающий потери солнечной радиации в переплетах оконного

блока, τ_2. В соответствии с работами В.А. Земцова [59, 69] τ_2 выражается общим соотношением:

$$\tau_2 = \frac{1}{\mathrm{A_0}} \sum_{i=1}^{n} [\mathrm{A}_i (K_{\Gamma \mathrm{i}} + K_{\Pi \mathrm{i}})] \,, \tag{1.29}$$

где A_0 – площадь оконного блока по наружному обмеру, м^2;

$A_i = a_i\, b_i$ – площадь i-й ячейки в свету, м^2;

$a_i,\ b_i$ – ширина и высота i-й ячейки в свету, м;

$K_{\Gamma i}$ – составляющая коэффициента светопередачи, зависящая от геометрических размеров ячейки переплета [35]:

$$K_{\Gamma \mathrm{i}} = 0{,}25 \left[\sqrt{\left(1/\beta_i\right)^2 + 4} - \left(1/\beta_i\right) \right]^2, \tag{1.30}$$

где $K_{\Pi i}$ – составляющая коэффициента светопередачи, зависящая от отражательных свойств внутренних граней ячеек переплета [35]:

$$K_{\Pi \mathrm{i}} = \frac{\beta_i \cdot \rho_g \cdot (1 - K_{\Gamma \mathrm{i}})^2}{2 - \rho_g \cdot [K_{\Gamma \mathrm{i}} \cdot (2 + \beta_i) - \beta_i]} \,. \tag{1.31}$$

Подстановка (1.8) и (1.9) в (1.7) приводит к общей формуле коэффициента, учитывающего потери света в переплётах оконного блока, содержащейся в [165, 169]:

$$\tau_2 = \frac{1}{\mathrm{A_0}} \sum \mathrm{A}_i \cdot \left\{ 0{,}25 \left[\sqrt{\left(1/\beta_i\right)^2 + 4} - \left(1/\beta_i\right) \right]^2 + \frac{\beta_i \cdot \rho \cdot (1 - K_\Gamma)^2}{2 - \rho \cdot [K_\Gamma \cdot (2 + \beta_i) - \beta_i]} \right\}, \tag{1.32}$$

где β_i – индекс i-й ячейки переплета, отн.ед.; для переплета прямоугольной формы $\beta_i = 2a_i b_i / (d_i \sqrt{\pi}(a_i + b_i))$, для переплета круглой формы $\beta_i = r_i / d_i$; d_i – толщина i-й ячейки переплета, м; r – радиус ячейки переплета, м.

Формула (1.10) была получена для зенитных фонарей, что отражено в работе В.А. Земцова [59], а затем применялась для оконных блоков. Расчёты по формуле (1.32) затруднительны ввиду ее громоздкости, поэтому ее необходимо адаптировать под расчёты для оконных блоков.

В качестве теплотехнической характеристики переплетов светопрозрачных ограждающих конструкций используется коэффициент теплопередачи (U - значение для переплета, Вт/м²С), который, как правило, содержится в технической документации на переплеты.

1.5 Исследования по подбору светопрозрачных оконных конструкций в отопительный и охладительный периоды

После рассмотрения факторов, влияющих на светопередачу и теплообмен через светопрозрачные ограждающие конструкции, следует рассмотреть методы подбора остекления, основанные на этих факторах.

С развитием производства и применения низкоэмиссионного остекления, начали разрабатываться подходы по подбору остекления с целью энергосбережения. В ряде публикаций Дворецкий А.Т., Спиридонов А.В., Шубин И.Л. [54, 171] рассматривается использование стекол с низкоэмиссионными покрытиями для целей энергосбережения, но не рассматриваются спектральные характеристики пропускания стекол и не рассматривается изменение потребляемой энергии на отопление здания вследствие снижения поступающей радиации.

Вместе с тем, в СП 50.13330.2024 [168] требования к приведенному сопротивлению теплопередаче окон сформулированы без учета поступления теплоты от солнечной радиации через светопрозрачные ограждающие конструкции (таблица 1.4), а расчет удельной характеристики потребления энергии на отопление и вентиляцию здания выполняется с неполным учётом проникающей через остекление солнечной радиации по формуле (1.6).

Таблица 1.4 – Значения требуемого сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций для жилых зданий, гостиниц и общежитий, м^2 °С/Вт, по СП 50.13330.2024 [168]

ГСОП, (°С сут.) /год	Значения требуемого сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций для жилых зданий, гостиниц и общежитий, м^2 °С/Вт	
	До повышения требований	После повышения требований [168]
2000	0,30	0,49
4000	0,45	0,63
6000	0,60	0,73
8000	0,70	0,75
10000	0,75	0,77
12000	0,80	0,80

Исходя из представленных предпосылок к подбору остекления с учётом его теплообмена через окна, рассмотрим методы подбора остекления.

1.5.1 Исследовательские работы

В работе шведского автора Karlsson J. [261] представлен подход по подбору низкоэмиссионного остекления в холодном климате, при этом проводится широкое исследование по подбору светопрозрачных конструкций с целью снижения энергопотребления. Указывается, что необходимо учитывать свойства окон (коэффициент теплопередачи (U), общий коэффициент пропускания солнечной энергии (g) и коэффициент пропускания света (τ)), особенности климата (солнечная радиация по B. Keller [263] и ГСОП по [219, 260]) и конфигурацию здания. В результате получены графические зависимости сэкономленной на отопление энергии ($E_{totsaved}$, кВт·ч/м^2·год) для различных ориентаций светопроема (от северной (N), далее северо-восточной (NE), до северо-западной (NW)) при использовании разных типов остекления (рисунок 1.11).

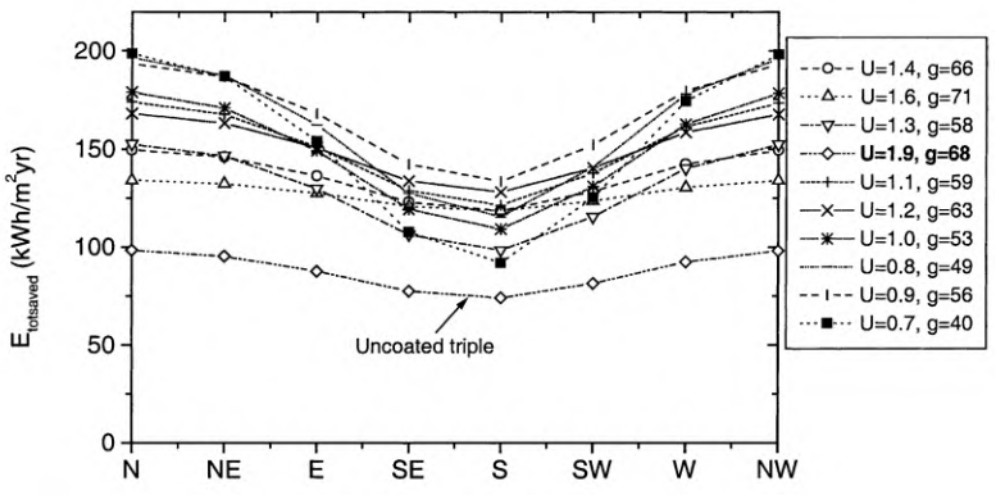


Рисунок 1.11 – Разность теплопоступлений и теплопотерь (сбереженная энергия) при использовании низкоэмиссионного остекления для Стокгольма

Достоинством представленного метода является учёт многих факторов, что повышает точность расчётов и способствует энергосбережению. К недостаткам можно отнести отсутствие учёта влияния окружающей застройки (что также отмечается и самими авторами), а также отсутствие адаптации к практике строительного проектирования, что обуславливает программную реализацию. Именно поэтому данная работа послужила основой для ряда программных исследований по подбору остекления: Leskovar V.Z. и др. [284], Zhu D. [336], программный продукт «WinSel» [262], Premrov M. и др. [311].

В работе американского автора J. Carmody [212], которая заложена в основу документа ASHRAE [281], проводится разделение на климатические зоны. Рассмотрено разделение территории США на зоны по климатическим характеристикам с рекомендациями по выбору остекления по зонам. Рассматривается 8 зон, некоторые зоны объединяются и остаются 4 зоны (рисунок 1.12). Рекомендации по подбору остекления приводятся в виде таблицы 1.5.

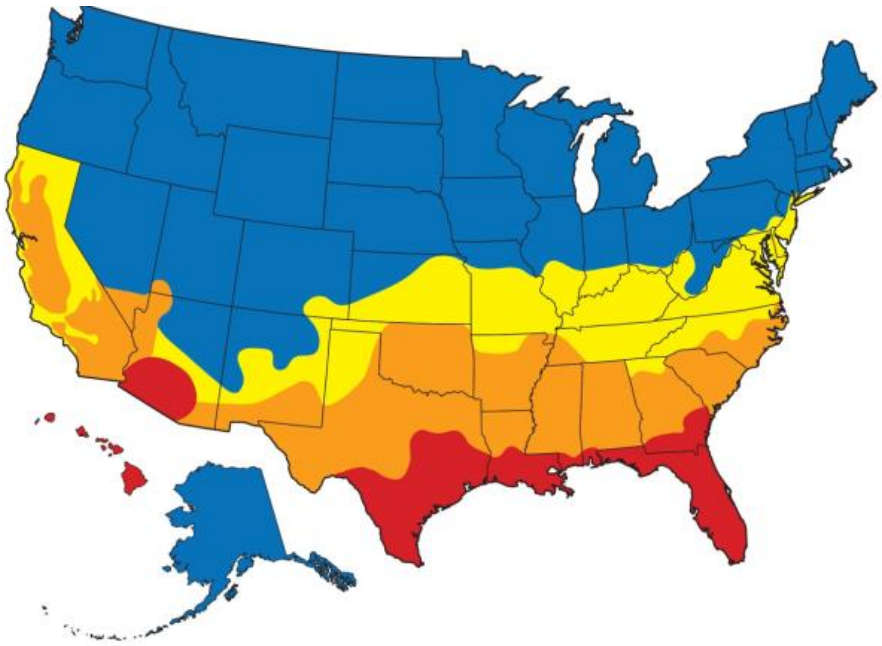


Рисунок 1.12 – Разделение территории США на климатические зоны для подбора остекления по таблице 1.5

Таблица 1.5 – Рекомендации по подбору остекления для климатических зон США

Климатическая зона	Значение U	g - фактор
Северная	≤0,45	≤0,35
Северная центральная	≤0,47	≤0,30
Южная центральная	≤0,50	≤0,25
Южная	≤0,60	≤0,25

Как видно, из таблицы 1.5 рекомендации не учитывают затенение солнечной радиации зданиями окружающей застройки. Также принимаемый низкий g - фактор, что обеспечивает отсутствие перегрева летом, но снижает приток теплоты от солнечной радиации в отопительный период. Приводится описание программы расчёта, учитывающей тип здания, тип системы отопления, размеры окон и их ориентацию, переплеты, тип остекления и др. По программе проводится расчёт энергии и стоимости, затрачиваемой на отопление и кондиционирование, т.е. предлагается проводить подбор низкоэмиссионного остекления на основе программного расчёта затрат для всего здания. Достоинством метода является его

адаптация к практике проектирования в США, а недостатком – отсутствие универсальности.

В работе авторов Yunsong H. и др. [332] проводится компьютерное моделирование на основе национальных норм на примере Китая и др. стран с холодным климатом. Проводится имитационное моделирование размеров крыши, толщины стен, площади остекления, ориентации светопроемов и др. для улучшения дневного освещения и энергосбережения для одноэтажных домов со стеклянными фасадами. Однако, нет рекомендаций в виде расчётных методов, поэтому исследование носит ограниченный характер. Имеются похожие работы, где также проведено компьютерное многопараметрическое моделирование, в результате получено либо много подходящих вариантов [215], либо выбран оптимальный [325]. Достоинством таких методов является оптимальный подбор остекления согласно требованиям национальных нормативных документов при одновременном обеспечении энергосбережения.

1.5.2 Нормативные документы

В иностранном стандарте [229] приведены общие формулы при затенении, но нет определения параметров в зависимости от размеров зданий застройки и от расстояния до них. Рассмотрен расчёт энергии, затрачиваемой на отопление и вентиляцию здания, но нет рекомендаций по подбору остекления.

Выводы по главе 1

В результате выполненного обзора можно сделать выводы:

1. Показана необходимость более полного учёта ресурсов светового климата местности в расчётах естественного освещения помещений зданий путем разработки метода оценки освещённости в помещении при облачности любой бальности, что будет способствовать энергосбережению ввиду оптимального подбора размера светопроемов и световому комфорту.

2. Для математического описания распределения яркости при различной облачности подходит стандарт МКО [34]. Для удобства пользования стандартом

следует использовать метод построения равнопромежуточной проекции небосвода. Ввиду большой изменчивости наружной освещённости, для получения данных о ее экспериментальных значениях следует применять световой эквивалент солнечной радиации.

3. Показана необходимость расчёта теплопоступлений от солнечной радиации с учётом влияния застройки и ее отражательных свойств с целью экономии энергии на отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха. Для этого необходимо разработать инженерные методы расчёта поступающей солнечной радиации на исследуемый фасад с учётом влияния противостоящего здания.

4. Показана необходимость изучения влияния оконных блоков с остеклением с низкоэмиссионными покрытиями на пропускание солнечной радиации и видимого света, в том числе при падении солнечного излучения под углом к остеклению.

5. Показана необходимость изучения влияния светопрозрачных и непрозрачных наружных фасадных материалов на отражение солнечной радиации и видимого света для более полного учёта отраженной радиации в застройке.

6. Показана необходимость разработки комплексного метода подбора низкоэмиссионного остекления по климатическим, энергетическим, теплотехническим и светотехническим параметрам, внедрение которых будет способствовать энергосбережению на отопление и вентиляцию здания.

7. К характеристикам климата относятся:

- поступающая солнечная радиация. При вычислении поступающей солнечной радиации необходимо учитывать влияние окружающей застройки. При этом необходимо учитывать все периоды затенения прямой радиации, затенение рассеянной на небосводе радиации, и отраженную радиацию от противостоящего здания и от подстилающей поверхности. Допускается изотропное распределение солнечной радиации. При учёте отраженной составляющей следует особо изучить влияние светоотражающих стеклянных фасадов.

- ГСОП, как наиболее информативный показатель длительности ОП и изменения температуры наружного воздуха за ОП.

8. К характеристикам окон относятся:

- теплотехническая характеристика: коэффициент теплопередачи остекления и переплетов, U_0 и U, соответственно, Вт/м$^{2.o}$С.

- энергетические характеристики остекления: общий коэффициент пропускания солнечной радиации и коэффициент прямого пропускания солнечной радиации, g-фактор и τ_e, соответственно.

- светотехническая характеристика: коэффициент светопропускания остекления, τ.

9. Для сопоставления остекления по теплотехническим (U_0-значение) и энергетическим (g-фактор) характеристикам важно знать, по какому стандарту они определялись. В России характеристики остекления определяются по европейскому стандарту ГОСТ EN 410-2014 [35], что также принимается в настоящей работе.

ГЛАВА 2 МЕТОД РАСЧЁТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ УЧЁТЕ СОСТОЯНИЯ НЕБОСВОДА РАЗЛИЧНОЙ ОБЛАЧНОСТИ

В нормативных документах [166, 168] содержится методика расчета КЕО, основанная на предположении о пасмурном небосводе, в которой определяются минимальные размеры светопроёмов, необходимые для обеспечения нормативного КЕО, с учётом их заполнения и наличия застройки. От размеров светопроёмов зависят трансмиссионные теплопотери через них, а значит и энергия, затрачиваемая на отопление и вентиляцию здания. Поэтому актуальной является разработка методов расчёта естественного освещения помещений зданий, учитывающих различное состояние небосвода по облачности. В данной главе рассматривается подход к расчету естественного освещения помещений зданий, основанный на распределении освещённости в наружном пространстве и в помещении при неравномерной яркости небосвода, наблюдающейся при различной облачности: ясное, промежуточное, пасмурное небо. Разрабатывается метод расчёта естественной освещённости помещения при учёте состояния небосвода различной облачности, основанный на двух методах: метод подбора типа небосвода и графо-аналитический метод определения освещённости в помещении. А именно, метод подбора типа небосвода, характерного для конкретной местности в каждый час дня в течение года, основан на изменении яркости небосвода, заданной стандартом МКО [34]. Графо-аналитический метод основан на построении диаграммы освещенности при неравномерной яркости небосвода, создаваемой участками небосвода в центре небесной полусферы, и определении естественной освещённости в расчётной точке помещения. На основе разработанных методов проводится расчёт коэффициентов светового климата для некоторых городов РФ.

Положения главы изложены в работах автора [88, 93, 94, 96, 104].

2.1 Разработка метода подбора типа небосвода для заданной местности по распределению освещённости на основе стандарта МКО

В данном разделе разрабатывается метод, позволяющий теоретически описать тип небосвода по градациям облачности, характерной для конкретной местности в заданный час светового дня. Для этого рассчитывается наружная освещённость на основе актинометрических данных для заданной местности. Затем проводится расчёт теоретически возможной освещённости при 15-ти типах небосвода по распределению яркости, которая задается согласно стандарту МКО. После чего сопоставляются полученные значения освещённости из актинометрических данных и теоретически возможной освещённостью при 15-ти типах небосвода. Подбор типа небосвода по облачности осуществляется на основе поиска наименьшего отклонения между значениями освещённости, полученной из актинометрических данных и теоретически возможной освещённостью.

2.1.1 Расчет суммарной наружной освещённости из актинометрических измерений

В настоящем разделе проводится пересчет значений поступающей солнечной радиации в освещенность с использованием светового эквивалента, что также рассматривается в работе автора [96]. В расчете суммарной горизонтальной наружной освещенности участвуют следующие параметры:

- суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность, при ясном и малооблачном (до 5 баллов) небе за каждый час светового дня;

- суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность, при облачности большой бальности (свыше 6 баллов) и пасмурном небе за каждый час светового дня;

- световой эквивалент для пересчета суммарной радиации в суммарную освещенность при облачности малой бальности (ниже 5 баллов) и ясном небе, Принимаемый для середины часового интервала каждого часа светового дня;

- световой эквивалент для пересчета суммарной радиации в суммарную освещенность при облачности большой бальности (свыше 6 баллов) и пасмурном небе за каждый час светового дня;

- вероятность солнечного сияния для каждого часа светового дня.

Значения поступающей солнечной радиации принимаются по справочнику по климату [140], в котором приведены значения прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность при облачном и ясном небе, а также вероятность солнечного сияния. Пересчет значений суммарной солнечной радиации в освещенность проводится для 15-го числа каждого месяца года для каждого рассматриваемого города. При этом для выбора значений светового эквивалента согласно таблице 1.3 угловая высота Солнца рассчитывается для конкретного города, даты и времени по следующим формулам [82, 83]:

$$sin\, h_{\odot}(t_{\odot}) = sin\, \phi \cdot sin\, \delta + cos\, \phi \cdot cos\, \delta \cdot cos\, \Omega(t_{\odot}), \quad (2.1)$$

$$cos\, \psi_{\odot}(t_{\odot}) = \frac{sin\, h_{\odot}(t_{\odot}) \cdot sin\, \phi - sin\, \delta}{cos\, h_{\odot}(t_{\odot}) \cdot cos\, \phi}, \quad (2.2)$$

где ϕ — широта местности, град.;

δ — склонение Солнца, град.;

$\Omega(t_{\odot})$ — часовой угол Солнца в данный момент времени, отсчитываемый от момента истинного полдня, град.;

$t_{\odot}$ - истинное солнечное время, ч.

Освещенность на горизонтальной поверхности для ясных и малооблачных дней для каждого часа рассчитывется по формуле [148]:

$$E^{я}(t_{\odot}) = 0{,}397 \cdot I^{я}(t_{\odot}) \cdot K^{я}(h_{\odot}(t_{\odot})), \quad (2.3)$$

где $K^{я}(h_{\odot}(t_{\odot}))$ – световой эквивалент для малооблачных и ясных дней, $\frac{\text{тыс.лк}}{\text{кал/см}^2\cdot\text{мин}}$ или лм/Вт, зависящий от угловой высоты Солнца и, следовательно, от истинного солнечного времени; принимается по таблице 1.3;

0,397 – переводной коэффициент из МДж/м^2 в час в кал/(см^2·мин);

$I^{я}(t_{\odot})$ – суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность за часовой интервал истинного солнечного времени (середина

часового интервала $t_{\odot}$), при ясном и малооблачном небе, Дж/м^2 в час; вычисляется как сумма прямой и рассеянной солнечной радиации при ясном и малооблачном небе:

$$I^{я}(t_{\odot}) = S^{я}(t_{\odot}) + D^{я}(t_{\odot}) . \quad (2.4)$$

Освещенность для облачных дней определяется из соотношения [148]:

$$E^{об}(t_{\odot}) = 0{,}397 \cdot I^{об}(t_{\odot}) \cdot K^{об}, \quad (2.5)$$

где $K^{об}$ – световой эквивалент для облачных дней, согласно данным таблицы 1.3 равен 72 $\frac{\text{тыс.лк}}{\text{кал/см}^2\cdot\text{мин}}$ или 104 лм/Вт;

$I^{об}(t_{\odot})$ – суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность за часовой интервал истинного солнечного времени (середина часового интервала $t_{\odot}$), при облачности большой бальности (от 6 баллов) и пасмурном небе, Дж/м^2 в час; вычисляется как сумма прямой и рассеянной солнечной радиации при облачности большой балльности (от 6 баллов) и пасмурном небе:

$$I^{я}(t_{\odot}) = S^{я}(t_{\odot}) + D^{я}(t_{\odot}) . \quad (2.6)$$

С учетом (2.3) и (2.5) горизонтальная наружная освещенность выражается следующим образом:

$$E(t_{\odot}) = s(t_{\odot})E^{я}(t_{\odot}) + (1 - s(t_{\odot}))E^{об}(t_{\odot}), \quad (2.7)$$

где: $s(t_{\odot})$ - вероятность солнечного сияния для конкретного города, месяца и часа дня, принимается по [140].

Результаты расчета суммарной освещенности на горизонтальной поверхности по формулам (2.1)-(2.7) для г. Москвы (55,75^{o}с.ш.) приведены далее на рисунке 2.2 виде в точек.

2.1.2 Расчёт наружной освещённости с применением положений международного стандарта МКО

Исследования проводятся на основе международного стандарта МКО ISO15469/CIES011/E-2003 [34] «Пространственное распределение естественного освещения» и работы авторов стандарта Kittler R., Perez R., Darula S. [269],

положения которых кратко описаны разделе 1.3.5. Стандарт [34] определяет зависимость распределения относительной яркости на небосводе различной облачности в зависимости от географической широты местности и солнечных координат в заданный момент времени. Поэтому расчёты по стандарту [34] следует проводить для конкретной местности и времени, что учитывается в настоящей работе. Для определения наружной освещённости в настоящей работе были проведены расчёты относительной и абсолютной яркости элементарных участков небосвода (рисунок 2.1).

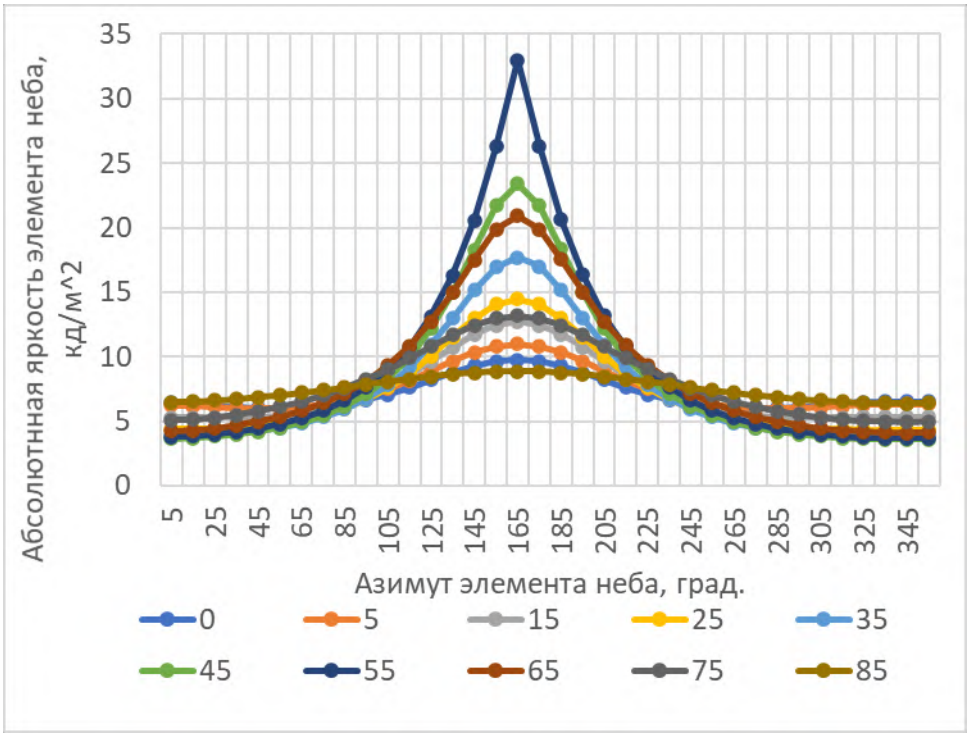


Рисунок 2.1 – Абсолютная яркость участков небосвода, кд/м^2, для 11-го типа небосвода, на 15 июня, 13ч для г. Москвы

Зависимость на рисунке 2.1 имеет максимум яркости в области небосвода с координатами, в которых находится Солнце в данный момент времени.

Расчёты освещенности на горизонтальной поверхности от элементарного участка небосвода через абсолютную яркость этого же участка небосвода проводятся из выражения авторов И.Н. Марантиди и А.И. Смирнова [136]:

$$E_г = \int_{\alpha=0}^{2\pi} \int_{z=0}^{\frac{\pi}{2}} L_a(z,\alpha)\, sin\, z\, cos\, z d\alpha dz\,, \qquad (2.8)$$

где: α - азимут элемента неба (по часовой стрелке от севера), рад; z - угловое расстояние между элементом и зенитом, рад.; $L_a(z,\alpha)$ – абсолютная яркость элементарного участка неба с координатами по центру (z,α), кд/м^2.

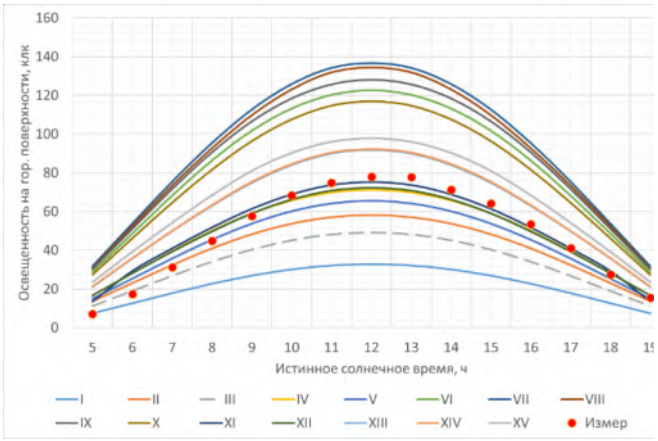
После интегрирования выражения (2.8) для участка небосвода конечных размеров (при $\alpha = \alpha_1$ и $\alpha = \alpha_2$; $z = z_1$ и $z = z_2$) имеем:

$$E_г = L_a\left(\frac{\alpha_1-\alpha_2}{2}\right)(sin^2 z_1 - sin^2 z_2)\ . \qquad (2.9)$$

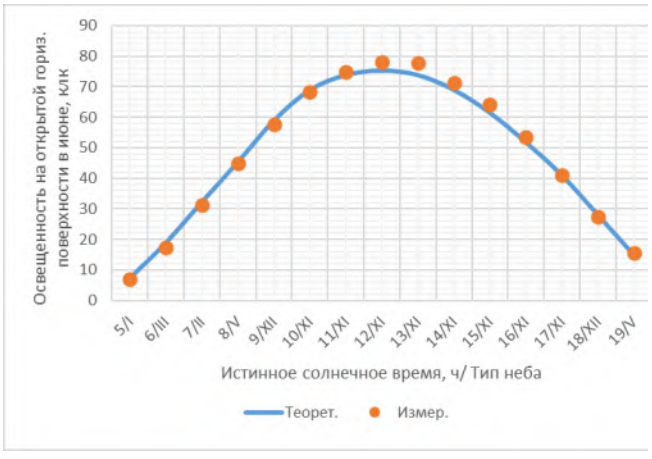
Результаты расчёта по формуле (2.9) приведены ниже.

2.1.3 Подбор типа небосвода по облачности согласно международному стандарту МКО для городов с различным световым климатом

Для определения типа небосвода по облачности проводится сравнение наружной освещенности, определённой из актинометрических данных по разделу 2.1.1, с теоретически возможной для 15-ти типов небосвода по облачности, рассчитанной по разделу 2.1.2. Тип небосвода подбирается на основе поиска наименьшего отклонения в значении освещённости, вычисленной на основе актинометрических измерений, и теоретически возможной освещенности – график на рисунке 2.2.



а)



б)

Рисунок 2.2 – а) Наружная освещенность на горизонтальной поверхности в г. Москве в июне, клк. Сплошные линии - теоретические кривые для 15-ти типов неба. Красные маркеры – рассчитанные значения; б) Подобранный тип неба по часам светового дня для г. Москвы в июне

2.2 Разработка графо-аналитического метода расчета естественной освещенности в помещении при различном распределении яркости по небосводу

2.2.1 Основы графо-аналитического метода

В настоящем разделе рассматривается расчёт естественной освещённости в помещении графо-аналитическим методом, который так назван по предложению В.А. Земцова. В данной работе принимается равнопромежуточная проекция небосвода, как наиболее удобная в построении, а также непрерывная. При использовании стандарта [34] также следует задавать равномерное разделение небосвода на сегменты. Согласно предлагаемому методу, расчёт освещенности в помещении проводится для заданной местности в заданный час дня. При этом распределение наружной освещённости принимается подбором типа небосвода по градациям облачности по п. 2.1. Затем проводится построение равнопромежуточной проекции небосвода по распределению наружной освещенности, создаваемой участками небосвода в центре проекции небесной полусферы на горизонтальную поверхность, что рассматривается в работе автора [104].

Вид такой диаграммы приведен на рисунке 2.3 для г. Москвы на 13ч. 15-го июня, 11-ый тип неба по [34]. Для определения прямой освещённости в расчётной точке (р.т.) помещения центр полусферы совмещается с р.т с учётом ориентации светового проема. Затем проводится вычисление суммарной прямой освещённости от видимых через световой проем участков небосвода в р.т. помещения, $E_{\text{п}}$.

Были рассчитаны диаграммы для других городов по часам дня (Приложение В.1). Построенные диаграммы являются справочным материалом, применяемым для определения прямой естественной освещённости в любой точке помещения. Построение диаграмм следует проводить с учётом поправки на разность во времени для заданного часового пояса.

Диаграммы служат для определения прямой освещённости в помещении, без учёта отраженной составляющей, рассмотрение которой приводится далее.

Освещённость в расчётной точке M помещения представляется в виде суммы прямой и отраженной составляющей:

$$E_M = E_{\text{п}} + E_{\text{отр}} \, . \tag{2.10}$$

Освещенность в точке E_M представляется в виде:

$$E_M = E_{\text{пр}}(1 + \frac{E_{\text{отр}}}{E_{\text{п}}}) = E_{\text{п}} r_0 \, , \tag{2.11}$$

где $E_{\text{прямая}}$ – освещённость от прямого света неба и Солнца, клк; r_0 – тоже же, что в (1.11).

Определение коэффициента r_0, учитывающего отражение света внутренними поверхностями помещения, рассматривается в работах Н.Н. Киреева [77, 79].

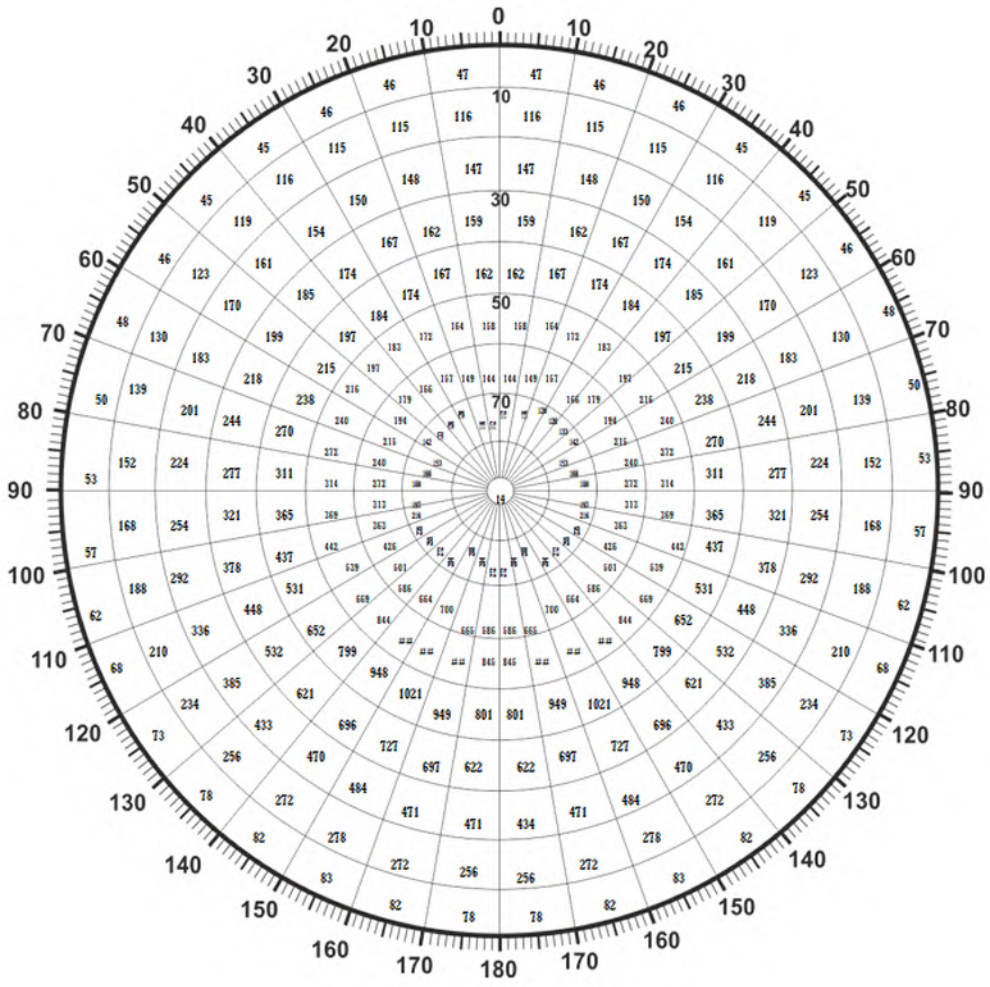


Рисунок 2.3 − Освещенность, создаваемая участками небосвода в центре проекции небесной полусферы на горизонтальную поверхность, лк, для г. Москвы на 15-ое июня 13ч

Расчет естественной освещённости, создаваемой на горизонтальной поверхности любой точки помещения на горизонтальной поверхности участком неба, видимым через световой проем, выполняется в следующей последовательности:

1. Строится диаграмма распределения освещённости для определённого города, месяца и часа светового дня.

2. Определяется азимут ориентации середины светопроема.

3. Определяется расчетная точка на горизонтальной поверхности в помещении. Определяются угловые высоты верхней и нижней граней светопроема и азимуты правого и левого откосов относительно направления на север.

4. В соответствии с определённым азимутом ориентации середины светопроема на диаграмме строится контур светопроема по угловым высотам его верхней и нижней граней и азимутам левого и правого откосов.

5. Суммируются значения освещенности в ячейках, которые попали в контур светопроема. Получившаяся суммарная освещённость и является прямой освещённостью от видимого участка небосвода в расчётной точке помещения:

$$E_{\text{п}} = \sum_{i=0}^{i=n} E_i \, k_i \, , \qquad (2.12)$$

где E_i – освещенность на горизонтальной поверхности, создаваемая i-м участком небосвода, лк;

k_i – дробное число в случае частичного попадания i-го элементарного участка небосвода на контур светового проема. В случае, если участок небосвода находится полностью на контуре светового проема, тогда k_i= 1.

6. Естественная освещенность в т. М на горизонтальной поверхности помещения определяется из выражения:

$$E_M = E_{\text{п}} r_0 \, , \qquad (2.13)$$

где r_0 то же, что в (1.11), определяется по работам Н.Н. Киреева [77, 79].

Разработанный инженерный метод расчёта естественной освещённости в любой точке помещения возможно применять для различных исследовательских целей. Например, для определения целевого КЕО в помещении, актуальность

такого расчёта показана в разделе 1.3.3. В Приложении В.1 показан пример определения распределения прямой освещённости в помещении при удалении расчётной точки от окна.

2.2.2 Пример определения прямой освещённости в помещении с двумя светопроемами

Задача формулируется следующим образом:

Необходимо определить освещённость при ясном небе на 15 июня в 12.30 по местному времени в середине помещения на уровне пола глубиной 10.00м и шириной 5,00м в здании, расположенном в г. Москва. В помещении имеются два окна, расположенные в два яруса (нижнее окно высотой 1,70м и верхнее окно высотой 1,90м, с шириной по 1,60м). Оконные проемы ориентированы на северо-восток с азимутом 51^0.

Последовательность расчетов:

1. Строится диаграмма распределения освещенности (см. рисунок 2.5).

2. Определяется азимут ориентации середины светопроема – азимут задан по условию задачи 51^0.

3. Определяется расчетная точка на горизонтальной поверхности в помещении. Определяются угловые высоты верхней и нижней граней светопроема и азимуты правого и левого откосов относительно севера.

Расчетная точка задана по условию задачи. Представляем графически схему помещения и определяем требуемые параметры (рисунок 2.4).

4. В соответствии с азимутом ориентации середины светопроема на диаграмме строится контур светопроема по угловым высотам его верхней и нижней граней и азимутам левого и правого откосов (рисунок 2.5).

5. Суммируются значения освещенности в ячейках, которые попали в контур светопроема:

$$E_п = 161 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}8 + 170 \cdot 0{,}8 \cdot 1 + 119 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}8 + 123 \cdot 0{,}7 \cdot 1 +$$
$$+197 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}8 + 215 \cdot 0{,}8 \cdot 1 + 185 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}1 + 199 \cdot 0{,}1 \cdot 1 = 725 \text{ лк.} \quad (2.14)$$

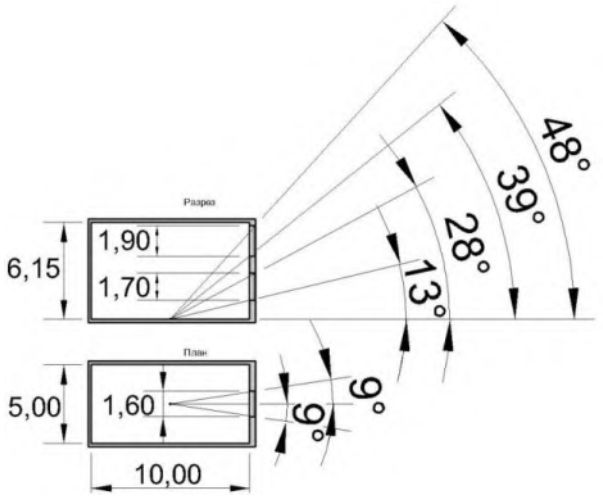


Рисунок 2.4 − Разрез и план помещения − малого спортивного зала в средней школе

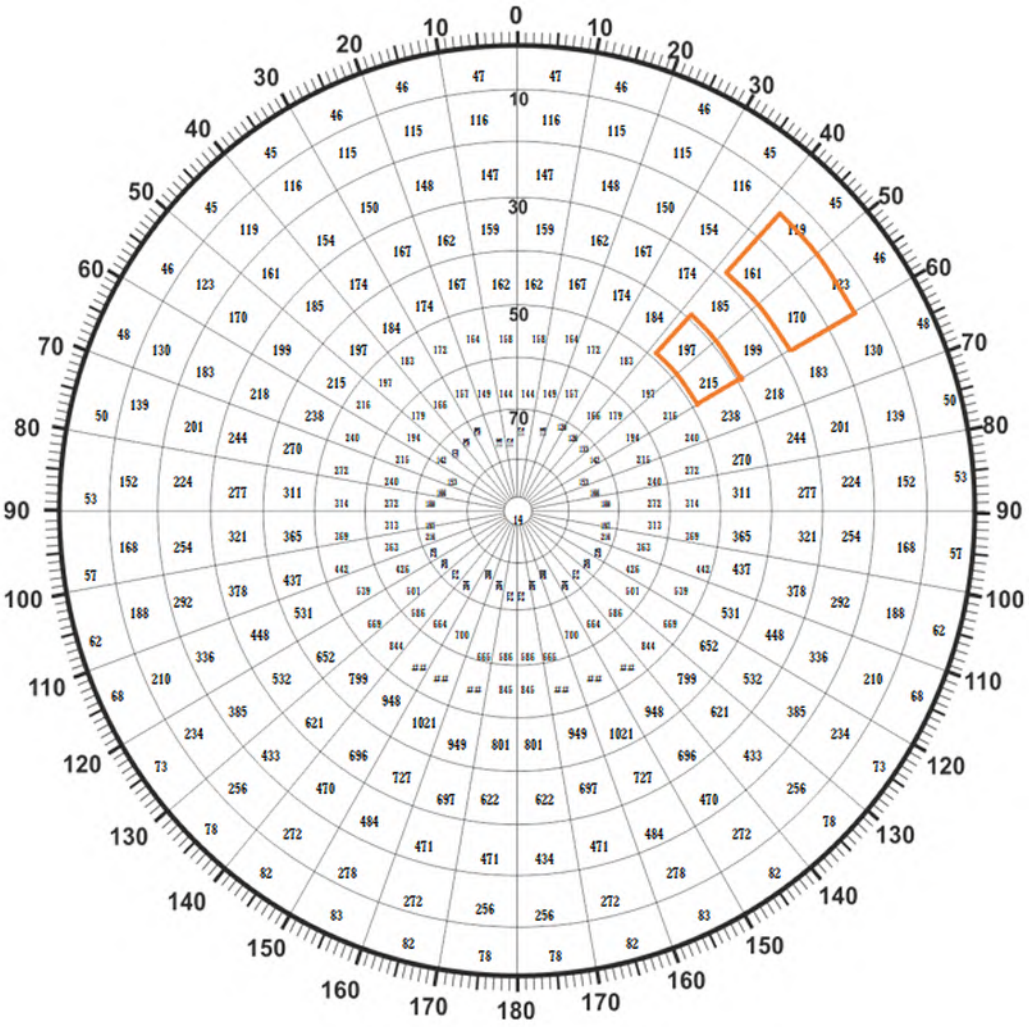


Рисунок 2.5 − Определение контуров светопроемов на диаграмме, значения освещённости, лк

Таким образом, прямая освещенность в помещении в расчетной точке составляет 725 лк.

В Приложении В.1 приведен пример определения прямой освещённости и отношения прямой освещенности в помещении на различном расстоянии от окна к наружной прямой освещенности для трех городов.

2.3 Расчёт коэффициентов светового климата при различной облачности небосвода

При расчёте КЕО по формуле (1.13) из главы 1 принимаются значения коэффициентов светового климата, полученные при облачном небе. В то время, как на территории России отмечается различное состояние небосвода по облачности, так для южных широт и Дальнего Востока характерно ясное небо и промежуточная облачность. В настоящем разделе рассматривается расчёт коэффициентов светового климата при различном состоянии небосвода, проводятся расчёты указанных коэффициентов для различных светоклиматических регионов России, представленных в таблицах В.1-В.3 Приложения В.

2.3.1 Теоретические основы расчёта

Расчёт коэффициентов светового климата проводится по формуле:

$$\mathrm{C}_N = \frac{H_\mathrm{р}}{H_\mathrm{м}}, \tag{2.15}$$

где: $H_\mathrm{р}$, $H_\mathrm{м}$ – годовое количество естественного освещения в данном регионе и в Москве, соответственно, лк.

Годовое количество естественного освещения рассчитывается по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^{12} M_i \left[S_i \sum_{j=t1}^{t2} E_{ij}^{\text{я}} + (1 - S_i) \sum_{j=t3}^{t4} E_{ij}^{\text{обл}} \right], \tag{2.16}$$

где: M_i – количество дней в i -ом месяце; S_i – вероятность солнечного сияния в i -ом месяце, определяется по [140]; t_1, t_2, t_3, t_4 – время включения и выключения искусственного освещения в помещении; $E_{ij}^{\text{я}}$, $E_{ij}^{\text{обл}}$ – 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.

Для выполнения указанных расчётов была написана программа на компьютере, в которой вводными данными являются:

1. Актинометрические данные, географическая широта местности.
2. Размеры помещения.
3. Размеры светопроема.
4. Координаты расчётной точки в помещении.

В программе проводятся расчёты коэффициентов светового климата в следующей последовательности для каждого рассматриваемого далее города России:

1. Производится подбор типа небосвода по градациям облачности МКО для каждого часа светового дня каждого месяца в течение года согласно разделу 2.1.
2. Проводится расчёт освещённости в расчетной точке модельного помещения по графо-аналитическому методу раздела 2.2 для каждого часа светового дня каждого месяца в течение года.
3. Определяются временные интервалы начала и конца использования только естественного освещения за каждый месяц года.
4. Проводится суммирование освещённости за определённые в п.3 часовые интервалы начала и конца использования только естественного света в течение года.
5. Вычисляются коэффициенты светового климата по формуле (2.15).

Выходные данные программы:

1. Распределение наружной освещённости, характерное для заданной местности в заданный час и месяц года, что представляет собой данные диаграммы вида на рисунке 2.3, представленные в табличном виде, где в строках располагается угловая высота элемента небосвода, а в столбцах - азимут элемента небосвода при отчете от направления на север.
2. Графически представленная зависимость освещённости в расчётной точке помещения по часам для каждого месяца и только по месяцам в течение года при ориентации светопроема по четырем румбам.

3. Длительность использования только естественного освещения в помещении при ориентации светопроема по четырем румбам в табличном виде.

4. Значения суммарной годовой освещённости в расчётной точке помещения при ориентации светопроема по четырем румбам при учёте длительности использования только естественного освещения (т.е. не учитываются утренние и вечерние часы с освещённостью ниже 200 клк).

5. Коэффициенты светового климата при ориентации светопроема по четырем румбам.

6. Размеры модельного помещения и положения расчётной точки: глубина 6,06 м, длина 3,18, высота 2,85, расчетная точка на полу по центру помещения, расстояние от р.т. до окна 3,03 м, расстояние от УРП до верха окна 1,84 (рисунок 2.6).

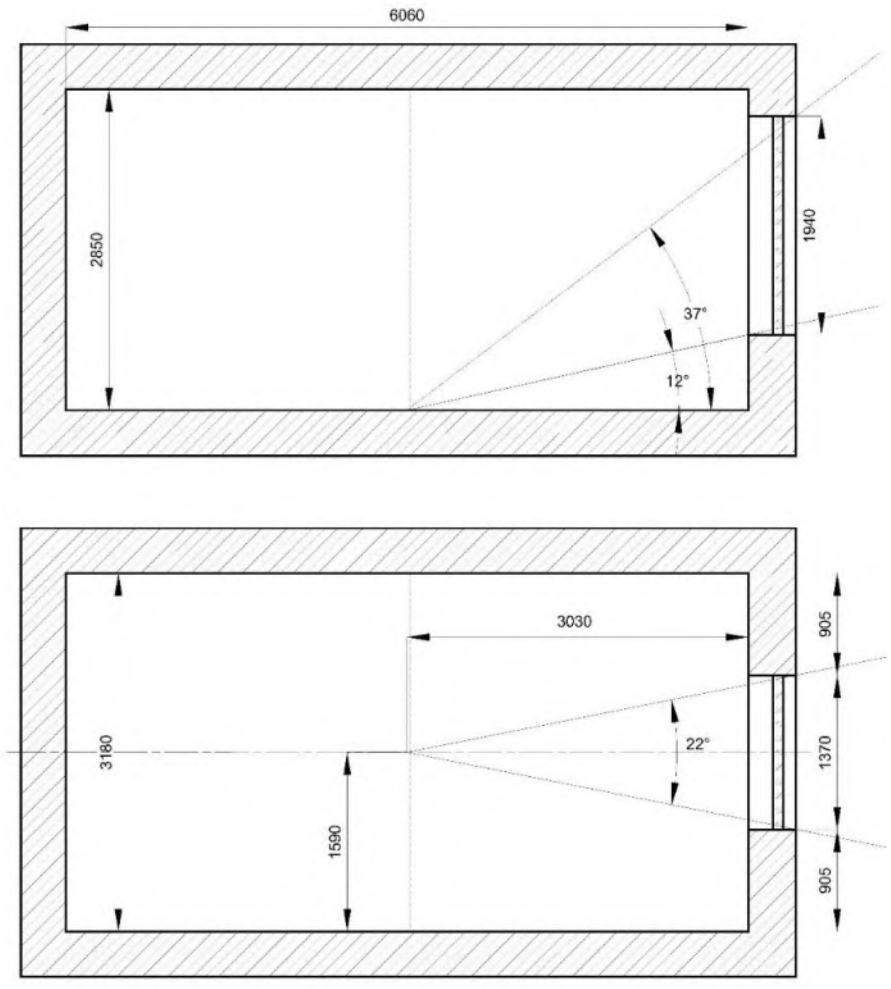


Рисунок 2.6 − Разрез и план жилого помещения. Положение расчетной точки в центре помещения на полу

2.3.2 Подбор типа небосвода по градациям облачности

Согласно п. 2.1, для подбора типа небосвода по градациям облачности, необходимо провести пересчет данных о поступающей солнечной радиации в освещённость с использованием светового эквивалента солнечной радиации. В таблицах В.1-В.3 Приложения В приведены ссылки на данные многолетних актинометрических измерений для городов различных светоклиматических районов России, которые были взяты в расчёт в настоящей работе.

Согласно п. 2.1 проведены расчёты наружной освещённости рассматриваемых городов из актинометрических данных таблиц В.1-В.3 Приложения В. Затем, также по п. 2.1, проведен подбор типа небосвода по градациям облачности рассматриваемых городов для каждого часа дня в течение года. Графики, отображающие подбор типа небосвода приведены на рисунках 2.7-2.8 на примере г. Москвы.

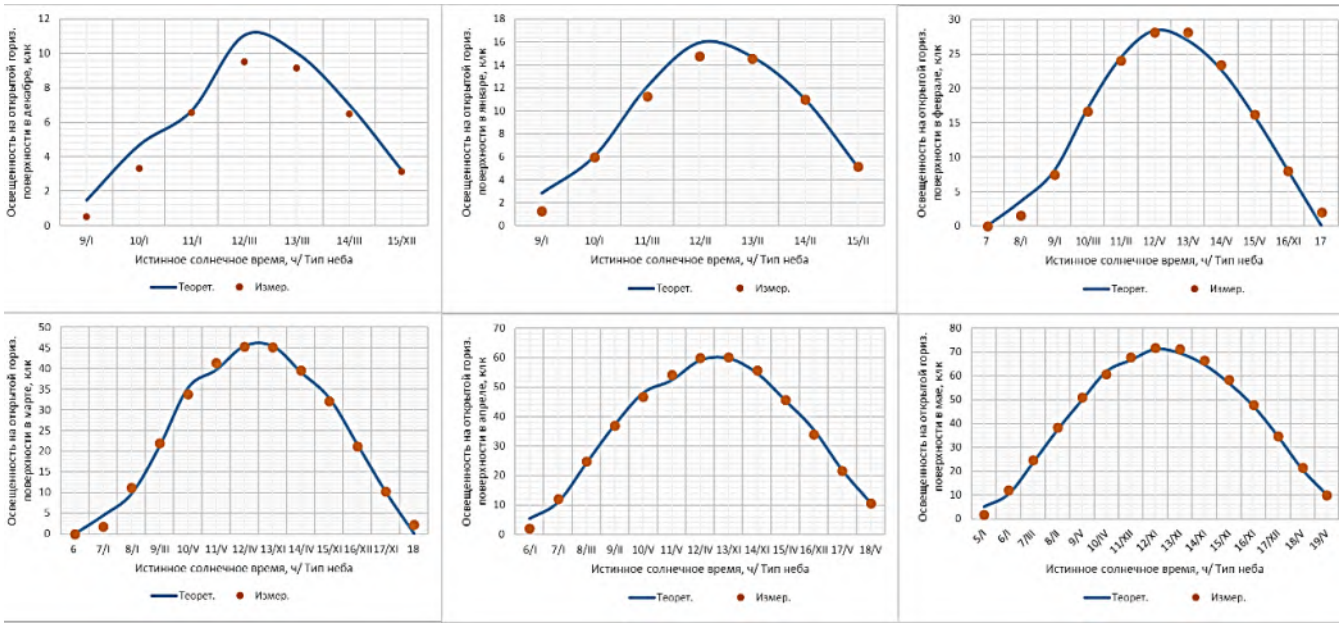


Рисунок 2.7 − Подобранный тип неба для г. Москвы в зимние (наверху) и весенние (внизу) месяцы

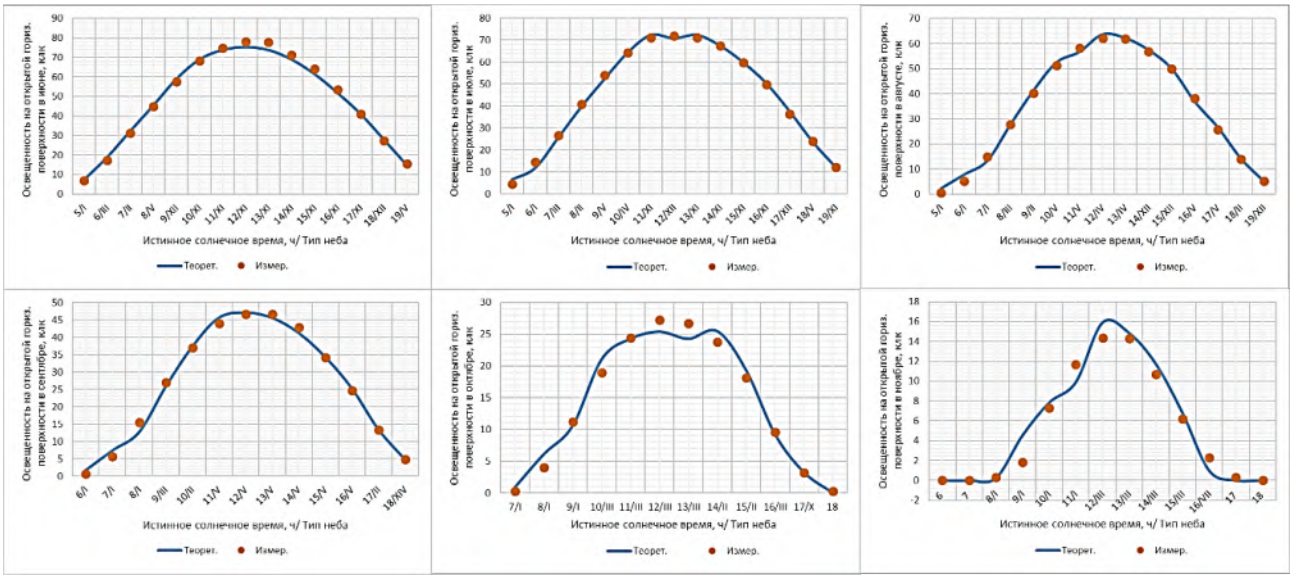


Рисунок 2.8 − Подобранный тип неба для г. Москвы в летние (наверху) и осенние (внизу) месяцы.

2.3.3 Расчёт освещённости в расчетной точке модельного помещения по графо - аналитическому методу для каждого часа светового дня каждого месяца в течение года

Согласно п. 2.2, проведены автоматизированные расчёты освещённости в расчётной точке (р.т.) с использованием графо-аналитического метода для модельного помещения в течение года при различной ориентации светового проема для всех месяцев года и всех рассматриваемых городов.

На рисунке 2.9 представлена схема расчёта: для каждого часа светового дня каждого месяца строятся диаграммы распределения освещенности, создаваемой участками небосвода в центре небесной полусферы. Далее, согласно методу, центр полусферы совмещается с р.т. помещения и проводится суммирование освещённости от участков небосвода, видимых через световой проем в р.т. Получившаяся сумма является прямой освещённостью в р.т. в текущий световой час. Затем учитывается отраженная составляющая согласно формуле (2.11). Такие расчёты повторяются для всех месяцев года по часам светового дня. Затем строится зависимость освещённости в р.т. помещения по часам светового дня для каждого месяца года при последовательной ориентации светопроема на север, восток, юг и запад.

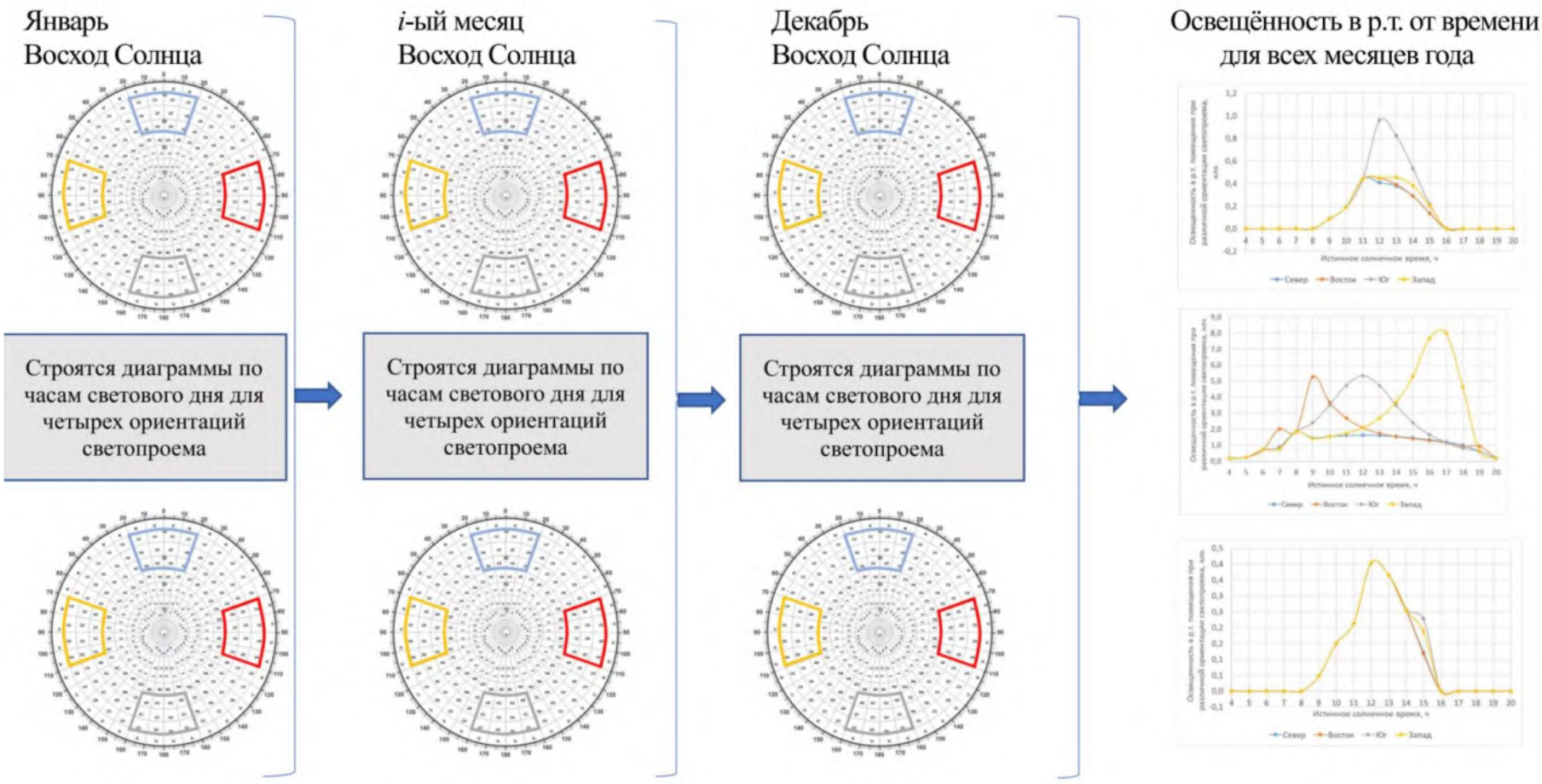


Рисунок 2.9 - Применение графо-аналитического метода для определения прямой освещённости в расчётной точке помещения по часам светового дня для всех месяцев года при четырех возможных ориентациях светопроема (на север – голубой контур, на восток – красный контур, на юг – серый, на запад – желтый контур).

2.3.4 Определение временных интервалов начала и конца использования только естественного освещения за каждый месяц года

Для определения длительности использования только естественного освещения принимается, что искусственное освещение требуется, если освещенность от естественных источников меньше, чем нормируемая освещенность от искусственных источников. В других случаях в помещении используется только естественное освещение.

Согласно Изм.№2 к СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [101] для жилых помещений, нормируемое искусственное освещение равно 200 лк. Тогда на полученные в п. 2.3.3 графики зависимости освещённости в р.т. от времени наносится линия 200 лк и по точкам пересечения графиков определяем длительность использования только естественного освещения. Для г. Москвы графики приведены на рисунках 2.10-2.11, для других городов – в приложении В.3 на рисунках В.6-В.85. В таблице 2.1 приведены определенные из графиков рисунках 2.10, 2.11 интервалы использования только естественного освещения для г. Москвы.

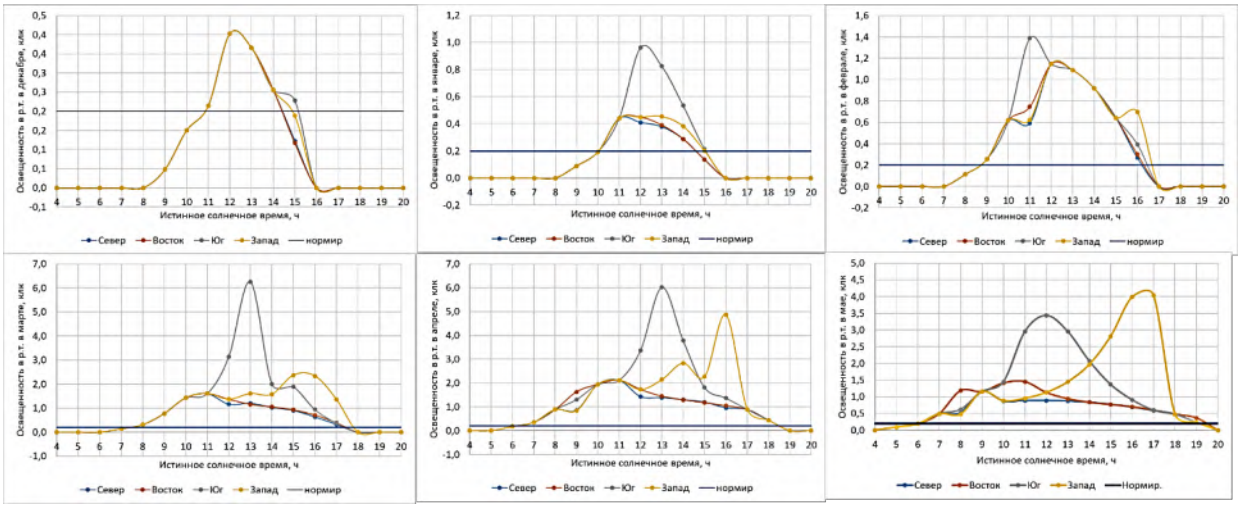


Рисунок 2.10 − Освещенность в зимние (наверху) и осенние (внизу) месяцы в р.т. помещения, г. Москва

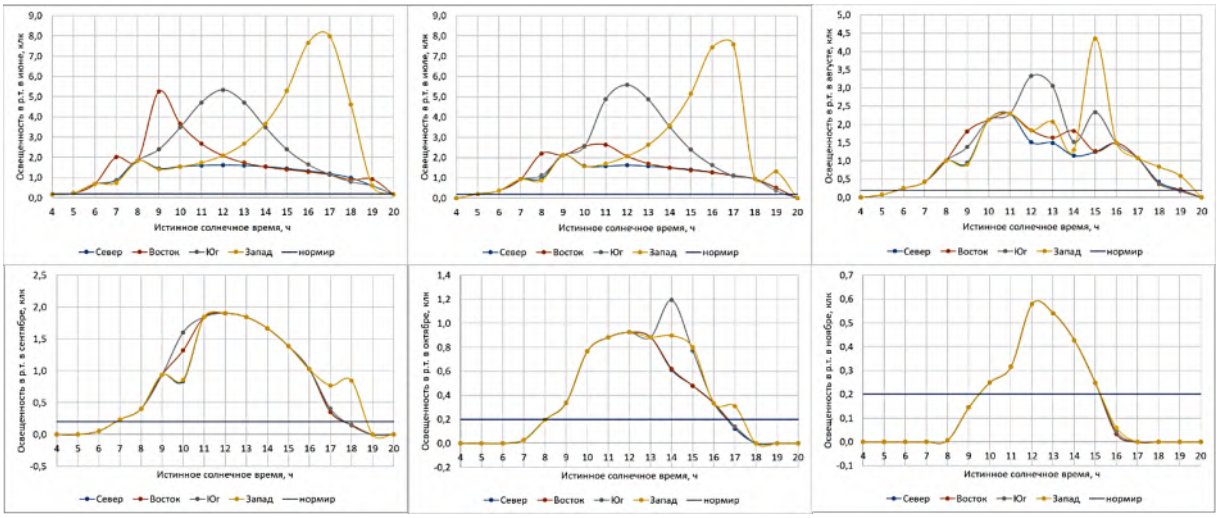


Рисунок 2.11 − Освещенность в летние (наверху) и весенние (внизу) месяцы в р.т. помещения, г. Москва

Таблица 2.1 − Время начала и конца использования только естественного освещения в р.т. помещения при ориентации светопроема по четырем румбам, для г. Москвы

Параметр	Север	Восток	Юг	Запад
Январь				
вр.начала	10ч 2м	10ч 2м	10ч 2м	10ч 2м
вр.конца	14ч 35м	14ч 35м	15ч 4м	15ч 0м
Февраль				
вр.начала	8ч 37м	8ч 37м	8ч 37м	8ч 37м
вр.конца	16ч 15м	16ч 20м	16ч 30м	16ч 43м
Март				
вр.начала	7ч 21м	7ч 21м	7ч 21м	7ч 21м
вр.конца	17ч 22м	17ч 29м	17ч 28м	17ч 51м
Апрель				
вр.начала	6ч 9м	6ч 9м	6ч 9м	6ч 9м
вр.конца	18ч 33м	18ч 33м	18ч 33м	18ч 33м
Май				
вр.начала	5ч 14м	5ч 14м	5ч 14м	5ч 14м
вр.конца	19ч 30м	19ч 41м	19ч 30м	19ч 30м
Июнь				
вр.начала	4ч 50м	4ч 50м	4ч 50м	4ч 50м
вр.конца	19ч 40м	19ч 47м	19ч 40м	19ч 40м
Июль				
вр.начала	4ч 57м	4ч 57м	4ч 57м	4ч 57м
вр.конца	19ч 36м	19ч 37м	19ч 27м	19ч 51м

Продолжение таблицы 2.1

Параметр	Север	Восток	Юг	Запад
Август				
вр.начала	5ч 42м	5ч 42м	5ч 42м	5ч 42м
вр.конца	19ч 4м	19ч 2м	18ч 52м	19ч 40м
Сентябрь				
вр.начала	6ч 48м	6ч 48м	6ч 48м	6ч 48м
вр.конца	17ч 45м	17ч 46м	17ч 47м	18ч 46м
Октябрь				
вр.начала	8ч 2м	8ч 2м	8ч 2м	8ч 2м
вр.конца	16ч 38м	16ч 41м	16ч 42м	17ч 21м
Ноябрь				
вр.начала	9ч 32м	9ч 32м	9ч 32м	9ч 32м
вр.конца	15ч 13м	15ч 13м	15ч 14м	15ч 15м
Декабрь				
вр.начала	10ч 47м	10ч 47м	10ч 47м	10ч 47м
вр.конца	14ч 25м	14ч 24м	15ч 7м	14ч 49м

2.3.5 Суммирование освещённости за часовые интервалы начала и конца использования только естественного света в течение года

После определения длительности использования только естественного освещения проведено суммирование освещённости в течение года в расчётной точке модельного помещения при его последовательной ориентации по четырем румбам для всех рассматриваемых городов, причем суммирование проводится за период использования только естественного света. График суммарной освещенности за каждый месяц для г. Москвы приведен на рисунке 2.12.

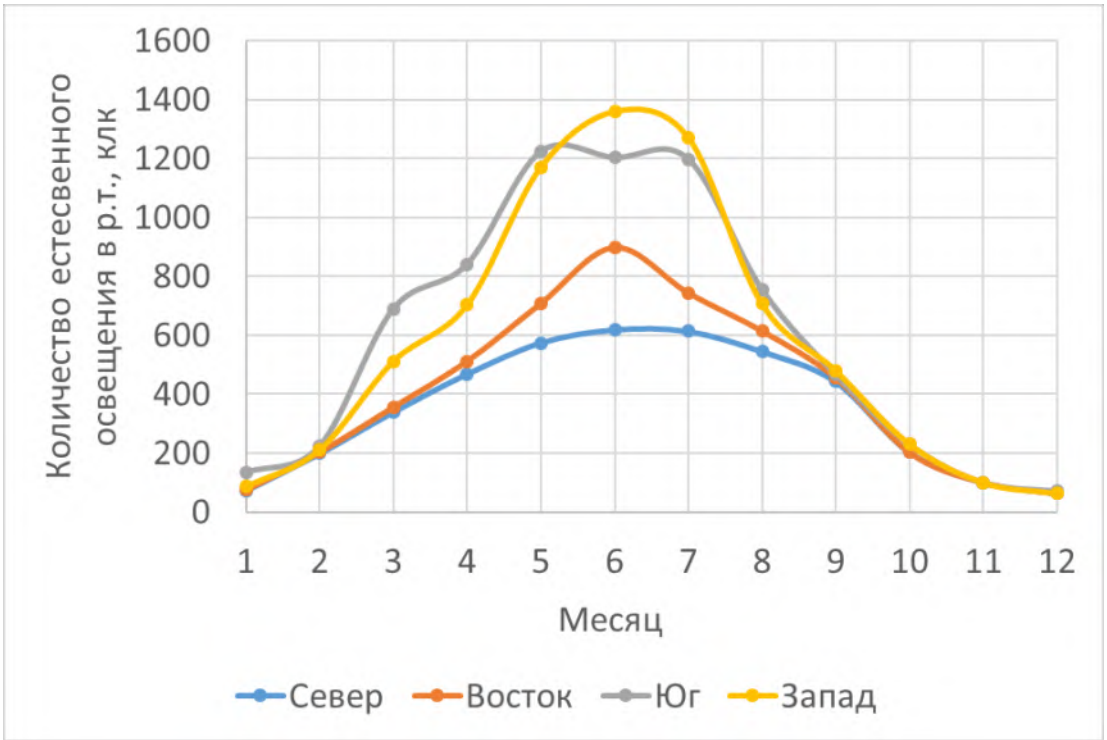


Рисунок 2.12 – Количество естественного освещения в р.т. помещения при ориентации светового проема по четырем основным румбам, г. Москва

В таблице 2.2 представлены результаты расчета годового количества естественного освещения в расчётной точке модельного помещения по формуле (2.13).

Таблица 2.2 – Годовое количество освещения (формула (2.16)) в р.т. помещения за год, клк, при различной ориентации светопроема для всех групп светоклиматических регионов России (таблицы В.1-В.3)

№	Станция	Север	Восток	Юг	Запад
1	Москва	4236	4937	7138	6896
2	Павелец	4319	5003	8799	7865
3	Советск	4270	5032	7994	7586
4	П.-Камчатский	4513	5045	11654	8566
5	Куздеево	4361	5348	10806	8750
6	Шумиха	4148	4684	7710	7317
7	Памятное	4156	5270	11008	8459
8	Мыза	4113	5059	7825	7145
9	Огурцово	4181	4908	9535	8040
10	Чермоз	3915	4673	8828	7169

Продолжение таблицы 2.2

№	Станция	Север	Восток	Юг	Запад
11	Уфа	4097	5081	9286	7866
12	Нолинск	4037	4685	8954	7595
13	Вязовые	4107	4971	8737	7931
14	Якутск	3743	4737	11304	7719
15	Верхнее Дуброво	4092	4849	9536	7751
16	Смоленск	4173	4777	8718	8047
17	Тобольск	3980	4828	10748	7469
18	Хабаровск	4785	5584	13356	9632
19	Марково	3639	4694	10274	7011
20	Курск	4356	4930	8361	7761
21	Волгоград	4658	5725	10688	9575
22	Екатерино-Никольское	4759	5999	14505	9851
23	Чита	4564	5859	12507	8845
24	Шаджатмаз	5260	6467	14952	7941
25	Иркутск	4462	5424	11748	8529
26	Нижнедевицк	4412	5537	8706	7767
27	Магадан	4039	4598	9077	6161
28	Чебеньки	4417	5472	10682	8977
29	Благовещенка	4489	6019	13707	9894
30	Багдарин	4354	5781	13513	8653
31	Иволгинск	4551	5754	12823	9247
32	Ираэль	3499	3796	7189	6192
33	Кызыльская	4589	5895	13952	10419
34	Хакасская	4342	5198	9015	8266
35	Омск	4281	5310	10570	8167
36	Самара	4244	5333	11026	8382
37	Ершов	4521	5879	11143	9436
38	Южно-Сахалинск	4897	5498	12352	8210
39	Каменная Степь	4422	5306	9230	8382
40	Александровское	4405	5165	7994	7031
41	Ростоши	4414	5325	9385	8643
42	Сытомино	3786	4557	9746	7224
43	Бермамыт	5074	7773	16561	9102
44	Сковородино	4414	5631	13271	9070

Продолжение таблицы 2.2

№	Станция	Север	Восток	Юг	Запад
45	Архангельск	3397	4030	7639	6202
46	Астрахань	4993	6371	11186	11163
47	Каргополь	3619	4100	7170	5913
48	Кострома	3972	4601	8564	7340
49	Шилуте	4016	4550	8427	7442
50	Краснодар	4813	5673	8862	8332
51	Новая Ладога	3772	4546	8365	7137
52	Хибины	3110	3867	7703	5128
53	Валдай	3940	4546	8044	6633
54	Новосельское	4551	6253	15878	9350
55	Николаевская	4546	5316	8851	6687
56	Кизляр	4877	5802	9086	9880
57	Гигант	4863	6174	11095	9942
58	Петрозаводск	3624	4294	7491	5952
59	Цимлянск	4730	5906	10615	10030
60	Пятигорск	5058	6248	10795	8286
61	Торопец	3984	4776	8275	7251
62	Елецкая	3364	3751	7323	5405
63	Торжок	4032	4770	8780	7237
64	Никитский сад	4935	5937	9790	10063

2.3.6 Проведение расчётов коэффициентов светового климата при различной облачности небосвода

Расчёт коэффициентов светового климата проведен по формулам (2.15), (2.16) с использованием данных таблицы 2.2 и представлен в таблице 2.3 для городов первой группы, в таблице 2.4 для городов второй группы, в таблице 2.5 для городов третьей, четвертой и пятой групп по ресурсам светового климата согласно делению по Приложению Е СП 52.13330 [169].

Таблица 2.3 – Рассчитанные коэффициенты светового климата при различной ориентации светопроема (2.15) для городов первой группы районов по световому климату согласно делению по СП 52.13330 [169]

№	Наименование местности	Север	Восток	Юг	Запад
1	Москва	1,00	1,00	1,00	1,00
2	Владимирская обл. (ст. Павелец)	1,02	1,01	1,23	1,14
3	Калужская область (ст. Советск)	1,01	1,02	1,12	1,10
4	Камчатский край (ст.Петропавловск-Камчатский)	1,07	1,02	1,63	1,24
5	Кемеровская область (ст.Куздеево)	1,03	1,08	1,51	1,27
6	Красноярский край (ст.Шумиха)	0,98	0,95	1,08	1,06
7	Курганская обл.(ст.Памятное)	0,98	1,07	1,54	1,23
8	Нижегородская обл.(ст.Мыза)	0,97	1,02	1,10	1,04
9	Новосибирская области (ст.Огурцово)	0,99	0,99	1,34	1,17
10	Пермский край (ст. Чермоз)	0,92	0,95	1,24	1,04
11	Республика Башкортостан (ст.Уфа)	0,97	1,03	1,30	1,14
12	Республика Татарстан (ст.Вязовые)	0,97	1,01	1,22	1,15
13	Республика Саха (ст.Якутск)	0,88	0,96	1,58	1,12
14	Свердловская обл. (ст.Верхнее Дуброво)	0,97	0,98	1,34	1,12
15	Смоленская обл. (ст.Смоленск)	0,99	0,97	1,22	1,17
16	Тюменская области (ст.Тобольск)	0,94	0,98	1,51	1,08
17	Чукотский АО (ст.Марково)	0,86	0,95	1,44	1,02

Согласно таблице 4 СП 52.13330 [169] коэффициенты светового климата для городов первой группы районов по ресурсам светового климата равны 1 для всех ориентаций светопроема, что отличается от рассчитанных согласно представленным методам учета изменчивости яркости небосвода коэффициентов светового климата. Так, для северной и восточной ориентаций светопроема рассчитанные коэффициенты близки к 1, для западной и особенно для южной ориентации они значительно превышают 1. Также стоит отметить, что рассчитанные коэффициенты для запада превышают таковые для востока, что связано с более полным учетом режима облачности и вероятности солнечного сияния в послеполуденные часы.

Таблица 2.4 – Рассчитанные коэффициенты светового климата при различной ориентации светопроема (формула (2.15)) для городов второй группы районов по световому климату согласно делению по СП 52.13330 [169]

№	Наименование местности	Север	Восток	Юг	Запад
1	Курская область (ст. Курск)	1,03	1,00	1,17	1,13
2	Брянская обл. (ст. Советск)	1,01	1,02	1,12	1,10
3	Волгоградская обл. (ст. Волгоград)	1,10	1,16	1,50	1,39
4	Еврейская автономная область (ст. Екатерино-Никольское)	1,12	1,22	2,03	1,43
5	Забайкальский край (ст. Чита)	1,08	1,19	1,75	1,28
6	Кабардино-Балкарская Республика (ст. Шаджатмаз)	1,24	1,31	2,09	1,15
7	Камчатский край (ст. Петропавловск-Камчатский)	1,07	1,05	1,64	1,13
8	Красноярский край (южнее 63°с. ш., ст. Шумиха)	0,98	0,95	1,08	1,06
9	Иркутская область (ст. Иркутск)	1,05	1,10	1,65	1,24
10	Липецкая область (ст. Нижнедевицк)	1,04	1,12	1,22	1,13
11	Магаданская область (ст.Магадан)	0,95	0,93	1,27	0,89
12	Оренбургская область (ст. Чебеньки)	1,04	1,11	1,50	1,30
13	Алтайский край (ст. Благовещенка)	1,06	1,22	1,92	1,43
14	Республика Бурятия (западная) (ст. Багдарин)	1,03	1,17	1,89	1,25
15	Республика Бурятия (восточная) (ст. Иволгинск)	1,07	1,17	1,80	1,34
16	Республика Коми (ст. Ираэль)	0,83	0,77	1,01	0,90
17	Республика Саха (южнее 63° с. ш.) (ст. Якутск)	0,89	0,96	1,56	1,14
18	Республика Тыва (ст. Кызыльская)	1,08	1,19	1,95	1,51
19	Республика Хакасия (ст. Хакасская)	1,03	1,05	1,26	1,20
20	Омская обл. (ст. Омск)	1,01	1,08	1,48	1,18
21	Самарская обл. (ст. Самара)	1,00	1,08	1,54	1,22
22	Саратовская обл. (ст. Ершов)	1,07	1,19	1,56	1,37
23	Сахалинская обл. (ст. Южно-Сахалинск)	1,16	1,11	1,73	1,19

Продолжение таблицы 2.4

№	Наименование местности	Север	Восток	Юг	Запад
24	Тамбовская обл. (ст. Каменная Степь)	1,04	1,07	1,29	1,22
25	Томская обл. (ст. Александровское)	1,04	1,05	1,12	1,02
26	Ульяновская обл. (ст. Ростоши)	1,04	1,08	1,31	1,25
27	Хабаровский край (южнее 55° с. ш.) (ст. Хабаровск)	1,13	1,13	1,87	1,37
28	Ханты-Мансийский АО (ст. Сытомино)	0,89	0,92	1,37	1,05
29	Чеченская Республика (ст. Бермамыт)	1,20	1,57	2,32	1,32

По данным таблицы 4 СП 52.13330 [169] коэффициенты светового климата для северной, восточной и западной ориентаций равны 1,11, а для южной – 1,18. При сравнении с данными таблицы 2.5, видно, что рассчитанные коэффициенты для северной, восточной и западной ориентаций для многих станций приближены к нормативным значениям, для некоторых – ниже нормативных, что обусловлено режимом облачности в утренние и вечерние часы, когда помещение особенно насыщается прямым светом неба; для южной ориентации рассчитанные значения выше нормативных, что обусловлено более полным учётом изменчивости яркости небосвода.

Для третьей, четвертой и пятой групп светоклиматических регионов России рассчитанные коэффициенты светового климата (таблица 2.5) в основном превышают таковые, содержащиеся в СП, особенно для южной ориентации, что объясняется более полным учётом особенностей светового климата регионов.

Таким образом, предложенные в п. 2.1-2.3 методы учёта изменчивости яркости небосвода способствуют развитию и совершенствованию методов расчёта естественного освещения помещений с учетом различной облачности небосвода.

Таблица 2.5 – Рассчитанные коэффициенты светового климата при различной ориентации светопроема (формула (2.15)) для городов третьей, четвертой и пятой групп районов по световому климату согласно делению по СП 52.13330 [169]

№	Наименование местности	Север	Восток	Юг	Запад
1	Амурская обл. (ст. Сковородино)	1,04	1,14	1,86	1,32
2	Архангельская обл. (ст. Архангельск)	0,80	0,82	1,07	0,90
3	Астраханская обл. (ст. Астрахань)	1,18	1,29	1,57	1,62
4	Вологодская обл. (ст. Каргополь)	0,85	0,83	1,00	0,86
5	Ивановская обл. (ст. Кострома)	0,94	0,93	1,20	1,06
6	Калининградская обл. (ст. Шилуте)	0,95	0,92	1,18	1,08
7	Кировская обл. (ст. Нолинск)	0,95	0,97	1,30	1,07
8	Краснодарский край (ст. Краснодар)	1,14	1,15	1,24	1,21
9	Ленинградская обл. (ст. Новая Ладога)	0,89	0,92	1,17	1,03
10	Мурманская обл. (ст. Хибины)	0,73	0,78	1,08	0,74
11	Новгородская обл. (ст. Валдай)	0,93	0,92	1,13	0,96
12	Приморский край (ст. Новосельское)	1,07	1,27	2,22	1,36
13	Псковская обл. (ст. Николаевская)	1,07	1,08	1,24	0,97
14	Республика Дагестан (ст. Кизляр)	1,15	1,18	1,27	1,43
15	Республика Калмыкия (ст. Гигант)	1,15	1,25	1,55	1,44
16	Республика Карелия (ст. Петрозаводск)	0,86	0,87	1,05	0,86
17	Ростовская обл. (ст. Цимлянск)	1,12	1,20	1,49	1,45
18	Ставропольский край (ст. Пятигорск)	1,19	1,27	1,51	1,20
19	Тверская обл. (ст. Торопец)	0,94	0,97	1,16	1,05
20	Ямало-Ненецкий автономный округ (ст. Елецкая)	0,79	0,76	1,03	0,78
21	Ярославская обл. (ст. Торжок)	0,95	0,97	1,23	1,05
22	Крым (ст. Никитский сад)	1,17	1,20	1,37	1,46

2.4 Предложения в нормативные документы

Внести рассчитанные для всех регионов РФ коэффициенты светового климата с учётом различной облачности небосвода в «СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение» [169].

Выводы по главе 2

1. Разработан метод подбора типа небосвода для заданной местности по распределению освещённости в зависимости от распределения яркости по небосводу при различной облачности из стандарта МКО. Согласно методу, проводятся расчеты естественной освещённости по актинометрическим данным и подбирается тип небосвода по распределению относительной яркости по небосводу согласно стандарту МКО для различных городов. Метод позволяет теоретически рассчитать распределение освещённости от небосвода на горизонтальной поверхности, характерное для заданной местности.

2. Представлен графо-аналитический метод определения освещённости в расчётной точке помещения при небосводе различной облачности, характерной для заданной местности по часам дня. Метод адаптирован под инженерные расчёты.

3. По разработанным методам проведены исследования естественной освещенности в расчетной точке модельного помещения. Получены значения коэффициентов светового климата с учётом различной яркости небосвода для городов всех светоклиматических регионов России по ресурсам светового климата.

4. Внедрение полученных результатов и разработка справочных материалов в виде диаграмм распределения освещённости при различной облачности небосвода в нормативные документы будет способствовать повышению точности расчётов естественного освещения помещений зданий, оптимальному подбору размеров светопроёмов и сбережению энергии на отопление и вентиляцию здания и искусственное освещение. Также может применяться для нормирования освещённости по целевому КЕО.

ГЛАВА 3 ВЛИЯНИЕ ПРОТИВОСТОЯЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ОТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ К ФАСАДАМ ЗДАНИЯ

В нормативных документах расчет поступлений от солнечной радиации в исследуемое здание с целью расчета нагрузки на систему отопления и вентиляции проводится для одиночно стоящего здания, а с учётом противостоящей застройки учитывается не полностью СП 345.1325800 [165]. Между тем, в условиях городской застройки следует учитывать перекрытие небосвода и, как следствие, сокращение облученности фасада. В то же время, противостоящее здание отражает часть солнечной радиации на исследуемый фасад. На данном этапе решается задача по учету расчетным образом влияния противостоящей застройки на затенение и отражение солнечной радиации в исследуемое здание.

Решаемая задача позволит точнее рассчитать поступления от прямой, рассеянной и отраженной солнечной радиации на исследуемое здание с учетом перекрытия части небосвода противостоящей застройкой и, тем самым, способствует повышению точности расчетов потребления энергии на отопление и вентиляцию. Положения главы изложены в работах автора [30, 84, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 95, 97, 98, 103, 106, 109, 110, 111, 114, 115, 189, 280].

3.1 Разработка графического метода расчета прямой солнечной радиации с учётом противостоящего здания

3.1.1 Формула расчёта прямой солнечной радиации с учётом противостоящего здания

Для определения влияния застройки на поступление прямой солнечной радиации рассматривается прохождение Солнца над двумя зданиями, расположенными параллельно. При этом фасад исследуемого здания может облучаться в течение нескольких периодов. Пусть начало и окончание периодов облучения представляется интервалами: $(t_{1н};t_{1к})$, $(t_{2н};t_{2к})$, $(t_{3н};t_{3к})$ и т.д. Тогда на фасад исследуемого здания с координатами по центру (x,y) поступает прямая радиация,

равная сумме прямой радиации за периоды облучения, что показано в работе автора [91]:

$$\hat{S}_j^{\text{ОП}}(\text{x}, y) = \sum_i^n \left[\sum_{t_\odot=t_{1_н}}^{t_\odot=t_{1к}} S^{\text{вер}}(t_\odot) + \sum_{t_\odot=t_{2н}}^{t_\odot=t_{2к}} S^{\text{вер}}(t_\odot) + \sum_{t_\odot=t_{3н}}^{t_\odot=t_{3к}} S^{\text{вер}}(t_\odot)\right], \quad (3.1)$$

где $S^{\text{вер}}(t_\odot)$ – прямая солнечная радиация, поступающая на элементарный участок фасада с координатами по центру (x, y);

n - количество месяцов отопиетльного периода.

В работе К.Я. Кондратьева [83] было показано, что величина прямой радиации, поступающей на вертикальную поверхность определяется пересчетом из прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность:

$$S^{\text{вер}} = \text{К}_{\text{ГВ}} \cdot S^{\text{гор}}. \quad (3.2)$$

Тогда для опредления интенсивности облучения за период облучения в формуле (3.1), $S^{\text{вер}}(t_\odot)$ для заданного времени определяется из выражения:

$$S^{\text{вер}}(t_\odot) = \text{К}_{\text{ГВ}}(t_\odot) \cdot [d_{i\text{ясн}} S_{\text{ясн}}^{\text{гор}}(t_\odot) + (d_i - d_{i\text{ясн}}) S_{\text{обл}}^{\text{гор}}(t_\odot)] , \quad (3.3)$$

где $\text{К}_{\text{ГВ}}(t_\odot)$ – коэффициенты пересчета прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную;

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

$S^{\text{гор}}(t_\odot)$ – прямая солнечная радиация, поступающая на горизональную поверхность за часовой интервал с серединой по истинному солненому времени $t_\odot$, определяется по справочным данным [140] с учётом ясных и облачных дней.

Тогда, для определения $\hat{S}_{\text{ЗД}}^{\text{вер}}(x, y)$ необходимо определить почасовые значения $\text{К}_{\text{ГВ}}(t_\odot)$ и периоды облучения исследуемого фасада с учётом противостоящего здания, что рассмотрено далее.

3.1.2 Определение почасовых коэффициентов пересчёта прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную

Коэффициент пересчёта прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную определяется по формуле, приведенной в работе К.Я. Кондратьева [83]:

$$К_{ГВ}(t_{\odot}) = \frac{cos\,\psi(t_{\odot})}{tgh_{\odot}(t_{\odot})}, \quad (3.4)$$

где $\psi = \psi_{\odot} - \psi_n$ - разность азимута нормали к исследуемому фасаду и азимута Солнца, рад.

Параметры в формуле (3.4) определяются по соотношениям (2.1) и (2.2). Из формул (2.1), (2.2) и (3.4) следует, что коэффициент $К_{ГВ}(t_{\odot})$ зависит, как от ориентации фасада, так и от истинного солнечного времени $t_{\odot}$. В то время, как в нормативном документе СП 345.1325800 [165] приведены экспериментально полученные коэффициенты без зависимости от истинного солнечного времени. Далее приводится сравнение различно определённых коэффициентов пересчета.

Для проведения расчета поступающей солнечной радиации проводятся расчёты почасовых коэффициентов пересчёта, $К^{ч}_{ГВ}(t_{\odot})$, по формуле (3.4) для г. Москвы (56° с.ш.) для четырёх основных румбов. Расчёты коэффициентов пересчёта проведены для 15-го числа каждого месяца года. Для сравнения в таблицах 3.1-3.3 приведены коэффициенты пересчёта $К^{э}_{ГВ}$, полученные из экспериментальных значений и представленные в работе Пивоваровой З.И. [145], включенные в нормативный документ СП 345.1325800.2017 [165].

Таблица 3.1 – Коэффициенты пересчета: почасовые $К^{ч}_{ГВ}(t_{\odot})$ (формула (3.2)), экспериментальные $К^{э}_{ГВ}$ из работы Пивоваровой З.И. [145], для 15-го числа каждого месяца для северной ориентации фасада (56° с.ш.)

$t_{\odot}$, ч	Коэффициенты пересчёта, $К^{ч}_{ГВ}(t_{\odot})$ и $К^{э}_{ГВ}$, для месяцев года				
	IV	V	VI	VII	VIII
$К^{ч}_{ГВ}(t_{\odot})$					
4-5		7,44	3,90	4,71	
5-6			1,23	1,29	
19-20			3,90	4,71	
$К^{э}_{ГВ}$					
-	0,02	0,08	0,12	0,1	0,04

Таблица 3.2 – Коэффициенты пересчета: почасовые $К^{ч}_{ГВ}(t_{\odot})$ (формула (3.2)), экспериментальные $К^{э}_{ГВ}$ из работы Пивоваровой З.И. [145], для 15-го числа каждого месяца для восточной (В) и западной (З) ориентации фасада (56° с.ш.)

$t_{\odot}$, ч (В, З)	Коэффициенты пересчёта, $К^{ч}_{ГВ}(t_{\odot})$ и $К^{э}_{ГВ}$, для месяцев года											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$К^{ч}_{ГВ}(t_{\odot})$												
4–5 (В), 19–20 (З)						6,46						
5–6 (В), 18–19 (З)					4,74	3,49	3,88					
6–7 (В), 17–18 (З)				4,62	2,79	2,31	2,47	3,51				
7–8 (В), 16–17 (З)			5,07	2,60	1,86	1,62	1,70	2,18	3,57			
8–9 (В), 15–16 (З)		5,22	2,57	1,65	1,27	1,14	1,19	1,44	2,06	3,64		
9–10 (В), 14–15 (З)	4,99	2,38	1,48	1,04	0,84	0,76	0,79	0,93	1,25	1,90	3,63	
10–11(В), 13–14 (З)	1,96	1,17	0,79	0,58	0,48	0,44	0,45	0,53	0,68	0,97	1,59	2,40
$К^{э}_{ГВ}$												
В	0,84	0,66	0,64	0,58	0,54	0,52	0,53	0,56	0,64	0,68	0,83	0,9
З	0,94	0,84	0,72	0,52	0,46	0,46	0,47	0,52	0,58	0,68	0,83	0,94

Таблица 3.3 – Коэффициенты пересчета: почасовые $К^{ч}_{ГВ}(t_{\odot})$ (формула (3.2)), экспериментальные $К^{э}_{ГВ}$ из работы Пивоваровой З.И. [145], для 15-го числа каждого месяца для южной ориентации фасада (56° с.ш.)

$t_{\odot}$, ч	Коэффициенты пересчёта, $К^{ч}_{ГВ}(t_{\odot})$ и $К^{э}_{ГВ}$, для месяцев года											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$К^{ч}_{ГВ}(t_{\odot})$												
7–8, 16-17				0,62	0,26	0,13	0,18	0,41	1,11			
8–9, 15-16			1,71	0,85	0,50	0,38	0,42	0,66	1,23	2,69		
9–10, 14-15		3,07	1,65	0,96	0,64	0,52	0,57	0,79	1,28	2,30		
10–11, 13-14	5,04	2,72	1,62	1,02	0,72	0,60	0,64	0,86	1,31	2,15	3,95	
11–12, 12-13	4,46	2,59	1,61	1,04	0,75	0,64	0,68	0,89	1,32	2,09	3,62	5,38
$К^{э}_{ГВ}$												
-	5,15	2,8	1,55	0,9	0,55	0,44	0,48	0,74	1,26	2,2	4,2	6,1

Таблица 3.4 – Относительная разница значений прямой радиации с использованием почасовых расчетных ($К^{ч}_{ГВ}$) и полученных из эксперимента ($К^{э}_{ГВ}$) значений коэффициентов пересчета, $S^{ч}_{обл}$ и $S^{э}_{обл}$, соответственно

Ориентация фасада	Относительная разница $\frac{(S^{э}_{обл}-S^{ч}_{обл})}{S^{э}_{обл}} \cdot 100\%$ для месяцев года											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Север					63,6	49,1	45,4					
восток	27,6	18,7	12,3	9,5	-0,2	-2,4	-5,5	2,3	2,6	1,5	22,6	66,7
Юг	5,0	-0,9	-5,9	-0,8	-2,2	2,6	1,6	2,7	0,3	-3,9	6,7	18,0
Запад	43,6	18,1	17,4	4,6	6,9	4,6	6,2	7,8	4,8	-4,3	31,7	52,2

Расчет прямой солнечной радиации при средних условиях облачности по часам светового дня, поступающей на вертикальную поверхность, произведен по формуле (3.3), далее данные просуммированы за период облучения, $S^{ч}_{обл}$, МДж/м^2°С. Аналогично получены значения, основанные на экспериментально полученных данных $К^{э}_{ГВ}$ из работы Пивоваровой З.И. [145], при средних условиях облачности $S^{э}_{обл}$ по формуле (3.2). В таблице 3.4 приведена относительная разница значений прямой радиации с использованием расчетных и экспериментальных значений коэффициентов пересчета, $S^{ч}_{обл}$ и $S^{э}_{обл}$.

Из данных таблицы 3.4 следует, что значения прямой солнечной радиации, полученные с использованием расчетных данных, наиболее близки к полученным с использованием экспериментальных данных для южной ориентации фасада в теплый период года, при этом наименьшая абсолютная величина относительной разницы составляет 0,3%. Значения относительной разницы для восточной и западной ориентаций наиболее малы лишь с мая по июль, при этом наименьшая абсолютная величина составляет 0,2% и 4,6%, соответственно. Наибольшая относительная разница между экспериментальными и расчетными данными наблюдается для северной ориентации в летние месяцы (до 64%), а также в зимние месяцы для трех остальных рассматриваемых ориентаций (до 67%).

Следовательно, результаты почасового расчета прямой солнечной радиации близки к таковым, выполненным по экспериментальным данным, лишь при условии длительного и интенсивного облучения фасада. Данное обстоятельство

можно объяснить тем, что именно такие условия способствуют наиболее точному определению коэффициента пересчета, полученного из эксперимента, а, значит, его дальнейшее применение в расчёте дает значение солнечной радиации, наиболее близкое к определяемому расчётом по часам с дальнейшим суммированием. В иных же случаях (при небольшой длительности и интенсивности поступающей радиации) экспериментальное определение коэффициента пересчета, видимо, является недостаточно точным, а расчеты поступающей солнечной радиации с его использованием – завышенными.

Таким образом, почасовой расчет поступления солнечной радиации на фасад с использованием почасовых значений коэффициентов пересчёта представляется более точным. При этом особенности климата учитываются при использовании справочных данных о почасовом поступлении излучения от солнечной радиации на горизонтальную поверхность.

Значения рассчитанных почасовых коэффициентов пересчета, $К^{ч}_{ГВ}$, для 38-80° с.ш. приведены в Приложении Г.1. Коэффициенты $К^{ч}_{ГВ}$ рассчитаны с исключением углов падения, больших 75 градусов.

3.1.3 Графическое определение длительности облучения прямой радиацией с учётом противостоящего здания

Для определения величины $\hat{S}^{вер}_{ЗД}(x, y)$ необходимо определить промежутки истинного солнечного времени $\Delta t_{\odot}$, за которые происходит облучение исследуемого здания.

При разработке данного метода делается допущение о проведении расчетов по поступлению прямой солнечной радиации за каждый ровный час светового дня. Расчеты проводятся для центра исследуемого участка фасада с координатами *(x,y)*. Перекрытие Солнца от боковых фасадов противостоящего здания не учитывается. Расчеты проводятся для отопительного периода, когда Солнце не поднимается высоко над линией горизонта и, таким образом, не может заходить за верхнюю грань южного фасада здания. Влияние иной схемы расположения зданий и

архитектурных элементов возможно предусмотреть при дальнейших модификациях предлагаемого метода.

Тогда, пусть фасад исследуемого здания имеет азимут нормали к поверхности ψ_n. Противостоящее здание перекрывает исследуемый фасад на угол ψ_1, отсчитываемый от нормали к исследуемому фасаду до первой по ходу движения Солнца перекрывающей боковой грани фасада противостоящего здания, и на угол ψ_2, отсчитываемый от нормали к исследуемому фасаду до второй перекрывающей Солнце грани фасада противостоящего здания (рисунок 3.1). При этом азимутальный угол перекрытия Солнца $\psi_\odot$ изменяется от $\psi_n - \psi_1$ до $\psi_n + \psi_2$ (рисунок 3.1). Угол перекрытия по высоте определяется угловой высотой β(y, ψ), определяемой по верхней грани фасада противостоящего здания (рисунок 3.2).

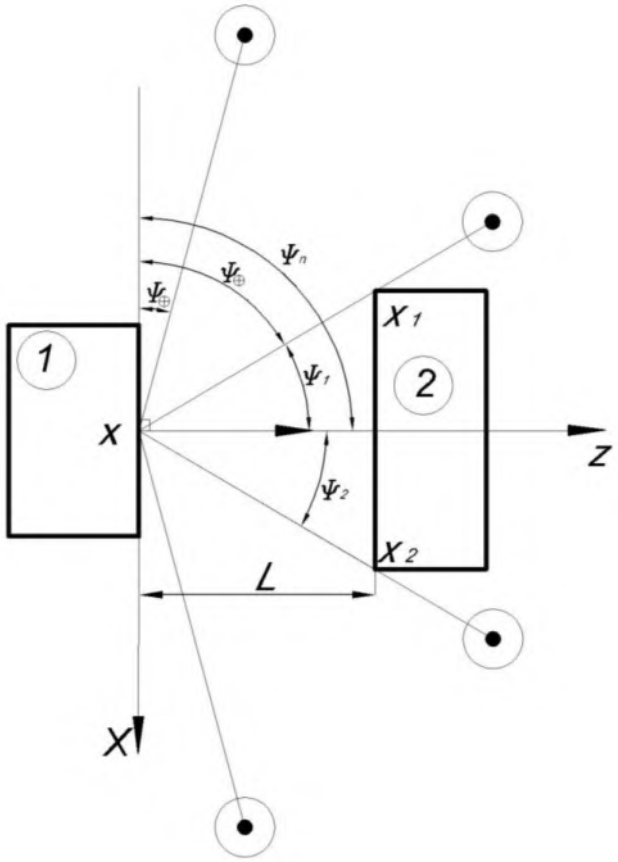


Рисунок 3.1 – Схема расположения зданий в плане, движение Солнца в проекции на горизонтальную плоскость. Обозначения: 1 – исследуемое здание; 2 – противостоящее здание

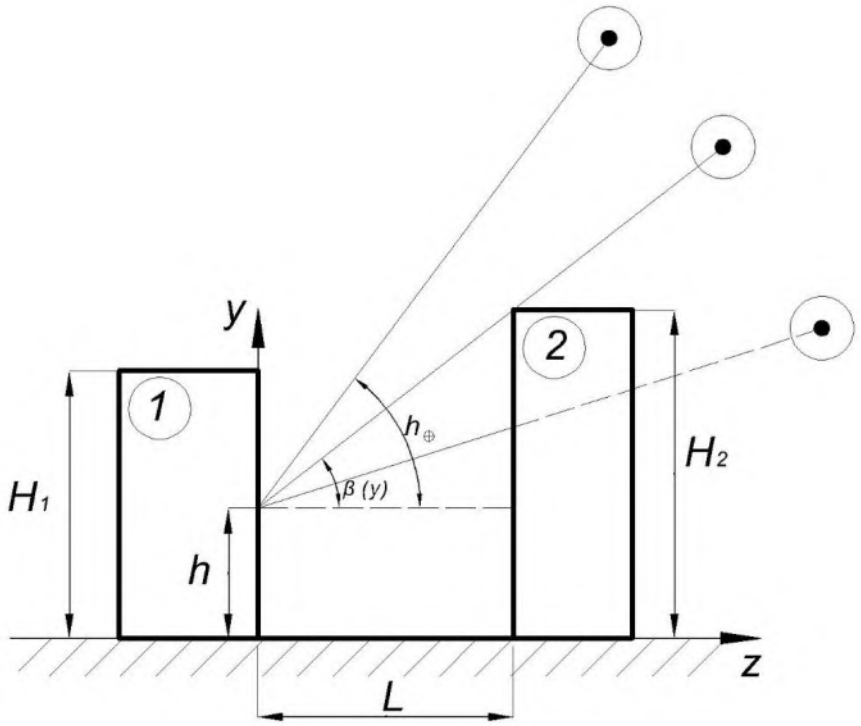


Рисунок 3.2 – Схема расположения зданий в разрезе, движение Солнца в проекции на вертикальную плоскость. Обозначения: 1 – исследуемое здание; 2 – противостоящее здание

Для определения времени облучения фасада рассматриваются условия облучения, при одновременном выполнении которых солнечное излучение направлено на исследуемую поверхность фасада, но может быть перекрыто вследствие наличия противостоящего здания при одновременном выполнении условий затенения.

Условия облучения:

1. Азимут Солнца и азимут проекции нормали к поверхности исследуемого фасада лежат в пределах развернутого угла.
2. Солнце находится над линией горизонта.

Условия затенения:

1. Азимут Солнца находится в диапазоне изменения азимутального угла перекрытия небосвода противостоящим зданием.
2. Угловая высота Солнца меньше угла закрытости горизонта противостоящим зданием.

Данные условия и определяемые из них периоды облучения фасада необходимо рассмотреть подробнее.

Определение времени облучения фасадов различной ориентации в условиях открытого горизонта.

1. Условие облучения по азимуту.

Для каждого фасада условие облучения по азимуту Солнца выглядит следующим образом:

$$\psi_n - \frac{\pi}{2} \le \psi_\odot \le \psi_n + \frac{\pi}{2} \ . \qquad (3.5)$$

Солнечное излучение, падающее по касательной, не поглощается участком фасада. В связи с этим предлагается рассмотреть т.н. эффективный угол облучения, т.е. наименьший угол в горизонтальной плоскости между солнечным лучом и поверхностью фасада, при котором начинается прохождение солнечного излучения через остекление, переплеты, оконные откосы (т.н., теневые углы). Из дальнейших исследований в разделе 4.8, можно принять, что таким углом является угол в 15 град. (0,3 рад.). Определение величины эффективного угла облучения требует дополнительных исследований, после проведения которых не составит труда откорректировать предлагаемый метод. Тогда условие облучения по азимуту (3.5) представляется следующим образом:

$$\psi_n - \frac{\pi}{2} + 0{,}3 \le \psi_\odot \le \psi_n + \frac{\pi}{2} - 0{,}3 \ . \qquad (3.6)$$

Из неравенства (3.6) определяются азимуты Солнца, при которых оно начинает и заканчивает облучать фасад. Часовые углы Солнца определяются из соотношения, полученного из (3.3):

$$\Omega_{\text{н,к}} = arcsin\left(\frac{sin\,\psi_{\odot\text{н,к}} \cdot cos\,h_\odot}{cos\,\delta}\right). \qquad (3.7)$$

Затем по формуле расчёта истинного солнечного времени через часовой угол Солнца по РД 52.04.562-96 [147] определяются моменты начала и окончания облучения поверхности фасада по условию азимутов:

$$t_{\odot\psi_{\text{н,к}}} = 12 + \Omega_{\text{н,к}}/15, \qquad (3.8)$$

где 15 – размерный коэффициент, °/ч.

2. Условие облучения по угловой высоте

В момент восхода и захода Солнца его угловая высота равна нулю:

$$h_{\odot} = 0, \tag{3.9}$$

тогда по формуле, аналогичной (3.7), вычисляется часовой угол Солнца $\Omega_{\text{н,к}}$ и затем по формуле определяется истинное солнечное время начала $t_{\odot h,н}$ и окончания облучения фасада $t_{\odot h,к}$ по условию угловой высоты Солнца по РД 52.04.562-96 [148]:

$$t_{\odot h_{\text{н,к}}} = 12 + \Omega_{\text{н,к}}/15. \tag{3.10}$$

3. Выбор времени начала и окончания облучения фасада.

Солнце облучает поверхность фасада, если выполнены оба условия облучения, поэтому время начала облучения фасада следует выбирать наибольшее, а время окончания облучения фасада – наименьшее. Из формул (3.8) и (3.10) определяются моменты истинного солнечного времени начала и окончания облучения фасада при открытом горизонте:

$$\begin{aligned} t_{н} &= max\{t_{\odot\psi н}; t_{\odot h н}\}, \\ t_{к} &= min\{t_{\odot\psi к}; t_{\odot h к}\}. \end{aligned} \tag{3.11}$$

Определение времени затенения фасадов различной ориентации при наличии противостоящего здания.

1. Условие затенения по азимуту

Пусть исследуемая область фасада имеет координату *x* по горизонтали. Противостоящее здание находится на расстоянии *L* от исследуемого и перекрывает исследуемую область фасада на величину x_1 и x_2 слева и справа, соответственно (рисунок 3.1).

Угол перекрытия небосвода в горизонтальной плоскости в данной работе называется азимутальным углом перекрытия небосвода. Тогда Солнце перекрывается противостоящим зданием при условии, что его азимут находится в диапазоне изменения азимутального угла перекрытия небосвода:

$$\psi_n(x) - \psi_1(x) \le \psi_{\odot} \le \psi_n(x) + \psi_2(x), \tag{3.12}$$

где: $\psi_1(x)$, $\psi_2(x)$ – азимуты перекрытия Солнца для точки фасада с координатой x, определяются из размеров противостоящего здания и расстояния до него (рисунок 3.1) по соотношениям:

$$\begin{aligned} \psi_1 &= arctg(\tfrac{x_1}{L}), \\ \psi_2 &= arctg(\tfrac{x_2}{L}). \end{aligned} \tag{3.13}$$

Переходя к параметрам застройки в плане расположения зданий:

$$\begin{aligned} L_{1L} &= (\tfrac{x_1}{L}), \\ L_{2L} &= (\tfrac{x_2}{L}). \end{aligned} \tag{3.14}$$

Условие (3.12) перекрытия Солнца для области фасада с координатой x по горизонтали записывается через тангенс разности азимутов:

$$L_{1L} \le tg(\psi_{\odot} - \psi_n) \le L_{2L}. \tag{3.15}$$

Аналогично (3.7), (3.8) из (3.15) определяется истинное солнечное время начала и окончания затенения:

$$\begin{aligned} \tau_{\psi_н} &= 12 + \Omega_{1_н}/15, \\ \tau_{\psi_к} &= 12 + \Omega_{2_к}/15. \end{aligned} \tag{3.16}$$

2. Условие затенения по угловой высоте.

Солнце перекрыто при угловой высоте, меньшей угла, под которым видно противостоящее здание из исследуемой точки (рисунок 3.2). При этом моменты начала или окончания периода затенения определяются из уравнения:

$$h_{\odot}(\psi_{\odot}) \le \beta(y, \psi). \tag{3.17}$$

Если фасад ориентирован на СВ, В, ЮВ, то при предельном выполнении условия (3.17) определяется момент окончания затенения в утренние часы, при этом момент начала затенения может приходиться на начало светового дня. Если фасад ориентирован на юг, то при предельном выполнении условия (3.17) определяются моменты окончания первого периода затенения и затем возможного начала второго периода затенения. Если фасад ориентирован на ЮЗ, З, СЗ, то при предельном выполнении условия (3.17) определяется момент начала затенения, в

то время, как момент окончание затенения может приходиться на окончания светового дня. В течение отопительного периода облучение северного фасада происходит только в апреле, когда условия его затенения близки к таковым для СВ и СЗ фасадов.

Пусть противостоящее здание превышает исследуемую область фасада на величину $H = H_2 - h$. Отношение превышения высоты противостоящего здания над координатой y по высоте исследуемого здания к расстоянию между зданиями является параметром застройки в разрезе расположения зданий и обозначается H_L:

$$H_L = H/L. \tag{3.18}$$

Тогда условие (3.17) может быть записано в виде:

$$\mathrm{tg}(h_\odot(\psi_\odot)) \le H_L\,. \tag{3.19}$$

Часовой угол Солнца определяется из соотношения:

$$\Omega_{н\vee к} = arccos\left[\frac{sin\{arctg[H_L]\} - sin\,\phi\,sin\,\delta}{cos\,\phi\,cos\,\delta}\right]. \tag{3.20}$$

Истинное солнечное время окончания затенения (для СВ, В, ЮВ, Ю фасадов) или начала затенения (для Ю, ЮЗ, З, СЗ фасадов) по условию затенения по угловой высоте Солнца:

$$\tau_{h_{н\vee к}} = 12 + \Omega_{н\vee к}/15. \tag{3.21}$$

Выбор времени начала и окончания затенения фасада.

Солнце затеняется противостоящим зданием только при одновременном выполнении условий затенения, поэтому время начала затенения фасада следует выбирать наибольшее, а время окончания затенения фасада – наименьшее. Данное обстоятельство объясняется тем, что участок фасада может затеняться по условию азимутов, но при этом облучаться по условию угловой высоты, или наоборот, тогда участок фасада все-таки облучается, поэтому для определения времени затенения необходимо брать наименьший временной интервал, в котором выполняются оба условия затенения. Из формул (3.16) и (3.21) определяется время начала и окончания затенения фасада:

$$\tau_н = max\{\tau_{h_н}; \tau_{\psi н}\},$$
$$\tau_к = min\{\tau_{h_к}; \tau_{\psi к}\}\ . \qquad (3.22)$$

Определение периодов облучения фасадов различной ориентации при наличии противостоящего здания.

Переходя к обозначениям уравнения для вычисления радиации (3.4), полученные из условий облучения моменты времени (3.11) обозначают начало первого периода облучения и конец последнего (второго или даже третьего для южного фасада) периода облучения:

$$t_{1н} = t_н\ ,$$
$$t_{2кv3к} = t_к\ . \qquad (3.23)$$

В свою очередь, полученные из условий затенения моменты времени (3.22) обозначают конец первого периода облучения и начало последнего (второго или третьего для южного фасада) периода облучения:

$$t_{1к} = \tau_н\ ,$$
$$t_{2нv3н} = \tau_к\ . \qquad (3.24)$$

Таким образом, расчётом по представленным формулам определяются периоды облучения фасада для дальнейшего определения поступления солнечной радиации по формуле (3.4). Однако, представленный метод необходимо адаптировать для применения в проектной практике.

Разработка графиков для определения периодов облучения участка фасада при наличии противостоящего здания.

Видимое расположение Солнца на небосводе, а, следовательно, и поступление прямой радиации на фасады здания за отопительный период зависит от многих параметров, таких как географическая широта местности, в которой расположено здание, месяц года и день месяца, время суток, что видно из формул (3.2) и (3.3) и учитывается в аналогичных расчётах продолжительности инсоляции [38, 56, 70, 182 и др.].

Поэтому с целью проведения расчёта угловой высоты и азимута Солнца принимаются исходные данные об указанных характеристиках:

- широта местности 56^0с.ш. (г. Москва);

- расчётный период – отопительный период для г. Москвы – с октября по апрель;

- расчётный день – 15-ое число каждого месяца;

- расчётный час – каждый ровный час светового дня.

Склонение Солнца принимается по таблице И.9 документа РД 52.04.562 [148].

В соответствии с представленными выше выкладками построены графики (рисунок 3.3), отображающие условия облучения южного фасада при открытом горизонте для каждого месяца отопительного периода [91]. Графики построены без учета углов падения солнечной радиации на фасад, больших 75 град. На оси ординат графиков (рисунок 3) отложено изменение тангенсов солнечных координат, т.е. $\mathrm{tg}(h_\odot)$ (см. формулу (3.19)) и $\mathrm{tg}(\psi_\odot - \psi_n)$ (см. формулу (3.15)). Значения оси абсцисс отображают интервал истинного солнечного времени $t_\odot$, отвечающий условиям одновременного облучения по угловой высоте (3.9) и по азимуту Солнца (3.6) и выбранный исходя из соотношений (3.11).

Далее на графики следует наносить параметры застройки (3.14) и (3.18) и проверять выполнение условий затенения по азимуту (3.15) и угловой высоте (3.19), определять время затенения по равенствам (3.22) и периоды облучения по (3.23), (3.24). Т.о., применение графиков не зависит от масштаба, так как параметры застройки наносятся на графики в относительных величинах.

Графики построены при изменении истинного солнечного времени с шагом в полчаса. Ниже приведен алгоритм расчёта. Пример расчёта приведен в Приложении Г.2. Графики на рисунке 3.3 не симметричны относительно декабря, так как склонение согласно [142, 148] отличается для 15-го числа каждого месяца.

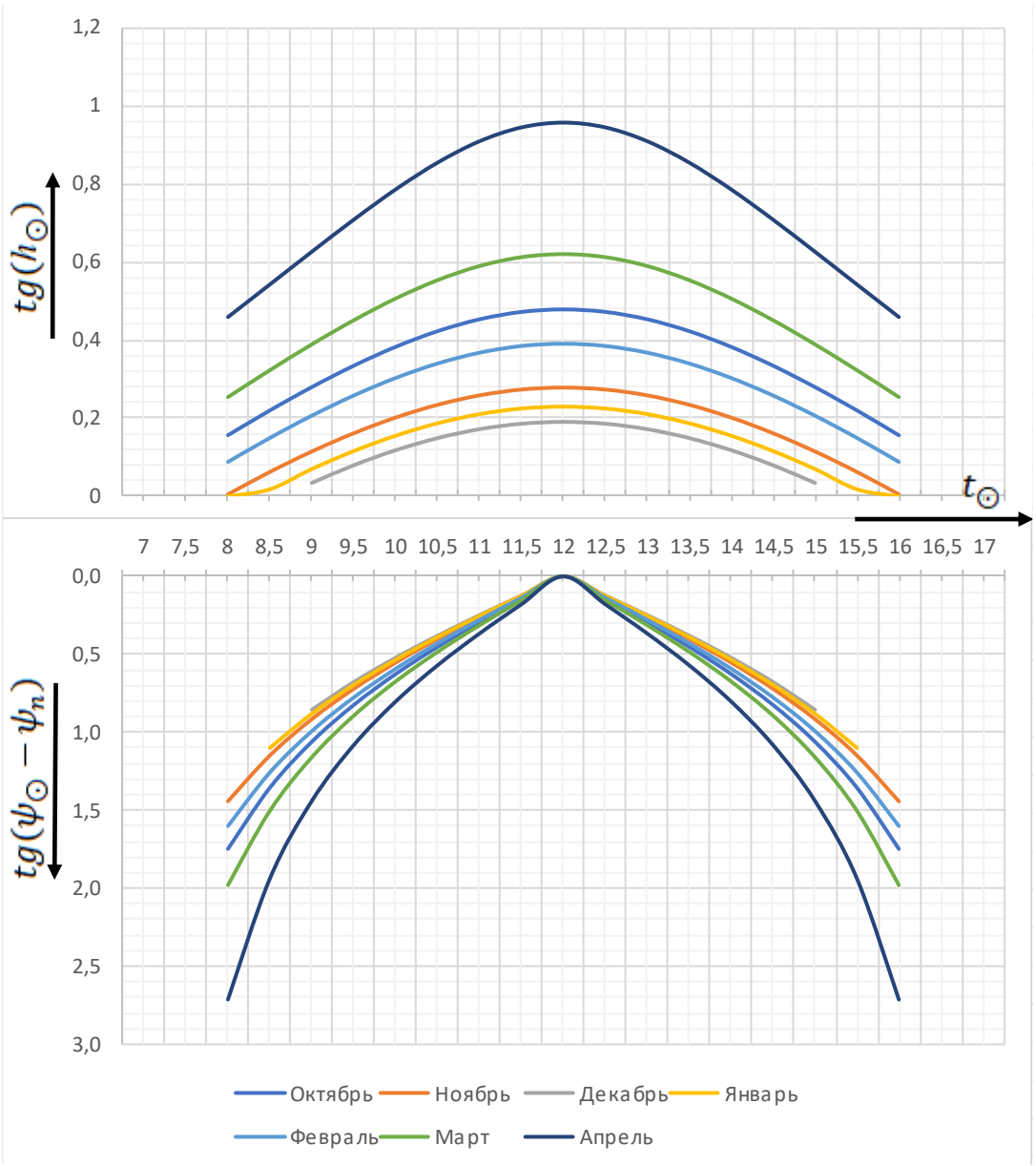


Рисунок 3.3 – Зависимость тангенса угловой высоты Солнца и тангенса разности азимутов Солнца и нормали к поверхности фасада, ориентированного на юг, от истинного солнечного времени облучения для месяцев отопительного периода (г. Москва)

3.1.4 Последовательность вычислений по разработанному графическому методу расчёта прямой солнечной радиации с учётом противостоящего здания

Для применения разработанного метода необходимы графики изменения тангенсов солнечных координат (см. рисунок 3.3), построенные для местности с определённой географической широтой, а также элементарные характеристики

застройки такие, как расстояние между зданиями и размеры противостоящего здания. Нанесение параметров застройки проводится однократно на одном графическом поле для всех представленных на нем месяцев, затем для каждого из месяцев отдельно проводится определение периодов облучения исследуемого участка фасада и суммирование прямой солнечной радиации за периоды облучения по формуле (3.1).

Последовательность проведения расчётов продемонстрирована на примере, приведённом в Приложении Г.2. Проведены следующие этапы вычисления:

1. Определение периода облучения участка фасада:

а) расчёт параметров застройки.

Параметры застройки рассчитываются по формулам (3.14) и (3.18).

б) нанесение параметров застройки на графики рисунка 3.3 и определение времени затенения.

Для определения времени затенения участка фасада необходимо графически проверить выполнение условий (3.15) и (3.19). Для этого на каждом из графиков рисунка 3.5 проводятся горизонтальные линии, соответствующие параметрам застройки: H_L и L_{1L}, L_{2L}. Области графиков, на которых значения $\mathrm{tg}(h_\odot)$ и $\mathrm{tg}(\psi_\odot - \psi_n)$ меньше соответствующего параметра застройки H_L и L_{1L}, или L_{2L}, являются областью затенения фасада.

Участок фасада затеняется в течение временного периода, на котором одновременно выполняются условия затенения (3.15) и (3.19), что графически означает совпадение верхнего и нижнего затеняющего прямоугольников и отмечается черной полосой на оси времени (рисунок Г.1 Приложения Г). В случае полного затенения по условию угловой высоты Солнца, следует определять период затенения только по условию азимутов.

в) определение периодов облучения.

Период облучения участка фасада с учётом противостоящего здания определяется из соотношений (3.23) и (3.24) при известном периоде затенения.

2. Расчёт поступающей прямой солнечной радиации

В соответствии с определённым графически временем облучения фасада вычисляется прямая солнечная радиация по часам по формуле (3.1). В Приложении Г.2 приведен пример расчета по разработанному графическому методу.

Расчёт по разработанному графическому методу расчёта прямой радиации с учётом противостоящего здания (Приложение Г.2) для фасада южной ориентации показал снижение на 52% в поступающей прямой солнечной радиации за отопительный период относительно расчёта без учёта влияния противостоящего здания, что представляется значимым результатом.

3.1.5 Автоматизация графического метода расчёта прямой солнечной радиации с учётом противостоящего здания

Для проведения расчётов прямой солнечной радиации при наличии противостоящего здания, графический метод был адаптирован под компьютерные расчёты.

Вводными данными для расчёта являются:

1. Значения $S^{\text{гор}}(t_{\odot})$ – прямая радиация, поступающая на горизонтальную поверхность по истинному солнечному времени $t_{\odot}$, МДж/м^2, определяется по климатическим справочным данным [140].
2. Географическая широта города.
3. Расстояние между зданиями, высота и ширина противостоящего здания.
4. Координаты расчётной точки на исследуемом фасаде.

Рассчитываются:

1. Периоды облучения солнечной радиацией с учётом перекрытия небосвода противостоящим зданием по формулам (3.6)-(3.24).
2. Коэффициенты пересчёта с горизонтальной поверхности на вертикальную в зависимости от истинного солнечного времени по формуле (3.4).

Выходные данные:

1. Прямая солнечная радиация, поступающая в расчётную точку на исследуемом фасаде с учётом противостоящего здания, рассчитывается по формуле (3.1).

В качестве альтернативы графического метода расчёта прямой радиации с учётом застройки предлагается метод, основанный на вычислении прямой радиации без учёта застройки, а затем введении параметров, учитывающих влияние застройки, определяемых графически с применением аппроксимации для конкретного случая. Такими параметрами являются радиационно-температурная характеристика фасада для прямой радиации и коэффициент затенения прямой радиации. Указанные параметры зависят от расположения зданий, интенсивности поступающей прямой радиации и ГСОП. Предлагаемый подход рекомендуется использовать только для расчета поступления прямой радиации в отопительный период.

Для адаптации методов расчёта солнечной радиации с учётом застройки проводятся расчёты для ряда городов России и выявляются закономерности. Выбор городов обусловлен их разными климатическими характеристиками и географическим расположением. Города разделены по парам в зависимости от их географического расположения по широте: г. Владивосток и г. Сочи, г. Новосибирск и г. Москва, г. Магадан и г. Санкт-Петербург (таблица 3.5). Во Владивостоке климат муссонный, холодная зима с редкими осадками, в Сочи – субтропический, с теплой дождливой зимой. В Новосибирске континентальный климат, но с очень холодной продолжительной зимой в сравнении с Москвой – умеренно континентальный климат с мягким и непродолжительным зимним периодом. Климат Магадана субарктический, более суровый в сравнении с Санкт-Петербургом с переходным с континентального на морской климат, что объясняется близостью к Охотскому морю, поэтому наблюдается низкая средняя температура воздуха в течение года.

Таблица 3.5 – Климатические и географические характеристики рассматриваемых городов

№	Город	Продолжи-тельность ОП, дни	Количество ясных дней за ОП, дни	ГСОП, ^{O}С·сут\год	Сев.ш., град.
1	Владивосток	198	167	5584	43° 7'
2	Сочи	94	56	1269	43° 35'
3	Новосибирск	221	157	6211	55° 01'
4	Москва	205	109	4551	55° 45'
5	Магадан	279	200	7673	59° 34'
6	Санкт-Петербург	213	98	4537	59° 57'

Рассмотрим наиболее часто встречающийся вариант застройки однотипных зданий с одинаковой этажностью, так называемый, жилой комплекс. Напротив каждого из фасадов исследуемого здания расположено противостоящее здание, имеющее те же размеры, что и исследуемое. Рассчитывается прямая солнечная радиация для каждого фасада исследуемого здания при изменении ряда условий:

- последовательно меняется средневзвешенное альбедо фасада противостоящего здания: 30%, 50%, 80%;

- последовательно изменяется расстояние между зданиями: 20, 40, 60, 80, 100, 140, 160, 180, 200, 250, 300, 350, 400 метров;

- меняется ширина и высота зданий: высота 21м-ширина 20м, высота 51м – ширина 30м, высота 81м-ширина 40м.

Радиационно-температурная характеристика фасада для прямой радиации характеризует поступление теплоты от прямой солнечной радиации на фасад к 1^{o}С перепада температуры и к единице времени в течение ОП. Рассчитывается по формуле:

$$L_{S,j}^{\text{ОП}}(\text{x},y) = \frac{S_j^{\text{ОП}}(\text{x},y)}{0{,}0864 \cdot \text{ГСОП}}, \qquad (3.25)$$

где: $S_j^{\text{ОП}}$ - прямая солнечная радиация, поступающая на фасад за ОП при открытом горизонте, МДж/м^{2}год, определяется из выражения:

$$S_j^{\text{ОП}}(\text{x},y) = \sum_i^n [d_{i,\text{ясн}}\, S_{ji,\text{ясн}}(\text{x},y) + (d_i - d_{i\text{ясн}}) S_{ji,\text{обл}}(\text{x},y)], \qquad (3.26)$$

где i - количество месяцев ОП, $d_{i\text{ясн}}$ – количество ясных дней в месяце, определяется по таблице 1.15 Справочника по климату [140]; d_i – количество дней в месяце ОП; $S_{ji,\text{ясн}}$, $S_{ji,\text{обл}}$ - прямая солнечная радиация, поступающая на j-тый фасад при открытом горизонте в ясные и облачные дни, соответственно, за i-тый месяц без учёта застройки, МДж/м^2, определяется из выражения (1.8) для ясных и облачных дней, соответственно, с использованием таблиц 1.5 и 1.8 Справочника по климату [140] и коэффициентов пересчета из приложения В СП 345.1325800 [165].

Коэффициент затенения прямой радиации:

$$k_{Sj} = \frac{\hat{S}_j^{\text{ОП}}}{S_j^{\text{ОП}}}, \tag{3.27}$$

где $\hat{S}_j^{\text{ОП}}$ - прямая солнечная радиация, поступающая на фасад за ОП при наличии противостоящего здания, МДж/м^{2}год.

Как отмечалось в работе K. Lee и G. Levermore [283] коэффициенты затенения вычислялись, как отношение часов облученности с учетом застройки к максимально возможному числу часов. В данной работе автора рассматривается отношение прямой радиации при наличии противостоящего здания к таковой без противостоящего здания. Такое отношение в дальнейшем более удобно для применения на практике за счет учёта интенсивности прямой радиации в часы облучения.

Значения $L_{S,j}^{\text{ОП}}(\text{х}, y)$ для рассматриваемых городов приведены в таблице 3.6.

Размеры противостоящей застройки оцениваются по коэффициенту габаритов застройки, который вычисляется, как отношение высоты противостоящего здания, H_2, к его ширине, B_2:

$$k_{HB} = \frac{H_2}{B_2}. \tag{3.28}$$

Далее представлены коэффициенты затенения прямой радиации, k_{Sj}, в зависимости от радиационно-температурной характеристики фасада для прямой радиации, $L_{S,j}^{\text{ОП}}(\text{х}, y)$ и от коэффициента габаритов застройки, k_{HB} (рисунки 3.4-3.6). На графиках проведена линия, показывающая снижение в 5% от значения прямой радиации без затенения. В случае снижения прямой радиации при затенении в 5%

и менее от значения без затенения, допустимо не учитывать затенение прямой радиации противостоящим зданием.

Таблица 3.6 – Радиационно-температурные характеристики фасада для прямой солнечной радиации за ОП, $L_{S,j}^{\text{ОП}}(x, y)$, МДж/°С·сут·м^2

№	Город	$S_{\text{С}}^{\text{ОП}}$, МДж/м^2 год	$S_{\text{В}}^{\text{ОП}}$, МДж/м^2 год	$S_{\text{Ю}}^{\text{ОП}}$, МДж/м^2 год	$S_{\text{З}}^{\text{ОП}}$, МДж/м^2 год	$L_{S,\text{С}}^{\text{ОП}}$, МДж/°С·сут·м^2	$L_{S,\text{В}}^{\text{ОП}}$, МДж/°С·сут·м^2	$L_{S,\text{Ю}}^{\text{ОП}}$, МДж/°С·сут·м^2	$L_{S,\text{З}}^{\text{ОП}}$, МДж/°С·сут·м^2
1	Владивос-ток	2	1055	2873	1053	0,00	2,19	5,95	2,18
2	Сочи	0	391	1257	369	0,00	3,57	11,47	3,36
3	Новоси-бирск	1	865	2505	861	0,00	1,61	4,67	1,61
4	Москва	2	620	1783	592	0,01	1,58	4,54	1,51
5	Магадан	69	1505	3238	1486	0,10	2,27	4,88	2,24
6	С-Пб.	1	560	1547	576	0,00	1,43	3,95	1,47

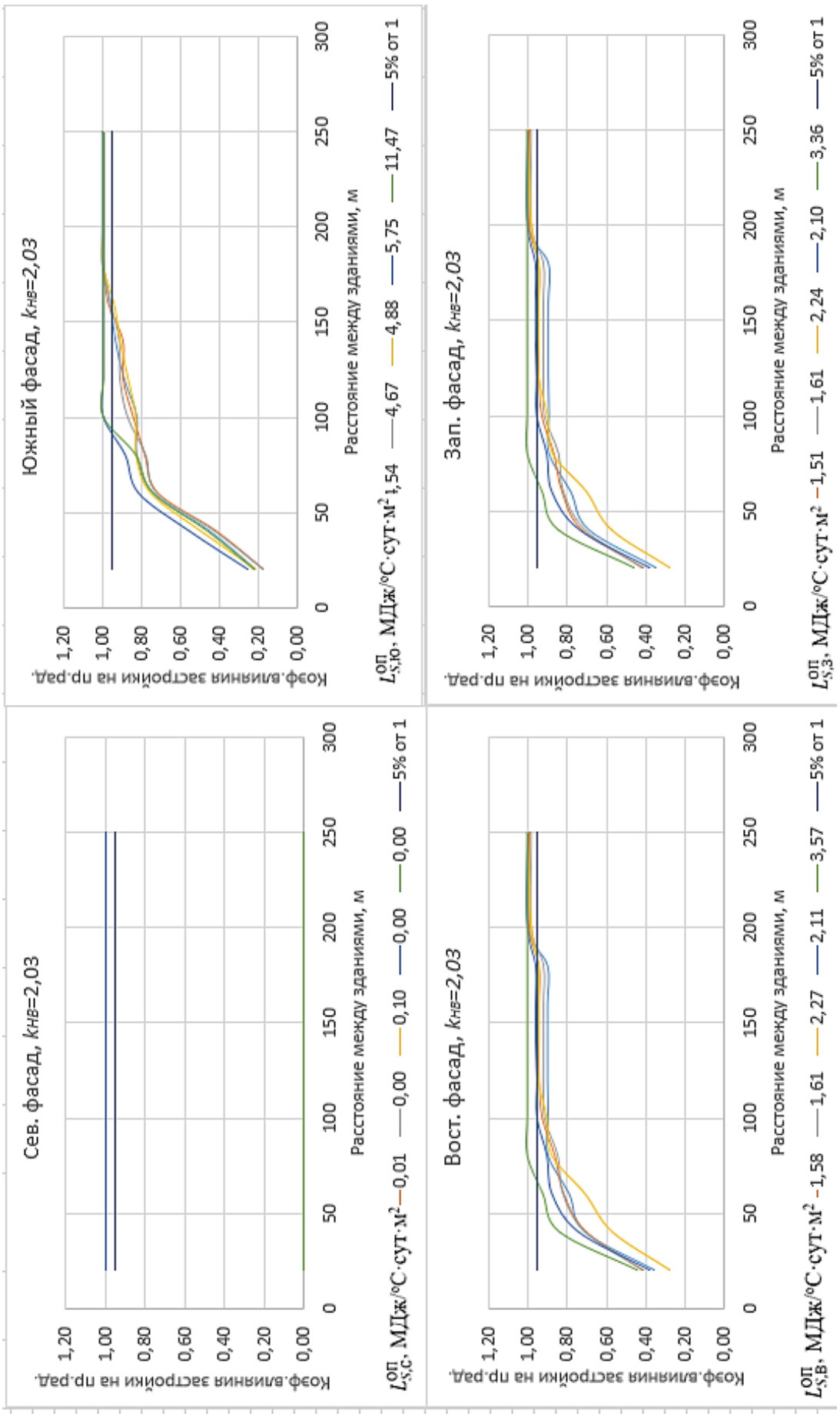


Рисунок 3.4 - Коэффициент влияния застройки на прямую радиацию, k_{Sj}, в зависимости от радиационно-температурных характеристик фасада для прямой радиации, $L^{оп}_{S,j}$, МДж/°С·сут·м^2, при $k_{нв}$ = 2,03.

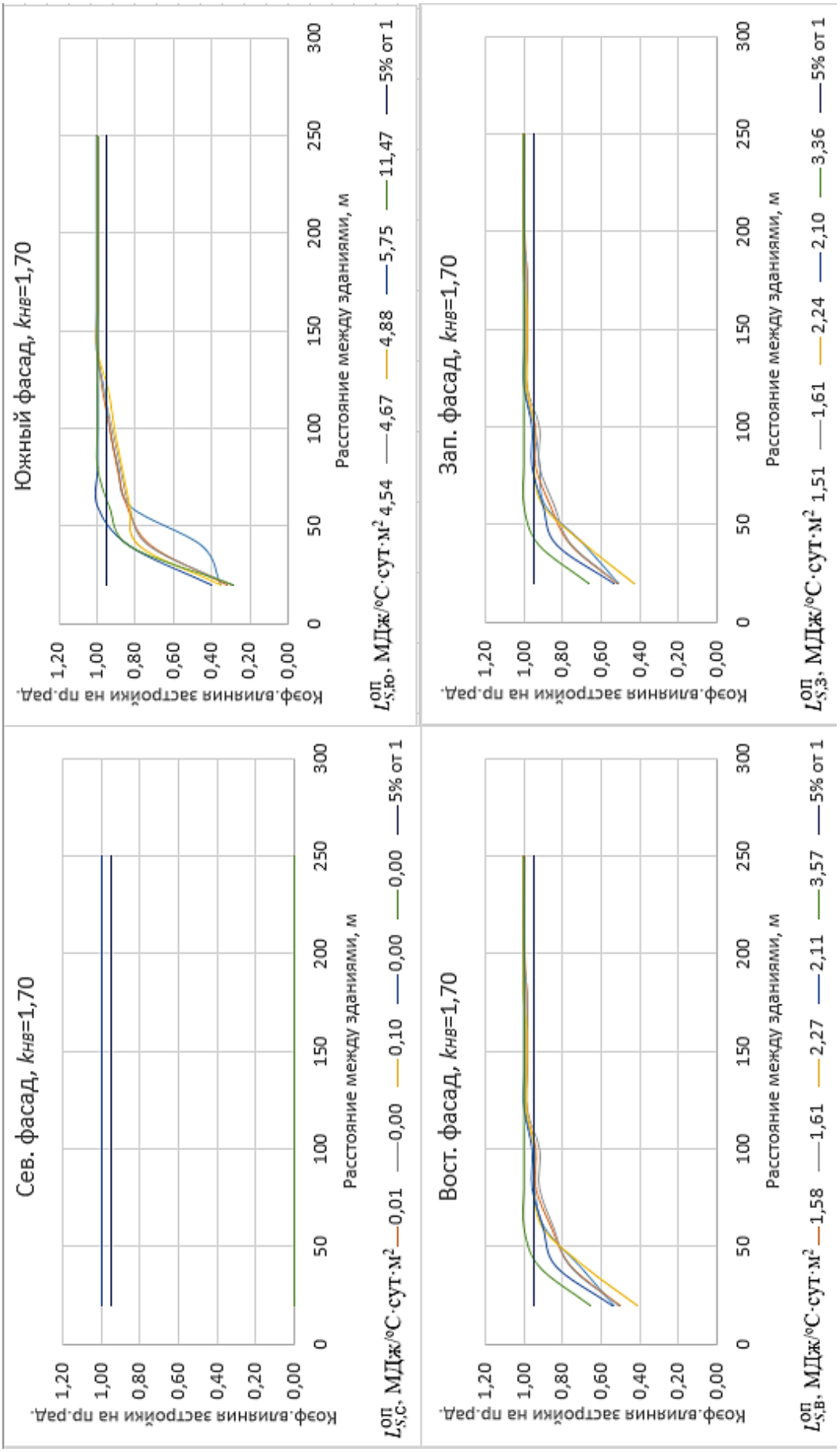


Рисунок 3.5 - Коэффициент влияния застройки на прямую радиацию, k_{Sj}, в зависимости от радиационно-температурных характеристик фасада для прямой радиации, $L^{оп}_{S,j}$, МДж/°С·сут·м², при $k_{нв}$ = 1,70.

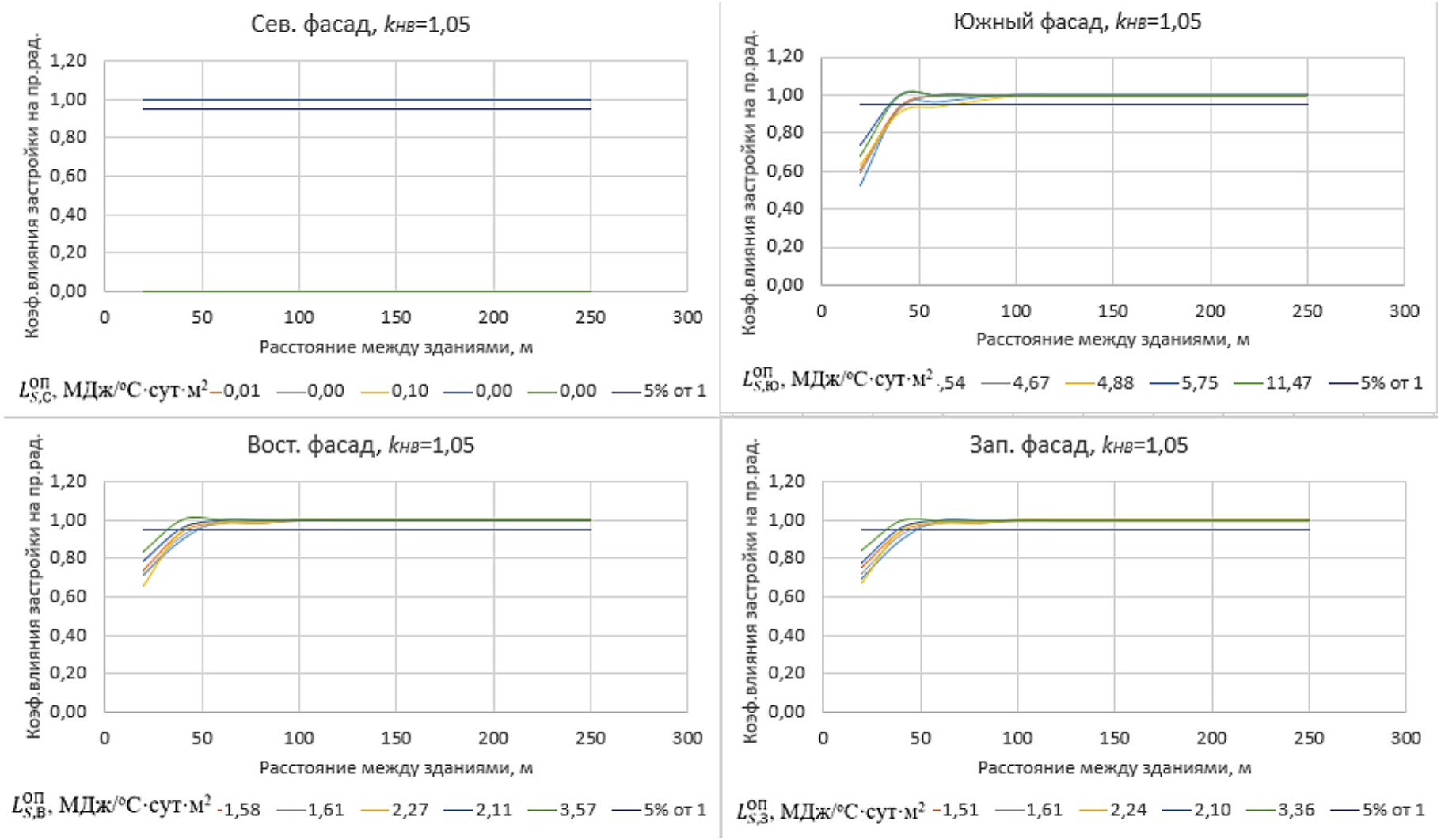


Рисунок 3.6 - Коэффициент влияния застройки на прямую радиацию, k_{Sj}, в зависимости от радиационно-температурных характеристик фасада для прямой радиации, $L^{оп}_{S,j}$, МДж/°С·сут·м², при $k_{НВ} = 1{,}05$.

Расчёт прямой радиации с учётом затенения противостоящим зданием на основе автоматизированных расчётов следует проводить в следующей последовательности:

1. Рассчитать прямую радиацию, поступающую на фасад заданной ориентации при открытом горизонте за ОП, $S_j^{\text{ОП}}$, МДж/м^{2}год, по формуле (3.26).

2. Рассчитать радиационно-температурную характеристику фасада для прямой радиации за ОП, $L_{S,j}^{\text{ОП}}$, МДж/^{o}С·сут·м^2 по формуле (3.25).

3. Рассчитать коэффициент габаритов застройки, k_{HB}, по формуле (3.28).

4. По графикам на рисунках 3.4-3.6 в соответствии со значениями $L_{S,j}^{\text{ОП}}$, k_{HB} и расстоянием между зданиями оценить необходимость учета затенения прямой радиации, ориентируясь на линию значимости в 5% от значения без затенения: если график находится выше линии, то затенение допустимо не учитывать; если график находится ниже линии, то переходить к следующему пункту.

5. По графикам на рисунках 3.4-3.6 определить аппроксимацией k_{Sj} для заданного расположения зданий и значения $L_{S,j}^{\text{ОП}}$.

6. Рассчитать прямую радиацию с учетом затенения:

$$\hat{S}_j^{\text{ОП}} = k_{Sj} S_j^{\text{ОП}}. \qquad (3.29)$$

3.2 Разработка аналитического метода расчёта поступающей рассеянной солнечной радиации с учётом противостоящего здания

В настоящем разделе проводится вывод расчётных формул поступающей на фасад здания рассеянной радиации с учётом противостоящего здания, что отображено в работах автора [86, 87].

В работе К.Я. Кондратьева [83] показано, что выражение для рассеянной радиации, поступающей на вертикальную поверхность, при допущении о изотропности ее распределения, записывается в виде:

$$D_1^{\text{вер}} = \int_0^{\pi} \sin\psi \, d\psi \int_0^{\pi/2} D \cdot \cos^2 h \, dh = \frac{1}{2}\pi D \ . \qquad (3.30)$$

Определим, что при наличии противостоящего здания (рисунки 3.7 и 3.8) поступающая на элементарный участок фасада с координатами по центру (x, y) рассеянная радиация вычисляется, как разность радиации, поступающей при открытом горизонте, и радиации, перекрываемой зданием №2:

$$\widehat{D}^{\text{вер}}(x, y) = D_1^{\text{вер}} - D_{\text{ЗД}}^{\text{вер}}(x, y) \; . \qquad (3.31)$$

Для дальнейших выводов приняты следующие допущения:

- не рассматривается перекрытие небосвода торцами здания №2, отсюда интегрирование по азимуту точки перекрытого участка небосвода проводится только по расположенному напротив фасаду здания;

- интегрирование по угловой высоте точки перекрытого участка небосвода проводится от нуля, так как для точки фасада здания №1, расположенной на высоте y относительно горизонтальной поверхности, изменение уровня горизонта пренебрежимо мало в сравнении с удаленностью горизонта;

- распределение рассеянной радиации – изотропное.

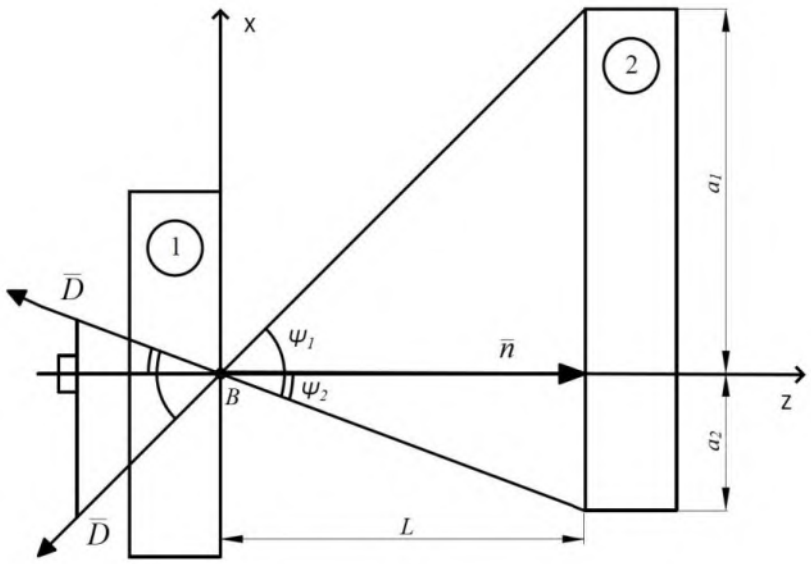


Рисунок 3.7 – Схема расположения зданий в плане. Обозначения: 1 – исследуемое здание; 2 – противостоящее здание

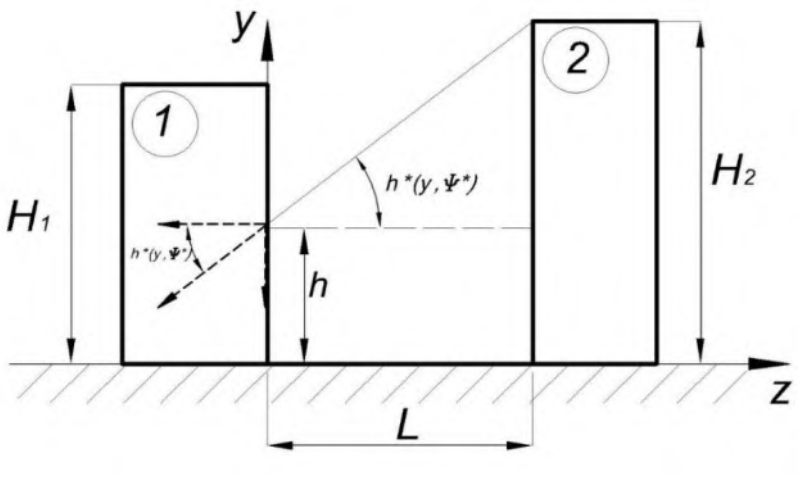


Рисунок 3.8 – Схема расположения зданий в разрезе. Обозначения: 1 – исследуемое здание; 2 – противостоящее здание

Изменение азимутального угла перекрытия небосвода ψ^* происходит от ψ_1 до ψ_2 (см. рисунок 3.7), а изменение угловой высоты точки перекрытого участка небосвода происходит в пределах от 0 до $h^*(y, \psi^*)$ (рисунок 3.8):

$$D_{\text{ЗД}}^{\text{вер}}(x,y) = \int_{\psi_1}^{\psi_2} \sin\psi^* \, d\psi^* \int_0^{h^*(y,\psi^*)} D \cdot \cos^2 h \, dh \, . \qquad (3.32)$$

Тогда формула (3.31) преобразуется к виду:

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

$$\cdot \cos^2 h \, dh = D\left[\frac{1}{2}\pi - \int_{\psi_1}^{\psi_2} \sin\psi^* \, d\psi^* \int_0^{h^*(y,\psi^*)} \cos^2 h \, dh\right] . \qquad (3.33)$$

Из (3.33) представим двойной интеграл в виде:

$$\varepsilon_{\text{ЗД}}^*(x,y) = \int_{\psi_1}^{\psi_2} \sin\psi^* \, d\psi^* \int_0^{h^*(y,\psi^*)} \cos^2 h \, dh \, . \qquad (3.34)$$

Тогда:

$$\widehat{D}^{\text{вер}}(x,y) = D\left[\frac{1}{2}\pi - \varepsilon_{\text{ЗД}}^*(x,y)\right] . \qquad (3.35)$$

Для вычисления (3.34) вводятся следующие обозначения. Пусть противостоящее здание (рисунок 3.8), имеющее высоту H_2 превышает исследуемую область фасада с высотой y на величину $H = H_2 - h$. Расстояние между зданиями L, отношение $H/L=H_L$. Изменение расстояния от исследуемой области фасада до точек противостоящего здания выражается через азимутальный угол перекрытия небосвода ψ^*, согласно рисунку 3.7:

$$L(\psi^*) = \frac{L}{\cos\psi^*}\,. \qquad (3.36)$$

Азимутальные углы перекрытия ψ_1 и ψ_2 определяются из выражения (3.13).

Тогда, в формуле (3.34) пределы интегрирования выражаются в виде:

$$h^*(h,\psi^*) = arctg\left(\frac{H_2-h}{L(\psi^*)}\right) = arctg(H_L \cdot cos\,\psi\,*)\,, \qquad (3.37)$$

где $h^*(h,\psi^*)$ - угловая высота точки противостоящего здания, зависящая от высоты исследуемого участка фасада, h, и азимутального угла перекрытия ψ^*.

После подстановки (3.37) в (3.34) и вычисления внутреннего интеграла выражение для вычисления $\varepsilon^*_{3Д}(x,y)$ имеет вид:

$$\varepsilon^*_{3Д}(x,y) = \int_{\psi_1}^{\psi_2} \sin\psi^* \left[\frac{arctg(H_L\cdot cos\,\psi*)}{2} + \frac{sin[2arctg(H_L\cdot cos\,\psi*)]}{4}\right] d\psi^*\,. \qquad (3.38)$$

Значение рассеянной радиации на вертикальную поверхность из формулы (3.35) удобно выразить через значение изотропной рассеянной радиации D, попадающей на горизонтальную поверхность $D^{гор}$. Согласно [83]:

$$D^{гор} = D\pi\,. \qquad (3.39)$$

Тогда выражение (3.35) запишется в виде:

$$\widehat{D}^{вер}(x,y) = \frac{D^{гор}}{\pi}\left[\frac{1}{2}\pi - \varepsilon^*_{3Д}(x,y)\right] = \frac{D^{гор}}{2}\left[1 - \frac{2}{\pi}\varepsilon^*_{3Д}(x,y)\right] \qquad (3.40)$$

или:

$$\widehat{D}^{вер}(x,y) = \frac{D^{гор}}{2}\left[1 - \varepsilon_{3Д}(x,y)\right], \qquad (3.41)$$

где:

$$\varepsilon_{3Д}(x,y) = \frac{2}{\pi}\cdot\varepsilon^*_{3Д}(x,y). \qquad (3.42)$$

Интеграл (3.38) для определения $\varepsilon_{3Д}(x,y)$ по формуле (3.42) решен численно в диапазоне от 0° до 90° по угловой высоте. Значения $\varepsilon_{3Д}(x,y)$ представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Значения коэффициентов $\varepsilon_{ЗД}(x,y)$, $r_{В}\ (x,y)$, $r_{Н}\ (x,y)$.

Изм. азимута перекрытия		Значения $\varepsilon_{ЗД}(x,y)$, $r_{В}\ (x,y)$, $r_{Н}\ (x,y)$ при изменении вертикального угла перекрытия небосвода, h^*, град., и $tg(h^*)$															
ψ_2 град	$tg(\psi_2)$	1	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	89
		0,02	0,11	0,21	0,33	0,45	0,58	0,73	0,90	1,11	1,38	1,73	2,25	3,08	4,70	9,51	56,2
1	0,02	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,11	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
12	0,21	0,000	0,001	0,003	0,004	0,005	0,007	0,008	0,009	0,009	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
18	0,33	0,001	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,017	0,019	0,021	0,022	0,023	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024
24	0,45	0,001	0,006	0,011	0,016	0,021	0,026	0,030	0,033	0,036	0,039	0,040	0,042	0,043	0,043	0,043	0,043
30	0,58	0,001	0,008	0,016	0,024	0,032	0,039	0,045	0,051	0,056	0,059	0,062	0,065	0,066	0,067	0,067	0,067
36	0,73	0,002	0,011	0,023	0,034	0,044	0,054	0,063	0,071	0,078	0,084	0,088	0,092	0,094	0,095	0,095	0,095
42	0,90	0,002	0,015	0,030	0,044	0,058	0,071	0,083	0,094	0,103	0,111	0,118	0,123	0,126	0,128	0,128	0,128
48	1,11	0,003	0,018	0,036	0,054	0,072	0,088	0,104	0,118	0,131	0,141	0,150	0,157	0,162	0,164	0,165	0,166
54	1,38	0,004	0,022	0,043	0,065	0,085	0,105	0,124	0,142	0,158	0,173	0,185	0,194	0,200	0,204	0,206	0,206
60	1,73	0,004	0,025	0,050	0,074	0,098	0,122	0,144	0,166	0,186	0,204	0,220	0,232	0,242	0,247	0,250	0,250
66	2,25	0,005	0,028	0,055	0,083	0,110	0,137	0,163	0,188	0,212	0,234	0,254	0,271	0,284	0,292	0,296	0,297
72	3,08	0,005	0,030	0,060	0,090	0,120	0,149	0,178	0,207	0,234	0,260	0,285	0,307	0,325	0,338	0,345	0,346
78	4,70	0,005	0,032	0,064	0,096	0,127	0,159	0,190	0,221	0,252	0,281	0,310	0,338	0,362	0,382	0,394	0,396
84	9,51	0,005	0,033	0,066	0,099	0,132	0,165	0,197	0,230	0,263	0,295	0,327	0,359	0,390	0,418	0,441	0,448
89	56,2	0,005	0,033	0,066	0,100	0,133	0,167	0,200	0,233	0,267	0,300	0,333	0,366	0,400	0,433	0,466	0,490

Исходя из (3.41) с учётом ясных дней, рассеянная радиация при наличии противостоящего здания за ОП рассчитывается по формуле, МДж/м^{2}год:

$$\widehat{D}_j^{\text{ОП}}(\text{x}, y) = \sum_i^n \left[d_{i\text{ясн}} \frac{D_{\text{ясн}\,ji}^{\text{гор}}}{2} + (d_i - d_{i\text{ясн}}) \frac{D_{\text{обл}\,ji}^{\text{гор}}}{2} \right] \; (1 - \varepsilon_{\text{ЗД}}(\text{x}, y)), \quad (3.43)$$

где: $d_{i\text{ясн}}$, d_i – то же, что в (3.3), $D_{\text{ясн}}^{\text{гор}}$ и $D_{\text{обл}}^{\text{гор}}$ – рассеянная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность, МДж/м^2, в ясные и облачные дни (для ясных дней определяется, как разность значений из таблиц 1.6 и 1.5 [140], для облачных дней определяется по таблице 1.9 [140]); $\varepsilon_{\text{ЗД}}(\text{x}, y)$ – коэффициент перекрытия небосвода определяется из таблицы 3.7.

Пример расчёта по разработанному аналитическому методу содержится в Приложении Г.3.

3.3 Разработка аналитического метода расчёта отраженной от противостоящего здания солнечной радиации

На фасад противостоящего здания поступает суммарная солнечная радиация, которая после частичного отражения от фасадных покрытий поступает на исследуемый фасад и частично минует его. Доля отраженной радиации, поступающей на исследуемый участок фасада с координатами (x, y), называется коэффициентом поступления отраженной радиации $r_{\text{ЗД}}(x, y)$. Так как $\varepsilon_{\text{ЗД}}(x, y)$ представляет собой не поступившую долю радиации от небосвода к исследуемому фасаду, то с перекрытой области небосвода поступает отраженная радиация с коэффициентом поступления отражённой радиации от верхней части противостоящего здания, $r_{\text{В}}(x, y)$, равным $\varepsilon_{\text{ЗД}}(x, y)$, и коэффициентом поступления отражённой радиации от нижней части противостоящего здания, $r_{\text{Н}}(x, y)$. При этом суммарный коэффициент поступления отраженной радиации определяется из выражения:

$$r_{\text{ЗД}}(\text{x}, y) = r_{\text{В}}(x, y) + r_{\text{Н}}(x, y)\,. \quad (3.44)$$

Значение $r_{\text{Н}}(x, y)$ определяется из таблицы 3.7, при этом тангенс угла перекрытия от нижней части противостоящего здания вычисляется как (см. рисунок 3.8):

$$H_{1L} = \frac{h}{L}. \quad (3.45)$$

Тогда, можно записать формулу для вычисления отраженной от фасада противостоящего здания солнечной радиации, затем поступающей на исследуемую область фасада с координатами по центру (x, y):

$$\hat{R}_{\text{ЗД}}(x,y) = \hat{I}_2^{\text{вер}} \cdot r_{\text{ЗД}}(\text{x},y) \cdot \frac{\text{А}_{\text{ЗД}}}{100} = (\hat{S}_2^{\text{вер}} + \hat{D}_2^{\text{вер}}) \cdot r_{\text{ЗД}}(\text{x},y) \cdot \frac{\text{А}_{\text{ЗД}}}{100}, \quad (3.46)$$

где $\hat{I}_2^{\text{вер}}$ – суммарная солнечная радиация, поступающая на вертикальный фасад противостоящего здания №2, МДж/м^2 с учётом затенения зданием №1;

$\hat{S}_2^{\text{вер}}$, $\hat{D}_2^{\text{вер}}$ – прямая и рассеянная (3.43) радиация, поступающая на фасад противостоящего здания №2, МДж/м^2, с учётом ясных и облачных дней, определяются по методам данной главы с учётом затенения зданием №1;

$A_{\text{ЗД}}$ – средневзвешенное альбедо фасада противостоящего здания (см. формулу (4.10) в разделе 4.4), рассчитывается по альбедо фасадных покрытий.

3.4 Вычисление суммарной солнечной радиации с учётом противостоящего здания

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

$$\hat{I}_j^{\text{ОП}}(x,y) = \hat{S}_j^{\text{ОП}}(x,y) + \hat{D}_j^{\text{ОП}}(x,y) + \hat{R}_j^{\text{ОП}}(x,y) + R_{\text{пов}}^{\text{ОП}}, \quad (3.47)$$

где $\hat{S}_j^{\text{ОП}}(x,y)$ – прямая солнечная радиация на фасад с учётом противостоящего здания за ОП, МДж/м^{2}год, определяется по формуле (3.1);

$\hat{D}_j^{\text{ОП}}(x,y)$ – рассеянная солнечная радиация на фасад с учётом противостоящего здания за ОП, МДж/м^{2}год, определяется по формуле (3.43);

$\hat{R}_j^{\text{ОП}}(x,y)$ – отраженная солнечная радиация от противостоящего фасада за ОП, МДж/м^{2}год, определяется по формуле (3.46);

$R_{\text{пов}}^{\text{ОП}}$ – отраженная солнечная радиация от подстилающей поверхности, МДж/м^{2}год.

Радиация, отраженная от подстилающей поверхности между зданиями и поступающая на элементарный участок фасада с координатами по центру (x, y) вычисляется из выражения [83, 165]:

$$R_{\text{пов}}^{\text{ОП}} = I_{\text{гор}}^{\text{ОП}} A_{\text{пов}}/200, \quad (3.48)$$

где $I_{\text{гор}}^{\text{ОП}}$ – солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность за ОП, МДж/м^2·год; $A_{\text{пов}}$ – альбедо подстилающей поверхности, определяется по таблице 1.10 [140], %.

Суммарная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность за отопительный период $I_{\text{гор}}^{\text{ОП}}$, МДж/м^{2}год, определяется из выражения:

$$I_{\text{гор}}^{\text{ОП}} = \sum_i^n [\, d_{i\text{ясн}} I_{\text{ясн}}^{\text{гор}} + (d_i - d_{i\text{ясн}}) I_{\text{обл}}^{\text{гор}}], \quad (3.49)$$

где $d_{i\text{ясн}}$, d_i – то же, что в (3.3); $I_{\text{ясн}}^{\text{гор}}$, $I_{\text{обл}}^{\text{гор}}$ - суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность в ясные и облачные дни, соответственно, за i-тый месяц, МДж/м^2, определяется по таблицам 1.6 и 1.10 [140], соответственно.

3.5 Анализ влияния противостоящего здания на поступление солнечной радиации

По представленным в п. 3.4 формулам проведены расчёты солнечной радиации с учётом противостоящего здания: прямой, рассеянной, отраженной от здания, отраженной от подстилающей поверхности между зданиями. Параметры зданий и расстояние между ними меняются в соответствии с описанными в начале п. 3.1.5. Распределение поступающей солнечной радиации при изменении расположения зданий представлено на рисунках Г.10-Г.18 Приложения Г.4.

На графиках на рисунках Г.10-Г.18 Приложения Г.4 прямая и рассеянная солнечная радиация, поступающая к исследуемому фасаду, увеличивается по мере увеличения расстояния до противостоящего здания, что объясняется увеличением длительности облучения для прямой радиации и открывающимся небосводом для рассеянной радиации. Расчёты показали, что для всех северных фасадов не следует

учитывать затенение прямой радиации, так как затенение пренебрежимо мало, либо облучение прямой радиации не происходит в ОП (например, г. Сочи).

На графиках на рисунках Г.10-Г.18 Приложения Г.4 (при высоте здания 81м) отраженная от противостоящего фасада солнечная радиация сначала возрастает, а затем уменьшается при увеличении расстояния до противостоящего здания. Исходя из формулы расчёта отраженной солнечной радиации (3.46), это объясняется соотношением между величиной поступающей солнечной радиации к противостоящему зданию и величиной коэффициента поступления отраженной радиации к исследуемому фасаду, $r_{\text{ЗД}}(x, y)$. При расстоянии примерно 60 метров наблюдается самое большое значение отраженной солнечной радиации, особенно для северного исследуемого фасада от южного, что объясняется повышением поступающей на противоположный фасад солнечной радиации, затем отражаемой на исследуемый фасад. Следует отметить, что наиболее высокие значения наблюдаются для солнечной радиации, отраженной от южного фасада на северный.

Суммарная солнечная радиация изменяется пропорционально изменению рассмотренных составляющих. Для северного фасада суммарная радиация может быть больше в случае близко расположенного противостоящего здания в сравнении со значением радиации без затенения, что обусловлено отраженной составляющей.

Таким образом, показано, что противостоящее здание может существенно менять поступающую на фасад солнечную радиацию, тем самым изменяя теплопоступления от солнечной радиации через светопрозрачные конструкции при неизменном уровне теплопотерь.

3.6 Верификация разработанных методов расчёта поступающей солнечной радиации

В настоящем разделе рассматривается верификация разработанных в пп.3.1-3.2 методов. Сначала проверяется длительность облучения прямой радиацией (см. формулу (3.1)) и коэффициент затенения рассеянной радиации (см. формулу (3.43)), затем проверяется правильность расчёта дозы поступающей радиации.

Разработанный графический метод (п. 3.1.3) определения длительности облучения прямой радиацией исследуемого фасада с учётом противостоящего здания проверяется расчётом с использованием солнечных карт по СП 370.1325800.2017 [167].

Разработанный аналитический метод расчёта рассеянной радиации (п. 3.2) в части определения коэффициента затенения (формула (3.42) и таблица 3.7) проверяется с использованием графиков Данилюка [48].

Затем оба метода проверяются по дозе облучения в натурных условиях при небосводе различной облачности, т.е. при преобладании прямой, рассеянной радиации или их совместном присутствии.

3.6.1 Верификация графического определения длительности облучения прямой радиацией с учётом противостоящего здания с использованием солнечных карт

Длительность облучения исследуемого фасада определяется по разработанным графикам тангенсов изменения солнечных координат (рисунок 3.3) и с использованием солнечной карты на примере, рассмотренном в Приложении Г.2. Показано, что максимальное расхождение длительности облучения составляет 12 минут, что обусловлено округлением каждые полчаса и отсечением углов падения, больших 75 градусов по разрабатываемому методу.

Метод обладает следующими недостатками и достоинствами:

Для каждой ориентации фасада необходимо строить отдельные графики, что увеличивает объем прилагаемого справочного материала для пользования методом. Поэтому метод рекомендуется использовать только в отопительный период для южного фасада. В этом случае определение затенения выполняется легче, чем по солнечным картам, так как параметры застройки, определяющие затенение, наносятся проще: прямыми линиями. Также ось времени имеет более понятный вид. В разработанном методе построение графиков тангенсов изменения солнечных координат выполняется достаточно легко, например, с использованием MS Excel, что исключает ошибки ручного построения.

3.6.2 Верификация доли облучения рассеянной радиацией исследуемого фасада с использованием графиков Данилюка

Участки небосвода на графиках А.М. Данилюка имеют равную освещённость, а значит и равномерно распределённое значение рассеянной радиации при условии ее изотропности. Поэтому для верификации расчётов по разработанному методу коэффициентов затенения рассеянной радиации с учётом противостоящего здания принимается расчёт с использованием графиков Данилюка, приведенный в Приложении Г.3, где показано, что максимальная относительная разность коэффициентов перекрытия небосвода, рассчитанных по аналитическому методу, $\varepsilon_{\text{ЗД}}(x,y)$, и с использованием графиков Данилюка, $\varepsilon_{\text{зд}}^{\text{Д}}$, составляет $\delta = \frac{\varepsilon_{\text{зд}}^{\text{Д}} - \varepsilon_{\text{ЗД}}(x,y)}{\varepsilon_{\text{зд}}^{\text{Д}}} 100\% = 15\%$. Указанная относительная разность наблюдается при близко расположенном большом противостоящем здании, что редко встречается на практике, так как такое расположение зданий снижает КЕО. При других чаще встречаемых схемах расположения зданий относительная разность составляет $7{,}8\%$ и $-0{,}03\%$, что представляется хорошим результатом.

Метод обладает следующими недостатками и достоинствами.

Как показал сравнительный расчёт, при увеличении размеров здания, аналитический метод дает погрешность, допустимую в расчётах поступающей радиации для определения энергии, затрачиваемой на отопление и вентиляцию здания. В то же время, метод прост в применении и не требует графических построений, так как коэффициент затенения небосвода определяется по таблице 3.7.

Провести верификацию метода расчёта отраженной от противостоящего здания можно косвенно на основе переменных, которые входят в расчёт по формуле (3.46). Так, на точность аналитического метода расчёта отраженной радиации оказывает влияние точность графического определения длительности облучения прямой радиации и точность аналитического метода определения коэффициента затенения рассеянной радиации. Коэффициент поступления отраженной радиации вычисляется на основе коэффициента перекрытия небосвода, полученного по

аналитическому методу, верифицированному в настоящем разделе с достаточной точностью. Так как показано, что оба метода обеспечивают достаточную точность для расчёта поступающей солнечной радиации в расчётах энергии, затрачиваемой на отопление и вентиляцию здания, то следует ожидать, что расчёт отраженной от противостоящего фасада солнечной радиации также достаточно точен.

3.6.3 Метод верификации расчета дозы поступающей солнечной радиации в натурных условиях

Ввиду того, что непосредственные измерения поступающей солнечной радиации требуют применения специального оборудования (раздел 1.3.6), для проверки разработанных методов расчёта поступающей солнечной радиации был разработан метод, основанный на сравнении температуры нагрева фасада от поступающей солнечной радиации, рассчитанной методами п. 3.1-3.4, и измеренной температуры нагрева фасада.

Метод верификации расчетов поступающей солнечной радиации состоит в следующем:

1. Подготовка и проведение измерений:

а) выбор стены с СФТК, монтаж не менее трех пар датчиков температуры в наружной поверхности стены с СФТК непосредственно под штукатуркой и рядом на поверхности штукатурного слоя. Монтаж датчика температуры в тени около исследуемой стены;

б) проведение измерений в автоматическом режиме с записью на карту памяти в течение не менее 5 дней для каждой из групп: ясные, облачные и промежуточные по облачности дни. Обязательное наличие дней со всеми типами облачности обусловлен тем, что для достоверной проверки необходимо рассмотреть расчёты поступающей солнечной радиации при преобладании прямой радиации (в ясные дни), рассеянной радиации (в пасмурные дни), прямой в сочетании с рассеянной радиации (в промежуточные по облачности дни);

в) в течение указанного периода проводятся измерения на стене с СФТК:

- температуры нагрева каждой пары датчиков;

- температуры в тени около стены исследуемой стены.

г) проводятся одновременные измерения прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность на метеорологической станции;

д) после накопления не менее 5 дней измерений каждой группы по облачности, прекращение измерений, снятие показаний датчиков температуры нагрева поверхности стены, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, °С, и воздуха $t_н$, °С, получение показаний по поступающей прямой, $S^{гор}$, Вт/м^2, и рассеянной, $D^{гор}$ Вт/м^2, солнечной радиации с метеорологической станции.

2. Обработка экспериментальных данных:

а) вычисление средней для каждой пар датчиков температуры нагрева поверхности стены, $t_н^{изм1}$, $t_н^{изм2}$, $t_н^{изм3}$;

б) вычисление температуры нагрева фасада от поступающей солнечной радиации по формуле А.М. Шкловера [187] для каждого часа каждого дня измерений:

$$t_н^{усл} = t_н + \frac{I_{чj}^{вер}(x,y)\cdot\alpha}{\alpha_н}, \quad (3.50)$$

где $t_н$ – температура наружного воздуха, °С; $I_{чj}^{вер}(x,y)$ – суммарная солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность фасада за исследуемый промежуток времени, определяется по верифицируемым методам, Вт/м^2;

α – коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью фасада, определяется с использованием спектрофотометра;

$\alpha_н$ – коэффициент теплообмена у поверхности фасада, Вт/м^2°С, вычисляемый по формуле:

$$\alpha_н = 5{,}8 + 11{,}6\sqrt{v_н}, \quad (3.51)$$

где $v_н$ – скорость ветра, принимается по справочным данным СП 131.13330 [163] или [140].

3. Проведение верификации:

а) сравнение показаний датчиков температуры, $t_{изм1}$, $t_{изм2}$, $t_{изм3}$, с вычисленной по формуле (3.50) температуры нагрева поверхности стены, $t_н^{усл}$;

б) формирование выводов о соответствии рассчитанной и измеренной температуры нагрева стены для трех групп дней измерений и заключения о проверке методов расчёта поступающей солнечной радиации.

3.6.4 Натурный эксперимент по верификации дозы поступающей солнечной радиации

1. Подготовка и проведение измерений.

Исследования проводились в срок с 04.07.2019 г. по 31.07.2019 г.

Исследуемая стена выполнена в виде системы фасадной теплоизоляционной композиционной (СФТК), которая смонтирована на стену из кладки из силикатного кирпича. Стена ориентирована на юг (рисунок 3.9). Наружная поверхность исследуемой стены покрыта тонким штукатурным слоем, на внутренней и наружной поверхности которого вмонтированы три пары датчиков температуры. Датчики вмонтированы на высоте примерно 2 м от подстилающей поверхности (рисунки 3.9, 3.10) во избежание влияния влаги, поступающей от поверхности земли, и затенения объектами, не относящимися к застройке (рисунок 3.11).

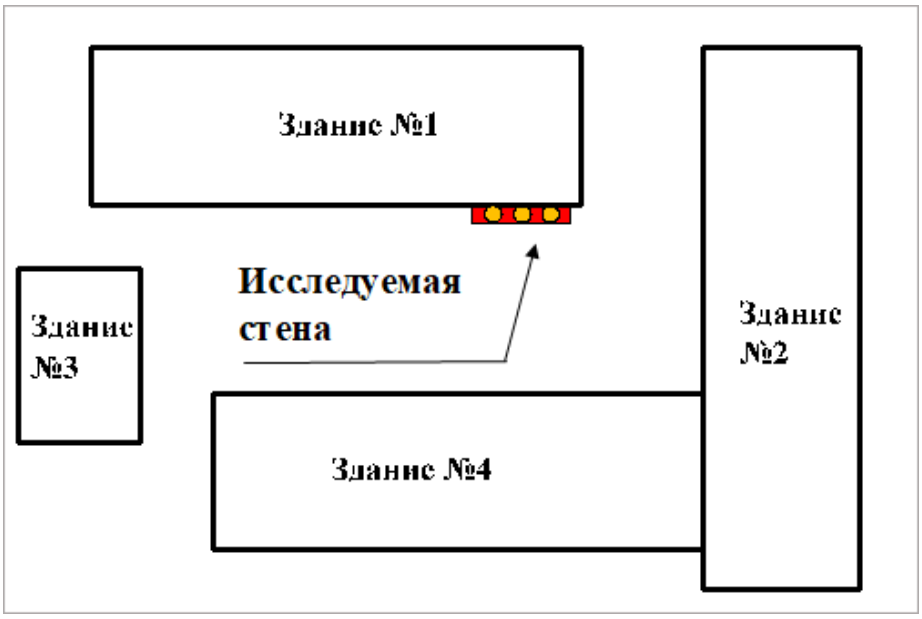


Рисунок 3.9 – Схема застройки в плане. Расположение исследуемой стены с датчиками температуры в застройке типа «замкнутый двор»



Рисунок 3.10 – Исследуемая стена с датчиками температуры на фасаде №1, №2, №3 и на выносе под козырьком



Рисунок 3.11 – Расположение исследуемого отштукатуренного участка стены на фасаде здания

2. Обработка экспериментальных данных.

В соответствии с формулой А.М. Шкловера (3.50) для определения температуры нагрева поверхности стены необходимо иметь данные о поступающей солнечной радиации за один час, $I_{чj}^{вер}(x,y)$, температуре воздуха, $t_н$, коэффициенте поглощения поверхности стены, α. При обработке результатов эксперимента скорость ветра, $v_н$, принималась равной 2,3 и 2,2 м/с в соответствии с периодом измерений.

Температура нагрева наружной поверхности стены $t_н^{изм1}$, $t_н^{изм2}$, $t_н^{изм3}$ (определялась как средние значения для каждой пары датчиков t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, °С), и температура воздуха на выносе под козырьком, $t_н$, °С, измерялись на оборудовании НИИСФ РААСН прибором ИТП-МГ 4.03/20(I) «Поток» с интервалом не менее 15 минут (свидетельство о поверке оборудования представлено в Приложении А).

Суммарная радиация $I^{вер}(x,y)$, поступающая на исследуемый участок стены за один час, рассчитывалась как, Вт/м^2:

$$I^{вер}(x,y) = S^{вер}(x,y) + D^{вер}(x,y). \quad (3.52)$$

Прямая $S^{вер}(x,y)$, Вт/м^2 определялась почасовым расчётом по формуле (3.3) с использованием рассчитанных в разделе 3.1.2 коэффициентов пересчета, $K_{гв}$. Исходными данными при расчётах были значения прямой, $S^{гор}(t_\odot)$, Вт/м^2 в час, и рассеянной $D^{гор}(t_\odot)$, Вт/м^2 в час, солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, по часам истинного солнечного времени $t_\odot$ за тот же период наблюдений. Измерения величин $S^{гор}(t_\odot)$, $D^{гор}(t_\odot)$ проводились в Метеорологической обсерватории кафедры метеорологии и климатологии географического факультета Московского Государственного университета имени М.В. Ломоносова (МО МГУ). Там же проводилась фиксация облачности в баллах. Оборудование МО МГУ имеет свидетельства о поверке (Приложение А).

Коэффициент поглощения солнечной радиации, α, рассчитывался исходя из предположения, что проходящая составляющая солнечного излучения отсутствует, поэтому необходимо определить только коэффициент отражения финишного

покрытия исследуемой стены с СФТК. Для этого были проведены измерения коэффициента отражения на оборудовании НИИСФ РААСН – спектрофотометре СФ 256 УВИ с приставкой ПДО-7 и спектрофотомере СФ-256 БИК с приставкой ПДО-8, его величина составила ρ=0,66. Свидетельства о поверке приборов приведены в Приложении А. Коэффициент поглощения солнечной радиации при отсутствии проходящей составляющей, рассчитывается по формуле:

$$\alpha = 1 - 0{,}66 = 0{,}34. \quad (3.53)$$

Все дни наблюдение (28 дней) теплого периода года разделены на три группы в зависимости от баллов облачности и, соответственно, условий облучения прямой радиацией:

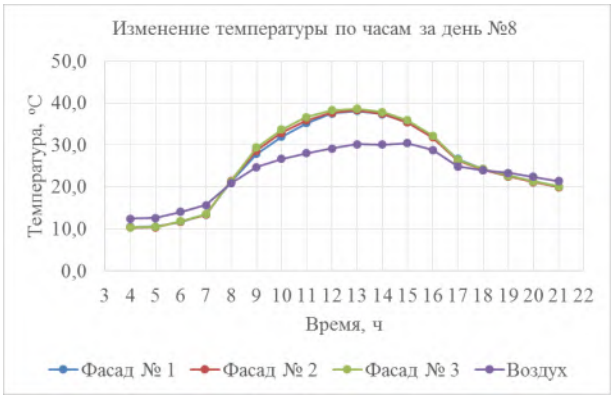
– первая группа по условиям облучения – это дни с безоблачным небом и с незначительной облачностью. В эти дни прямая радиация практически не затеняется облаками, всего 5 дней;

– вторая группа по условиям облучения – это дни, в которые наблюдается облачность с просветами и средняя облачность (4-7 баллов). В эти дни прямая радиация частично затеняется, частично присутствует, всего 16 дней;

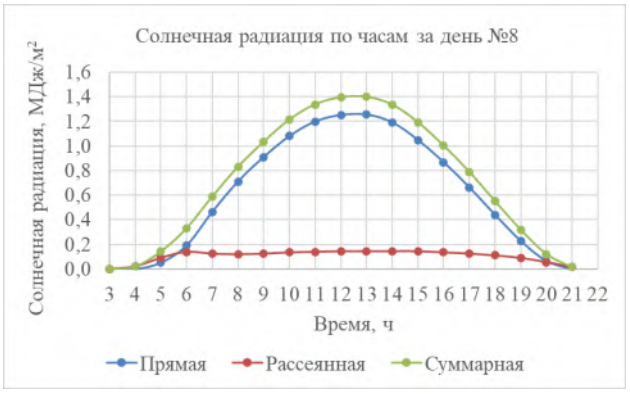
– третья группа по условиям облучения – это дни со сплошной облачностью (8-10 баллов). В эти дни прямая радиация отсутствует, всего 7 дней.

Типичные зависимости изменения температуры нагрева поверхности стены для каждой пары датчиков и температуры воздуха, а также прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации на фасад для одного дня из каждой группы приведены на рисунках 3.12–3.14. Зависимости для всех дней приведены в Приложении Г.5.

Из графиков на рисунках 3.12–3.14 и рисунках Г.18-Г.45 видно, что температура нагрева значительно зависит от поступления прямой солнечной радиации на фасад. Однако, следует статистически подтвердить наличие различия между группами, чтобы достоверно проверить методы расчёта поступающей солнечной радиации при преобладании или прямой радиации (в ясные дни), или рассеянной радиации (в пасмурные дни) или прямой в сочетании с рассеянной радиации (в промежуточные по облачности дни).

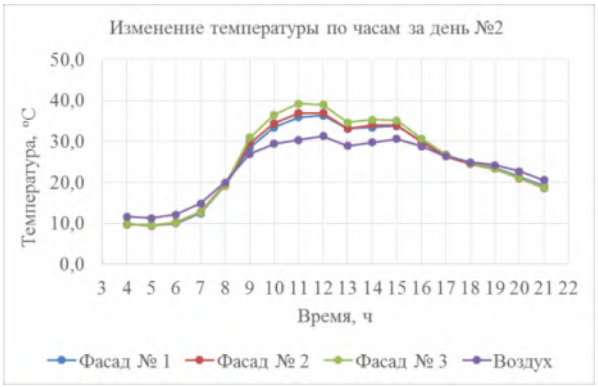


а



б

Рисунок 3.12 – Температура нагрева поверхности стены и воздуха (а) и поступающая на фасад солнечная радиация (б) за 8-й день первой группы

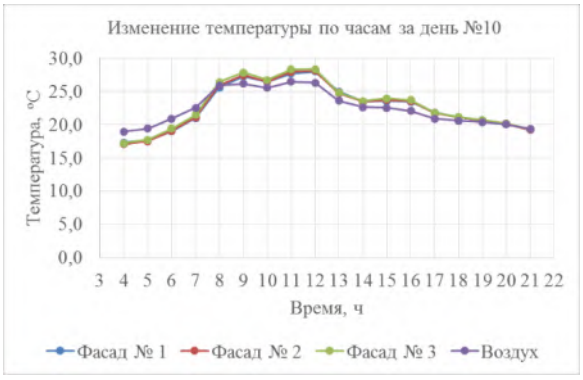


а



б

Рисунок 3.13 – Температура нагрева поверхности стены и воздуха (а) и поступающая на фасад солнечная радиация (б) за 2-й день второй группы



а



б

Рисунок 3.14 – Температура нагрева поверхности стены и воздуха (а) и поступающая на фасад солнечная радиация (б) за 10-й день третьей группы

Для выявления статистически значимых различий следует выбрать критерий, основываясь на особенностях полученных данных. При таком небольшом количестве дней в группах №1 и №3 невозможно корректно провести проверку нормальности распределения, поэтому следует выбрать непараметрический критерий анализа статистически значимых различий, причем для сравнения нескольких групп. Для таких целей подходит критерий Крускала–Уоллиса по Гланц С. [26]. Суть его заключается в ранжировании данных измерений во всех группах и затем в вычислении критерия по следующей формуле:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^{k} \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1), \qquad (3.54)$$

где: k – количество групп;

n_i – количество элементов в группе;

N – сумма элементов всех групп; R_i – сумма рангов элементов в i-той группе.

Значение критерия H сравнивается с критическим значением Hp при уровне значимости p в случае, если $H \geq Hp$ гипотеза о наличии различий отклоняется.

Для сравнительного анализа групп температуры было проведено усреднение температуры за каждый час для всех пар датчиков и затем выбраны следующие параметры (таблица 3.8): максимальные разности температуры нагрева стены и воздуха $max(\bar{t}_{ст} - \bar{t}_{в})$, °С, час их наблюдения, облачность в баллах в этот час, соотношение для этого часа прямой и рассеянной радиации, $S^{гор}/D^{гор}$, разность средней температуры стены и средней температуры воздуха с 7 до 17 часов $(\bar{t}_{ст} - \bar{t}_{в})$, °С и отношение суммы значений прямой к сумме значений рассеянной радиации с 7 до 17 часов $\sum S^{гор} / \sum D^{гор}$. Время с 7 до 17 ч выбрано, исходя из условий облучения стены.

Выявлены статистически значимые различия по всем рассматриваемым признакам, значит деление на группы по преобладанию прямой или рассеянной радиации или их сочетания произведено верно.

Таблица 3.8 – Выявление статистически значимых различий

№ дня	Группа обл.	$max(\bar{t}_{ст} - \bar{t}_{в})$, °С	Час набл., облачность, баллы	$(\bar{t}_{ст} - \bar{t}_{в})$, °С	$\frac{S^{гор}}{D^{гор}}$	$\frac{\sum S^{гор}}{\sum D^{гор}}$
8	1	9,2	12ч, 2б	6,8	9,80	9,20
9	1	8,5	11ч, 0б	6,4	9,60	9,29
11	1	8,9	12ч, 2б	6,3	10,60	9,37
17	1	7,9	11ч, 1б	5,4	6,23	4,52
18	1	8,7	12ч, 2б	5,9	4,14	3,26
1	2	8,5	12ч, 8б	4,4	3,17	2,27
2	2	8,9	11ч, 3б	4,9	3,08	2,44
3	2	5,3	15ч, 9б	1,7	2,51	0,61
4	2	6,8	14ч, 12б	2,8	2,68	1,06
5	2	6,5	12ч, 12	4,7	0,88	0,94
6	2	6,7	13ч, 7б	4,3	3,54	2,02
7	2	6,1	13ч, 8б	4,6	1,02	1,14
14	2	6,2	14ч, 7б	2,6	1,37	0,61
15	2	7,2	12ч, 6б	4,4	1,95	1,66
16	2	7,3	12ч, 4б	3,9	4,31	1,27
19	2	5,6	10ч, 6б	3,6	2,21	1,09
20	2	6,4	12ч, 7б	4,2	1,23	0,76
21	2	7,9	12ч, 5б	5,5	3,49	1,41
22	2	7,3	12ч, 8б	5,7	4,29	5,62
23	2	7,8	12ч, 12б	5,1	3,83	2,00
28	2	7,1	12ч, 9б	3,8	0,78	0,45
10	3	2,1	12ч, 10б	1,3	0,00	0,08
12	3	4,3	11ч, 8б	1,3	0,02	0,29
13	3	4	12ч, 10б	2,6	0,02	0,09
24	3	3,1	11ч, 10б	2,2	0,00	0,09
25	3	1,2	10ч, 10б	0,7	0,00	0,02
26	3	0,4	9ч, 10б	0,2	0,00	0,00
27	3	0,6	11ч, 10б	0,3	0,00	0,00
Значение критерия H		20,9	-	13,6	22,8	10,6
Уровень значимости, p		<0,05	-	<0,05	<0,05	<0,05

3. Проведение верификации.

Экспериментальные данные по солнечной радиации и температуре нагрева поверхности стены и наружного воздуха использовались для сопоставления результатов измерений и расчётов.

Для проведения сопоставления измеренная температура нагрева стены усреднялась для всех пар датчиков за каждый час каждого дня измерений, т.е. для каждого часа и каждого дня получилось значение $t_{\text{н}}^{\text{изм}}$. Также, для каждого часа каждого дня измерений произведено вычисление $t_{\text{н}}^{\text{усл}}$ по формуле (3.50). Затем для каждого часа каждого дня рассчитаны разности температур $(t_{\text{н}}^{\text{изм}} - t_{\text{н}}^{\text{усл}})$ и произведено вычисление средней разности для каждого часа каждой группы дней (таблица 3.9):

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_1^{n_i}(t_{\text{н}}^{\text{изм}} - t_{\text{н}}^{\text{усл}})}{n_i}, \tag{3.55}$$

где n_i – количество дней в i-ой группе.

Таблица 3.9 – Средняя разность измеренной и рассчитанной температуры для трех групп дней измерений

Время суток, ч	Средняя разность измеренной и рассчитанной температуры, °С		
	Дни группы №1, n_i=5	Дни группы №2, n_i=16	Дни группы №3, n_i=7
7	-2,0	-1,9	-0,9
8	-0,8	-1,0	-0,7
9	-0,3	-0,2	-0,2
10	0,3	-0,2	-0,1
11	0,8	-0,2	0,3
12	0,7	0,1	0,0
13	1,2	0,4	0,0
14	0,9	-0,1	-0,3
15	1,7	0,5	-0,3
16	0,4	-0,2	-0,4
17	-0,1	-0,3	-0,3

Из данных таблицы 3.9 видно, что при рассмотрении утренних и вечерних часов, когда интенсивность поступающей солнечной радиации невысока, рассчитанная температура оказывается выше измеренной. В дневные часы, когда увеличивается интенсивность поступающей солнечной радиации, измеренная температура оказывается выше рассчитанной. Средняя разность увеличивается в

утренние часы при малых значениях радиации. При отсутствии прямой радиации (группа 3) средняя разность мала.

В целом для дней первой группы средние разности больше, чем для второй группы, а для второй больше, чем для третьей группы. Значит, влияние прямой радиации наибольшее на нагрев поверхности фасада.

Однако, проверка статистически значимых различий данных таблицы 3.9 по критерию Крускала-Уоллиса показала, что при сравнении данных с 7 до 17 ч для трех групп дней отсутствуют статистически значимые различия в средней относительной разности. А эта же оценка без учёта ранних утренних часов, т.е. с 10 до 17 ч показывает, что различия присутствуют между тремя группами дней измерений, что показывает значимое влияние прямой радиации на нагрев поверхности фасада в первой и во второй группе дней, однако, только в утренние часы. Тем не менее, для практических целей верификации исследуемых методов учёта дозы поступления прямой и рассеянной солнечной радиации, разработанных в п. 3.1-3.2, показана хорошая сходимость результатов для любых условий облучения.

Таким образом, показано, что доза суммарной радиации рассчитывается достаточно точно с использованием почасового расчёта прямой радиации с использованием почасовых значений $K_{гв}$ (см. п.3.1.2 и Приложение Г.1) и допущения об изотропности распределения рассеянной радиации.

Также хорошая сходимость результатов показывает, что переотражение солнечной радиации зданиями в застройке в расчётах теплопоступлений от солнечной радиации при расчётах затрат энергии на отопление и вентиляцию здания можно не учитывать.

Следовательно, разработанные в п. 3.1, 3.2 методы расчёта поступающей солнечной радиации обеспечивают достаточную для инженерных целей точность расчётов, причем как при преобладании прямой радиации в ясные дни, так и рассеянной радиации в пасмурные дни, а также при совместном их присутствии в промежуточные по облачности дни.

3.7 Предложения в нормативные документы

Внести разработанные и адаптированные методы расчёта прямой, рассеянной поступающей солнечной радиации при наличии противостоящего здания в СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты».

Выводы по главе 3

1. Разработан графический метод расчёта прямой солнечной радиации с учётом противостоящего здания. Метод адаптирован под инженерные расчёты: доза облучения определяется на основе графиков изменения тангенсов солнечных координат от времени, рассчитанных почасовых коэффициентов пересчета для всех географических широт РФ и справочных данных о почасовых значениях поступающей прямой горизонтальной солнечной радиации.

2. Проведена автоматизация расчёта прямой радиации с учётом влияния противостоящего здания. На основе проведённых расчётов введены понятия радиационно-температурной характеристики фасада для прямой радиации, коэффициента затенения прямой радиации и коэффициента габаритов застройки. Указанные величины рассчитаны для ряда городов и различных вариантов застройки, что может быть использовано на практике для определения поступающей прямой радиации с учётом застройки путем применения аппроксимации.

3. Разработан аналитический метод расчёта рассеянной солнечной радиации, поступающей на исследуемый фасад при частичном перекрытии небосвода противостоящим зданием. Метод адаптирован под инженерные расчёты путем вычисления и представления в табличном виде коэффициента перекрытия небосвода в зависимости от параметров расположения противостоящего здания относительно исследуемого.

4. Разработан аналитический метод расчёта отраженной от фасада противостоящего здания солнечной радиации, получено выражение для коэффициента поступления отраженной радиации, который выражается через

коэффициент перекрытия небосвода для рассеянной радиации при наличии противостоящего здания.

5. Получено выражение для расчёта суммарной солнечной радиации при наличии противостоящего здания с учётом ясных дней отопительного периода. По полученному выражению проведены расчёты. Показано, что наличие противостоящего здания влияет на поступающую на фасад солнечную радиацию, тем самым изменяя теплопоступления через светопрозрачные конструкции при неизменном уровне теплопотерь.

6. Проведена верификация графического определения длительности облучения прямой солнечной радиацией и коэффициента затенения рассеянной солнечной радиации с учётом противостоящего здания. Показана хорошая сходимость результатов.

7. Разработан метод верификации расчета дозы поступающей солнечной радиации в натурных условиях. Проведен натурный эксперимент путем сравнения измеренной и рассчитанной температуры нагрева поверхности стены от солнечной радиации. Была показана хорошая сходимость результатов измерений и расчёта температуры нагрева при различном соотношении преобладания каждого из видов радиации (прямой или рассеянной) и их совместного присутствия.

ГЛАВА 4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ С НАРУЖНЫМИ ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

В данной главе проводятся исследования на спектрофотометрах по определению коэффициентов пропускания и отражения солнечной радиации в видимом и во всем спектре солнечного излучения. Показывается, что остекление с низкоэмиссионными, мультифункциональными и солнцезащитными покрытиями (в настоящей работе они называются способствующими энергосбережению, или энергосберегающими) значительно задерживает пропускание теплоты от солнечной радиации, что соответствует их функциональному назначению.

Настоящие исследования дополняют расчёт отраженной солнечной радиации по формуле (3.55) в части определения средневзвешенного альбедо фасада, а также расчёт естественного освещения помещений зданий по формуле (1.13) в части расширения данных о средневзвешенном коэффициенте отражения фасада противостоящего здания. Вычисляются коэффициенты поглощения солнечной радиации для расчёта теплоустойчивости наружных ограждающих конструкций по СП 50.13330.2024 [168]. Проводятся натурные эксперименты по определению пропускания солнечной радиации, поступающей под углом на остекление с энергосберегающими покрытиями, выводятся закономерности, которые дополняют методы расчёта поступающей солнечной радиации и естественного освещения помещений зданий. Положения главы изложены в работах автора [17, 19, 23, 39, 40, 63, 66, 67, 69, 89, 99, 100, 113, 118, 143, 144, 194, 195].

4.1 Спектрофотометрические исследования коэффициентов пропускания и отражения стекол с энергосберегающими покрытиями

Исследование коэффициентов пропускания и отражения солнечной радиации образцов стекол и стеклопакетов проводились по методике ГОСТ EN 410-2014 [35] в НИИСФ РААСН на спектрофотометрах СФ-256 УВИ с приставкой ПДО -7 в диапазоне длин волн от 300 до 1100 нм (рисунок 4.1) и СФ-256 БИК с приставкой ПДО-8 в диапазоне длин волн от 1100 до 2700 нм (рисунок 4.2), см. Приложение А.



СФ-256 УВИ



ПДО-7

Рисунок 4.1 – Спектрофотометр СФ-256 УВИ с приставкой ПДО-7



СФ-256 БИК



ПДО-8

Рисунок 4.2 – Спектрофотометр СФ-256 БИК с приставкой ПДО-8

Полученные данные по спектральному пропусканию и отражению электромагнитного излучения различными образцами обрабатываются по методике ГОСТ EN 410-2014 [35] для получения интегрального коэффициента светопропускания и отражения в видимой области:

$$\tau = \frac{\sum_{\lambda=380\text{нм}}^{780\text{нм}} \tau(\lambda)\cdot D_\lambda \cdot V(\lambda)\cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380\text{нм}}^{780\text{нм}} D_\lambda \cdot V(\lambda)\cdot \Delta\lambda}, \quad (4.1)$$

$$\rho = \frac{\sum_{\lambda=380\text{нм}}^{780\text{нм}} \rho(\lambda)\cdot D_\lambda \cdot V(\lambda)\cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380\text{нм}}^{780\text{нм}} D_\lambda \cdot V(\lambda)\cdot \Delta\lambda}, \quad (4.2)$$

где D_λ – относительное спектральное распределение мощности стандартного источника света D_{65};

$\tau(\lambda)$ – измеренный спектральный коэффициент пропускания стекла; $\rho(\lambda)$ - измеренный спектральный коэффициент отражения стекла;

$V(\lambda)$ – спектральная эффективность освещения для дневного зрения, характеризующая стандартного наблюдателя для фотометрии; величина $D_\lambda \cdot V(\lambda)$ принимается в соответствии с [35];

$\Delta\lambda$ – интервал длин волн, нм.

Расчет интегральных коэффициентов пропускания и отражения солнечной радиации в области спектра от 300 до 2500 нм проводится по формуле ГОСТ EN 410-2014 [35]:

$$\tau_e = \frac{\sum_{\lambda=300\text{нм}}^{2500\text{нм}} \tau(\lambda)\cdot S_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300\text{нм}}^{2500\text{нм}} S_\lambda \Delta\lambda}, \quad (4.3)$$

$$\rho_e = \frac{\sum_{\lambda=300\text{нм}}^{2500\text{нм}} \rho_0(\lambda)\cdot S_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300\text{нм}}^{2500\text{нм}} S_\lambda \Delta\lambda}, \quad (4.4)$$

где $\tau(\lambda)$, $\rho(\lambda)$ – то же, что в формулах (4.1)-(4.2);

S_λ – относительное спектральное распределение солнечного излучения;

$S_\lambda \Delta\lambda$ принимается по таблице 2 ГОСТ Р 54164-2010 [36].

Характеристики некоторых исследованных образцов стекол и результаты расчетов интегральных коэффициентов приведены в таблице 4.1. Исследовались образцы стекол четырёх производителей: Pilkington, AGC, Guardian, Салават-стекло. Толщина исследованных образцов стекол составляла 4 и 6 мм. Фото образцов стекол представлены в Приложении Д.1. На основании приведенных в таблице 4.1 данных получены коэффициенты отражения и пропускания видимого света и солнечной радиации однокамерных и двухкамерных стеклопакетов по формулам ГОСТ EN 410-2014 [35] (см. Приложения Д.2, Д.3).

Таблица 4.1 – Характеристики исследованных образцов: коэффициенты отражения со стороны без покрытия, с покрытием, коэффициенты пропускания

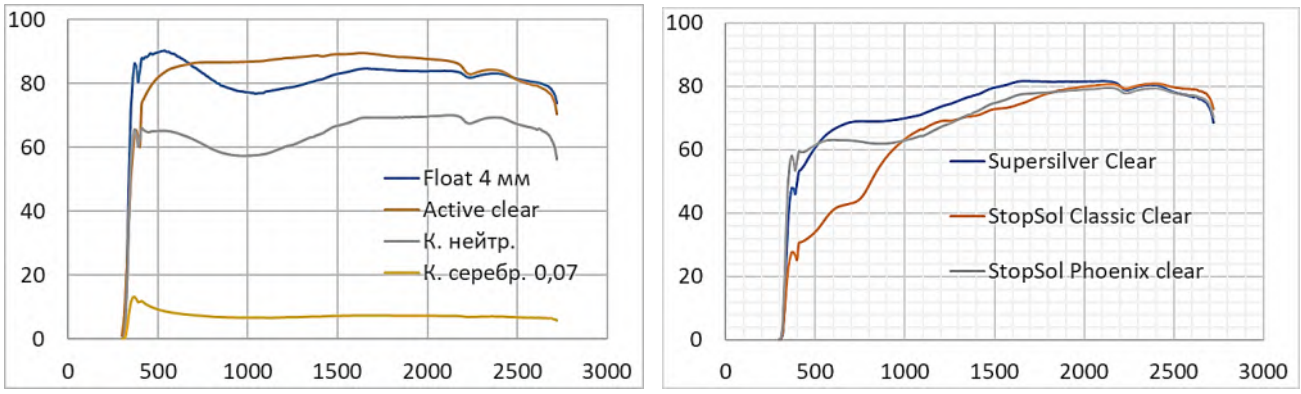
№	Образцы стекла	ρ_1, % Сторона с покрытием	ρ_2, % Сторона без покрытия	ρ_{1e}, % Сторона с покрытием	ρ_{2e}, % Сторона без покрытия	τ, %	τ_e, %
Стёкла без энергосберегающих покрытий							
1	Pilkington float 4 мм	-	9,3	-	25,7	88,6	83,7
Стёкла с низкоэмиссионными покрытиями							
2	Optitherm S3 4 мм	10,7	9,1	27,1	28,4	86,3	60,2

Продолжение таблицы 4.1

3	ClimaGuard N 4 мм	7,1	8,0	29,9	27,1	86,7	62,0
4	ClimaGuard Titan 4 мм	5,8	9,5	22,3	21,0	76,4	57,9
5	К – стекло 4 мм	12,0	13,3	18,1	21,2	80,0	70,1
Стёкла с мультифункциональными покрытиями							
6	Suncool 70/40 4 мм	8,5	7,4	28,2	35,1	83,3	47,6
7	Eclipse Advantage Clear 6 мм	26,0	30,1	26,3	31,2	66,4	57,2
8	Eclipse Advantage Active clear 6 мм	17,0	17,4	31,7	32,0	84,2	83,6
9	ClimaGuard Solar 4 мм	21,8	25,2	42,8	40,6	70,1	45,3
10	StopRay Neo 4 мм	21,6	10,2	34,1	32,2	65,9	42,8
Стёкла с солнцезащитными покрытиями							
11	Sun GuardSolar Silver 35/26 4 мм	41,4	19,8	44,2	34,4	39,9	29,1
12	Sun GuardSolar Silver 20 4 мм	24,8	31,7	33,5	30,9	20,1	16,1
13	StopSol Supersilver Clear 4 мм	36,3	34,6	40,9	38,8	64,0	66,5
14	StopSol Classic Clear 4 мм	29,2	28,1	35,1	34,5	37,9	48,8
15	StopSol Phoenix clear 4 мм	31,8	28,3	35,9	32,4	62,6	63,6
16	Комфорт нейтральный 0,65	24,0	21,5	28,0	23,6	64	62,3
17	Комфорт серебристый 0,07	44,1	38,2	46,8	32,9	9,0	8,0

4.2 Анализ спектрального состава солнечной радиации, прошедшей через остекление с энергосберегающими покрытиями

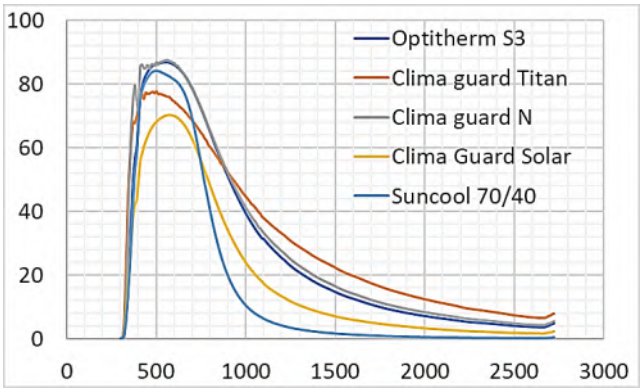
Энергосберегающие свойства покрытий оконных стекол обусловлены тем, что покрытие снижает пропускание теплоты из помещений, но оно также снижает и приток теплоты от солнечной радиации, а также видимую составляющую спектра солнечного излучения (рисунки 4.3-4.4 и рисунки Д.1-Д.3), что соответствует работам по волновой оптике Борн М. [15]. В главе 1 показано, что в расчётах естественного освещения помещений зданий и теплопоступлений от солнечной радиации применяются характеристики стекол по пропусканию видимого и всего спектра солнечной радиации. В связи с этим в настоящем разделе проводится оценка эффективности применения остекления по соотношению пропускания солнечной радиации в видимой области и во всем диапазоне солнечного излучения. Для этого проведена классификация стекол по форме зависимости спектрального коэффициента пропускания от длины волны, представленная на рисунках 4.3–4.4.



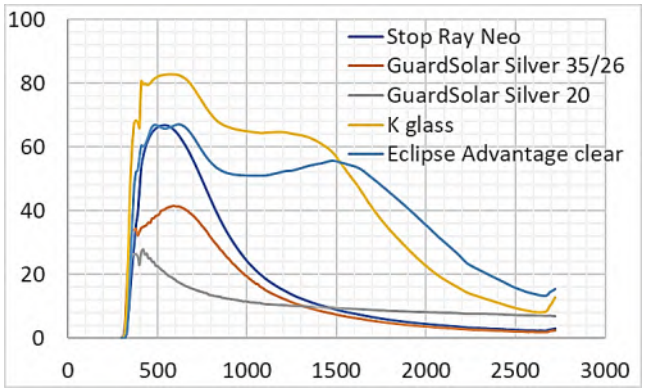
а б

Рисунок 4.3 – а) Постоянная форма распределения коэффициента пропускания солнечной радиации; б) Возрастающая форма распределения коэффициента пропускания солнечной радиации

На рисунке 4.3а образец №8 (Active clear) имеет самоочищающееся покрытие, имеющее коэффициент пропускания солнечной радиации, сравнимый с таковым для стекла без покрытия.



а



б

Рисунок 4.4 – Ниспадающая форма распределения коэффициента пропускания солнечной радиации

Для числовой характеристики спектрального состава спектра, прошедшего через стекло с покрытием, на основе вида графиков (рисунки 4.3-4.4) вводится понятие светового эквивалента пропускания солнечного излучения остеклением:

$$k_{ve} = {}^{\tau}/_{\tau_e}, \tag{4.5}$$

где τ - коэффициент светопропускания;

τ_e – коэффициент прямого пропускания солнечной радиации.

Данное отношение определяет долю пропускания электромагнитного излучения в видимой области от общего излучения, пропускаемого через стекло при падении солнечного излучения перпендикулярно к остеклению (т.е. угол падения равен 0 град.).

Исходя из значений величины k_{ve} (см. таблицу 4.2) вводится следующая классификация стекол по равномерности пропускания солнечного излучения:

– возрастающая форма при $k_{ve} < 1$;

– постоянная форма при $1 \leq k_{ve} < 1{,}1$;

– ниспадающая при $k_{ve} \geq 1{,}1$.

Результаты оценки k_{ve} представлены в таблице 4.2.

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. Применение k_{ve} для определения пропускания солнечной радиации, поступающей под углом к остеклению, приведено в разделе 4.8.

Таблица 4.2 – Сравнение стекол по форме распределения спектрального коэффициента пропускания

№ образца	Наименование образца стекла	τ, %	τ_e, %	k_{ve}
Прямая форма				
1	Стекло без покрытия Pilkington float 4 мм (для сравнения)	88,6	83,7	1,06
8	Eclipse Advantage Active clear 6 мм	84,2	83,6	1,01
16	Комфорт нейтральный 0,65 6 мм	64,9	62,3	1,04
17	Комфорт серебристый 0,07 6 мм	8,6	8,0	1,08
Ниспадающая форма				
2	Optitherm S3 4 мм	86,1	60,2	1,43
3	ClimaGuard N 4 мм	86,6	62,0	1,40
4	ClimaGuard Titan 4 мм	75,9	57,9	1,31
6	Suncool 70/40 4 мм	83,3	47,6	1,75
9	ClimaGuard Solar 4 мм	70,1	45,3	1,55
10	StopRay Neo 4 мм	65,9	42,8	1,54
11	GuardSolar Silver 35/26 4 мм	39,9	29,1	1,37
12	GuardSolar Silver 20 4 мм	20,1	16,1	1,25
5	К – стекло 4 мм	82,6	70,1	1,18
7	Eclipse Advantage Clear 6 мм	66,4	57,2	1,16
Возрастающая форма				
13	StopSol Supersilver Clear 4 мм	64,0	66,5	0,96
14	StopSol Classic Clear 4 мм	37,9	48,8	0,78
15	StopSol Phoenix clear 4 мм	62,6	63,6	0,98

4.3 Гигиенические аспекты оценки светопропускания стекол с энергосберегающими покрытыми

Представляет собой интерес спектральное пропускание света энергосберегающими покрытиями, т.к. естественное освещение полного спектра оказывает благоприятное воздействие на здоровье человека Скобарева З.А.,

Текшева Л.М. [155], Brainard G.C. [208]. Настоящий вопрос изучен в работе автора [100].

Значения спектральных коэффициентов пропускания стекол с покрытиями, представленные в таблице 4.2, позволяют оценить действие покрытия при помощи условного коэффициента пропускания низкоэмиссионного покрытия. Для этого значение коэффициента светопропускания стекла с покрытием делится на значение коэффициента светопропускания стекла без покрытия:

$$\tau(\lambda)^{\text{П}}_{\text{усл}} = \frac{\tau(\lambda)^{\text{стекло+покрытие}}}{\tau(\lambda)^{\text{стекло}}}. \qquad (4.6)$$

Как следует из физического смысла формулы (4.6), кривые светопропускания покрытия $\tau(\lambda)^{\text{покрытие}}$ по форме близки к представленным на рисунках 4.3–4.4 для светопропускания стекол с этими же покрытиями (для трех покрытий видимом диапазоне (рисунок 4.5)).

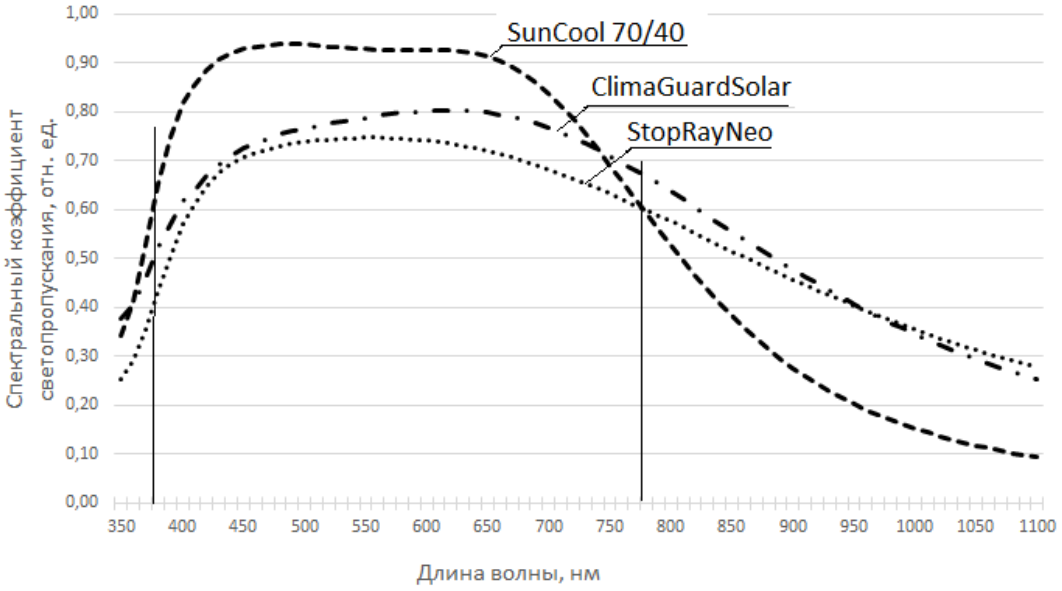


Рисунок 4.5 – Условные спектральные коэффициенты светопропускания покрытий мультифункциональных стёкол: Suncool 70/40 (штрих), StopRay Neo (пунктир), ClimaGuardSolar (штрих-пунктир)

По формуле (4.6) был проведен расчет условных интегральных коэффициентов пропускания покрытий для каждого типа покрытия в видимом

диапазоне τ_v'. Результаты вычислений τ_v' для рассматриваемых покрытий представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Условные интегральные коэффициенты пропускания покрытий в видимом диапазоне, τ_v', и в УФ-А диапазоне τ_{UV-A}'

Покрытие	τ_v'	τ_{UV-A}'
Optitherm S3	0,96	0,41
Climaguard N	0,97	0,65
Clima Guard Titan	0,85	0,74
Eclipse Advantage	0,75	0,39
EA Ever green	0,56	0,10
EA Ever gray	0,36	0,10
EA Arctic blue	0,43	0,10
K -покрытие	0,92	0,64
Suncool 70/40	0,93	0,30
StopRAyNeo	0,74	0,26
ClimaGuardSolar	0,79	0,37
Sun GuardSolar Silver 35/26	0,44	0,47
SunGuadrSolar Silver 20	0,22	0,31

Как видно, из полученных значений покрытия понижают светопропускание остекления, значит их влиянием нельзя пренебрегать.

Как показано, при проектировании помещений важно обеспечить необходимую продолжительность инсоляции [58, 65]. Исследованию пропускания остеклением ультрафиолетового (УФ) излучения и его влиянию на соблюдение инсоляционного режима посвящена работа Куприянова В.Н. и Халиковой Ф.Р. [130]. С целью определения доли э/м излучения, пропускаемого покрытиями в УФ-А диапазоне от 315 до 380 нм, был рассчитан условный коэффициент пропускания УФ-А излучения покрытиями, τ_{UV-A}', по аналогии с расчетом коэффициента τ_v'. Модифицируя формулу ГОСТ EN 410-2014 [35] для расчёта коэффициента пропускания ультрафиолетового излучения остеклением, условный коэффициент ультрафиолетового пропускания покрытия можно рассчитать по формуле:

$$\tau'_{UV-A} = \frac{\sum_{\lambda=315нм}^{380нм} \tau(\lambda)^{П}_{усл} \cdot S_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300нм}^{2500нм} S_\lambda \Delta\lambda}, \quad (4.7)$$

где S_λ – относительное спектральное распределение УФ-А излучения, принимается в соответствии с ГОСТ EN 410-2014 [35].

По формуле (4.7) был проведен расчет условного интегрального коэффициента пропускания покрытия в УФ-А диапазоне, результаты представлены в таблице 4.3.

Из представленных данных в таблице 4.3 данных можно сделать вывод о том, что энергосберегающие покрытия пропускают УФ-А излучение и тем самым способствуют инсоляции помещений.

4.4 Спектрофотометрические исследования коэффициента отражения солнечной радиации непрозрачными фасадными покрытиями

Спектрофотометрические исследования по отражению солнечного излучения образцами фасадных материалов проводились согласно ГОСТ Р 56709-2015 [37]. Количество образцов каждой группы материалов представлено в таблице 4.4. Среди образцов присутствовали материалы для систем фасадных теплоизоляционных композитных (далее по тексту – СФТК), а также систем навесного вентилируемого фасада, оконных систем, систем с использованием кирпичной кладки, штукатурных фасадов. Фото образцов непрозрачных фасадных материалов представлены в Приложении Д.1.

Таблица 4.4 – Образцы непрозрачных фасадных материалов для измерения коэффициентов отражения солнечной радиации

Номера образцов	Наименование группы образцов	Количество образцов
1-7	Фасадная штукатурка MUREXIN (для СФТК)	7
8-35	Фасадная краска MUREXIN (для СФТК)	24
36-41	Лицевой керамический кирпич	6
42-45	Керамогранит	4
46-51	Композитный материал	5
52-53	Оштукатуренная поверхность	6
54-65	Образцы оконных профилей	11

Производились последовательные измерения спектральных коэффициентов отражения отобранных образцов в области спектра от 300 до 2200 нм. Затем, по методике стандарта ГОСТ Р 56709-2015 [37] рассчитывались интегральные коэффициенты отражения каждого образца в двух диапазонах по формулам, аналогичным (4.2) и (4.4), соответственно.

Коэффициент отражения ρ_v, рассчитываемый по формуле (4.2), характеризует отражение видимого света в соответствии со спектральной чувствительностью глаза и применяется в расчётах естественного освещения по ГОСТ 26602.4-2012 [32]. Коэффициент отражения ρ_e, рассчитываемый по формуле (4.4), характеризует отражение всей солнечной радиации, включая коротковолновое инфракрасное излучение, и применяется в расчётах теплопоступлений от солнечной радиации по СП 345.1325800 [165].

Для наглядного отображения распределения отражения солнечного излучения исследуемыми образцами, на рисунках 4.6–4.8 представлены сводные графики.

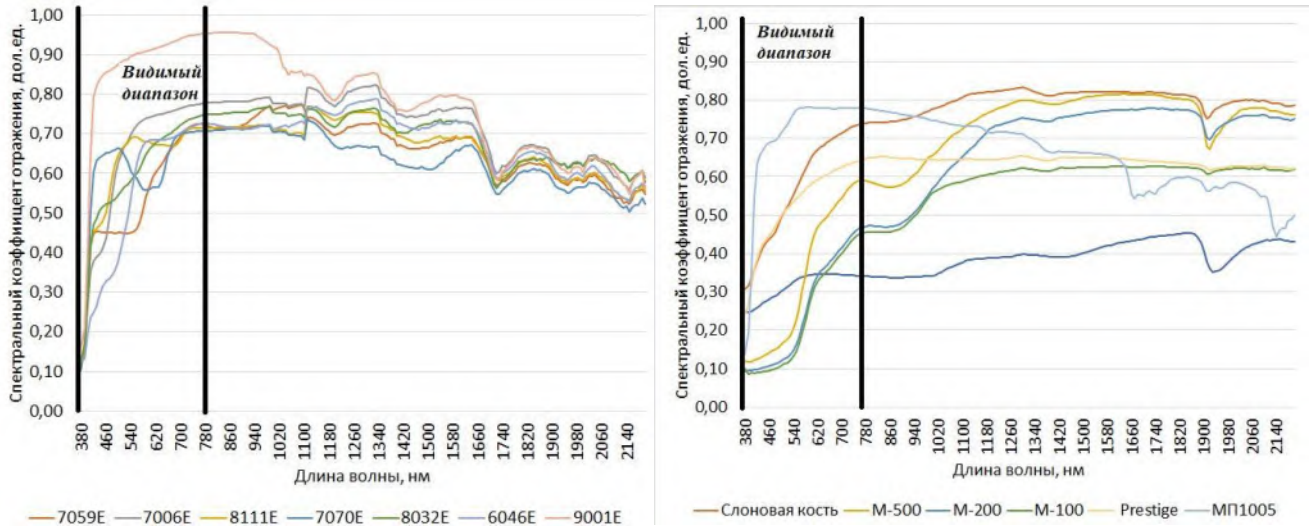


Рисунок 4.6 – Результаты измерений спектрального коэффициента отражения солнечного излучения образцами штукатурного финишного слоя Murexin (слева) и образцами керамических кирпичей, керамогранита, композитных материалов, ЦПР (справа)

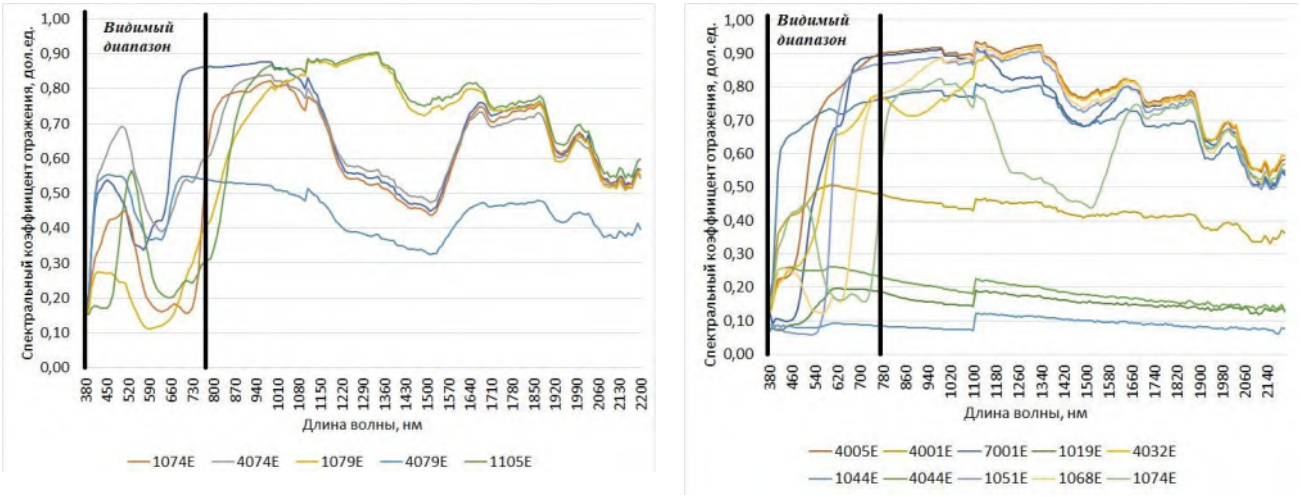


Рисунок 4.7 – Результаты измерений спектрального коэффициента отражения солнечного излучения образцами штукатурного слоя краски Murexin (первая группа слева). Результаты измерений спектрального коэффициента отражения солнечного излучения образцами штукатурного слоя краски Murexin (вторая группа справа)

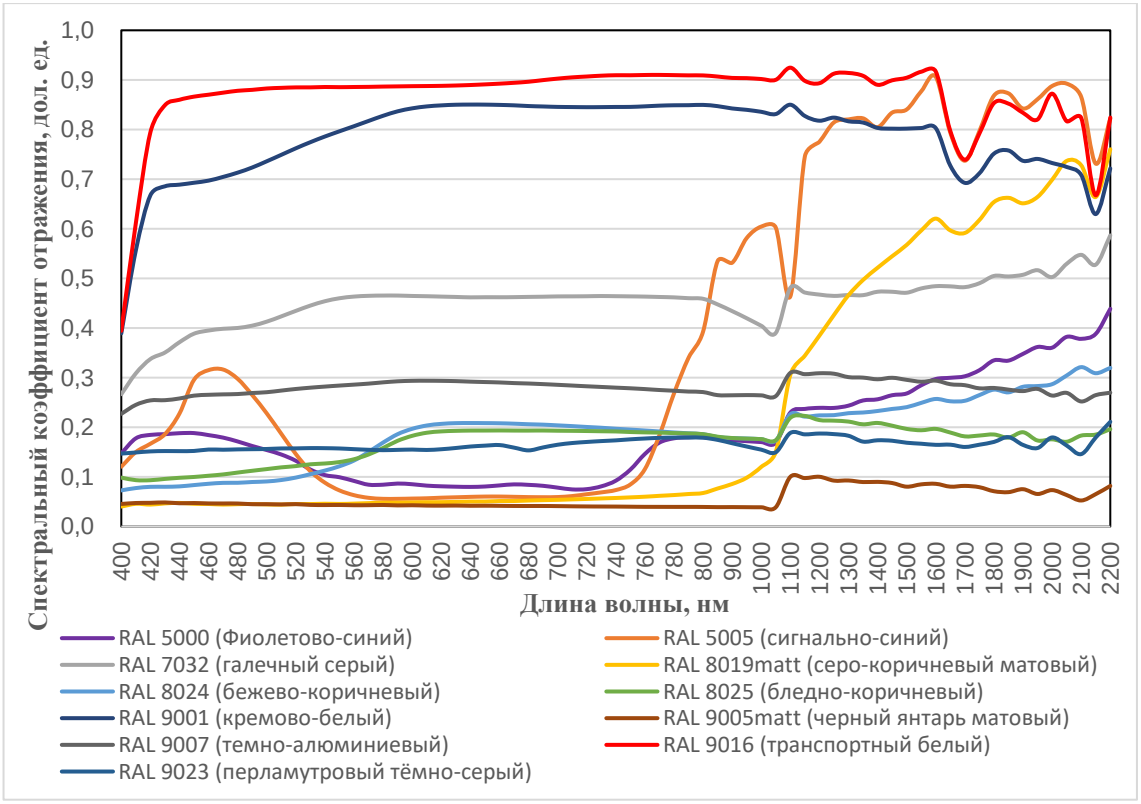


Рисунок 4.8 – Результаты измерений спектрального коэффициента отражения солнечного излучения образцами оконных переплетов

На рисунках 4.6-4.8 видно, что спектральные коэффициенты отражения некоторых образцов увеличиваются от длины волны, а некоторые – уменьшаются (фасадные краски 4032Е, 4068Е 1074Е, 1079Е, 4079Е, 1105Е, лицевой кирпич М-200).

Результаты расчётов интегральных коэффициентов отражения света и всей солнечной радиации согласно формулам (4.2) и (4.4) приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Интегральные коэффициенты отражения видимого света и солнечной радиации непрозрачными фасадными материалами

№	Марка, наименование	Цвет (наиболее близкий оттенок)	ρ_v, д. ед.	ρ_e, д. ед.	ρ_{ve}, д. ед.
Фасадная штукатурка MUREXIN (для СФТК)					
1	7059Е	Розовый	0,49	0,61	0,80
2	7006Е	Жёлтый	0,70	0,70	1,00
3	8111Е	Жёлтый	0,67	0,67	1,00
4	7070Е	Голубой	0,60	0,65	0,92
5	8032Е	Розовый	0,60	0,67	0,90
6	6046Е	Жёлтый	0,57	0,62	0,92
7	9001Е	Белый	0,90	0,87	1,03
Фасадная краска MUREXIN (для СФТК)					
8	4001Е	Серый	0,48	0,46	1,04
9	7001Е	Светло-Серый	0,71	0,72	0,99
10	1002Е	Желтый	0,72	0,69	1,04
11	4002Е	Светло-желтый	0,78	0,77	1,01
12	1005Е	Светло-оранжевый	0,50	0,67	0,75
13	4005Е	Светло-персиковый	0,67	0,74	0,91
14	1019Е	Светло-фиолетовый	0,15	0,16	0,94
15	4019Е	Светло-сиреневый	0,36	0,37	0,97
16	1032Е	Розово-коричневый	0,21	0,43	0,49
17	4032Е	Светло-розовый	0,45	0,62	0,73
18	1044Е	Темно-серый	0,08	0,09	0,89
19	4044Е	Серый	0,25	0,23	1,09
20	1051Е	Красно-коричневый	0,20	0,60	0,33
21	4051Е	Розовый	0,34	0,66	0,52
22	1068Е	Синий	0,15	0,53	0,28
23	4068Е	Голубой	0,40	0,63	0,63
24	1074Е	Морской волны	0,30	0,47	0,64
25	4074Е	Светло-бирюзовый	0,53	0,61	0,87
26	1079Е	Синий	0,16	0,44	0,36
27	4079Е	Темно-голубой	0,44	0,48	0,92
28	1105Е	Зеленый	0,41	0,49	0,84
29	4105Е	Светло-зеленый	0,64	0,60	1,07

Продолжение таблицы 4.5

30	1112E	Салатовый	0,60	0,65	0,92
31	4112E	Светло-салатовый	0,75	0,73	1,03
32	1041E	Красно-коричневый	0,08	0,25	0,32
33	1101E	Темно-зеленый	0,21	0,32	0,66
34	2088E	Темно-серый	0,10	0,10	1,00
35	1042E	Черный	0,05	0,06	0,83
Кирпич керамический лицевой					
36	Марка М-100	Красно-коричневый	0,25	0,52	0,48
37	Марка М-200	Красно-коричневый	0,26	0,60	0,43
38	Марка М-500	Красно-коричневый	0,34	0,66	0,52
39	1НФ М-175с	Светло-бежевый	0,43	0,67	0,64
40	М-175к	Коричневый	0,13	0,46	0,28
41	М-175б	Светло-бежевый	0,58	0,72	0,81
Керамогранитные панели					
42	Prestige Bianco Diamante	Белый	0,54	0,62	0,87
43	«Слоновая кость»	Светло-бежевый	0,58	0,75	0,77
44	Краспан ВСт Колор (зеленый)	Светло-зеленый	0,42	0,53	0,79
45	Краспан ВСт Колор (белый)	белый	0,50	0,43	1,16
Композитный материал					
46	M329 Energy Creativ	Черный, бежевый	0,36	0,35	1,03
47	Alcotex образец 1	Темно-красный	0,14	0,39	0,36
48	Alcotex образец 1 (оборот)	Металлик	0,59	0,63	0,94
49	A+	Белый	0,55	0,60	0,92
50	B2	Серый	0,41	0,50	0,82
51	МП1005 Ral 9010	Белый	0,72	0,67	1,07
Цементно-песчаный раствор					
52	ЦПР №1	Серый	0,32	0,38	0,84
53	ЦПР №2	Серый	0,36	0,45	0,80
Оконные профили					
54	RAL 5000	Фиолетово-синий	0,10	0,14	0,71
55	RAL 5005	Сигнально-синий	0,09	0,32	0,28
56	RAL 7032	Галечный серый	0,43	0,42	1,02
57	RAL 8019mat	Темно-серый	0,05	0,06	0,83
58	RAL 8024	Бежево-коричневый	0,13	0,16	0,81
59	RAL 8025	Бледно-коричневый	0,14	0,16	0,88
60	RAL 9001	Кремово-белый	0,77	0,76	1,01
61	RAL 9005 matt	Черный янтарь	0,04	0,05	0,80
62	RAL 9007	Темно-алюминиевый	0,28	0,26	1,08
63	RAL 9016	Транспортный белый	0,86	0,73	1,18
64	RAL 9023	Перламутровый серый	0,15	0,16	0,94

Как видно из данных таблицы 4.5, значения коэффициентов отражения во всем диапазоне солнечного излучения, ρ_e, могут значительно превышать коэффициенты отражения, рассчитанные только для видимой области, ρ_v, (см. фасадные краски 4032E, 1051E, 1068E, 1074E, 1041E, лицевые кирпичи). Также

есть образцы, имеющие существенное различие коэффициентов отражения в видимой области, ρ_v, но близкие значения коэффициентов отражения во всем диапазоне, ρ_e, (1051E, 1005E). Показатель отражения радиации вычисляется из выражения:

$$\rho_{ve} = \rho_v / \rho_e \ . \tag{4.8}$$

Показатель ρ_{ve} материалов возможно использовать для регулирования величины отраженной солнечной радиации и видимого света при проектировании зданий. Исходя из данных таблицы 4.5, фасадные материалы разделяются на группы по значениям показателя ρ_{ve}: преимущественно отражающие солнечную радиацию при $\rho_{ve} < 0{,}8$ и видимый свет при $\rho_{ve} > 1{,}2$, равномерно отражающие $0{,}8 \leq \rho_{ve} \leq 1{,}2$.

Как показано в разделе 3.5.4, здания застройки отражают поступающую на них солнечную радиацию со всей поверхности фасада. Для определения доли отраженной солнечной радиации рассчитывается средневзвешенный коэффициент отражения фасада, $\rho_{\text{ср}}$, и средневзвешенное альбедо фасада, A_k (индекс «*k*» означает учет коротковолнового инфракрасного излучения), проводится по формулам нормативных документов СП 367.1325800 [166] и Методическое пособие [138] к СП 50.13330 [168] соответственно:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\sum_i^n \rho_{v_i} \cdot \text{A}_i}{\sum_i^n \text{A}_i}, \tag{4.9}$$

$$A_k = \frac{\sum_i^n \rho_{e_i} \text{A}_i}{\sum_i^n \text{A}_i}, \tag{4.10}$$

где ρ_{v_i}, ρ_{e_i} – коэффициенты отражения света и всей солнечной радиации для *i*-го типа покрытия, согласно формулам (4.2) и (4.4), соответственно, д. ед.;

A_i – площадь поверхностей с *i*-м типом покрытия, м^2.

Таким образом, коэффициенты отражения ρ_v и $\rho_{\text{ср}}$, рассчитываемые по формулам (4.2) и (4.9), соответственно, характеризуют отражение и восприятие видимого света, так как при их вычислении учитывается спектральная чувствительность глаза [35, 36], что является важной особенностью при проведении расчётов естественного освещения помещений зданий по СП

52.13330.2016 [169]. Коэффициент отражения, ρ_e по формуле (4.4), и средневзвешенный альбедо фасада, A_k, рассчитываемый по формуле (4.10), характеризует отражение всего диапазона солнечной радиации и применяется в расчётах теплопоступлений от солнечной радиации по СП 345.1325800 [165].

4.5 Анализ влияния прозрачных и непрозрачных материалов на средневзвешенный коэффициент отражения и средневзвешенное альбедо фасада здания

Проведем сравнительные расчёты средневзвешенного коэффициента отражения света фасадом согласно данным нормативного документа СП 367.1325800 [166] и по формуле (4.9) с использованием полученных экспериментальных данных.

В качестве методического примера рассматривается здание серии П-55, приведенное на рисунке 4.9, что рассматривается в работе автора [89].

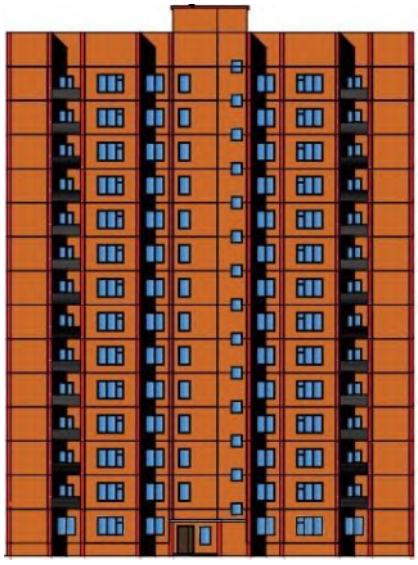


Рисунок 4.9 - Пример фасада, рассматриваемого для расчёта средневзвешенного альбедо: здание дома серии П-55, в котором возможно применение исследуемых облицовочных материалов

Площадь фасада здания серии П-55 без учёта светопроемов: 1220 м^2, суммарная площадь стеклопакетов (остекления) без учёта переплётов: 188 м^2,

суммарная площадь видимой части переплетов: 46 м^2. Суммарная площадь остекления составляет 15% от всей площади фасада. Габариты светопрозрачного фасада 49,45 метров по ширине и 46,75 метров по высоте. Фасад имеет суммарную площадь остекления без учёта переплётов: 2164 м^2, площадь видимой части переплетов: 153 м^2. Суммарная площадь остекления составляет 93% от всей площади фасада.

Для расчётов принимается, что в здании сначала применяются два двухкамерных стеклопакета со стеклами без покрытий №1, затем стеклопакеты со стеклами с покрытиями №2. Характеристики выбранных стеклопакетов представлены в таблице 4.6. В здании серии П-55 используются переплёты RAL 9016 ($\rho_v = 0{,}86, \rho_e = 0{,}73$), таблица 4.5.

Таблица 4.6 - Коэффициенты отражения стеклопакетов

№ образца	Формула стеклопакета	ρ_v, д. ед.	ρ_e, д. ед.
1	4М1-16Ar-4М1-16Ar- 4М1	0,20	0,18
2	4СИ-16Ar-4М1-16Ar-4И	0,15	0,36

Отличие выбранного мультифункционального стеклопакета от стеклопакета без покрытия состоит в том, что они имеют примерно такой же коэффициент пропускания в видимой области и повышенный коэффициент отражения в инфракрасной области. Также такие покрытия способствуют снижению теплопотерь. Сравнение результатов расчёта средневзвешенного альбедо фасада приведено в таблице 4.7, при этом указаны перечисленные далее величины.

По формулам (4.9) и (4.10) рассчитываются следующие величины:

$\rho_{\text{ср}}^{\text{БП}}$ – средневзвешенный коэффициент отражения фасада для видимого света при применении остекления без покрытий, д. ед.;

$A_k^{\text{БП}}$ – средневзвешенное альбедо фасада для солнечной радиации при применении остекления без покрытий, д. ед.;

$\rho_{\text{ср}}^{\text{ЭП}}$ – средневзвешенный коэффициент отражения фасада для видимого света при применении остекления с энергосберегающими покрытиями, д. ед.;

$A_k^{\text{ЭП}}$ – средневзвешенное альбедо фасада для солнечной радиации при применении остекления с энергосберегающими покрытиями, д. ед.

По нормативному документу СП 367.1325800 [166] принимаются следующие величины:

$\rho_v{}^{\text{СП}}$ – коэффициент отражения света материалом, д. ед.;

$\rho_{\text{ср}}^{\text{СП}}$– средневзвешенный коэффициент отражения фасада для видимого света, д. ед.

Таблица 4.7 – Исходные данные для расчетов и результаты расчёта средневзвешенного коэффициента отражения и средневзвешенного альбедо фасада

Материал	Цвет	ρ_v	ρ_e	$\rho_v^{\text{СП}}$	$\rho_{\text{ср}}^{\text{СП}}$	$\rho_{\text{ср}}^{\text{БП}}$	$A_k^{\text{БП}}$	$\rho_{\text{ср}}^{\text{ЭП}}$	$A_k^{\text{ЭП}}$	$\frac{\rho_{\text{ср}}^{\text{СП}}-\rho_{\text{ср}}^{\text{БП}}}{\rho_{\text{ср}}^{\text{СП}}}$ *100%	$\frac{\rho_{\text{ср}}^{\text{СП}}-\rho_{\text{ср}}^{\text{ЭП}}}{\rho_{\text{ср}}^{\text{СП}}}$ *100%
Штукатурка											
7059E	розовый	0,49	0,61	0,6	0,6	0,46	0,56	0,46	0,58	23	24
7006E	желтый	0,70	0,70	0,6	0,6	0,64	0,63	0,63	0,66	-7	-6
9001E	белый	0,90	0,87	0,7	0,55	0,81	0,78	0,80	0,80	-47	-46
Краска											
4001E	серый	0,48	0,46	0,4	0,34	0,46	0,43	0,45	0,46	-34	-32
7001E	светло-серый	0,71	0,72	0,5	0,41	0,65	0,65	0,64	0,67	-58	-57
1044E	темно-серый	0,08	0,09	0,2	0,2	0,12	0,12	0,11	0,15	40	43
4044E	серый	0,25	0,23	0,4	0,34	0,26	0,24	0,26	0,26	23	25
1068E	синий	0,15	0,53	0,2	0,2	0,18	0,49	0,17	0,51	11	14
1101E	зеленый	0,21	0,32	0,2	0,2	0,23	0,31	0,22	0,34	-15	-11
1042E	черный	0,05	0,06	0,2	0,2	0,09	0,10	0,09	0,12	53	56
Кирпич											
М-500	красно-коричн.	0,34	0,66	0,3	0,27	0,34	0,60	0,33	0,62	-25	-23
М-175б	белый	0,58	0,72	0,6	0,48	0,54	0,65	0,53	0,67	-12	-11
М-175к	коричн.	0,13	0,46	0,3	0,27	0,16	0,43	0,16	0,46	40	42
Керамогранит											
Prestige	белый	0,54	0,62	0,7	0,55	0,51	0,57	0,50	0,59	8	9
Композит											
Alcotex 1	темно-красный	0,14	0,39	0,2	0,2	0,17	0,37	0,16	0,40	15	18
МП1005	белый	0,72	0,67	0,7	0,55	0,66	0,61	0,65	0,63	-19	-18

При сравнении результатов расчёта экспериментально полученных коэффициентов отражения света образцами, ρ_v, и принятых по нормативному документу СП 367.1325800 [166], $\rho_v^{\text{СП}}$, видно, что существенных отличий нет

(таблица 4.7). При сравнении средневзвешенных коэффициентов отражения фасада рассчитанных и принятых по своду правил, $\frac{\rho_{\text{ср}}^{\text{СП}}-\rho_{\text{ср}}^{\text{БП}}}{\rho_{\text{ср}}^{\text{СП}}}100\%$ и $\frac{\rho_{\text{ср}}^{\text{СП}}-\rho_{\text{ср}}^{\text{ЭП}}}{\rho_{\text{ср}}^{\text{СП}}}100\%$, имеется существенное различие, достигающее значительных величин, как с превышением $\rho_{\text{ср}}^{\text{СП}}$ (на 56%) для темного фасадного покрытия, так и с понижением $\rho_{\text{ср}}^{\text{СП}}$(на 58%) для светлого фасадного покрытия. Такие различия в расчётах показывают, что влияние темного фасада противостоящего здания недооценено, а влияние светлого фасадного покрытия переоценено в нормативных документах.

Влияние замены остекления без покрытий на остекление с покрытиями на величину средневзвешенного коэффициента отражения и средневзвешенного альбедо фасада можно оценить по различиям следующих величин: $\rho_{\text{ср}}^{clear}$ и $\rho_{\text{ср}}^{low-e}$, A_k^{clear} и A_k^{low-e}. Из данных таблицы 4.7 видно, что величина средневзвешенного коэффициента отражения при замене остекления, $\rho_{\text{ср}}^{clear}-\rho_{\text{ср}}^{low-e}$, изменяется на 0,01 дол. ед., а величина средневзвешенного альбедо фасада, т.е. $A_k^{clear}-A_k^{low-e}$, изменяется на 0,03 дол. ед. Т.е. для рассматриваемого примера замена остекления на мультифункциональное не вызывает значительного изменения средневзвешенного коэффициента отражения и средневзвешенного альбедо фасада.

Сравнение величин средневзвешенных коэффициентов отражения и средневзвешенных альбедо показывает, что применение определенных облицовочных материалов повышает их величину пропорционально полученному экспериментально коэффициенту отражения этого облицовочного материала, так как облицовочные материалы занимают большую площадь на фасаде.

Исходя из представленного анализа следует, что при вычислении по рассматриваемой методике значительное влияние на величину средневзвешенного коэффициента отражения и средневзвешенного альбедо оказывает материал, занимающий значительную площадь на фасаде.

4.6 Обобщение результатов исследования по коэффициентам отражения несветопрозрачных фасадных материалов

Таким образом, проведены исследования по спектральному отражению видимого света и всего диапазона солнечного излучения образцами различных фасадных материалов. Показано, что различные материалы, имея примерно равные коэффициенты отражения в видимой области, в инфракрасной области способны увеличивать или уменьшать отражение солнечной радиации. Данный факт возможно использовать для регулирования величины отражаемой солнечной радиации в инфракрасной области при проектировании фасадов зданий, исключая существенное изменение в видимом диапазоне, что улучшит естественное освещение помещений зданий.

Исходя из вышеуказанного следует учесть важность применения рассматриваемого расчёта средневзвешенного альбедо фасада в нормативных документах, а также формирование базы данных коэффициентов отражения фасадных материалов в видимой области и альбедо (во всем диапазоне солнечного излучения).

Полученные результаты по коэффициентам отражения в видимой области могут значительно повысить точность расчётов естественного освещения помещений зданий по нормативным документам СП 367.1325800 [166] и СП 52.13330 [169].

4.7 Определение коэффициентов поглощения солнечной радиации несветопрозрачных фасадных материалов

Поток солнечной радиации, поступающей на вертикальный фасад здания, частично поглощается, частично пропускается, частично отражается фасадными покрытиями:

$$\Phi = \Phi_{\text{погл}} + \Phi_{\text{прош}} + \Phi_{\text{отр}} . \qquad (4.11)$$

В случае рассмотрения непрозрачных фасадных материалов прошедший поток равен нулю $\Phi_{\text{прош}} = 0$, тогда, как известно, переходя к коэффициентам

поглощения (α) и отражения (ρ) согласно обозначениям СП 367.1325800 [165] и СП 52.13330 [169]:

$$1 = \alpha + \rho \ . \qquad (4.12)$$

Тогда, используя данные таблицы 4.5, из формулы (4.12) по коэффициентам отражения непрозрачными фасадными материалами солнечной радиации, возможно определить коэффициенты поглощения солнечной радиации. Такие исследования были проведены в настоящей работе и внедрены в таблицу Е.1 СП 50.13330.2024 [168], которая используется при теплотехнических расчётах ограждающих конструкций.

4.8 Метод натурных исследований светопропускания энергосберегающего остекления при различных углах падения солнечного излучения

В настоящем разделе проводятся исследования по определению эмпирической зависимости коэффициентов светопропускания остекления со специальными покрытиями от угла падения солнечных лучей. В натурных условиях определяется пропускание солнечного излучения в видимом диапазоне остеклением с энергосберегающими покрытиями в зависимости от его ориентации по сторонам света. Затем из полученных экспериментальных данных рассматривается определение коэффициентов светопропускания остекления с покрытиями и без покрытий от угла падения солнечного излучения, по которым выводятся аппроксимационные уравнения. Полученные уравнения могут применяться для определения коэффициентов светопропускания при падении излучения под углом к остеклению.

4.8.1 Описание объектов исследования

Объектами исследования настоящего этапа работы являются:

- образцы стекол с мультифункциональным покрытием;

- образцы стеклопакетов со стеклами с солнцезащитными и мультифункциональными покрытиями.

Исследуемые образцы получены от фирм – производителей остекления. Наименования образцов приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Марки и тип покрытий образцов остекления со солнцезащитными покрытиями и мультифункциональными

№ образца	Формула стеклопакета	Производство	Светопропускание по нормали*, τ_1
I	II	III	IV
1	4M1	STIS	0,91
2	6 Suncool 66/33-16-4 Optifloat Clear	Pilkington	0,68
3	6 Suncool 50/27-16-4 Optitherm	Pilkington	0,51
4	6 Suncool 50/25-16-4 Optitherm	Pilkington	0,52
5	6 Suncool 70/40-16-6 M1	Pilkington	0,66
6	4 Suncool 70/40-16-4Optifloat Clear	Pilkington	0,67
7	6 Suncool 70/40-16-4M1	STIS	0,66
8	6 Suncool 70/40-16-6И	STIS	0,71
9	4 Suncool 70/40-16-6M1	STIS	0,72
10	4 Suncool 70/40-16-4M1	STIS	0,75
11	4 Suncool 70/40	STIS	0,71
12	4 Clima Guard Solar	STIS	0,50
13	4 Stopray Neo	STIS	0,52
14	4M1-16-6 K-glass	STIS	0,75
15	4M1-16-4 K-glass	STIS	0,70
16	4 Stopray Neo-16-4M1	STIS	0,60
17	8 Planibel Clearvision Rodaj - 12 - 8 Planibel Clearvision Rodaj	AGC	0,89
18	8 Planibel Clearvision CNC - 12 - 8 Planibel Clearvision CNC	AGC	0,83

* - столбец IV относится к п. 4.8.4, описывающему эксперимент.

Варианты остекления №6 и №10 являются одинаковыми по наличию в них наружных стекол толщиной 4 мм марки Suncool 70/40, но отличаются по внутренним стеклам, произведённым различными фирмами.

4.8.2 Фотоэлектрическая установка

Измерения проводились с 05.05.2023 г. по 29.07.2023 г. только в ясные дни. Произведен сбор фотоэлектрической установки (рисунок 4.10) на пространстве, не затеняемом с востока, юга и запада - на крыше административного корпуса НИИСФ РААСН. Фотоэлектрическая установка включает в себя: стойку, закрепленную на

ней рейку и люксметры с записью на карту памяти. Для измерений использовались люксметры еЛайт (рисунок Д.4) с блоком обработки информации (БОИ), содержащим карту памяти. Свидетельства о поверке приборов приведены в Приложении А.



Рисунок 4.10 – Фотоэлектрическая установка со стеклопакетами

Имеется возможность передвижения фотоэлектрической установки для ориентации ее по сторонам света. Образцы остекления крепятся вертикально в рейке по 3 штуки. Рейка закрепляется на подставке элементами крепления. Один люксметр располагается вертикально между образцами стеклопакетов открыто. Три люксметра располагаются вертикально за образцами остекления на расстоянии не более 2 см от остекления для исключения боковой отраженной составляющей. Производится автоматическая фиксация БОИ показаний люксметров, а также времени и даты измерений.

Как видно из рисунка 4.10, подстилающее покрытие фотоэлектрической установки является черным, что обеспечивает минимальное отражение солнечных лучей и, соответственно минимальный вклад диффузной отражённой составляющей в видимом диапазоне. Кроме того, на регистрационные данные не

влияет нагревание покрытия и последующее изучение в инфракрасном диапазоне, так как освещённость люксметрами регистрируется в видимом диапазоне.

4.8.3 Последовательность действий при применении метода

Метод натурных исследований светопропускания энергосберегающего остекления при различных углах падения солнечного излучения основан на сравнении естественной вертикальной освещённости, создаваемой прямыми солнечными лучами за остеклением и рядом с ним на открытой поверхности. Измерения следует проводить только в ясные дни с облачностью 0-3 балла.

Последовательность проведения натурных измерений и обработки экспериментальных данных:

1. Измерения различий в показаниях люксметров. Проводятся для сопоставления показаний люксметров в единой шкале. Определяются коэффициенты пересчёта показаний трех люксметров к четвертому, выбранному за эталон.

2. Измерения светопропускания остекления при падении солнечного излучения по нормали к остеклению, т.е. угол падения равен 0 град. Измерения проводятся в истинный полдень троекратно, остекление фиксируется вручную.

3. Измерения светопропускания остекления при падении солнечного излучения под углом на плоскость остекления, зафиксированного вертикально в фотометрической установке (рисунок 4.10). Измерения проводятся за один день при ориентации остекления на юг и в другой день при ориентации того же остекления последовательно на восток и на запад. Измерения проводятся в течение всего периода облучения остекления заданной ориентации.

4. После каждого дня измерений производится:

– снятие показаний с карты памяти люксметров и перенос их на компьютер;

– обработка и упорядочивание значений показаний люксметров;

– внесение поправочных коэффициентов в показания люксметров по данным п.1;

5. Для каждого типа остекления производится построение зависимостей освещенности для открытого датчика и для датчиков за остеклением от времени.

6. Для каждого типа остекления при всех его ориентациях производится вычисление угла падения солнечных лучей на остекление из координат Солнца в данный момент времени по формуле, выведенной из пространственного рассмотрения положения Солнца относительно остекления [34]:

$$\gamma = \arccos\left(cosh_{\odot} cos\left|\psi - \psi_{\odot}\right|\right), \qquad (4.13)$$

где ψ – азимут нормали к остеклению;

$\psi_{\odot}$, $h_{\odot}$ – азимут и угловая высота Солнца в заданный момент времени, град., соответственно; определяются по формулам (2.1), (2.2).

7. Для каждого типа остекления данные для всех ориентаций упорядочиваются по возрастанию углов падения. Значение при нормальном угле падения принимается из п. 2 с учётом поправки на показания люксметров из п.1.

8. Производится построение графика зависимости экспериментально полученных коэффициентов светопропускания от угла падения.

9. По полученным графически представленным экспериментальным данным из п.8 производится построение аппроксимационных уравнений зависимости коэффициентов светопропускания от угла падения излучения, обеспечивающих наибольшую достоверность аппроксимации.

4.8.4 Результаты проведения натурных исследований

Результаты измерений по представленному методу приведены в таблицах Д.5-Д.22. Для представления измерений на графиках рисунков 4.11-4.16 приведена зарегистрированная естественная освещенность на датчиках люксметров, находящихся открыто и за остеклением. На оси ординат отложена освещённость, на оси абсцисс – время. Дата проведения измерений и ориентация остекления указаны в названии диаграммы.

Как видно из графиков на рисунках 4.11-4.16, освещенность на датчиках за остеклением меняется пропорционально освещённости на открытом датчике. Также освещенность зависит от времени, а значит, от положения Солнца

относительно остекления и от угла падения солнечных лучей на остекление. Причем для южной ориентации остекления эта зависимость имеет максимум в полдень и носит симметричный характер, снижаясь в утренние и вечерние часы в 5-6 раз, что согласуется с данными [29] для горизонтальной освещенности. Для восточной и западной ориентаций освещенность больше в утренние и вечерние часы в 4-5 раз, соответственно, нежели ближе к полудню. При измерениях от 16.08.2023 г. удалось зафиксировать максимум падения солнечного излучения на остекление, ориентированного на восток, что согласуется с положением Солнца в тот момент времени. Причем показания люксметров в этот момент выше таковых для максимума при южной ориентации остекления от 14.06.2023 г., что связано с тем, что направление лучей к остеклению более приближено к перпендикулярному, чем для южной ориентации. Некоторые графики имеют пиковые значения, которые обусловлены изменением облачности.

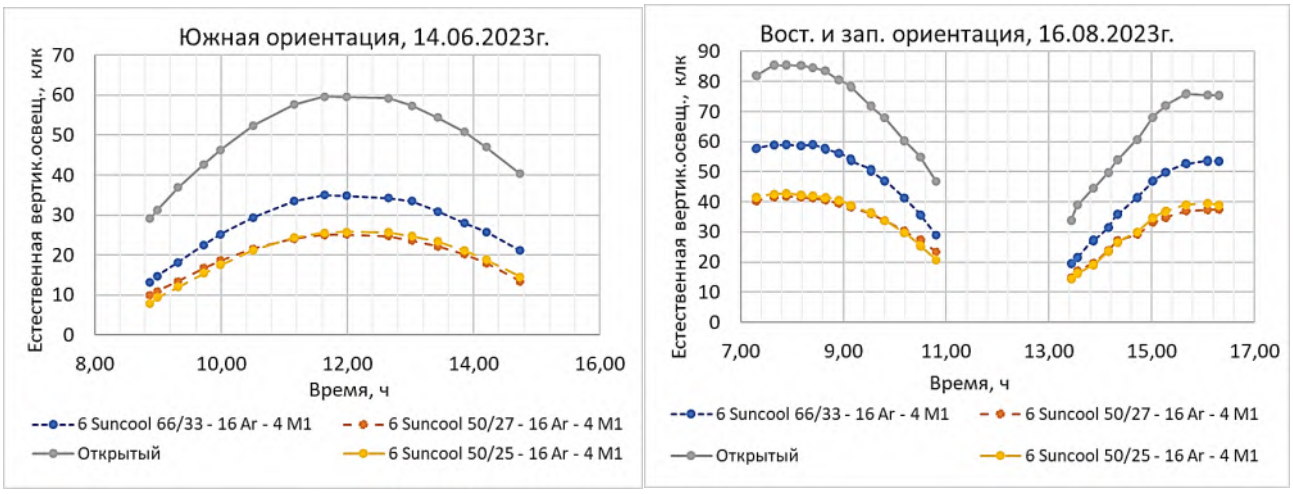
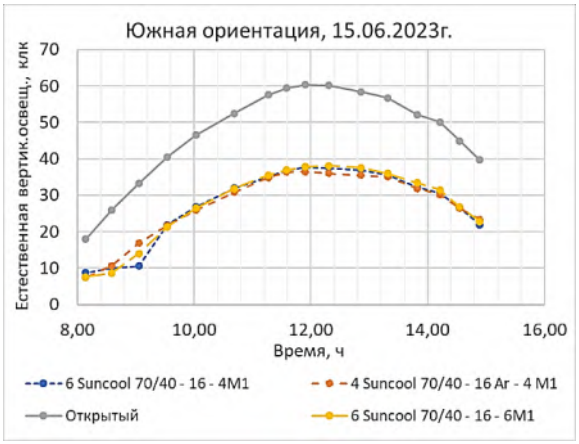


Рисунок 4.11 – Естественная вертикальная освещённость, клк, при южной, восточной и западной ориентации стеклопакетов: 6 Suncool 66/33-16-4 Optifloat, 6 Suncool 50/27-16-4 Optifloat, 6 Suncool 50/25-16-4 Optifloat



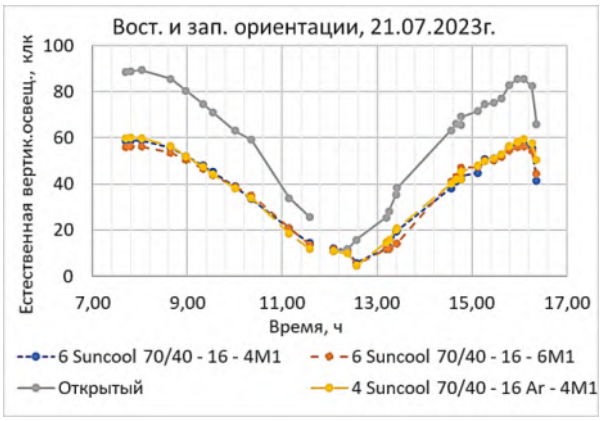
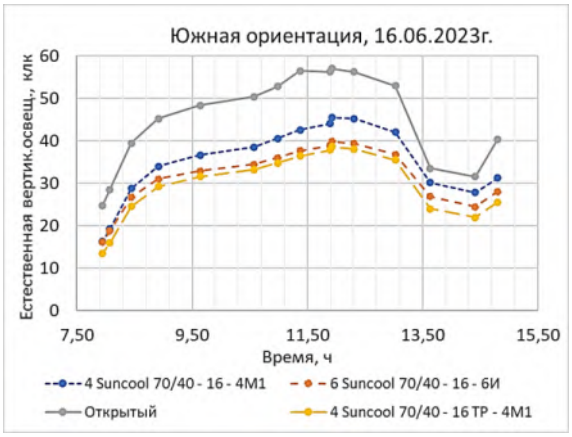


Рисунок 4.12 – Естественная вертикальная освещённость, клк, при южной, восточной и западной ориентации стеклопакетов: 6 Suncool 70/40-16-4 M1, 4 Suncool 70/40-16-4Optifloat Clear, 6 Suncool 70/40-16-6M1



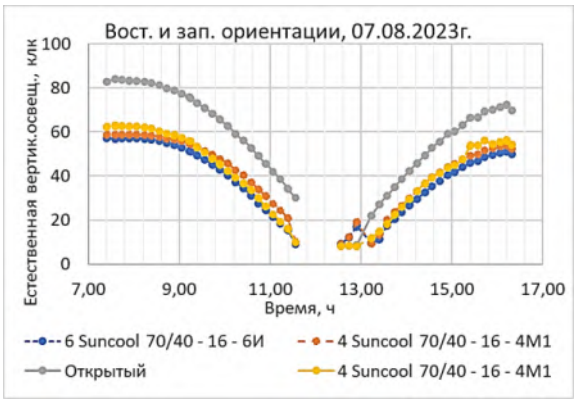
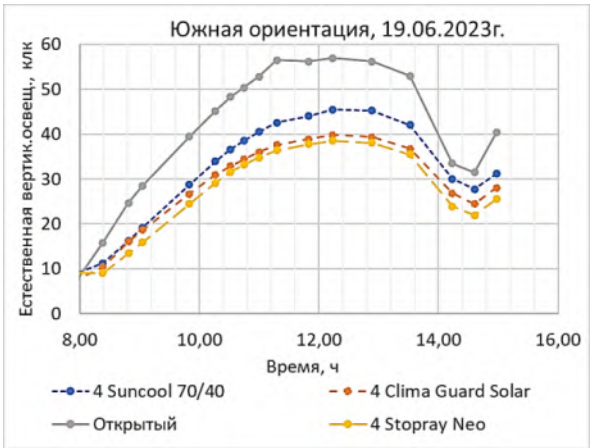


Рисунок 4.13 – Естественная вертикальная освещённость, клк, при южной, восточной и западной ориентации стеклопакетов: 4 Suncool 70/40-16-4Optifloat Clear, 6 Suncool 70/40-16-6И, 4 Suncool 70/40-16-4M1



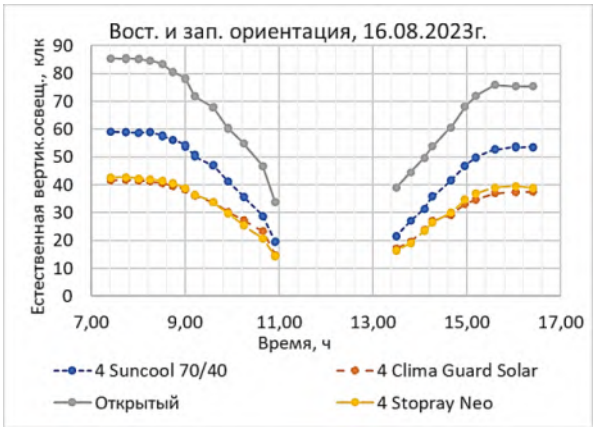


Рисунок 4.14 – Естественная вертикальная освещённость, клк, при южной, восточной и западной ориентации стеклопакетов: 4мм Suncool 70/40, 4мм Clima Guard Solar, 4мм Stopray Neo

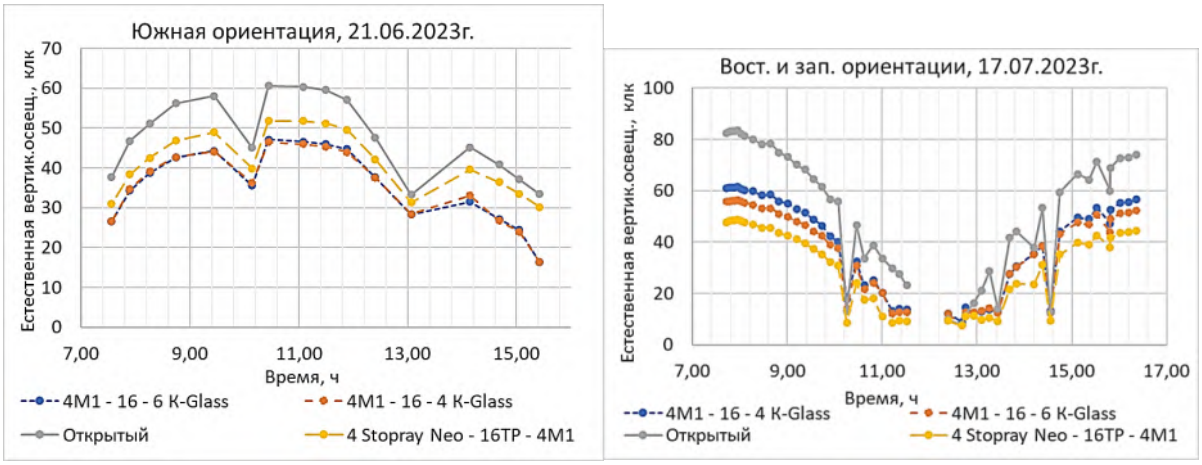


Рисунок 4.15 – Естественная вертикальная освещённость, клк, при южной, восточной и западной ориентации стеклопакетов: 4M1-16-6 K-glass, 4M1-16-4 K-glass, 4 Stopray Neo-16-4M1

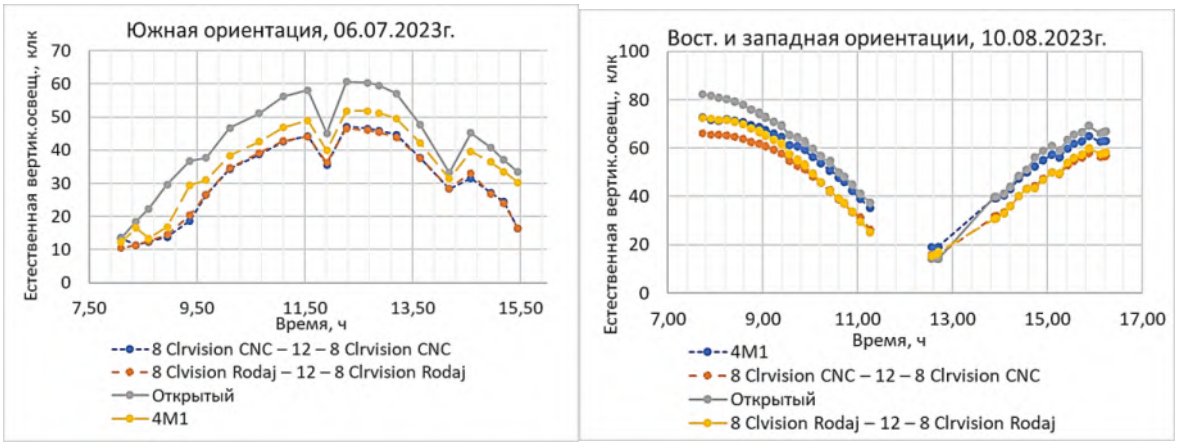


Рисунок 4.16 – Естественная вертикальная освещённость, клк, при южной, восточной и западной ориентации стеклопакетов: 8мм Planibel Clearvision Rodaj – 12 мм Ar - 8mm Planibel Clearvision Rodaj, 8мм Planibel Clearvision CNC – 12 мм Ar - 8 мм Planibel Clearvision CNC, 4M1

Указанные изменения освещённости за остеклением показывают необходимость учёта угла падения излучения при определении коэффициента светопропускания остекления.

При вычислении угла падения излучения на остекление по формуле (4.13) получается, что излучение, падающее на остекление сбоку и сверху под одинаковыми углами, будет одинаково влиять на светопропускание. Однако следует учесть следующие взаимосвязанные между собой факторы:

- длина пути в атмосфере: при падении излучения с востока или с запада, луч проходит более длинный путь в атмосфере, чем при падении с юга, а значит снижается интенсивность излучения и гасятся фотоны коротких длин волн;

- загазованность и водяной пар в атмосфере в вечерние часы больше, чем в утренние, что также приводит к снижению интенсивности излучения и к поглощению фотонов коротких длин волн.

Казалось бы, что указанные факторы не должны влиять на коэффициент пропускания, ведь он является величиной относительной: интенсивность прошедшего излучения делится на интенсивность падающего излучения. Однако, как видно из лабораторных экспериментов (п. 4.1) остекление с покрытиями различно пропускает фотоны с разной длиной волны, так как оно значительно отсекает инфракрасный и немного сокращает ультрафиолетовый диапазоны, что также показывается в работах автора [17, 19, 23]. Поэтому фотоны видимого света, близкие по своей длине волны к инфракрасному и ультрафиолетовым диапазонам, также могут отсекаться остеклением с покрытием. За счет этого эффекта наблюдаются различия в коэффициентах светопропускания при одинаковых углах падения, образуемых боковыми (восточными и западными) и верхними (южными) лучами с нормалью. При представлении указанных коэффициентов графически (рисунки 4.17 – 4.22) от угла падения заметны колебания. В данной работе измерения проведены однократно в течение дня для каждого остекления при падении излучения под углом. Ввиду ограниченности углов падения отдельно с востока и с запада, отдельно с юга, данные по зависимости коэффициентов светопропускания от углов падения объединяются для всех ориентаций, несмотря на указанные выше различия во взаимодействии излучения, направленного с юга, востока и запада, с остеклением.

На рисунках 4.17 – 4.22 представлены графики зависимостей экспериментально полученных коэффициентов светопропускания с аппроксимационными кривыми.

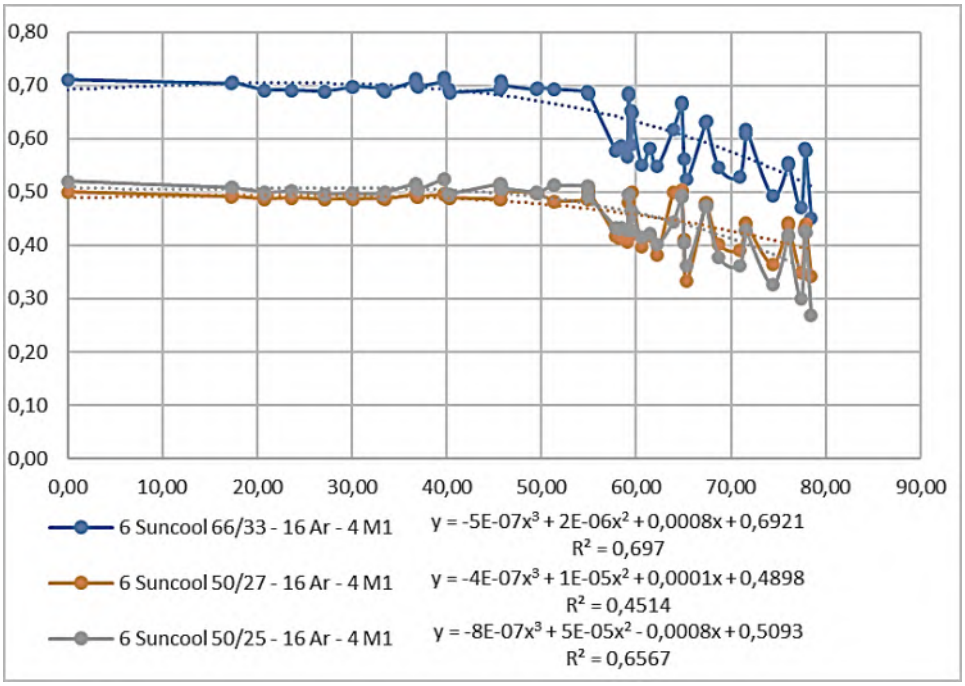


Рисунок 4.17 – Экспериментальная зависимость коэффициента светопропускания от угла падения и аппроксимационная кривая для остекления: 6 Suncool 66/33-16-4 Optifloat, 6 Suncool 50/27-16-4 Optifloat, 6 Suncool 50/25-16-4 Optifloat

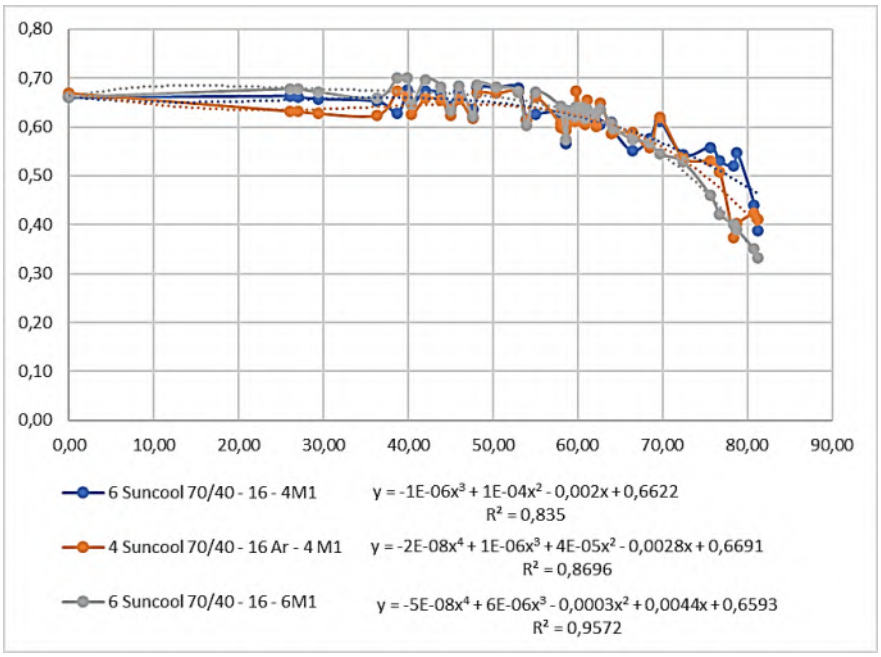


Рисунок 4.18 – Экспериментальная зависимость коэффициента светопропускания от угла падения и аппроксимационная кривая для остекления: 6 Suncool 70/40-16-4 M1, 4 Suncool 70/40-16-4Optifloat Clear, 6 Suncool 70/40-16-6M1

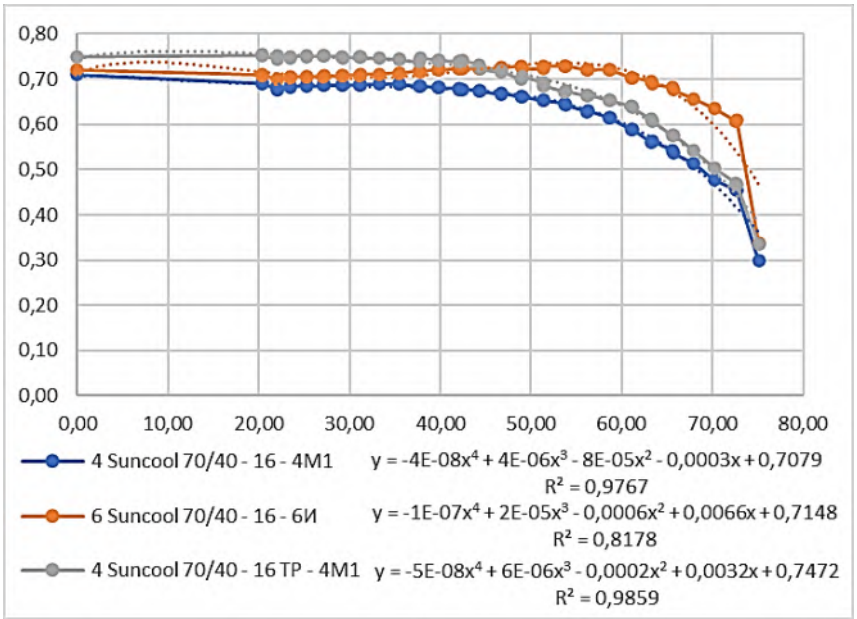


Рисунок 4.19 – Экспериментальная зависимость коэффициента светопропускания от угла падения и аппроксимационная кривая для остекления: 4 Suncool 70/40-16-4Optifloat Clear, 6 Suncool 70/40-16-6И, 4 Suncool 70/40-16-4M1

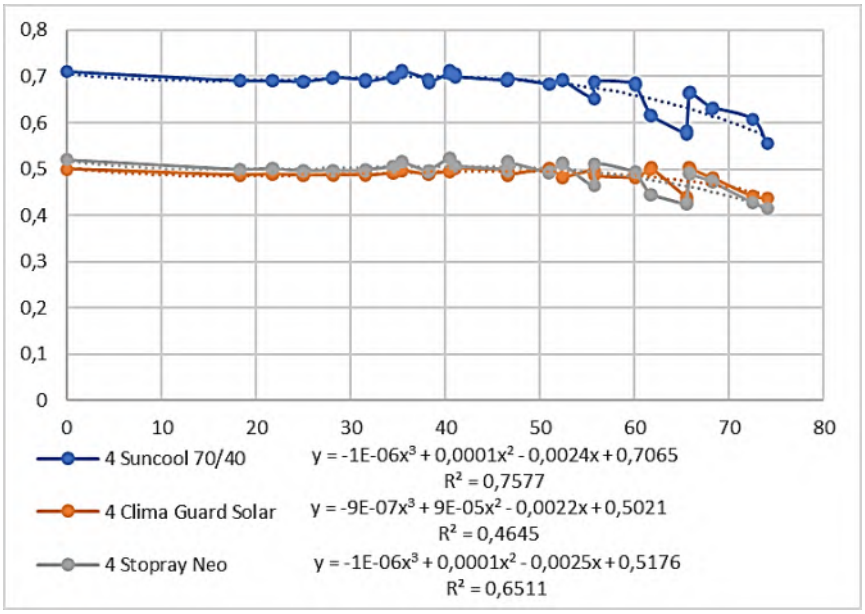


Рисунок 4.20 – Экспериментальная зависимость коэффициента светопропускания от угла падения и аппроксимационная кривая для остекления: 4мм Suncool 70/40, 4мм Clima Guard Solar, 4 Stopray Neo

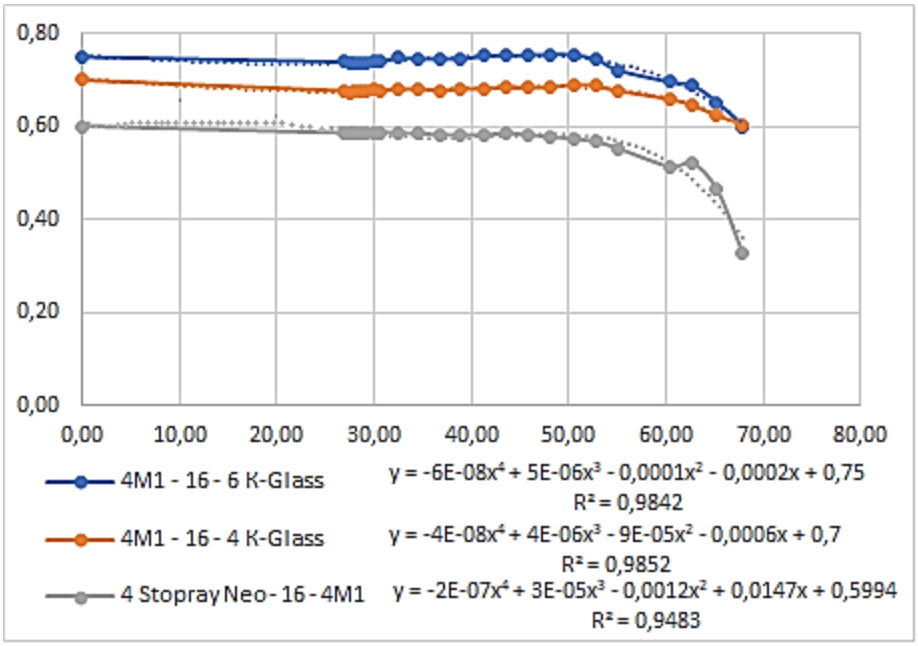


Рисунок 4.21 – Экспериментальная зависимость коэффициента светопропускания от угла падения и аппроксимационная кривая для остекления: 4M1-16-6 K-glass, 4M1-16-4 K-glass, 4 Stopray Neo-16-4M1

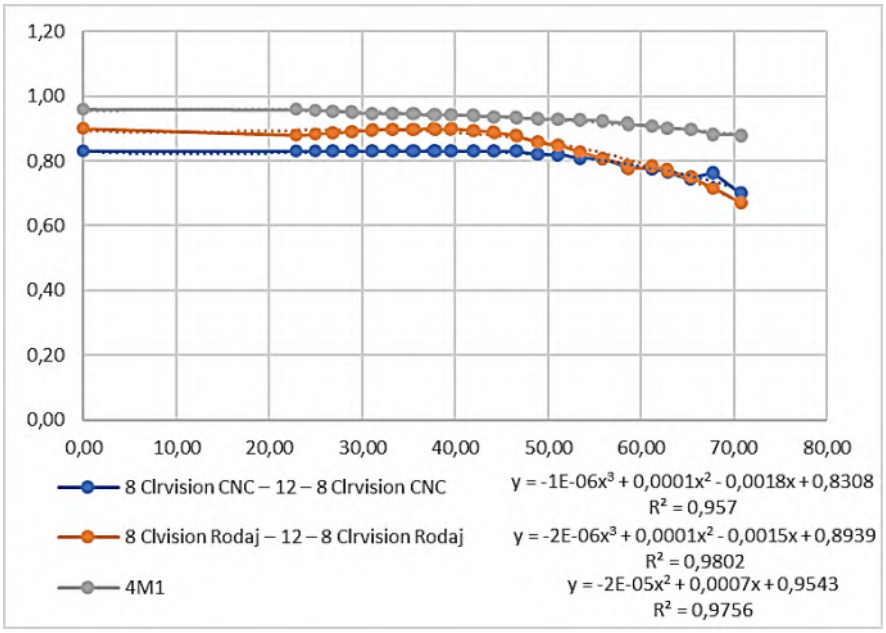


Рисунок 4.22 – Экспериментальная зависимость коэффициента светопропускания от угла падения и аппроксимационная кривая для остекления: 8мм Planibel Clearvision Rodaj Mat – 12 мм Ar - 8mm Planibel Clearvision Rodaj Mat, 8мм Planibel Clearvision CNC Duz – 12 мм Ar - 8 мм Planibel Clearvision CNC Duz, 4M1

Исходя из графиков на рисунках 4.17–4.22, значения коэффициентов светопропускания при 0 град. (при отсчете от нормали к остеклению) излучения на остекление получены из усреднения троекратных измерений. В исследовании нет данных при углах падения, строго больших 0 град. и приблизительно до 20 град, поскольку солнечные лучи не образовывали такие углы с нормалью остекления, установленного строго вертикально. Исключены из рассмотрения данные с углами падения более приблизительно 80-85 град., что связано с возникновением засветки датчика люксметра за остеклением при падении лучей, близких к касательной.

Для всех экспериментальных кривых и аппроксимационных уравнений наблюдается снижение коэффициента светопропускания при увеличении от угла падения солнечного луча, что согласуется с экспериментальными исследованиями в лабораторных условиях Roos A. [318]. При рассмотрении графиков на рисунках 4.17–4.22, заметно, что при углах падения излучения приблизительно до 50 град. не происходит существенного изменения коэффициента светопропускания для двойного остекления, а также приблизительно до 60 град. для одинарного остекления. Затем, начиная с 50 град. для двойного и с 60 град. для одинарного остекления, происходит снижение коэффициента светопропускания в 1,5-2 раза для двойного остекления и в 1,1-1,6 раза для одинарного остекления. Остекление без покрытия пропускает видимый свет практически без снижения коэффициента светопропускания от угла падения излучения. Т.е. наличие покрытия приводит к снижению коэффициентов светопропускания.

Как уже указывалось, в настоящем исследовании углы падения излучения, близкие к касательным к остеклению, т.е. большие 80 град., исключены ввиду того, что корона Солнца и околосолнечная зона начинают светить на датчик люксметра за остеклением в то время, как прямые солнечные лучи еще светят на остекление. А также в диапазоне углов, больших 80 град., могут возникать физические эффекты, связанные с полным отражением лучей внутри стекла с покрытием.

Ввиду указанных причин, в настоящем исследовании принята аппроксимация в пределах проведённых измерений, т.е. для углов падения, меньших 80 град. В

общем виде аппроксимационные уравнения зависимости коэффициента светопропускания от угла падения выглядят следующим образом:

$$\tau(\gamma) = a\gamma^4 + b\gamma^3 + c\gamma^2 + d\gamma + m\,, \qquad (4.14)$$

где коэффициенты аппроксимации a, b, c, d, m представлены в уравнениях на рисунках 4.17–4.22.

Уравнение (4.14) преобразуется к виду:

$$\tau(\gamma) = m(1 - a_1\gamma^4 - b_1\gamma^3 - c_1\gamma^2 - d_1\gamma), \qquad (4.15)$$

$$a_1 = -a/m,\ b_1 = -b/m,\ c_1 = -c/m,\ d_1 = -d/m. \qquad (4.16)$$

В таблице 4.9 приведены значения параметров уравнения (4.14): a_1, b_1, c_1, d_1, m и уровень достоверности аппроксимации, R^2.

Исходя из физического смысла уравнения (4.15), значение коэффициента m (см. столбец VII таблицы 4.9) должно равняться значению коэффициента светопропускания остекления при угле падения 0 град., который представлен в таблице 4.8 в столбце IV. Как видно из сравнения этих величин, они близки по значениям, относительная разница представлена в столбце IX таблицы 4.9:

$$\delta = \frac{\tau_1 - e}{\tau_1} \cdot 100\%\,. \qquad (4.17)$$

Как видно из таблицы 4.9, аппроксимационные уравнения имеют четвертую, либо третью степень полинома, при этом у уравнений с четвертой степенью полинома параметр a является малым по величине, т.е. влияние угла падения излучения в четвертой степени наблюдается, но не существенно.

Тем не менее, уравнения с четвертой степенью полинома имеют более высокий уровень аппроксимации, поскольку они подобраны для экспериментальных данных, расположенных более равномерно. Однако, это не может свидетельствовать об их более высокой точности аппроксимации физических процессов, влияющих на светопропускание под углом, поскольку неравномерность кривых с третьей степенью полинома более полно учитывает изменения атмосферы в течение дня для восточной, южной и западной ориентаций и дальнейшее влияние этого изменения на светопропускание остекления.

Таблица 4.9 - Параметры аппроксимационного уравнения (4.15) (a_1, b_1, c_1, d_1, m) и уровень достоверности аппроксимации, R^2, для остекления с мультифункциональными, солнцезащитными покрытиями и без покрытий.

№ образца	Формула стеклопакета	a_1	b_1	c_1	d_1	m	R^2	δ, %
1	4 M1		2,19E-06	-1,09E-04	2,51E-03	0,9152	0,7181	-1
2	6 Suncool 66/33–16–4 Optifloat Clear	0,0E+00	7,2E-07	-2,9E-06	-1,2E-03	0,6921	0,6970	-2
3	6 Suncool 50/27–16–4 Optifloat Clear	0,0E+00	8,2E-07	-2,0E-05	-2,0E-04	0,4898	0,4514	4
4	6 Suncool 50/25–16–4 Optifloat Clear	0,0E+00	1,6E-06	-9,8E-05	1,6E-03	0,5093	0,6567	2
5	6 Suncool 70/40–16–6 M1	0,0E+00	1,5E-06	-1,5E-04	3,0E-03	0,6622	0,8350	0
6	4 Suncool 70/40–16–4 Optifloat Clear	3,0E-08	-1,5E-06	-6,0E-05	4,2E-03	0,6691	0,8696	0
7	6 Suncool 70/40–16–4M1	7,6E-08	-9,1E-06	4,6E-04	-6,7E-03	0,6593	0,9572	0
8	4 Suncool 70/40–16–6M1	5,7E-08	-5,7E-06	1,1E-04	4,2E-04	0,7079	0,9767	0
9	6 Suncool 70/40–16–6И	1,4E-07	-2,8E-05	8,4E-04	-9,2E-03	0,7148	0,8178	1
10	4 Suncool 70/40–16–4M1	6,7E-08	-8,0E-06	2,7E-04	-4,3E-03	0,7472	0,9859	0
11	4 Suncool 70/40	0,0E+00	1,4E-06	-1,4E-04	3,4E-03	0,7065	0,7577	0
12	4 Clima Guard Solar	0,0E+00	1,8E-06	-1,8E-04	4,4E-03	0,5021	0,4645	0
13	4 Stopray Neo	0,0E+00	1,9E-06	-1,9E-04	4,8E-03	0,5176	0,6511	0
14	4 M1–16–6 K–glass	8,0E-08	-6,7E-06	1,3E-04	2,7E-04	0,7500	0,9842	0
15	4 M1–16–4 K–glass	5,7E-08	-5,7E-06	1,3E-04	8,6E-04	0,7000	0,9852	0
16	4 Stopray Neo–16–4M1	3,3E-07	-5,0E-05	2,0E-03	-2,5E-02	0,5994	0,9483	0
17	8 Planibel Clearvision Rodaj– 12 – 8 Planibel Clearvision Rodaj	0,0E+00	2,2E-06	-2,2E-04	6,0E-03	0,8939	0,89	0
18	8 Planibel Clearvision CNC – 12 - 8 Planibel Clearvision CNC	0,0E+00	2,2E-06	-1,1E-04	3,5E-03	0,8261	0,83	0

Полученные уравнения для вариантов остекления, представленного в таблице 4.9 могут использоваться для исследовательских целей по расчёту освещённости в помещении при неравномерной яркости небосвода по методам главы 2 и уточнению расчётов КЕО.

При проведении последующих экспериментов и обобщения данных зависимостей вида (4.15), возможно получить поправочные коэффициенты к коэффициентам светопропускания остекления при падении излучения под углом к остеклению для внедрения в расчёты освещённости в заданной точке помещения по методам главы 2. Такие расчёты могут использоваться для определения целевого КЕО.

4.8.5 Определение зависимости коэффициента общего и прямого пропускания солнечной радиации остеклением от угла падения излучения

Как показано в главе 1, во многих расчётах поступающей солнечной радиации применяются характеристики остекления. Такими характеристиками являются общий коэффициент пропускания солнечной радиации остеклением, g – фактор, и коэффициент прямого пропускания солнечной радиации остеклением, τ_e. В настоящем разделе рассматривается приближенный метод определения этих величин в зависимости от угла падения излучения и проводится сравнение с иностранным теоретическим методом [318], не подтвержденным экспериментально. Для определения зависимости $g(\gamma)$ и $\tau_e(\gamma)$ автором и сотрудниками лаборатории строительной светотехники НИИСФ РААСН были предприняты попытки натурных измерений, аналогичных представленным в разделе 4.8, но с использованием фотоэлементов. Измерения получились пилообразные, по ним не удалось установить зависимость от угла падения излучения виду того, что чувствительность приборов не соответствовала малости изменения диапазона значений $\tau_e(\gamma)$. Поэтому было решено проводить измерения в видимой области спектра (п. 4.8.1–4.8.4) с последующим приближенным пересчетом на весть спектр солнечного излучения.

В настоящем разделе рассматривается отношение, введенное в разделе 4.2, как световой эквивалент солнечной радиации для остекления, рассчитываемый по аналогии со световым эквивалентом солнечной радиации для атмосферы, определяющим зависимость пропускания атмосферой видимого и всего диапазона длин волн в зависимости от угла падения солнечных лучей (формула (1.28)). Световой эквивалент солнечной радиации для остекления в зависимости от угла падения излучения определяется из выражения:

$$k_{ve}(\gamma) = {\tau(\gamma)}\Big/{\tau_e(\gamma)}, \tag{4.18}$$

где $\tau(\gamma)$ – коэффициент светопропускания остекления;

$\tau_e(\gamma)$ – коэффициент прямого пропускания солнечной радиации остеклением.

Данное отношение определяет долю пропускания электромагнитного излучения в видимой области от общего излучения, пропускаемого через стекло при угле падения излучения на стекло γ.

По данным измерений раздела 4.2 мы знаем соотношение при угле падения 0 град.:

$$k_{ve}(0) = {\tau(0)}\Big/{\tau_e(0)}. \tag{4.19}$$

Как видно из спектров пропускания стекол с покрытиями, представленных на рисунках 4.3, 4.4 и рисунках Д.1–Д.3, основная часть солнечной энергии, пропускаемой стеклами и стеклопакетами приходится на видимую область, при этом такие стекла имеют пониженное пропускание в инфракрасным диапазоне, что соответствует их функциональному назначению. Кроме того, максимум спектральной светимости Солнца также приходится на видимую область, а не на инфракрасную. Таким образом, исходя из представленных рассуждений, при косом угле падения на остекление с покрытиями, солнечное излучение в инфракрасном диапазоне будет в меньшей степени пропускаться остеклением, нежели в видимом диапазоне.

Поэтому зависимость $k_{ve}(\gamma)$ в основном определяется изменением $\tau(\gamma)$ (4.18). Тогда запишем соотношение для определения $\tau_e(\gamma)$ из имеющихся величин:

$$\frac{\tau(0)}{\tau_e(0)} = \mu(\gamma)\frac{\tau(\gamma)}{\tau_e(\gamma)}, \tag{4.20}$$

где $\mu(\gamma)$ – поправочный коэффициент, который в приближении, исходя из представленных выше рассуждений, равен 1:

$$\mu(\gamma) \approx 1. \tag{4.21}$$

Поэтому приближенно можно записать:

$$\tau_e(\gamma) = \frac{\tau_e(0)\cdot\tau(\gamma)}{\tau(0)} = \frac{\tau(\gamma)}{k_{ve}(0)}\,. \tag{4.22}$$

При определении зависимости $g(\gamma)$ проведем следующие выкладки. Коэффициент общего пропускания солнечной энергии при угле падения 0 град на остекление определяется по формуле (1.24), приведенной в [35].

Для остекления с количеством стекол, большим одного, имеются более сложные зависимости, представленные в ГОСТ EN [35]. Во всех случаях вычисление g проводится пропорционально изменению τ_e. Поэтому зависимость $g(\gamma)$ также определяется из зависимости $\tau_e(\gamma)$:

$$g(\gamma) = \tau_e(\gamma) + q_i(\gamma). \tag{4.23),}$$

На рисунке 4.23 представлена зависимость $\tau_e(\gamma)$, определённая на основании уравнения (4.22), при рассмотрении которой следует учитывать, что зависимость $g(\gamma)$ будет изменяться пропорционально изменению $\tau_e(\gamma)$. Также на рисунке 4.23 представлена зависимость $g_R(\gamma)$, вычисленная на основе соотношения (1.28) A. Roos [318]. Из зависимости видно, что с увеличением γ величина $g_R(\gamma)$ уменьшается быстрее, чем величина $\tau_e(\gamma)$, а значит, и пропорциональная ей величина $g(\gamma)$, потому что добавление $q_i(\gamma)$ (см. формулу (4.23)) только подняло бы график $g(\gamma)$. Такое расхождение может быть связано с тем, что уравнение аппроксимации A. Roos [318] стремится к нулю при $\gamma \to 90$ град., поэтому величина $g_R(\gamma)$ убывает быстрее, чем $g(\gamma)$. В то время, как $g(\gamma)$ не стремится к нулю при $\gamma \to 90$ град. потому, что эти углы, большие 80 град. не были учтены при аппроксимации, потому что падение излучения под такими углами на остекление с покрытиями приводит к физическим эффектам, связанным с эффектом полного

внутреннего отражения. Также определение $g(\gamma)$ при этих углах, больших 80 град., для строительных расчётов является не актуальным, хотя и интересным для изучения.

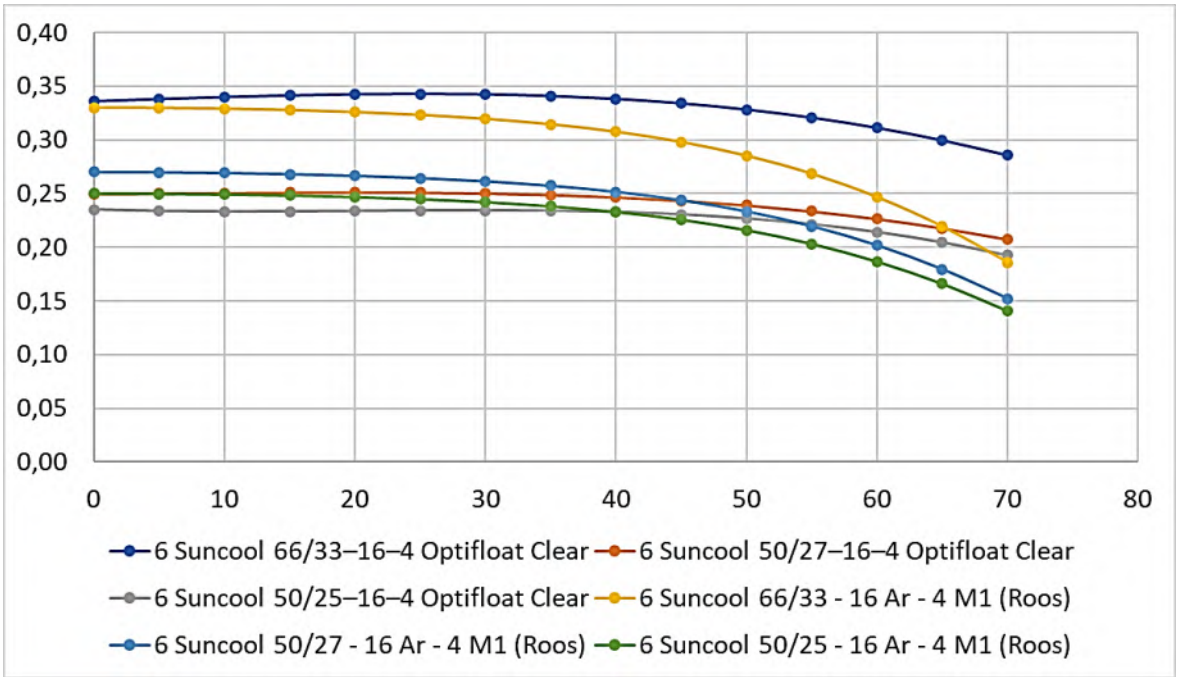


Рисунок 4.23 – Сравнение графиков $\tau_e(\gamma)$ по исследованиям настоящей работы и $g_R(\gamma)$ по A. Roos [318]

В натурном эксперименте по определению зависимости коэффициента светопропускания от угла падения излучения рассматривались не все варианты остекления. Несмотря на наличие расхождений $g(\gamma)$ (проанализированном по изменению $\tau_e(\gamma)$) и $g_R(\gamma)$, а также возможно не учтенных физических эффектов при определении $g_R(\gamma)$, рассмотренных выше, уравнение (1.28) рассматривает большее количество вариантов остекления. Поэтому по уравнению (1.28) были проведены вычисления для различных типов остекления изменения величины.$g_R(\gamma)$ с поправкой на проведенные измерения $\tau_e(\gamma)$. На основании этих расчётов, была составлена таблица 4.10 коэффициентов поправки на румб для общего коэффициента пропускания солнечной радиации, помещенная в СП 370.1325800.2017 Изм. №2 [167]. Эксперименты по изучению $g(\gamma)$ следует продолжить и внести изменения в таблицу 4.10.

Таблица 4.10 – Значения коэффициента поправки на румб светопроема, $k_{\text{румб}}$

Тип остекления	Ориентация и геогр. широта светопроема					
	Южнее 48°		48-58°		Севернее 58°	
	южная	вост./ зап.	южная	вост./ зап.	южная	вост./ зап.
4С-16-4М1	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
4С-16-4М1-16-4М1	0,68	0,73	0,78	0,82	0,87	0,92
6СИ-16-4М1	0,69	0,74	0,78	0,83	0,88	0,93
6СИ-16-4М1-16-4М1	0,67	0,71	0,76	0,81	0,86	0,90
4М1-16-4И	0,77	0,83	0,88	0,94	0,99	1,00
4М1-16-4М1-16-4И	0,75	0,81	0,86	0,92	0,97	1,00

С учётом того, что значение солнечного фактора снижается при углах падения, отличных от 0 град., для расчётов по неравенству (6.10), его следует скорректировать на коэффициент поправки на румб:

$$g_k = g \cdot k_{\text{румб}} . \tag{4.24}$$

Коэффициенты $k_{\text{румб}}$ следует использовать только при проведении расчётов в теплый период года, когда солнечные лучи падают на остекление под углами, более отличными от 0 град., чем в отопительный период.

4.9 Расчетный метод определения пропускания солнечного излучения оконных блоков

4.9.1 Разработка и адаптация метода под инженерные расчёты

В первой главе в п.1.3.2 показано определение общего коэффициента пропускания света. В настоящем разделе рассматривается определение общего коэффициента пропускания солнечной энергии оконного блока, который определяется из выражения:

$$\tau_{0e} = g\tau_2, \tag{4.25}$$

где g – то же, что в (1.24);

τ_2 – то же, что в (1.32).

Как было показано в первой главе, коэффициент, учитывающий потери света и солнечной радиации в переплетах оконного блока, τ_2, рассчитывается аналитически по формуле (1.32), которая ввиду свой громоздкости затрудняет расчёты. В настоящем разделе проводится упрощение данной формулы для оконных блоков с прямоугольной формой светопрозрачных ячеек.

Формула (1.29), из которой подстановкой коэффициентов получена формула (1.32), показывает, что коэффициент τ_2 равен отношению суммарной площади ячеек в свету к площади оконного блока по наружному обмеру, умноженному на поправочный коэффициент, учитывающий светопередачу в переплетах ячеек оконного блока, τ_2^*, доли ед. Тогда представим формулу (1.32) в виде:

$$\tau_2 = \frac{\sum_i A_i}{\mathrm{A_0}} \tau_2^* \,. \qquad (4.26)$$

Соотнеся (1.32) и (4.26) последовательно в нескольких вариантах записывается выражение для коэффициента, учитывающего светопередачу в переплетах ячеек оконного блока (τ_2^*):

$$\tau_{2\mathrm{a}}^* = 0{,}25\left[\sqrt{\left({}^{1}/_{\beta_i}\right)^2 + 4} - \left({}^{1}/_{\beta_i}\right)\right]^2 + \frac{\beta_i \cdot \rho \cdot (1-K_\Gamma)^2}{2-\rho\cdot[K_\Gamma\cdot(2+\beta_i)-\beta_i]} \,. \qquad (4.27)$$

Далее определяется, насколько значимо влияние переплётов ячеек оконного блока. Для этого определяется, насколько отличается расчёт τ_2 без учёта влияния переплётов и с учётом:

$$\Delta\tau_2 = \frac{\sum_i A_i}{\mathrm{A_0}} - \frac{\sum_i A_i}{\mathrm{A_0}} \tau_{2\mathrm{a}}^* = \frac{\sum_i A_i}{\mathrm{A_0}} (1 - \tau_{2\mathrm{a}}^*) \,. \qquad (4.28)$$

В таблице 4.11 приведены значения величины $(1 - \tau_{2\mathrm{a}}^*)$, которая показывает величину отличий в двух способах расчёта, а именно, чем ближе значение данной величины к нулю и, соответственно, коэффициента $\tau_{2\mathrm{a}}^*$ к единице, тем различия меньше. Примем допустимое различие в 5%.

Из данных таблицы 4.11 видно, что отличие от единицы коэффициента $\tau_{2\mathrm{a}}^*$ незначительно для светопрозрачных ячеек размером больше, чем 1 м на 1,5 м и составляет менее 0,03 долей единицы, т.е. менее 3% от единицы. Тогда принимается, что для светопрозрачных ячеек размером больше, чем 1 м на 1,5 м,

допустимо проводить расчёт τ_2 как отношение суммарной площади светопрозрачных ячеек к площади окна. Для ячеек с размером, меньшим, чем 1 на 1,5 м следует воспользоваться вычислением по формулам. Однако, для удобства вычислений проведем упрощение формулы (4.27).

Таблица 4.11 – Отличие в расчётах τ_2 без учёта влияния переплётов и с их учётом

Ширина ячейки a, м	Величина $(1-\tau_{2a}^{*})$ (при различной высоте ячейки, b, м)				
	0,1	0,5	1,5	2,0	2,5
0,1	0,52	0,34	0,30	0,30	0,30
0,5	0,34	0,10	0,06	0,05	0,05
1,5	0,30	0,06	0,02	0,02	0,02
2,0	0,30	0,05	0,02	0,02	0,01
2,5	0,30	0,05	0,02	0,01	0,01

Далее преобразуется выражение (4.27), при этом учитывается, что оно было получено для световодов, в конструкции которых величина d_i достаточно большая. В оконных блоках эта величина равна примерно 0,1 м и меньше, согласно данным производителей ПВХ-окон. Вычисляем два крайних значения величины $\left({}^{1}/_{\beta_i}\right)^2$, близкие к самому большому и к самому маленькому значениям.

Примем размеры ячейки 2,5х2,5 м, толщину переплёта 0,1 м. Тогда:

$$\left({}^{1}/_{\beta_i}\right)^2 = \left(\frac{d_i\sqrt{\pi}(a_i+b_i)}{2a_ib_i}\right)^2 = \left(\frac{0{,}1\sqrt{\pi}(2{,}5+2{,}5)}{2\cdot 2{,}5\cdot 2{,}5}\right)^2 = 0{,}005\,. \qquad (4.29)$$

Примем размеры ячейки 0,3 на 0,3 м, толщину переплёта 0,072м. Тогда:

$$\left({}^{1}/_{\beta_i}\right)^2 = \left(\frac{d_i\sqrt{\pi}(a_i+b_i)}{2a_ib_i}\right)^2 = \left(\frac{0{,}07\sqrt{\pi}(0{,}3+0{,}3)}{2\cdot 0{,}3\cdot 0{,}3}\right)^2 = 0{,}17\,. \qquad (4.30)$$

Как видно, величина $\left({}^{1}/_{\beta_i}\right)^2$ составляет менее, чем десятые доли единицы, тогда им можно пренебречь. Тогда, выражение (1.30) упрощается с учётом того, что величина $\left({}^{1}/_{\beta_i}\right)^2$ составляет *о*-малое от соседних членов:

$$K_{\text{Гi}} = 0{,}25\left[\sqrt{\left({}^{1}/_{\beta_i}\right)^2 + 4} - \left({}^{1}/_{\beta_i}\right)\right]^2 = 0{,}25\left[\left({}^{1}/_{\beta_i}\right)^2 + 4 - 2\sqrt{\left({}^{1}/_{\beta_i}\right)^2 + 4}\left({}^{1}/_{\beta_i}\right) + \right.$$

$$\left. + \left({}^{1}/_{\beta_i}\right)^2\right] = 0{,}25\left[4 - 2\cdot {}^{2}/_{\beta_i}\right] \approx 1 - {}^{1}/_{\beta_i} \quad . \quad (4.31)$$

Учитывая (4.31), упрощается выражение (1.31):

$$K_{\text{Пi}} = \frac{\beta_i\cdot\rho\cdot(1-K_{\text{Гi}})^2}{2-\rho\cdot[K_{\text{Гi}}\cdot(2+\beta_i)-\beta_i]} = \frac{\beta_i\cdot\rho\cdot(1-1+{}^{1}/_{\beta_i})^2}{2-\rho\cdot\left[(1-{}^{1}/_{\beta_i})\cdot(2+\beta_i)-\beta_i\right]} = \frac{{}^{\rho}/_{\beta_i}}{2-\rho\cdot\left[(1-{}^{1}/_{\beta_i})\cdot(2+\beta_i)-\beta_i\right]} =$$

$$\frac{{}^{\rho}/_{\beta_i}}{2-\rho\cdot\left[1-{}^{2}/_{\beta_i}\right]}. \quad (4.32)$$

Тогда выражение (4.27) преобразуется к виду:

$$\tau^*_{2\text{б}} = 1 - {}^{1}/_{\beta_i} + \frac{{}^{\rho}/_{\beta_i}}{2-\rho\cdot\left[1-{}^{2}/_{\beta_i}\right]} = 1 - \frac{2-2\rho+{}^{2\rho}/_{\beta_i}}{\beta_i(2-\rho+{}^{2\rho}/_{\beta_i})}. \quad (4.33)$$

В выражении (4.33) имеются два одинаковых члена ${}^{2\rho}/_{\beta_i}$ в числителе и в знаменателе. Исследуем одновременное изменение числителя и знаменателя при одновременном исключении из них величины ${}^{2\rho}/_{\beta_i}$.

При этом коэффициент $\tau^*_{2\text{б}}$ без величины ${}^{2\rho}/_{\beta_i}$ обозначается следующим образом:

$$\tau^*_{2\text{в}} = 1 - \frac{2(1-\rho)}{\beta_i(2-\rho)}. \quad (4.34)$$

Следует сравнить величины $\tau^*_{2\text{б}}$ и $\tau^*_{2\text{в}}$ в процентном соотношении (таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Сравнение величин $\tau^*_{2\text{б}}$ и $\tau^*_{2\text{в}}$ в процентном соотношении при d_i=0,072м

Ширина ячейки, a, м	$\frac{\tau^*_{2\text{б}}-\tau^*_{2\text{в}}}{\tau^*_{2\text{б}}}\cdot 100\%$, (при высоте ячейки b, м)				
	0,5	1	1,5	2	2,5
0,5	-6,9	-4,0	-3,2	-2,9	-2,7
1	-4,0	-1,9	-1,3	-1,1	-1,0
1,5	-3,2	-1,3	-0,9	-0,7	-0,6
2	-2,9	-1,1	-0,7	-0,5	-0,4
2,5	-2,7	-1,0	-0,6	-0,4	-0,3

Из данных таблицы 4.12 следует, что расчёт по формуле (4.34) будет давать более высокие значения, чем расчёт по формуле (4.33), а значит более высокие значения τ_2, что следует учесть в дальнейшем. В целом различия менее 7%.

В формуле (4.34) выражение $\frac{2(1-\rho)}{(2-\rho)} = 2(1 - \frac{1}{(2-\rho)})$ легко аппроксимировать линейной функцией при изменении ρ от 0 до 1. Тогда запишем выражение (4.34):

$$\tau^*_{2\text{г}} = 1 - \frac{1{,}09-0{,}94\cdot\rho}{\beta_i}. \qquad (4.35)$$

4.9.2 Сравнительный анализ формул для расчёта коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплётах оконного блока

Проведем сравнительный анализ получившихся расчётных формул (4.33), (4.34) и (4.35) с исходной формулой (4.27) при размерах светопрозрачных ячеек, меньших, чем 1х1,5 м, согласно выбранному выше диапазону размеров. Для этого вычислим относительные погрешности вычислений по формулам (4.33), (4.34) и (4.35) в сравнении с формулой (4.27) (см. таблицу 4.13).

Таблица 4.13 – Сравнение вычислений коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплетах оконного блока, по исходной формуле (4.27), $\tau^*_{2\text{а}}$ и по преобразованной формуле (4.33), $\tau^*_{2\text{б}}$ при d_i=0,072м, $\rho = 0{,}9$

Размеры ячейки, м	$\delta = \frac{\tau^*_{2\text{а}} - \tau^*_{2\text{б}}}{\tau^*_{2\text{а}}} \cdot 100\%$								
a \ *b*	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5
0,1	87,0	40,2	29,3	22,1	19,4	18,0	17,1	16,6	16,1
0,2	40,2	13,6	8,4	5,3	4,2	3,7	3,4	3,1	3,0
0,3	29,3	8,4	4,6	2,6	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2
0,5	22,1	5,3	2,6	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4
0,7	19,4	4,2	1,9	0,8	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2
0,9	18,0	3,7	1,6	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
1,1	17,1	3,4	1,4	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
1,3	16,6	3,1	1,3	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
1,5	16,1	3,0	1,2	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1

Таблица 4.14 – Сравнение вычислений коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплетах оконного блока, по исходной формуле (4.27), $\tau^*_{2а}$ и по преобразованной формуле (4.33), $\tau^*_{2в}$ при d_i=0,072м, $\rho = 0{,}9$

Размеры ячейки, м	$\delta = \frac{\tau^*_{2а} - \tau^*_{2в}}{\tau^*_{2а}} \cdot 100\%$								
a \ *b*	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5
0,1	-60,9	-42,0	-35,8	-30,9	-28,8	-27,6	-26,9	-26,4	-26,1
0,2	-42,0	-23,7	-18,1	-13,9	-12,1	-11,2	-10,6	-10,2	-9,9
0,3	-35,8	-18,1	-12,8	-9,0	-7,5	-6,7	-6,2	-5,9	-5,6
0,5	-30,9	-13,9	-9,0	-5,6	-4,3	-3,7	-3,3	-3,0	-2,8
0,7	-28,8	-12,1	-7,5	-4,3	-3,2	-2,6	-2,2	-2,0	-1,8
0,9	-27,6	-11,2	-6,7	-3,7	-2,6	-2,0	-1,7	-1,5	-1,4
1,1	-26,9	-10,6	-6,2	-3,3	-2,2	-1,7	-1,4	-1,2	-1,1
1,3	-26,4	-10,2	-5,9	-3,0	-2,0	-1,5	-1,2	-1,1	-0,9
1,5	-26,1	-9,9	-5,6	-2,8	-1,8	-1,4	-1,1	-0,9	-0,8

Таблица 4.15 – Сравнение вычислений коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплетах оконного блока, по исходной формуле (4.27), $\tau^*_{2а}$ и по преобразованной формуле (4.35), $\tau^*_{2г}$ при d_i=0,072м, $\rho = 0{,}9$

Размеры ячейки, м	$\delta = \frac{\tau^*_{2а} - \tau^*_{2г}}{\tau^*_{2а}} \cdot 100\%$								
a \ *b*	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5
0,1	-50,2	-35,4	-30,3	-26,2	-24,5	-23,5	-22,9	-22,5	-22,1
0,2	-35,4	-20,2	-15,3	-11,6	-10,1	-9,3	-8,8	-8,5	-8,2
0,3	-30,3	-15,3	-10,8	-7,4	-6,1	-5,4	-5,0	-4,7	-4,5
0,5	-26,2	-11,6	-7,4	-4,5	-3,4	-2,8	-2,5	-2,3	-2,1
0,7	-24,5	-10,1	-6,1	-3,4	-2,4	-1,9	-1,6	-1,4	-1,3
0,9	-23,5	-9,3	-5,4	-2,8	-1,9	-1,5	-1,2	-1,0	-0,9
1,1	-22,9	-8,8	-5,0	-2,5	-1,6	-1,2	-0,9	-0,8	-0,7
1,3	-22,5	-8,5	-4,7	-2,3	-1,4	-1,0	-0,8	-0,7	-0,6
1,5	-22,1	-8,2	-4,5	-2,1	-1,3	-0,9	-0,7	-0,6	-0,5

Для анализа данных таблиц 4.13–4.15 примем допустимую погрешность 5% и выберем вариант упрощенной формулы, подходящий для инженерных расчётов.

Из данных таблицы 4.13–4.15 следует, что результаты расчётов по формуле (4.33) наиболее близки к результатам расчётов по исходной формуле (4.27). Отличия в расчётах по формуле (4.33) составляют менее 5% для размеров ячеек, больших, чем 0,3 на 0,3м (если рассматривать главную диагональ в таблице 4.15). Стоит отметить, что расчёт по формуле (4.33) является заниженным, что приведет к снижению расчётного значения КЕО и может вызвать трудности для достижения нормируемого значения.

Из данных таблиц 4.14 и 4.15 следует, что результаты расчёта по формулам (4.33) и (4.35) и исходной формуле (4.27) составляют около 5% и ниже при размерах ячеек, больших 0,5х0,5 м (для главных диагоналей таблиц 4.14 и 4.15). Расчёт по формулам (4.34) и (4.35) является завышенным. Результаты расчёта по формуле (4.35) имеют меньшую погрешность, чем расчёты по формуле (4.34). Кроме того, формула (4.35) имеет более простое выражение.

Исходя из указанных особенностей расчётов, выберем формулу (4.35) и примем, что она применима для размеров ячеек, для которых в таблице 4.15 погрешность по абсолютной величине меньше 1% (при d_i=0,072м, $\rho = 0{,}9$). Такой погрешности соответствуют ячейки, размером от 1,1х1,1м.

4.9.3 Метод расчёта коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплётах оконного блока

С учётом (4.26) и (4.33) запишем выражение для расчёта коэффициента, учитывающего потери света в переплётах оконного блока:

$$\tau_2 = \frac{1}{\mathrm{A_0}} \sum_i A_i \, \tau_2^*, \qquad (4.36),$$

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

- при размерах ячейки, меньших, чем 1х1,5м τ_2^* вычисляется по формуле:

$$\tau_2^* = (1 - \frac{1{,}09 - 0{,}94 \cdot \rho}{\beta_i}) \delta_{\tau i}, \qquad (4.37)$$

где поправочный коэффициент $\delta_{\tau i}$ рассчитывается, исходя из данных таблицы 4.15, и представлен в таблице 4.16 в зависимости от размеров светопрозрачных ячеек, для которых требуется поправка.

Таблица 4.16 – Поправочный коэффициент для расчёта τ_2^* по формуле (4.37)

Размеры ячейки, м	$\delta_{\tau i}$, доли ед.						
a / *b*	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1
0,1	0,67	0,74	0,77	0,79	0,80	0,81	0,81
0,2	0,74	0,83	0,87	0,90	0,91	0,91	0,92
0,3	0,77	0,87	0,90	0,93	0,94	0,95	0,95
0,5	0,79	0,90	0,93	0,96	0,97	0,97	0,98
0,7	0,80	0,91	0,94	0,97	0,98	0,98	0,98
0,9	0,81	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99
1,1	0,81	0,92	0,95	0,98	0,98	0,99	-

Для упрощения расчётов по формуле (4.37), величину β_i можно представить в табличной форме (таблица 4.17) в зависимости от размеров светопрозрачной ячейки.

Таблица 4.17 – Индекс ячейки прямоугольной формы, β_i, в зависимости от размеров ячейки при *d*=0,072м

Размеры ячейки, м	Индекс ячейки прямоугольной формы, β_i (при *d*=0,072м)						
a / *b*	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1
0,1	0,78	1,04	1,18	1,31	1,37	1,41	1,44
0,2	1,04	1,57	1,88	2,24	2,44	2,56	2,65
0,3	1,18	1,88	2,35	2,94	3,29	3,53	3,69
0,5	1,31	2,24	2,94	3,92	4,57	5,04	5,39
0,7	1,37	2,44	3,29	4,57	5,49	6,17	6,70
0,9	1,41	2,56	3,53	5,04	6,17	7,05	7,76
1,1	1,44	2,65	3,69	5,39	6,70	7,76	8,62
1,3	1,46	2,72	3,82	5,66	7,13	8,33	9,34
1,5	1,47	2,77	3,92	5,88	7,48	8,82	9,95

Таким образом, проведен анализ значимости расчёта коэффициента, учитывающего потери света в переплётах оконного блока для ячеек различного размера. Показано, что для ячеек с размером, большим чем 1 х 1,5м следует проводить расчёт указанного коэффициента как отношение площади

светопрозрачной части к площади всего оконного блока в свету. Для ячеек меньшего размера произведено упрощение исходной формулы, оценена относительная погрешность и сформирована таблица поправочных коэффициентов. Также для упрощения расчётов предлагается использовать таблицу 4.17 для расчёта индекса ячейки при фиксированной толщине переплёта. Представленный подход к вычислению рассматриваемого коэффициента будет способствовать удобству расчётов при незначительной потере точности.

Полученный подход к вычислению рассматриваемого коэффициента может быть рекомендован для применения в расчётах естественного освещения по методике нормативного документа [165] и расчётах поступающей солнечной радиации по методике нормативного документа [169] при расширении справочных данных, необходимых для его применения.

4.9.4 Сравнение расчётов с результатами натурных измерений

Метод натурных измерений представлен в кандидатской диссертации автора Коркиной Е.В. [113]. В таблице 4.18 приведены значения общих коэффициентов светопропускания оконных блоков, определенных натурно, $\tau_0^{\text{н}}$.

В таблице 4.18 следующие обозначения: ДПР – оконный блок с деревянными раздельными переплетами, ДПС – оконный блок с деревянными спаренными переплетами, ПВХ – три оконных блока с ПВХ -переплетами.

По указанным коэффициентам получены значения коэффициентов, учитывающих затенение солнечной радиации в оконных блоках на основе натурных измерений, $\tau_2^{\text{н}}$. В таблице 4.18 приведено сравнение коэффициентов, вычисленных по формуле (4.36), $\tau_2^{\text{р}}$, и полученных из натурных измерений, $\tau_2^{\text{н}}$.

В таблице 4.18 также приведены погрешности расчетов по формуле (4.36) относительно результатов натурных измерений, $\delta_{\text{р}}$, по которым видно, что для оконного блока с ДПР и ДПС результаты расчётов значительно разнятся, что связано с несовершенством расчётов, т.е. расчёты по приближенной формуле (4.36) нельзя проводить для окон с широкими переплетами. Расчёты для ПВХ-переплетов близки к результатам натурных измерений, что позволяет использовать формулу

(4.36) для расчёта коэффициента, учитывающего затенение солнечной радиации в переплетах оконного блока.

Таблица 4.18 – Результаты натурного определения общего коэффициента светопропускания оконных блоков

Общий коэффициент светопропускания	ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3
$\tau_0^{\text{н}}$	0,461	0,525	0,423	0,478	0,472
$\tau_2^{\text{н}}$	0,557	0,634	0,561	0,577	0,626
$\tau_2^{\text{р}}$	0,46	0,531	0,58	0,526	0,584
$\delta_{\text{р}} = \frac{\tau_2^{\text{р}} - \tau_2^{\text{н}}}{\tau_2^{\text{н}}}$	-17,4	-16,2	3,4	-8,8	-6,7

4.10 Предложения в нормативные документы

По результатам исследований, проведённых в главе, предлагается:

1. Внести результаты измерений коэффициентов светопропускания и светоотражения остекления с низкоэмиссионными, солнцезащитными и мультифункциональными покрытиями, а также упрощенную формулу для определения коэффициента, учитывающего затенение светового проема непрозрачными элементами заполнения, с таблицей поправочных коэффициентов в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*» [169].

2. Внести результаты измерений коэффициентов поглощения несветопрозрачными материалами в 50.13330.2024. «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» [168].

3. Внести коэффициенты поправки на румб при определении общего коэффициента пропускания солнечной радиации в СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования» [167].

4. Внести упрощенную формулу (4.36) для определения коэффициента, учитывающего затенение светового проема непрозрачными элементами

заполнения, с таблицей поправочных коэффициентов в СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» [165].

Выводы по главе 4

1. Проведены экспериментальные исследования спектральных значений коэффициентов пропускания и отражения остекления с энергосберегающими покрытиями и без покрытий в видимом и во всем диапазоне солнечного излучения. Показано, что остекление с энергосберегающими покрытиями имеет пониженное пропускание солнечного излучения во всех диапазонах длин волн, особенно в инфракрасном диапазоне, что уменьшает поступление теплоты от солнечной радиации. Полученные данные необходимы для расчетов естественного освещения и поступающей солнечной радиации в помещения зданий, как справочный материал.

2. Введено понятие светового эквивалента солнечной радиации для остекления с энергосберегающими покрытиями, по значениям которого проведена соответствующая классификация стекол. Чем выше данный показатель, тем лучше остекление с энергосберегающим покрытием пропускает видимый свет и задерживает теплоту от солнечной радиации. Показатель может использоваться для оценки эффективности применения остекления по пропусканию видимого света (для расчётов естественного освещения) и теплоты от солнечной радиации (для расчётов нагрузки на систему отопления и/или кондиционирования).

3. Установлено, что исследованные образцы стекол и стеклопакетов с энергосберегающими покрытиями пропускают ультрафиолетовое излучение, а значит не препятствуют инсоляции помещений.

4. Проведены экспериментальные исследования коэффициентов отражения солнечной радиации непрозрачными фасадными материалами. Из результатов исследований и расчетов следует необходимость применения расчета средневзвешенного коэффициента отражения и средневзвешенного альбедо противостоящего фасада для расчетов естественного освещения помещений зданий

и отраженной составляющей при расчётах поступающей солнечной радиации с учётом противостоящего здания.

5. Вычислены коэффициенты поглощения солнечной радиации непрозрачными фасадными материалами. Разработан метод проведения натурных исследований для изучения светопропускания остеклением с мультифункциональными и солнцезащитным покрытиями при падении излучения под углом. Получены аппроксимационные уравнения коэффициента светопропускания остекления от угла падения излучения, которые могут использоваться в исследовательских целях, а также при расчете целевого КЕО по методам главы 2. Показано, что увеличение количества стекол с покрытиями в стеклопакете приводит к более быстрому снижению коэффициентов светопропускания при увеличении угла падения солнечного излучения.

6. На основе математических исследований проведен расчёт коэффициента поправки на румб светопроема при определении общего коэффициента пропускания солнечной радиации, позволяющий более точно определять количество теплоты, прошедшей в помещение через остекление с энергосберегающими покрытиями при падении излучения под углом.

7. Проведена адаптация инженерных расчётов формулы определения коэффициента τ_2, учитывающего потери солнечной радиации в переплётах оконного блока.

8. Разработаны предложения по использованию результатов работы при изменении и дополнении СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования», СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты», 50.13330.2024. «Тепловая защита зданий», СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».

ГЛАВА 5 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 повышении КЕО, согласно нормативным документам. При учете неравномерной яркости небосвода в расчетах КЕО по методам главы 2, данные критерии также применимы к подбору светопрозрачных конструкций. Положения главы изложены в работах автора [58, 62, 66, 70, 71, 101, 190, 191, 192, 193, 302, 331, 333].

5.1 Критерий подбора остекления по светотехническим и теплофизическим параметрам

Разработка данного критерия проводится на основе критерия равноэффективности оконных блоков по светотехническим и теплофизическим параметрам, который представлен в кандидатской диссертации автора [113]. В данном разделе проводится модификация критерия для разработки комплексного подхода к оценке энергосберегающих свойств оконных блоков по совокупности нескольких критериев, представленных далее.

Вывод критерия в [113] равноэффективности проводился на основе соотношения равенства КЕО до и после замены оконных блоков на энергосберегающие для заданного помещения. В результате вывода представляется условие, при котором указанные оконные блоки являются равноэффективными, т.е. эквивалентными в теплозащитном и светотехническом отношениях:

$$\frac{\tau_{01} R_{\text{ок1}}}{R_{\text{ст}} - R_{\text{ок1}}} = \frac{\tau_{02} R_{\text{ок2}}}{R_{\text{ст}} - R_{\text{ок2}}} \ , \qquad (5.1)$$

где τ_{01}, τ_{02}– общий коэффициент светопропускания оконного блока без энергосберегающих свойств и с энергосберегающими свойствами, соответственно;

$R_{ок1}$, $R_{ок2}$ – приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока без энергосберегающих свойств и с энергосберегающими свойствами, соответственно, м^2 ºС/Вт;

$R_{ст}$ - приведенное сопротивление теплопередаче стены, м^2 ºС/Вт.

Как видно из формулы (5.1), в выводе критерия участвуют характеристики остекления, при этом надо учитывать, что в соответствии с выводами главы 4 остекление с энергосберегающими покрытиями имеет пониженный коэффициент светопропускания, чем остекление без покрытий.

В (5.1) приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока определяется в соответствии с СП 50.13330.2024 [168]:

$$R_{ок} = \frac{1}{U_0 + \sum l_j \Psi_j}, \quad (5.2)$$

где U_0 – коэффициент теплопередачи в центре стеклопакета, Вт/(м^2 ºС);

Ψ_j- удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность *j*–го вида, Вт/(м^2 ºС);

$\sum l_j \Psi_j$- плотность потока теплоты через переплеты оконного блока, Вт/(м^2 ºС).

Для заполнения воздушной прослойки между стеклами с покрытиями используется инертный газ, которой имеет пониженный коэффициент теплопередачи, U_0,что приводит к повышению приведенного сопротивления теплопередачи оконного блока, $R_{ок}$.

Таким образом, рассматривая выражение в левой или правой частях равенства (5.1) с подстановкой (5.2), получаем показатель эффективности применения оконного блока для энергосбережения:

$$P = \frac{\tau_1 \tau_2}{(U_0 + \sum l_j \Psi_j) R_{ст} - 1}. \quad (5.3)$$

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

показано на примере расчёта в кандидатской диссертации автора [113]. Коэффициент τ_2 определяется из выражения (4.36), полученного в главе 4.

Для получения модификации критерия (5.3) в настоящей работе левая и правая части равенства (5.1) представляются в виде выражений, оценивающих эффективность применения оконного блока со стеклами без энергосберегающих покрытий и с таковыми:

$$P_{\text{БП}} = \frac{\tau_{\text{БП}}}{R_{\text{ст}}/R_{\text{БП}} - 1}, \tag{5.4}$$

$$P_{\text{ЭП}} = \frac{\tau_{\text{ЭП}}}{R_{\text{ст}}/R_{\text{ЭП}} - 1}. \tag{5.5}$$

Исходя из анализа значений критерия P после формулы (5.3), применение энергосберегающего остекления считается выгодным, если выполняется условие:

$$P_{\text{БП}} \leq P_{\text{ЭП}}. \tag{5.6}$$

С учётом (5.4) и (5.5) выражение для критерия подбора остекления по светотехническим и теплофизическим параметрам для заданного помещения имеет вид:

$$P_{\text{о}} = \frac{\tau_{\text{ЭП}}}{R_{\text{ст}}/R_{\text{ЭП}} - 1} \Big/ \frac{\tau_{\text{БП}}}{R_{\text{ст}}/R_{\text{БП}} - 1}, \tag{5.7}$$

$$P_{\text{о}} \geq 1. \tag{5.8}$$

При выполнении условия (5.8) применение оконного блока с энергосберегающими свойствами считается выгодным по соотношению светотехнических и теплофизических параметров (см. Приложение Ж.5).

5.2 Критерии энергетической и экономической оценки энергосбережения при увеличении площади светового проема

Помещения жилых и общественных зданий имеют светопроемы для обеспечения естественным светом людей, находящихся в них. Размеры светопроемов определяются, исходя из расчетов КЕО. Поставим задачу увеличения размеров светопроемов на этапе проектирования с целью экономии энергии на искусственное освещение и определим, насколько тогда увеличатся теплопотери, а также насколько изменятся другие показатели.

Задача переформулируется следующим образом: пусть имеется помещение с одним светопроемом, размеры которого определены, исходя из минимального соответствия КЕО нормативному значению СП 52.13330 [169]:

$$e_{\text{р}} = e_{\text{н}} \, . \tag{5.9}$$

При этом площадь стены, на которой расположен светопроем, определяется, как $A_{\text{ст}}$, м^2, площадь светопроема - $A_{\text{ок}}$, м^2. Для экономии энергии на искусственное освещение увеличим площадь светопроема на ΔA, м^2. Тогда площадь глухой части стены уменьшится на ΔA, м^2.

Необходимо определить, при каком увеличении площади светопроема экономия энергии на искусственное освещение будет больше, чем расход энергии на отопление. Затем определить это же условие в денежном эквиваленте.

Для решения задачи запишем в общем виде суточный энергетический баланс помещения с окном. Учтем, что теплопотери записываются с минусом, теплопоступления с плюсом, а мощность ламп полностью преобразуется в тепловую энергию. Результирующее уравнение теплообмена за сутки с учётом теплоты от осветительных приборов выглядит следующим образом, Вт·ч/сут:

$$Q_{\text{эн}} = -Q_{\text{ст}} - Q_{\text{ок}} + Q_{\text{ио}} + Q_{\text{рад}} + Q_{\text{от}} + Q_{\text{быт}} - Q_{\text{вент}} \ , \tag{5.10}$$

где $Q_{\text{ст}}$ – трансмиссионные теплопотери через стену, Вт·ч/сут;

$Q_{\text{ок}}$– трансмиссионные теплопотери через окно, Вт·ч/сут;

$Q_{\text{ио}}$ – теплопоступления от искусственных источников света, Вт·ч/сут;

$Q_{\text{рад}}$ – теплопоступления от солнечной радиации через окно, Вт·ч/сут;

$Q_{\text{от}}$ – теплопоступления от отопительного прибора, Вт·ч/сут;

$Q_{\text{быт}}$ – бытовые тепловыделения, Вт·ч/сут;

$Q_{\text{вент}}$ – теплопотери за счет воздухообмена, Вт·ч/сут.

Расчет величин в (5.10) проводится за сутки по приведенным ниже формулам. Теплопотери через стену за 24 часа в сутки, Вт·ч/сут:

$$Q_{\text{ст}} = 24 \cdot A_{\text{ст}} \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{ст}}} \, , \tag{5.11}$$

где $R_{\text{ст}}$ – приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены (без светопроема), м²°С/Вт, определяется согласно СП 50.13330.2024 [168];

$A_{ст}$– площадь наружной стены (без учета светопроема), м²;

$t_в$ – температура воздуха внутри помещения, °С, определяется согласно ГОСТ 30494-2011 [33, 170];

$t_н$ – средняя месячная температура наружного воздуха, °С, определяется согласно СП 131.13330 [163].

Теплопотери через окно за 24 часа в сутки равны, Вт·ч/сут:

$$Q_{ок} = 24 \cdot A_{ок} \cdot \frac{t_в - t_н}{R_{ок}}, \quad (5.12)$$

где $R_{ок}$ – приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока, м²°С/Вт, определяется согласно СП 50.13330.2024 [168];

$A_{ок}$ – площадь светопроема, м²; $t_в$ и $t_н$ – то же, что в формуле (5.11).

Теплопоступления от солнечной радиации за количество часов в сутки, равное разности вечернего часа конца облучения и утреннего часа начала облучения $(z_{веч} - z_{утр})$ часов в сутки с учётом застройки, Вт·ч/сут:

$$Q_{рад} = 278 \cdot A_{ок} \cdot g \cdot \tau_2 \cdot \sum_{z=z_{утр}}^{z=z_{веч}} \hat{I}_z^{вер}, \quad (5.13)$$

где g– то же, что в (1.24);

$\hat{I}_z^{вер}$ – суммарная солнечная радиация, поступающая на фасад заданной ориентации за время z, МДж/м²·сут, рассчитывается согласно методам главы 3 с учётом противостоящего здания;

278 – переводной коэффициент из МДж/сут в Вт·ч/сут;

τ_2 определяется из выражения (4.36), полученного в главе 4.

Тепловая энергия, затрачиваемая на горение ламп за $(z_D + z_N)$ часов в сутки, Вт·ч/сут:

$$Q_{ио} = \sum_j P_{n_j}(z_D + z_N), \quad (5.14)$$

где P_{n_j} – мощность ламп, Вт;

z_D – длительность горения ламп в дневное время, ч/сут;

z_N – длительность горения ламп в ночное время, ч/сут.

В выражении (5.14) длительность использования искусственного света определяется по методам главы 2, в которой определялась длительность использования только естественного света (см. п. 2.3.4).

Для решения задачи рассматриваются два варианта оконных блоков, установленных в стене площадью $A_{ст}$, м^2, со значением приведенного сопротивления теплопередаче $R_{ст}$, м^2 °С/Вт:

1. Площадь светопроема составляет $A_{ок1}$, м^2, и в него установлен оконный блок с приведенным сопротивлением теплопередаче $R_{ок1}$, м$^{2\cdot}$°С/Вт, с общим коэффициентом пропускания солнечной радиации, g, коэффициентом затенения переплетов, $\tau_{2(1)}$.

2. Площадь светопроема увеличена до значения $A_{ок1} + \Delta A$, м^2, и в него установлен оконный блок с приведенным сопротивлением теплопередаче $R_{ок2}$, м$^{2\cdot}$°С/Вт, общим коэффициентом пропускания солнечной радиации, g, коэффициентом затенения переплетов $\tau_{2(2)}$.

Запишем уравнение энергетического баланса (5.10) помещения с окном до увеличения и после увеличения площади светопроема. До увеличения оконного проема энергетический баланс помещения записывается следующим образом:

$$Q_1 = -24 \cdot A_{ст} \cdot \frac{t_в - t_н}{R_{ст}} - 24 \cdot A_{ок1} \cdot \frac{t_в - t_н}{R_{ок1}} + \sum_j P_{n_j}(z_D + z_N) + 278 \cdot A_{ок1} \cdot g \cdot \tau_{2(1)} \cdot \sum_{z=z_{утр}}^{z=z_{веч}} \hat{I}_z^{вер} + Q_{от} + Q_{быт} - Q_{вент} . \quad (5.15)$$

После увеличения оконного проема трансмиссионные теплопотери через стену уменьшаются, через окно увеличиваются, снижаются затраты на электроэнергию, увеличиваются теплопоступления от солнечной радиации. Величины $Q_{быт}$ и $Q_{вент}$ не меняются, а изменение энергии, затрачиваемой на отопление, $Q_{от}$, принимается пренебрежимо малым. Уравнение (5.10) запишется в виде:

$$Q_2 = -24 \cdot (A_{ст} - \Delta A) \cdot \frac{t_в - t_н}{R_{ст}} - 24 \cdot (A_{ок1} + \Delta A) \cdot \frac{t_в - t_н}{R_{ок2}} + \sum_j P_{n_j}(z_D - \Delta z_D + z_N) + 278 \cdot (A_{ок1} + \Delta A) \cdot g \cdot \tau_{2(2)} \cdot \sum_{z=z_{утр}}^{z=z_{веч}} \hat{I}_z^{вер} + Q_{от} + Q_{быт} - Q_{вент} . \quad (5.16)$$

Тогда выражение для определения экономии энергии во втором варианте в сравнении с первым записывается в виде:

$$Q_2 - Q_1 = 24 \cdot \Delta A \cdot (t_в - t_н)\left(\frac{1}{R_{ст}} - \frac{1}{R_{ок2}}\right) + 24 \cdot A_{ок1} \cdot$$

$$(t_в - t_н)\left(\frac{1}{R_{ок1}} - \frac{1}{R_{ок2}}\right) - \sum_j P_{n_j} \Delta z_D + 278 \cdot \left[A_{ок1} \cdot g \cdot \left(\tau_{2(2)} - \tau_{2(1)}\right) + \right.$$

$$\left. \Delta A \cdot g \cdot \tau_{2(2)}\right] \cdot \sum_{z=z_{утр}}^{z=z_{веч}} \hat{I}_z^{вер} \ . \qquad (5.17)$$

В выражении (5.17) можно пренебречь слагаемым $A_{ок1} \cdot g \cdot \left(\tau_{2(2)} - \tau_{2(1)}\right)$, так как величина τ_2 всегда меньше единицы, поэтому разность $\left(\tau_{2(2)} - \tau_{2(1)}\right)$ составляет десятые или сотые значения от единицы, что при умножении на величину g, которая также меньше единицы, даст произведение, составляющее малое значение от единицы (сотые доли единицы). Далее, при умножении на площадь светопроема $A_{ок1}$ получатся также малые значения (десятые доли единицы), что не сопоставимо с другими членами выражения (5.17) по величине. Величина приведенного сопротивления теплопередаче при увеличении площади окна практически не меняется, значит $\left(\frac{1}{R_{ок1}} - \frac{1}{R_{ок2}}\right) \approx 0$.

Разность $(Q_2 - Q_1)$, определяемая выражением (5.17), считается выгодной, если она больше нуля, т.е. суммарные поступления теплоты в помещение при увеличении площади светопроёма не должны снижаться:

$$24 \cdot \Delta A \cdot (t_в - t_н)\left(\frac{1}{R_{ст}} - \frac{1}{R_{ок2}}\right) - \sum_j P_{n_j} \Delta z_D + 278 \cdot \Delta A \cdot g \cdot \tau_{2(2)} \cdot \sum_{z=z_{утр}}^{z=z_{веч}} \hat{I}_z^{вер} > 0 \ . \quad (5.18)$$

В рамках решаемой задачи выражение (5.18) следует преобразовать. Теплопоступления от солнечной радиации через дополнительную площадь окна должны быть больше, чем уменьшение теплопоступлений от осветительных приборов и увеличение теплопотерь через стену и окно:

$$278 \cdot \Delta A \cdot g \cdot \tau_{2(2)} \cdot \sum_{z=z_{утр}}^{z=z_{веч}} \hat{I}_z^{вер} > 24 \cdot \Delta A \cdot (t_в - t_н)\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_{ст}}\right) + \sum_j P_{n_j} \Delta z_D. \qquad (5.19)$$

После преобразования и введения обозначения выражение (5.19) выглядит следующим образом:

$$W_{эн} = \frac{278 \cdot \Delta A \cdot g \cdot \tau_{2(2)} \cdot \sum_{z=z_{утр}}^{z=z_{веч}} \hat{I}_z^{вер}}{24 \cdot \Delta A \cdot (t_в - t_н)\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_{ст}}\right) + \sum_j P_{n_j} \Delta z_D}, \qquad (5.20)$$

$$W_{эн} > 1.$$

Физический смысл выражения (5.20) 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 (5.20) увеличение площади светопроема считается выгодным по энергетическим показателям.

Исходя из выражения (5.20), можно сделать экономическую оценку целесообразности увеличения площади светопроёма:

$$278 \cdot C_{\text{т}} \cdot \Delta A \cdot g \cdot \tau_{2(2)} \cdot \sum_{z=z_{\text{утр}}}^{z=z_{\text{веч}}} \hat{I}_z^{\text{вер}} > \\ > 24 \cdot C_{\text{т}} \cdot \Delta A \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_{\text{ст}}}\right) + C_{\text{э}} \cdot \sum_j P_{n_j} \Delta z_D, \tag{5.21}$$

где $C_{\text{т}}$ и $C_{\text{э}}$ – стоимость тепловой и электрической энергии, руб/кВт·ч.

По аналогии с (5.20) неравенство (5.21) преобразуется к виду:

$$W_{\text{эк}} = \frac{278 \cdot C_{\text{т}} \cdot \Delta A \cdot g \cdot \tau_{2(2)} \cdot \sum_{z=z_{\text{утр}}}^{z=z_{\text{веч}}} \hat{I}_z^{\text{вер}}}{24 \cdot C_{\text{т}} \cdot \Delta A \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_{\text{ст}}}\right) + C_{\text{э}} \cdot \sum_j P_{n_j} \Delta z_D}, \\ W_{\text{эк}} > 1. \tag{5.22}$$

Физический смысл выражения (5.22) 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 (5.22) увеличение площади светопроема считается оправданным по экономическим показателям.

Условия (5.20) и (5.22) 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.

В Приложении Е приведены расчёты по представленным критериям на примере трех помещений. По энергетическим показателям увеличение площади

оконного блока для всех рассматриваемых помещений является выгодным ($W_{эн} > 1$). По экономическим показателям наблюдаются различия в расчётах по месяцам для рассматриваемых помещений.

5.3 Предложения в нормативные документы

По результатам исследований, проведённых в главе, предлагается:

1. Внедрить критерий подбора остекления по светотехническим и теплофизическим параметрам в СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» [165].

2. Внедрить критерий энергосбережения при увеличении площади светового проема в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*» [169].

Выводы по главе 5

1. Разработан критерий подбора остекления по светотехническим и теплофизическим параметрам, позволяющий осуществлять обоснованный подбор энергосберегающего стеклопакета с наилучшими теплофизическими характеристиками при обеспечении нормированного значения КЕО в помещении.

2. Разработаны критерии, позволяющие оценить экономическую и энергетическую целесообразность увеличения площади светового проема. Критерии основаны на составлении теплового баланса помещения с учетом тепловыделений от искусственных источников света, теплопоступлений от солнечной радиации и трансмиссионных теплопотерь через световой проем.

3. Разработаны предложения по использованию результатов работы при изменении и дополнении СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты», СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*».

ГЛАВА 6 ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДБОРА СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ СООТНОШЕНИЯ ИХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТА, В КОТОРЫХ ЭКСПЛУАТИРУЕТСЯ ЗДАНИЕ

В данной главе рассматривается разработка критериев, основанных на учёте характеристик энергосберегающего остекления и климата, в котором расположено 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 (глава 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, что рассматривается в работах автора [16, 20, 21, 24, 28, 41, 42, 102, 105, 107, 108, 112, 116, 117, 184, 188, 278, 279].

6.1 Основное соотношение для вывода критериев оценки энергосбережения при применении остекления с энергосберегающими покрытиями

Согласно СП 50.13330 [168] расчёт удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, Вт/(м^3·°С), проводится по формуле:

$$q_{от}^{р} = k_{об} + k_{вент} - \beta_{КПИ}(k_{быт} + k_{рад}), \quad (6.1)$$

где $k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м^3 °С);

$k_{вент}$ – удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м^3 °С);

$k_{быт}$ – удельная характеристика внутренних теплопоступлений здания, Вт/(м^3 °С);

$k_{рад}$ – удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м^3 °С);

$\beta_{\text{КПИ}}$ – коэффициент полезного использования теплопоступлений, для упрощения принимается $\beta_{\text{КПИ}} = 1$.

Согласно СП 50.13330 [168] удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по формуле: $q_{\text{от}}^{\text{р}}$

$$k_{\text{об}} = \frac{1}{V_{\text{от}}} \cdot \sum_i (n_{t,i} \frac{A_{\text{ф},i}}{R_{\text{о},i}^{\text{пр}}}), \tag{6.2}$$

где $R_{\text{о},i}^{\text{пр}}$ – приведенное сопротивление теплопередаче i- го фрагмента теплозащитной оболочки здания, м^2 $^{\text{o}}$С/Вт;

$A_{\text{ф},i}$ – площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки здания, м^2;

$V_{\text{от}}$ – отапливаемый объем здания, м^3;

$n_{t,i}$ – коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры конструкции от принятой в расчете ГСОП.

Согласно СП 50.13330 [168] удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11{,}6 \cdot Q_{\text{рад}}^{\text{оп}}}{V_{\text{от}} \cdot \text{ГСОП}}, \tag{6.3}$$

где $V_{\text{от}}$ – то же, что в (6.2);

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, $^{\text{o}}$С·сут/год;

$Q_{\text{рад}}^{\text{оп}}$ – суммарные теплопоступления через светопрозрачные конструкции в течение отопительного периода, МДж/год.

При дальнейшем выводе рассматриваются теплопоступления только через боковые светопрозрачные конструкции, а также учитывается наличие противостоящего здания, согласно расчётам по методам раздела 3 (поэтому соответствующие величины записываются с «крышечкой», см. список условных обозначений):

$$\hat{Q}_{\text{рад}}^{\text{оп}} = \sum_j^J \left[\hat{I}_j^{\text{ОП}} \cdot \sum_{l=1}^{L_j} g_{jl} \cdot \tau_{2jl} \cdot A_{jl} \right], \tag{6.4}$$

где $\hat{I}_j^{\text{ОП}}$ – суммарная солнечная радиация, поступающая на j-ый фасад с учётом противостоящего здания, МДж/м^2, рассчитывается по формулам главы 3, основная формула (3.47);

g – то же, что в (1.24);

τ_{2jn} – коэффициент, учитывающий затенение светового проема окон непрозрачными элементами заполнения, доли ед., см. формулу главы 4 (4.36);

J – количество фасадов в здании;

j – номер фасада с заданной ориентацией;

n – номер светопроёма, расположенного на j–ом фасаде;

L_j – количество окон на j-том фасаде;

A_{jn} – площадь светопроёма, м^2.

При замене остекления без покрытий на остекление с энергосберегающими покрытиями, величины $k_{\text{вент}}$ и $k_{\text{быт}}$ остаются неизменными в то время, как снижаются трансмиссионные теплопотери через светопрозрачные ограждающие конструкции, $k_{\text{об}}$, а также теплопоступления от солнечной радиации $k_{\text{рад}}$. В этом случае для определения экономии тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания записывается выражение:

$$q^{\text{р}}_{\text{отБП}} - q^{\text{р}}_{\text{отЭП}} = \left(k_{\text{обБП}} - k_{\text{радБП}}\right) - \left(k_{\text{обЭП}} - k_{\text{радЭП}}\right) == \left(k_{\text{обБП}} - k_{\text{обЭП}}\right) - \left(k_{\text{радБП}} - k_{\text{радЭП}}\right). \quad (6.5)$$

После подстановки (6.2) и (6.3) в (6.5) и приведения подобных слагаемых:

$$q^{\text{р}}_{\text{отБП}} - q^{\text{р}}_{\text{отЭП}} = \frac{1}{V_{\text{от}}} \cdot \sum_i \left(n_{t,i} A_{\text{ф},i}\right) \left[\frac{1}{R^{\text{пр}}_{\text{БП},i}} - \frac{1}{R^{\text{пр}}_{\text{ЭП},i}}\right] - \frac{11{,}6}{V_{\text{от}} \cdot \text{ГСОП}} \sum_j^J \left[\hat{I}^{\text{ОП}}_j \cdot \sum_{l=1}^{L_j} \tau_{2jl} \cdot A_{jl} \left(g_{jl\text{БП}} - g_{jl\text{ЭП}}\right)\right], \quad (6.6)$$

где $R^{\text{пр}}_{\text{БП},i}$ и $R^{\text{пр}}_{\text{ЭП},i}$ – приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока со стеклами без покрытий и с энергосберегающими покрытиями, соответственно, м^2·°С/Вт, вычисляется по [168];

$g_{jl\text{БП}}$ и $g_{jl\text{ЭП}}$ – то же что в (6.4) для остекления без покрытий и с энергосберегающими покрытиями, соответственно.

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

$$q^{\text{р}}_{\text{отБП}} > q^{\text{р}}_{\text{отЭП}} \cdot \quad (6.7)$$

Исходя из (6.6) и (6.7) при упрощении (для жилых и общественных зданий принимается $n_{t,i}$=1) записывается неравенство, при выполнении которого выгодно устанавливать низкоэмиссионное остекление по соотношению теплопотерь и теплопоступлений через него:

$$\text{ГСОП}\sum_i A_{\text{ф},i}\left[\frac{1}{R^{\text{пр}}_{\text{БП},i}}-\frac{1}{R^{\text{пр}}_{\text{ЭП},i}}\right] > 11{,}6\sum_j^J\left[\hat{I}_j^{\text{ОП}}\cdot\sum_{l=1}^{L_j}\tau_{2jl}\cdot A_{jl}\,(g_{jl\text{БП}}-g_{jl\text{ЭП}})\right]. \quad (6.8)$$

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.

Данное неравенство можно рассматривать как основу для вывода ряда критериев по подбору остекления с энергосберегающими покрытиями по соотношению трансмиссионных теплопотерь и теплопоступлений через них.

6.2 Критерий предварительного подбора энергосберегающего остекления

На основе неравенства (6.8) в данном разделе формируется критерий для общей оценки целесообразности применения энергосберегающего остекления в заданном климате в городских условиях, т.е. при наличии застройки. Для формирования критерия рассматривается расчёт трансмиссионных теплопотерь и теплопоступлений от солнечной радиации с учётом противостоящего здания только для 1 м^2 стеклопакета, то есть без учёта переплета оконного блока. Согласно (6.4) теплопоступления от солнечной радиации за отопительный период на j-й фасад через 1 м^2 остекления рассчитываются по формуле, МДж/м^2 год:

$$\hat{Q}_{\text{рад}} = g\cdot\hat{I}_j^{\text{ОП}}\,, \quad (6.9)$$

где: $\hat{I}_j^{\text{ОП}}$ – рассчитывается по формуле (3.47), МДж/м^{2}год;

g – то же что в (1.24) и (6.4).

Трансмиссионные теплопотери за отопительный период через 1 м^2 остекления рассчитываются, МДж/м^2 год:

$$Q_{\text{тр}} = 0{,}0864\cdot\text{ГСОП}\cdot U_0, \quad (6.10)$$

где U_0 – коэффициент теплопередачи по центру стеклопакета, Вт/(м^2·°С), принимается по данным производителя;

0,0864 – переводной коэффициент.

При замене остекления без покрытий на остекление с покрытиями снижаются трансмиссионные теплопотери через остекление, но также снижаются и теплопоступления. Для оценки выгоды при замене остекления на энергосберегающее, разница в теплопотерях должна превышать разницу в теплопоступлениях, так как стеклопакеты со стеклами с покрытиями должны обеспечивать повышенную теплозащиту, но минимально снижать поступление солнечной радиации. Тогда:

$$\hat{I}_j^{\text{ОП}}(g_{\text{бп}} - g_{\text{эп}}) < 0{,}0864 \cdot \text{ГСОП}(U_0^{\text{бп}} - U_0^{\text{эп}}). \quad (6.11)$$

Неравенство (6.11) преобразуется к виду, когда в левой части стоят характеристики климата, а в правой - характеристики стеклопакета без учета переплетов оконных конструкций:

$$\frac{\hat{I}_j^{\text{ОП}}}{0{,}0864 \cdot \text{ГСОП}} < \frac{(U_0^{\text{бп}} - U_0^{\text{эп}})}{(g_{\text{бп}} - g_{\text{эп}})}. \quad (6.12)$$

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. В неравенстве (6.12) левая и правая части имеют размерность Вт/м^2 °С, так как переводной коэффициент 0,0864 находится в левой части в знаменателе.

Из рассмотрения неравенства (6.12) далее вводятся обозначения.

Теплопроводно-радиационная характеристика стеклопакета, влияющего через свои физические параметры на потребление энергии зданием, которую обозначим G – показатель соотношения 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$^{2\cdot}$ ^{o}С:

$$G = \frac{U_0^{\text{бп}} - U_0^{\text{эп}}}{g_{\text{бп}} - g_{\text{эп}}}. \quad (6.13)$$

Таким образом, каждый стеклопакет имеет фиксированную характеристику G, которую можно использовать для определения целесообразности его применения в данном климате. Чем выше данная характеристика, тем лучше стеклопакет удерживает теплоту и пропускает солнечную радиацию, требующуюся для обогрева помещения.

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

-с учётом влияния противостоящего здания $\hat{F}_j = \frac{\hat{I}_j^{\text{ОП}}}{0{,}0864 \cdot \text{ГСОП}}$, (6.14)

-без учёта влияния противостоящего здания $F_j = \frac{I_j^{\text{ОП}}}{0{,}0864 \cdot \text{ГСОП}}$ (6.15)

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

Выбор светопрозрачных ограждающих конструкций должен не только ориентироваться на ГСОП, но и на лучистый теплообмен с окружающей средой, определяемый представленной радиационно-температурной характеристикой фасада. В таблице 6.1 представлены результаты расчёта по формуле (6.15) радиационно-температурной характеристики фасада.

Таблица 6.1 - Радиационно-температурная характеристика фасада за отопительный период, F_j, МДж/°С·сут·м^2

Ориентация фасада	Владивосток	Сочи	Новосибирск	Москва	Магадан	Санкт-Петербург
Северный	1,01	1,54	0,78	0,88	0,90	0,60
Восточный	2,45	3,03	1,54	1,46	1,81	1,18
Южный	5,08	6,33	2,99	2,54	3,06	2,09
Западный	2,41	3,01	1,71	1,60	1,77	1,15

При анализе данных таблицы 6.1 видно, что наибольшие поступления теплоты от радиации к 1°С перепада температуры и к единице времени в течение отопительного периода происходят на южные фасады для всех городов, как и следовало ожидать. При этом они наибольшие, из рассмотренных, для городов Владивостока и Сочи.

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

$$\hat{F}_j < G. \qquad (6.16)$$

Таким образом, представленная радиационно-температурная характеристика фасада за отопительный период и теплопроводно-радиационная характеристика стеклопакета являются основными показателями для определения эффективности применения энергосберегающего остекления в заданном климате.

Пример расчёта

Рассмотрим целесообразность замены стеклопакетов на энергосберегающие для ряда городов России с различными характеристиками климата, используя неравенство (6.16). Территориальная принадлежность городов и характеристики их климата представлены в п. 3.5.2. Для проведения расчётов по формулам (6.13)-(6.16) выбраны стеклопакеты, представленные в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Характеристики стеклопакетов без покрытий и с энергосберегающими покрытиями

№	Формула стеклопакета	Обозначение	g, отн. ед.	U_0, Вт/(м^2·°С)	G, Вт/м^2 °С
1	4М1-16Ar-4М1-16Ar- 4М1	БП	0,68	1,7	-
2	4СИ-16Ar-4М1	ЭП№1	0,42	1	2,69
3	6М1-12Ar-4М1-12Ar-4И	ЭП№2	0,57	1	6,36
4	4К-16Ar-4М1-16Ar-4К	ЭП№3	0,58	0,8	9
5	4И-16Ar-4М1-16Ar-4И	ЭП№4	0,5	0,6	6,11

Анализируя характеристики стеклопакетов, можно сказать, что стеклопакет №4 имеет высокое значение характеристики G, значит, обеспечит наилучшее энергосбережение из рассмотренных вариантов.

Для решения неравенства (6.16) рассчитана радиационно-температурная характеристика фасада южной ориентации. Южная ориентация выбрана, как имеющая наибольший приток теплоты, что обеспечит наиболее строгое выполнение неравенства (6.16).

ГСОП рассчитаны для $t_{внутр}$= 20°С для жилого дома.

Для наглядности неравенство (6.16) решается графически (рисунки 6.1-6.6). Горизонтальные линии соответствуют значениям показателя G энергосберегающих стеклопакетов по таблице 6.2, а столбцы соответствуют значениям $\hat{F}_j$ и F_j, которые показывают соотношение теплопоступлений и теплопотерь для климата рассматриваемых городов.

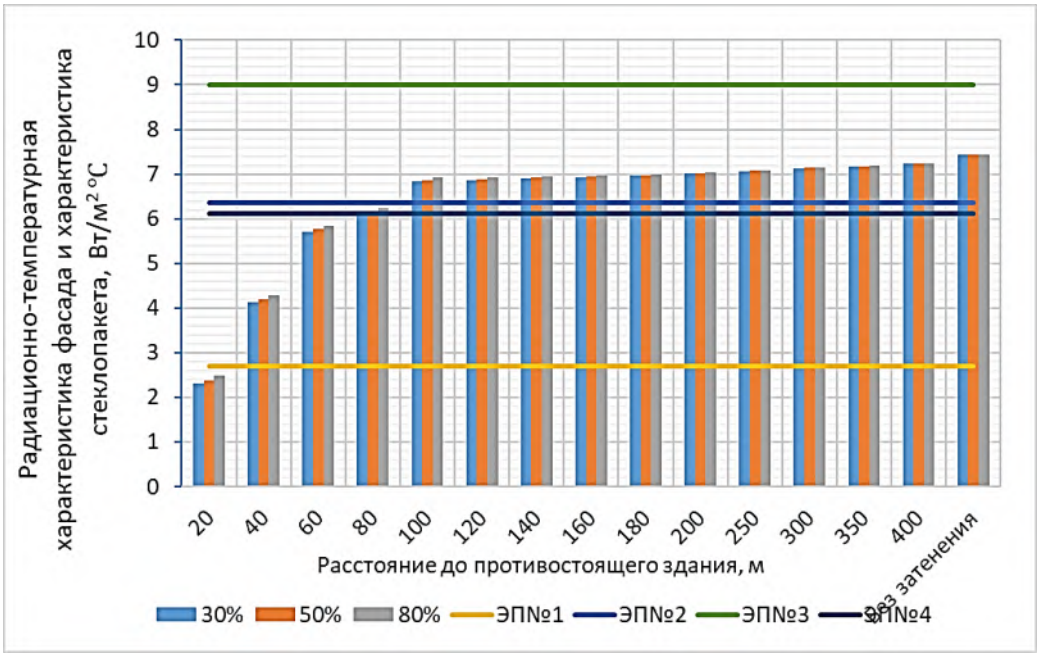


Рисунок 6.1 – Радиационно-температурная характеристика фасада при различном расположении противостоящего здания со средневзвешенным альбедо фасада и при отсутствии противостоящего здания, $\hat{F}_j$ и F_j, и характеристика стеклопакета, G, Вт/м^2 °С, г. Владивосток ($k_{HB} = 2{,}03$)

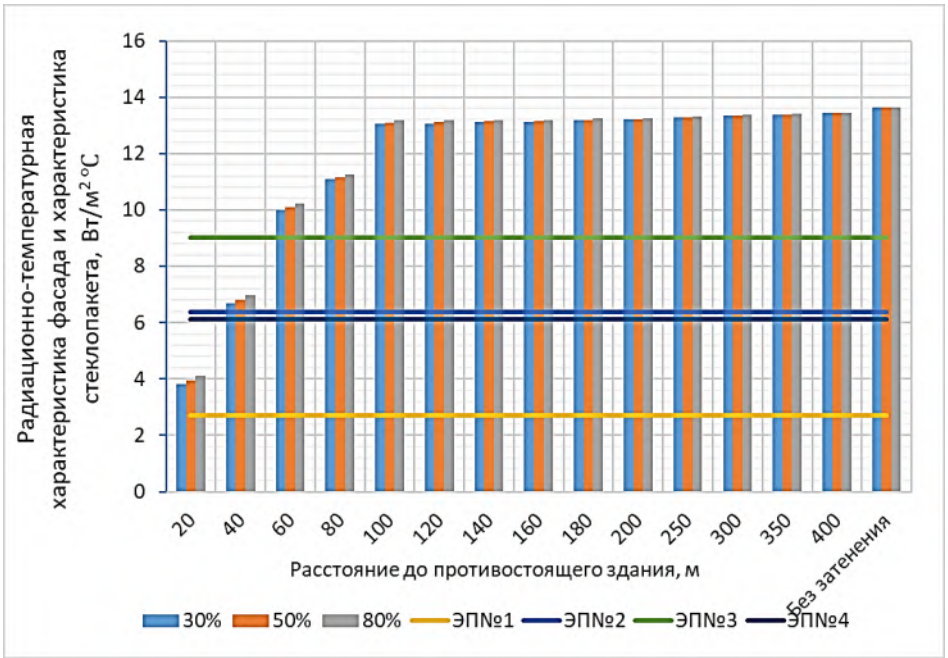


Рисунок 6.2 – Радиационно-температурная характеристика фасада при различном расположении противостоящего здания со средневзвешенным альбедо фасада и при отсутствии противостоящего здания, $\hat{F}_j$ и F_j, и характеристика стеклопакета, G, Вт/м^2 °С, г. Сочи ($k_{HB} = 2{,}03$)

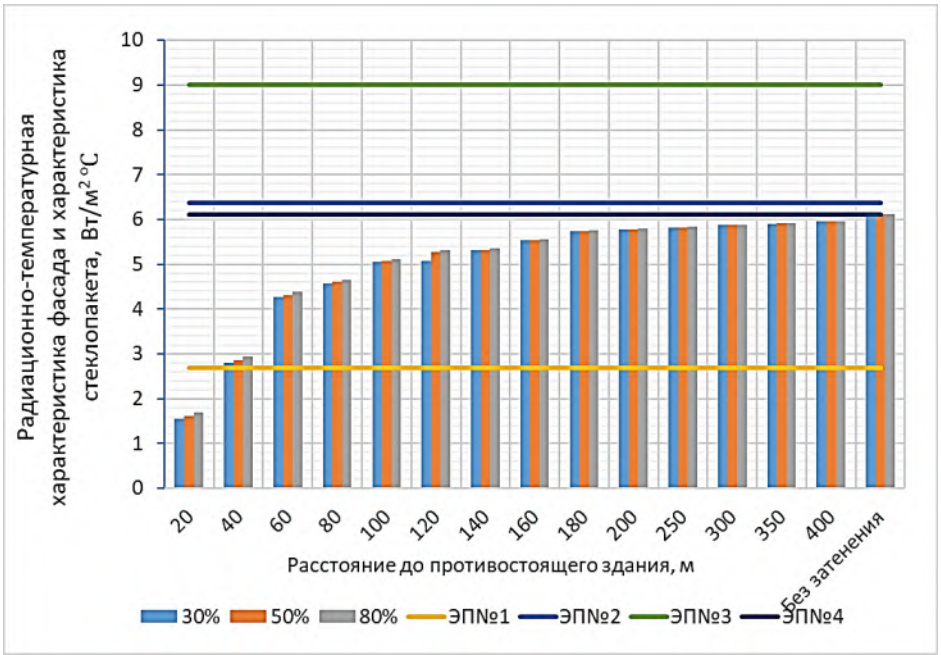


Рисунок 6.3 – Радиационно-температурная характеристика фасада при различном расположении противостоящего здания со средневзвешенным альбедо фасада и при отсутствии противостоящего здания, $\hat{F}_j$ и F_j, и характеристика стеклопакета, G, Вт/м^2 °С, г. Новосибирск ($k_{HB} = 2{,}03$)

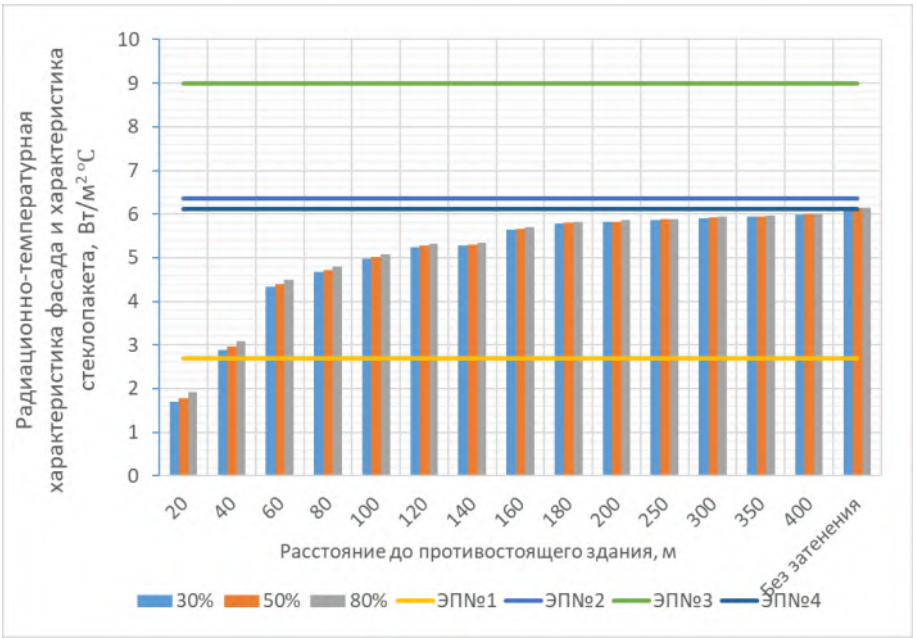


Рисунок 6.4 – Радиационно-температурная характеристика фасада при различном расположении противостоящего здания со средневзвешенным альбедо фасада и при отсутствии противостоящего здания, $\hat{F}_j$ и F_j, и характеристика стеклопакета, G, Вт/м^2 °С, г. Москва ($k_{HB} = 2{,}03$)

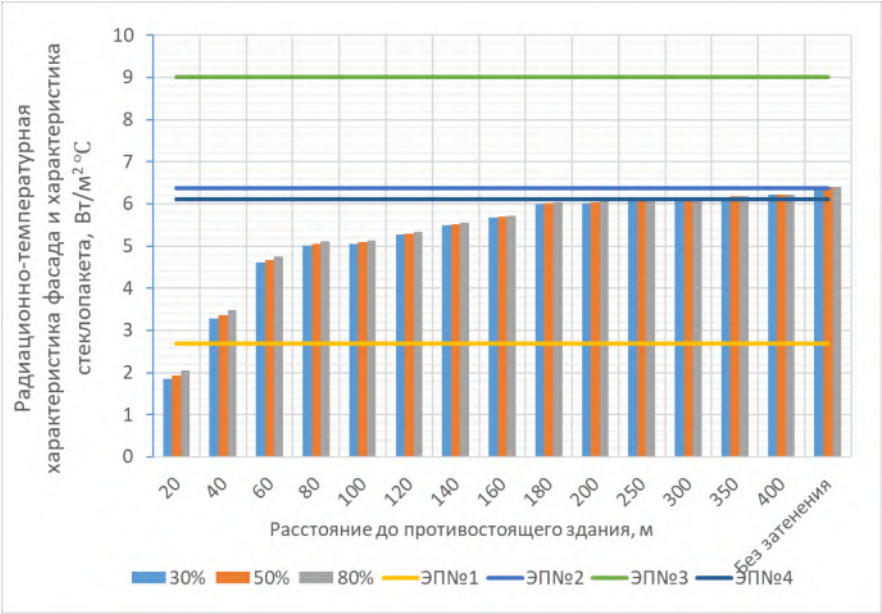


Рисунок 6.5 – Радиационно-температурная характеристика фасада при различном расположении противостоящего здания со средневзвешенным альбедо фасада и при отсутствии противостоящего здания, $\hat{F}_j$ и F_j, и характеристика стеклопакета, G, Вт/м^2 ºС, г. Магадан ($k_{HB} = 2{,}03$)

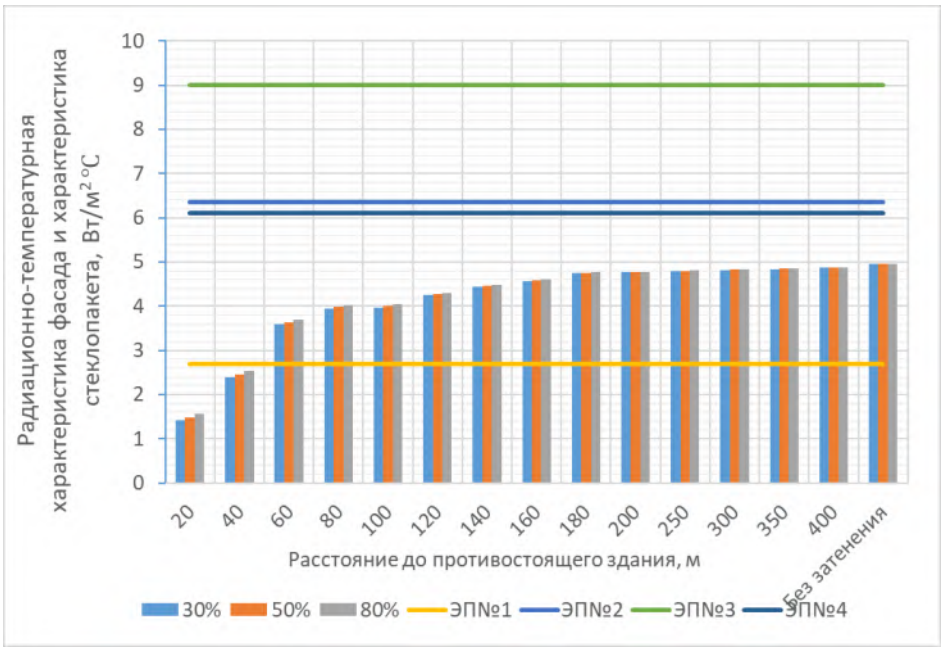


Рисунок 6.6 – Радиационно-температурная характеристика фасада при различном расположении противостоящего здания со средневзвешенным альбедо фасада и при отсутствии противостоящего здания, $\hat{F}_j$ и F_j, и характеристика стеклопакета, G, Вт/м^2 ºС, г. Санкт-Петербург ($k_{HB} = 2{,}03$)

Из графиков на рисунках 6.1 - 6.6 видно, что противостоящее здание изменяет радиационно-температурную характеристику фасада. Проанализируем выполнение неравенства, исходя из графиков.

ЭП №1 с мультифункциональным остеклением подходит почти для всех рассмотренных вариантов (кроме г. Сочи) только при наличии близкорасположенного противостоящего здания (20-40м).

ЭП №2 (с одним низкоэмиссионным И-стеклом): для Владивостока подходит до расстояния 100м, для Сочи - до 40м; для Новосибирска Москвы и С.-Петербурга - подходит при всех вариантах, для Магадана - не подходит только при открытом горизонте.

ЭП №3 подходит для всех рассмотренных вариантов, кроме случая расстояния между зданиями более 60м в г. Сочи.

ЭП №4 (с двумя низкоэмиссионными И-стеклами): для Владивостока подходит до расстояния 80м, для Сочи - до 40м, для Магадана - до 250м; для С.-Петербурга подходит при всех вариантах, для Новосибирска, Москвы - не подходит только при открытом горизонте.

Таким образом, 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.

6.3 Критерий подбора светопрозрачных ограждающих конструкций для всего здания в застройке

Для расчета потребления энергии на отопление и вентиляцию здания по российским нормативным документам [165, 167] важно знать, на какую величину происходит снижение этих показателей для всего здания. Поэтому необходима

численная оценка снижения теплопотерь с учётом снижения теплопоступлений для всего здания при замене стеклопакетов в окнах на энергосберегающие.

Трансмиссионные теплопотери для здания через светопроёмы, МДж/год, вычисляются как сумма теплопотерь через все оконные блоки по формуле [165, 168]:

$$Q_{\text{тр}} = 0{,}0864 \cdot \text{ГСОП} \cdot \sum_j^J \sum_{l=1}^{L_j} \frac{A_{jl}}{R_{jl}^{\text{пр}}}, \qquad (6.17)$$

где: j – номер фасада с заданной ориентацией;

J – количество фасадов здания, l – номер светопроёма, расположенного на j–ом фасаде;

L_j –количество окон на j–ом фасаде, соответственно, шт.;

$R_{jl}^{\text{пр}}$ – приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока j-го фасада, м^2·°С/Вт, вычисляется по [168];

A_{jl} – площадь светопроёма, где, м^2.

Для оценки целесообразности замены стеклопакетов в здании с целью энергосбережения разница в теплопотерях должна превышать разницу в теплопоступлениях за отопительный период, т.к. стеклопакеты со стеклами с энергосберегающими покрытиями должны обеспечивать повышенную теплозащиту, но минимально снижать поступление солнечной радиации:

$$Q_{\text{тр}}^{\text{бп}} - Q_{\text{тр}}^{\text{эп}} > \hat{Q}_{\text{рад}}^{\text{бп}} - \hat{Q}_{\text{рад}}^{\text{эп}}, \qquad (6.18)$$

где: $\hat{Q}_{\text{рад}}^{\text{бп}}$ и $Q_{\text{тр}}^{\text{бп}}$ – величина теплопоступлений от солнечной радиации с учетом противостоящего здания и трансмиссионных теплопотерь через светопроемы с заполнением остеклением без энергосберегающих покрытий (индекс «бп»), МДж/год, соответственно;

$\hat{Q}_{\text{рад}}^{\text{эп}}$и $Q_{\text{тр}}^{\text{эп}}$ – величина теплопоступлений от солнечной радиации с учетом противостоящего здания и трансмиссионных теплопотерь через светопроемы с заполнением остеклением с энергосберегающими покрытиями (индекс «бп»), МДж/год, соответственно.

Таким образом, при подстановке (6.4) и (6.17) в (6.18) и приведении подобных слагаемых неравенство (6.18) записывается в виде:

$$0{,}0864 \cdot \text{ГСОП} \sum_j^J \sum_{l=1}^{L_j} A_{jl} \left[\frac{1}{R_{jl\text{БП}}^{\text{пр}}} - \frac{1}{R_{jl\text{ЭП}}^{\text{пр}}} \right] > \hat{I}_j^{\text{ОП}} \cdot \sum_{l=1}^{L_j} \tau_{jl} \cdot A_{jl} \cdot \left(g_{jl}^{\text{бп}} - g_{jl}^{\text{эп}} \right) . \quad (6.19)$$

Из формулы (6.19) следует, что значение критерия для каждого фасада здания можно записать в виде формулы:

$$\widehat{M}_j = \frac{0{,}0864 \cdot \text{ГСОП} \cdot \sum_{l=1}^{L_j} A_{jn} \cdot \left(\frac{1}{R_{jl\text{БП}}^{\text{пр}}} - \frac{1}{R_{jl\text{ЭП}}^{\text{пр}}} \right)}{\hat{I}_j^{\text{ОП}} \cdot \sum_{l=1}^{L_j} \tau_{jn} \cdot A_{jn} \cdot \left(g_{jl}^{\text{бп}} - g_{jl}^{\text{эп}} \right)}. \quad (6.20)$$

При рассмотрении всего здания, выражение (6.20) можно записать в виде:

$$\widehat{M} = \frac{0{,}0864 \cdot \text{ГСОП} \sum_j^J \sum_{l=1}^{L_j} A_{jl} \left[\frac{1}{R_{jl\text{БП}}^{\text{пр}}} - \frac{1}{R_{jl\text{ЭП}}^{\text{пр}}} \right]}{\sum_{j=1}^J \hat{I}_j^{\text{ОП}} \cdot \sum_{l=1}^{L_j} \tau_{jl} \cdot A_{jl} \cdot \left(g_{jl}^{\text{бп}} - g_{jl}^{\text{эп}} \right)}. \quad (6.21)$$

Применение энергосберегающего остекления на данном фасаде с противостоящим зданием и для всего здания считается оправданным при выполнении условий:

$$\widehat{M}_j > 1, \widehat{M} > 1. \quad (6.22)$$

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.

Далее рассматривается влияние на выбор остекления по критерию $\widehat{M}_j$ ряда параметров: ориентации фасадов, климата, учета ясных и облачных дней, географической широты, расстояния между зданиями, средневзвешенного альбедо фасада противостоящего здания и др.

Для проведения сравнительного анализа рассматривается величина теплопоступлений при наличии противостоящего здания и трансмиссионных теплопотерь через окна, причем сначала при установке стеклопакетов со стеклами без покрытий, а затем при установке стеклопакетов со стеклами с энергосберегающими покрытиями.

В таблице 6.2 приведены характеристики рассматриваемых стеклопакетов. На диаграммах (рисунки 6.7-6.9) приведены результаты расчета величины $\widehat{M}_j$ для различных стеклопакетов при изменении расстояния между зданиями для рассматриваемых городов.



Рисунок 6.7 – Значение критериев M и $\widehat{M}_j$ для ЭП№1, 2, 3, 4 для г. Владивостока (слева) и г. Сочи (справа) ($k_{HB} = 2{,}03$, ср. альбедо 50%)

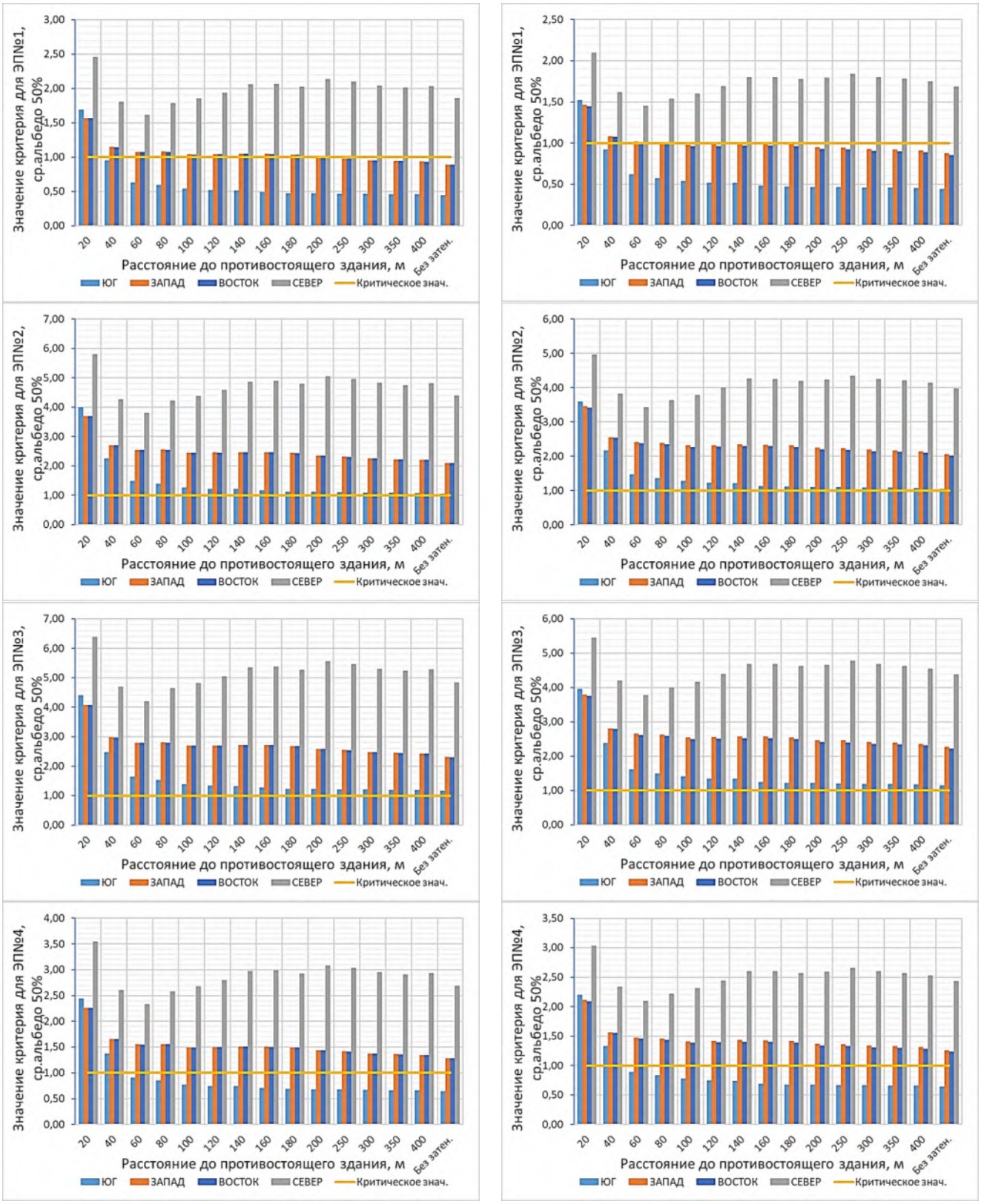


Рисунок 6.8 – Значение критериев M и $\widehat{M}_j$ для ЭП№1, 2, 3, 4 для г. Новосибирска (слева) и г. Москвы (справа) ($k_{HB} = 2{,}03$, ср. альбедо 50%)

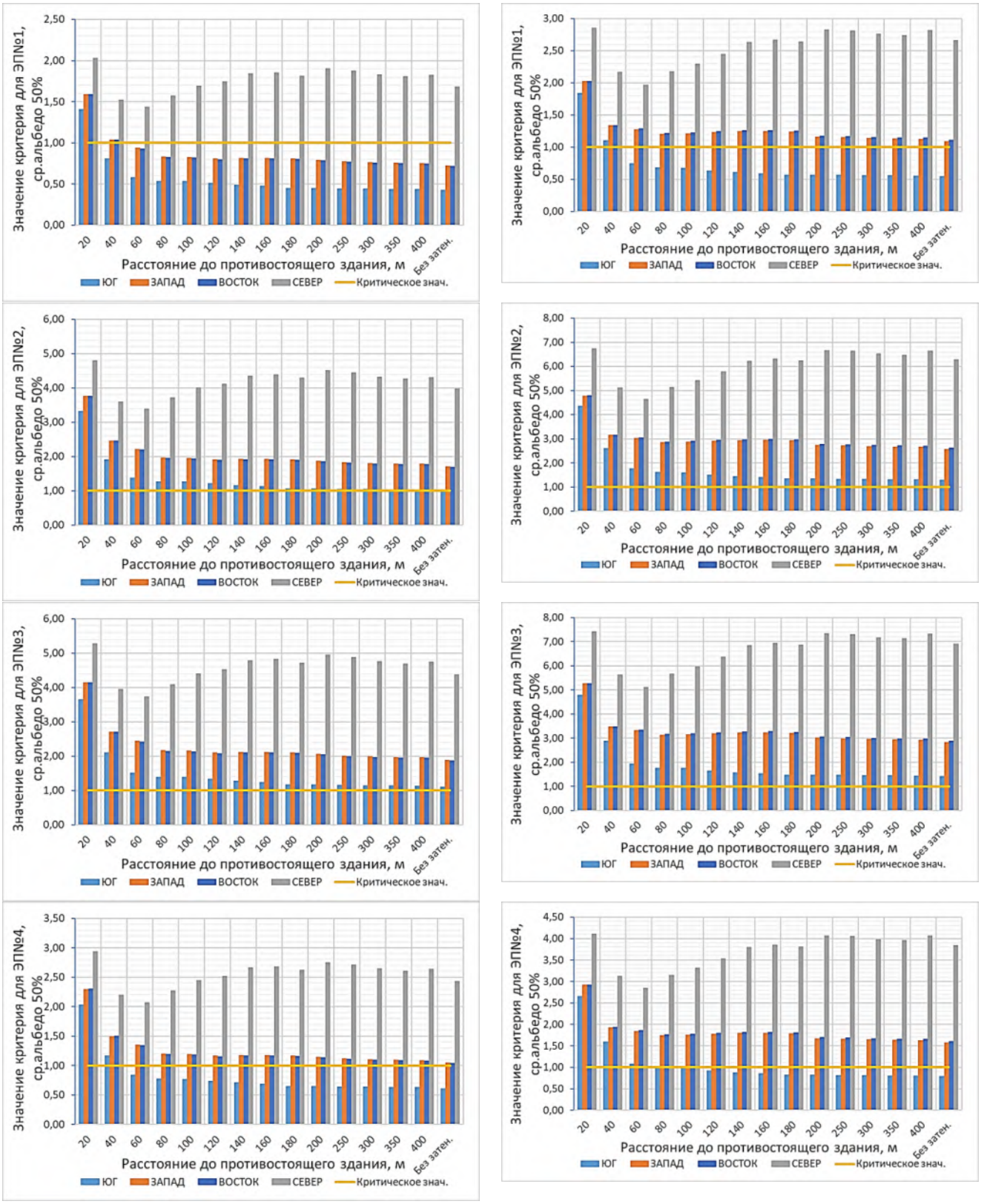


Рисунок 6.9 – Значение критериев M и $\widehat{M}_j$ для ЭП№1, 2, 3, 4 для г. Магадана (слева) и г. С-.Пб. (справа) ($k_{HB} = 2{,}03$, ср. альбедо 50%)

Проанализируем последовательно влияние рассматриваемых параметров на решение по выбору остекления с использованием критерия $\widehat{M}_j$ (рисунки 6.7-6.9). Солнцезащитное остекление ЭП№1 подходит в основном для фасадов северной ориентации при расстоянии, большем 40м для всех рассматриваемых городов. Для фасадов восточной и западной ориентации подходит лишь для холодного климата: погранично для Новосибирска и Москвы, а также с выполнением условия С-Пб. Для фасадов южной ориентации подходит при расстоянии 20 м., что редко встречается в строительной практике. Двойной стеклопакет с одним низкоэмиссионным И-стеклом ЭП№2 и двойной стеклопакет с двумя низкоэмиссионными И-стеклами ЭП№4 подходит для фасадов северной, восточной и западной ориентаций, а для фасадов южной ориентации чаще наблюдается невыполнение, либо пограничное выполнение условия эффективности.

Для всех рассмотренных городов, кроме г. Сочи, где применение рассмотренных стеклопакетов невыгодно. Двойной стеклопакет с одним низкоэмиссионным К-стеклом ЭП№3 подходит для климата всех рассмотренных городов, кроме Владивостока, где условие выполняется погранично, и г. Сочи, где условие не выполняется.

Таким образом 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.

6.4 Критерий подбора остекления по солнцезащитным свойствам

Для определения требований к характеристикам светопрозрачных ограждающих конструкций необходимо рассмотреть влияние теплопропускания остекления на температуру нагрева воздуха в помещении. При условии отсутствия других источников теплоты, температура воздуха в помещении складывается из температуры наружного воздуха и температуры нагрева от солнечной радиации:

$$t_{\text{в}} = t_{\text{н}} + t_{\text{рад}} \, . \qquad (6.23)$$

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

$$t_{\text{рад}} = \frac{3600 \cdot Q_{\text{общ}i}}{V \rho C}, \quad (6.24)$$

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 [167] или [4];

V – объем помещения м^3;

ρ, С – плотность и теплоемкость воздуха в помещении, соответственно, кг/м^3 и кДж/м^{3}К;

3600 – переводной коэффициент из ч в сек для $Q_{\text{общ}i}$.

$$Q_{\text{общ}i} = Q_{\text{св},i} a_{\text{п}}, \quad (6.25)$$

где $a_{\text{п}}$ – доля теплового потока, поглощаемого поверхностями помещения в течение часа за период облучения, определяемая по Приложению П СП 370.1325800 Изм.№2 [167] или [4];

$Q_{\text{св},i}$ – тепловой поток от солнечной радиации, поступающий на световой проем, Вт:

$$Q_{\text{св},i} = (q_{\text{п}} K_1 + q_{\text{р}} K_2) K_3 g A_{\text{ос}}, \quad (6.26)$$

где g – то же, что в (1.24);

$q_{\text{п}}$, $q_{\text{р}}$ – поверхностная плотность теплового потока, Вт/м^2, от прямой ($q_{\text{п}}$) и рассеянной ($q_{\text{р}}$) солнечной радиации определяется по приложению П [167];

K_1, K_2 – коэффициенты облученности прямой и рассеянной солнечной радиацией соответственно, определяются по приложению П [167];

$\beta_{\text{СЗ}}^{\text{н}}$ – коэффициенты теплопропускания солнцезащитных устройств (шторы, карнизы, жалюзи и другие изделия заводского изготовления), принимаемые по таблице 9 СП 50.13330.2024 [168];

$A_{\text{ос}}$ – площадь светового проема (остекления), м^2.

Исходя из формулы (6.26), обозначим тепловой поток через светопроем без заполнения остеклением, как, Вт:

$$q_{\text{св},i} = (q_{\text{п}} K_1 + q_{\text{р}} K_2) \beta_{\text{СЗ}}^{\text{н}} A_{\text{ос}}. \quad (6.27)$$

Включение кондиционера требуется при внутренней температуре, большей 26ºС [258]. При условии, что остекление с солнцезащитными покрытыми должно обеспечивать температуру воздуха внутри помещения меньшей 26ºС [258]:

$$\left(t_{\text{н}} + t_{\text{рад}}\right) \leq 26\ . \tag{6.28}$$

Или:

$$t_{\text{рад}} \leq 26 - t_{\text{н}}\ . \tag{6.29}$$

С учётом формул (6.24), (6.26) и (6.27):

$$\frac{3600 \cdot q_{\text{св},i} \cdot g}{V \rho \text{C}} \leq 26 - t_{\text{н}}\ , \tag{6.30}$$

$$g \leq \frac{26 - t_{\text{н}}}{3600 \cdot q_{\text{св},i} / V \rho \text{C}}\ . \tag{6.31}$$

С учётом исследований раздела 4.8.5, проведённых с учётом пропускания солнечной радиации при ее падении под углом на остекление, выражение для подбора энергосберегающего остекления по солнцезащитным свойствам выглядит как:

$$g_k \leq \frac{26 - t_{\text{н}}}{3600 \cdot q_{\text{св},i} / V \rho \text{C}} \cdot k_{\text{румб}}\ . \tag{6.32}$$

Т.е. при заданном тепловом потоке, поступающем в помещение через световой проем, температура воздуха в помещении будет ниже 26ºС при наличии остекления с g -фактором, отвечающим условию (6.32).

На основании представленных формул составлена методика определения требуемых солнцезащитных свойств стеклопакетов в зависимости от региона, включенная в нормативные документы и представленная в Приложении Ж.1 с примером расчёта в Приложении Ж.2, где подобрано остекление с солнцезащитным покрытием для г. Москвы, обеспечивающее экономию энергии на кондиционирование.

6.5 Энергетическая и экономическая оценка энергосбережения при замене остекления на энергосберегающее

6.5.1 Показатель энергетической оценки энергосбережения при замене остекления на энергосберегающее

Как показано выше (п. 4.1, п. 6.1), при замене остекления без покрытий на остекление с энергосберегающими покрытиями, снижаются не только трансмиссионные теплопотери через заполнения светопроемов зданий, но также снижаются и теплопоступления от солнечной радиации, т.о, следует учитывать снижение обеих указанных величин. Для этого выводится показатель энергетической оценки снижения теплопотерь при снижении теплопоступлений через окна со стелами с энергосберегающими покрытиями, что приведено в работе автора [116].

Для вывода показателя определяется величина теплопоступлений и трансмиссионных теплопотерь через окна для всего здания при установке стеклопакетов со стеклами без покрытий по [168], $\hat{Q}_{\text{рад}}^{\text{БП}}$ 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, МДж/год:

$$\hat{Q}_{\text{рад}}^{\text{БП}} = \sum_j^J \left[\hat{I}_j^{\text{ОП}} \cdot \sum_{l=1}^{L_j} g_{jl}^{\text{БП}} \cdot \tau_{2jl} \cdot A_{jl} \right], \quad (6.33)$$

$$Q_{\text{тр}}^{\text{БП}} = 0{,}0864 \cdot \text{ГСОП} \cdot \sum_j^J \sum_{l=1}^{L_j} \frac{A_{jl}}{R_{jl}^{\text{БП}}} \quad , \quad (6.34)$$

$$\hat{Q}_{\text{рад}}^{\text{ЭП}} = \sum_j^J \left[\hat{I}_j^{\text{ОП}} \cdot \sum_{l=1}^{L_j} g_{jl}^{\text{ЭП}} \cdot \tau_{2jl} \cdot A_{jl} \right], \quad (6.35)$$

$$Q_{\text{тр}}^{\text{ЭП}} = 0{,}0864 \cdot \text{ГСОП} \cdot \sum_j^J \sum_{l=1}^{L_j} \frac{A_{jl}}{R_{jl}^{\text{ЭП}}} \quad , \quad (6.36)$$

где $R_{jl}^{\text{БП}}$ и $R_{jl}^{\text{ЭП}}$– приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока со стеклами без покрытий и с энергосберегающими покрытиями, соответственно, $м^{2 \cdot 0}С/Вт$;

$\hat{I}_j^{\text{ОП}}$ – поступающая солнечная радиация с учётом противостоящего здания, определяется по разработанным методам главы 3, формула (3.47);

$g_{jl}^{\text{БП}}$, τ_{2jl} – то же, что в (1.24) и в (4.36), соответственно;

A_{jl}. J, L_j – то же, что в (6.17).

Тогда с учетом формул (6.33)-(6.36) реальные теплопотери через светопрозрачные конструкции здания без энергосберегающих покрытий и с ними составляют, соответственно:

$$Q_{\text{тр}}^{\text{БП}} - \widehat{Q}_{\text{рад}}^{\text{БП}} = 0{,}0864 \cdot \text{ГСОП} \cdot \sum_j^J \sum_{l=1}^{L_j} \frac{A_{jl}}{R_{jl}^{\text{БП}}} - \sum_j^J \left[\widehat{I}_j^{\text{ОП}} \cdot \sum_{l=1}^{L_j} g_{jl}^{\text{БП}} \cdot \tau_{2jl} \cdot A_{jl} \right], \quad (6.37)$$

$$Q_{\text{тр}}^{\text{ЭП}} - \widehat{Q}_{\text{рад}}^{\text{ЭП}} = 0{,}0864 \cdot \text{ГСОП} \cdot \sum_j^J \sum_{l=1}^{L_j} \frac{A_{jl}}{R_{jl}^{\text{ЭП}}} - \sum_j^J \left[\widehat{I}_j^{\text{ОП}} \cdot \sum_{l=1}^{L_j} g_{jl}^{\text{ЭП}} \cdot \tau_{2jl} \cdot A_{jl} \right]. \quad (6.38)$$

Снижение теплопотерь при учёте снижения теплопоступлений вычисляется как:

$$e_{\text{эн}} = \Delta Q_{\text{тр}} - \Delta Q_{\text{рад}} = \left(Q_{\text{тр}}^{\text{БП}} - Q_{\text{тр}}^{\text{ЭП}} \right) - \left(\widehat{Q}_{\text{рад}}^{\text{БП}} - \widehat{Q}_{\text{рад}}^{\text{ЭП}} \right). \quad (6.39)$$

Величина $e_{\text{эн}}$, МДж/год, показывает реальное снижение теплопотерь при замене оконных блоков на энергосберегающие.

Относительное изменение теплопотерь с учётом теплопоступлений до и после замены остекления на энергосберегающее составляет:

$$E_{\text{эн}} = \frac{\left(Q_{\text{тр}}^{\text{БП}} - \widehat{Q}_{\text{рад}}^{\text{БП}} \right) - \left(Q_{\text{тр}}^{\text{ЭП}} - \widehat{Q}_{\text{рад}}^{\text{ЭП}} \right)}{Q_{\text{тр}}^{\text{БП}} - \widehat{Q}_{\text{рад}}^{\text{БП}}} 100\% \, . \quad (6.40)$$

Величины $e_{\text{эн}}$ и $E_{\text{эк}}$ представляет собой показатели (в единицах энергии и в процентах, соответственно) энергетической оценки энергосбережения при замене остекления на низкоэмиссионное.

Вычисление показателей $e_{\text{эн}}$ и $E_{\text{эк}}$ производится с учётом архитектуры и материалов здания, а также климатических характеристик местности. Именно на эти величины (размерную или безразмерную) следует делать поправку при расчётах экономии энергии на отопление и вентиляцию здания от замены стеклопакетов на энергосберегающие, в зависимости от методики оценки (размерная или безразмерная).

Пример вычислений приведен в Приложении Ж.3, где проведена оценка снижение теплопотерь при снижении теплопоступлений от исходных при замене остекления на энергосберегающее, которая показала, что применение таких стекол

в рассмотренном случае почти полностью исключает теплопотери через окна в здании.

6.5.2 Показатель экономической оценки энергосбережения при замене остекления на энергосберегающее

В настоящем разделе проводится экономическая оценка энергосбережения при замене остекления на энергосберегающее. При использовании остекления с энергосберегающими покрытиями разница в теплопотерях с учетом теплопоступлений, определяется как $e_{\text{эн}}$ (см. формулу (6.39)). Тогда для определения годовой прибыли с учётом стоимости тепловой энергии в руб/кВт·ч, при пересчёте величины $e_{\text{эн}}$ из МДж/год в кВт·ч/м^{2}год, меняются переводные коэффициенты в формулах (6.37)-(6.38):

$$e_{\text{эн}} = \Delta Q_{\text{тр}} - \Delta \hat{Q}_{\text{рад}} = 0{,}024 \cdot \text{ГСОП} \cdot \left(\sum_j^J \sum_{l=1}^{L_j} \frac{A_{jl}}{R_{jl}^{\text{БП}}} - \sum_j^J \sum_{l=1}^{L_j} \frac{A_{jl}}{R_{jl}^{\text{ЭП}}} \right) -$$

$$-0{,}28 \cdot \sum_j^J \hat{I}_j^{\text{ОП}} \cdot \sum_{l=1}^{L_j} \tau_{2jl} \cdot A_{jl} (g_{jl}^{\text{БП}} - g_{jl}^{\text{ЭП}}) \, . \qquad (6.41)$$

В этом случае годовая прибыль от замены оконных блоков на энергосберегающие составит, руб/год:

$$\Delta Э = e_{\text{эн}} \cdot C_{\text{т}} \, , \qquad (6.42)$$

где: $C_{\text{т}}$ – стоимость тепловой энергии, руб/кВт·ч.

Следует также учесть влияние единовременных затрат на закупку материалов. Единовременные затраты на закупку одного квадратного метра светопрозрачных конструкций с повышенными энергосберегающими свойствами, $K^{\text{ЭП}}$, выше, чем материалов с пониженными энергосберегающими свойствами, $K^{\text{БП}}$, руб/год:

$$\Delta K = K^{\text{ЭП}} - K^{\text{БП}} \, . \qquad (6.43)$$

В работе Гагарина В.Г. [18] показано, что мероприятия по повышению приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций являются экономически эффективными в случае, если:

$$\Delta K / \Delta Э < 1/p \, , \qquad (6.44)$$

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

Тогда применительно к светопрозрачным ограждающим конструкциям, показатель экономической эффективности замены оконных блоков на энергосберегающие определяется как:

$$E_{\text{эк}} = \frac{K^{\text{ЭП}} - K^{\text{БП}}}{(\Delta Q_{\text{тр}} - \Delta \hat{Q}_{\text{рад}}) \cdot c_{\text{т}}} . \quad (6.45)$$

Использование оконных блоков с повышенными энергосберегающими свойствами считается экономически выгодным, если:

$$E_{\text{эк}} < 1/p . \quad (6.46)$$

В Приложении Ж.4 приведен расчёт по представленному показателю для четырех городов: Москва, Краснодар, Благовещенск, Красноярск. В примере показано, что для рассмотренных типов климата условие окупаемости не выполняется, так как слишком большая ставка рефинансирования. Однако есть города с климатом, для которого условие окупаемости близко к выполнению. Например, г. Красноярск, в котором длительный отопительный период, следовательно большие теплопотери, а также невысокие, сравнимые с Москвой, теплопоступления от солнечной радиации за счет малого количества ясных дней за отопительный период. Несмотря на самую высокую стоимость тепловой энергии, в г. Красноярске мероприятия по установке энергосберегающих оконных блоков могут быть выгодными при небольшом (относительно 2021 г.) снижения ставки рефинансирования. Для других городов ставка рефинансирования должна быть снижена значительно для выполнения экономического условия окупаемости энергосберегающих мероприятий.

6.6 Последовательность применения разработанных критериев подбора остекления для обеспечения энергосбережения

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 (6.32):

$$g_k \le \frac{26-t_{\text{н}}}{3600\cdot q_i/V\rho C}\cdot k_{\text{румб}}\ .$$

2. Критерий предварительного подбора энергосберегающего остекления с учётом противостоящего здания (6.12), (6.16):

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

$$\hat{F}_j < G\ .$$

3. Критерий подбора остекления по светотехническим и теплофизическим параметрам (5.7), (5.8) (см. Приложение Ж.5):

$$P_{\text{о}} = \frac{\tau_{\text{ЭП}}}{R_{\text{ст}}/R_{\text{ЭП}}-1}\Big/\frac{\tau_{\text{БП}}}{R_{\text{ст}}/R_{\text{БП}}-1}\ ,$$

$$P_{\text{о}} \ge 1.$$

4. Критерий подбора светопрозрачных ограждающих конструкций для всего здания в застройке (6.21), (6.22) (см. Приложение Ж.5):

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

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

5. Критерии энергетической и экономической оценки энергосбережения при увеличении площади светового проема (5.20), (5.22):

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

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

6. Показатель энергетической и экономической оценки энергосбережения при замене остекления на энергосберегающее (6.40), (6.45), (6.46):

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

$$E_{\text{эк}} = \frac{K^{\text{ЭП}} - K^{\text{БП}}}{(\Delta Q_{\text{тр}} - \Delta \hat{Q}_{\text{рад}}) \cdot c_{\text{т}}},$$

$$E_{\text{эк}} < 1/p.$$

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.

6.7 Предложения в нормативные документы

По результатам исследований, проведённых в главе, предлагается:

1. Внедрить критерий предварительного подбора энергосберегающего остекления в СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» [165].

2. Внедрить критерий подбора светопрозрачных ограждающих конструкций для всего здания в застройке в СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» [165].

3. Внедрить методику определения требуемых солнцезащитных свойств стеклопакетов в зависимости от региона в СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования» [167].

Выводы по главе 6

1. Показано, что за счет применения энергосберегающего остекления, снижение поступающей солнечной радиации может быть больше, чем снижение трансмиссионных теплопотерь, в этом случае применение указанного остекления не выгодно.

2. Разработан критерий предварительной оценки и сделаны выводы о целесообразности применения энергосберегающего остекления в заданном климате при различном расположении противостоящего здания с различной отделкой. Представлены графики, которые можно использовать при подборе остекления с низкоэмиссионными покрытиями.

3. Разработан критерий подбора остекления с энергосберегающими покрытиями для конкретного здания, учитывающий климатические особенности и расположение противостоящего здания.

4. Проведены расчеты по разработанному критерию для всего здания при изменении ряда параметров, показывающие целесообразность применения того или иного энергосберегающего остекления.

5. 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.

6. Рассмотрены теоретические основы и разработана методика подбора остекления по солнцезащитным параметрам в зависимости от ориентации светопроема в здании, находящемся в заданном регионе Российской Федерации.

7. Представлены показатели энергетической и экономической оценки эффективности применения оконных блоков с повышенными энергосберегающими свойствами. Показано, что есть города, в которых выгодно производить замену оконных блоков на энергосберегающие при снижении ставки рефинансирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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, на основе которых получены аппроксимационные зависимости. 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» [169].

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» [165].

3. Внести результаты определения коэффициентов поглощения несветопрозрачными материалами в СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий» [168].

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» [167].

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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год;

МКО – международная комиссия по освещению;

ОП – отопительный период;

A – площадь проекции телесного угла, м^2;

A_i – площадь поверхности i – ой ограждающей конструкции, м^2;

$A_{\text{ос}}$ – площадь светового проема (остекления), м^2;

A_0 – площадь оконного блока по наружному обмеру, м^2;

$A_i = a_i\, b_i$ – площадь i-й ячейки в свету, м^2;

A_{jl}, A_y – площадь окон, ориентированных по направлению j, и зенитных фонарей, соответственно, м^2;

C_N – коэффициент, учитывающий особенности светового климата;

$К_З$ – коэффициент запаса (при чистом остеклении $K_З = 1$), отн.ед.;

E_i – освещенность на горизонтальной поверхности, создаваемая i-м участком небосвода, лк;

$E_{ij}^{\text{я}}$, $E_{ij}^{\text{обл}}$ – 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, Солнца, клк;

$E_1^н$ – наружная освещенность на горизонтальной поверхности под открытым небосводом, лк;

$E_2^н$ – наружная освещенность на горизонтальной поверхности под открытым небосводом, лк;

$E_1^н$ – наружная освещенность на горизонтальной поверхности под открытым небосводом, лк;

$E_2^б$ – освещенность в точке внутри модели находящейся в помещении при открытых створках окна, лк;

$E_1^б$ – освещенность в точке внутри модели, находящейся в помещении при закрытых створках окна, лк;

$E_1^{б}$ – освещенность в точке внутри модели, находящейся в помещении при закрытых створках окна, лк;

F_j, $\hat{F}_j$ – радиационно-температурная характеристика фасада в заданном климате без учёта застройки и с учётом застройки, соответственно, за отопительный период, Вт/м^2 °С;

$I_{\text{вн }i}$ – солнечная радиация, поступающая на i-ую внутреннюю поверхность в помещении, Вт/м^2;

$I_{\text{н}i}$ – солнечная радиация, поступающая на i-ую наружную поверхность, Вт/м^2 ;

$I^{\text{об}}(t_{\odot})$ – суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность за часовой интервал истинного солнечного времени (середина часового интервала $t_{\odot}$), при облачности большой бальности (от 6 баллов) и пасмурном небе, Дж/м^2 в час;

$I^{\text{я}}(t_{\odot})$ – суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность за часовой интервал истинного солнечного времени Дж/м^2 в час;

$\hat{I}_j^{\text{ОП}}$ – суммарная солнечная радиация, поступающая на фасад ориентации о с учетом противостоящего здания за отопительный период, МДж/год·м^2;

$K_{Гi}$ – составляющая коэффициента светопередачи, зависящая от геометрических размеров ячейки переплета;

$K_{Пi}$ – составляющая коэффициента светопередачи, зависящая от отражательных свойств внутренних граней ячеек переплета;

K_1, K_2 – коэффициенты облученности прямой и рассеянной солнечной радиацией,;

K_3 – коэффициенты теплопропускания солнцезащитных устройств;

$K_{\text{ГВ}}$ – коэффициент пересчёта прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную;

$K^{\text{об}}$ – световой эквивалент для облачных дней, лм/Вт;

$K^{\text{я}}(h_{\odot}(t_{\odot}))$ – световой эквивалент для малооблачных и ясных дней, лм/Вт;

$K_{зд}$ – коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий, отн.ед.;

L – число участков небосвода, видимых через световой проем из расчетной точки;

L_a – значения относительной яркости участка небосвода, видимого через световой проем из расчетной точки помещения;

L_z – абсолютная яркость неба в зените, кд/м^2;

$L_{S,j}^{ОП}$ – радиационно-температурная характеристика фасада для прямой радиации за ОП, МДж/^{o}С·сут·м^2;

M_i – количество дней в i-ом месяце;

MF – коэффициент эксплуатации;

M – число участков фасадов зданий противостоящей застройки, видимых через световой проем из расчетной точки;

$Q_{рад}^{БП}$ и $Q_{тр}^{БП}$ – величина теплопоступлений и трансмиссионных теплопотерь через окна при установке стеклопакетов со стеклами без энергосберегающих покрытий, МДж/год;

$Q_{рад}^{оп}$ – суммарные теплопоступления через светопрозрачные конструкции от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж/год;

$Q_{рад}^{ЭП}$ и $Q_{тр}^{ЭП}$ – величина теплопоступлений и трансмиссионных теплопотерь через окна при установке стеклопакетов со стеклами с энергосберегающими покрытиями, МДж/год;

$Q_к(z)$ – поток теплоты, подаваемый в помещение, например, системой отопления, Вт.;

$S_{ок}$, $S_{пола}$ – площадь пола окон и пола, м^2;

S_i – вероятность солнечного сияния в i-ом месяце;

U_0 – коэффициент теплопередачи по центру остекления, Вт/м$^{2\cdot0}$С;

$V_{от}$ – отапливаемый объем здания, м^3;

$V_п$ – объем помещения, м^3;

a_i, b_i – ширина и высота i-й ячейки в свету, м;

$b_{фj}$ – средняя относительная яркость j-го участка противостоящего (экранирующего) здания;

$b_ф$ – средняя относительная яркость фасада противостоящего здания, отн.ед.;

$c_в$ – теплоемкость воздуха (на единицу массы), Дж/м^3 ^{o}С;

$c_с(x)$ – теплоемкость материала слоя, Дж/м^3 ^{o}С;

d_i – толщина i-й ячейки переплета, м;

$e_н$ – нормируемое значение КЕО, т.е. минимальное значение в расчётной точке, %;

g – коэффициент общего пропускания солнечной энергии (380-2500 нм), отн.ед.;

g_{jl}, $g_у$ – коэффициенты общего пропускания солнечной энергии для окон, где l-индекс окон, расположенных на j-том фасаде, и зенитных фонарей, соответственно;

h_e, h_i – коэффициенты внешнего и внутреннего теплообмена;

$h_\odot$ – высота Солнца в момент наблюдения или угловое расстояние Солнца от горизонта, град.;

$k_{зДj}$ – коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий;

$k_з$ – коэффициент запаса;

$k_{рад}$ – удельная характеристика теплопоступлений от солнечной радиации в здание, Вт/(м^3 ^{o}С);

k_{HB} - коэффициент габаритов застройки, вычисляется, как отношение высоты противостоящего здания к его ширине;

k_i – дробное число в случае частичного попадания i-го элементарного участка небосвода на контур светового проема;

k_{Sj} -коэффициент затенения прямой радиации, вычисляется как отношение поступающей прямой радиации при наличии противостоящего здания к таковой при открытом горизонте;

k_{ve} – световой эквивалент пропускания солнечного излучения остеклением, безразмерный;

m – кратность воздухообмена, $ч^{-1}$;

n – количество ограждающих конструкций в помещении, участвующих в конвективном теплообмене;

p – процентная ставка банка, доли ед.;

q – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба, отн.ед.;

$q(\gamma)_i$ – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость i-го участка облачного неба МКО;

$q(\gamma)_i$ – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость i-го участка облачного неба МКО;

$q_п$, $q_р$ – поверхностная плотность теплового потока, Вт/ч·м^2, от прямой ($q_п$) и рассеянной ($q_р$) солнечной радиации;

r – радиус ячейки переплета, м;

r_0 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию;

r_0 – коэффициент, учитывающий влияние отраженного света от поверхностей помещения, отн.ед.;

$s(t_\odot)$ – вероятность солнечного сияния для конкретного города, месяца и часа дня;

$t_\odot$ – истинное солнечное время;

$t_\odot$ – истинное солнечное время, ч.;

t_1, t_2, t_3, t_4 – время включения и выключения искусственного освещения в помещении;

$t_н$ – температура наружного воздуха, °С;

$t_н$ – температура наружного воздуха, °С;

$t_в(z)$ – температура внутреннего воздуха помещения, зависящая от времени, °С;

$t_н(z)$ – температура наружного воздуха, зависящая от времени, °С;

Δt – промежуток времени, в течение которого освещенность принимается постоянной;

$v_{\text{н}}$ – скорость ветра м/с ;

z – время, с;

$\alpha_{\text{л}ij}$ – коэффициент лучистого теплообмена между i – ой и j – ой поверхностями в помещении, Вт/(м^2 °С);

α – коэффициент поглощения видимого света (380-760нм) , отн.ед.;

α_e, τ_e – коэффициенты поглощения и пропускания солнечной энергии в диапазоне 300-2700 нм;

α_e – коэффициент поглощения солнечной энергии (380-2500 нм), отн.ед.;

$\alpha_{\text{к } in\ i}$ – коэффициент конвективного теплообмена внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м^2 °С);

$\alpha_н$ – коэффициент теплообмена у поверхности фасада, Вт/м^2;

$\alpha_н$ – коэффициент теплообмена у поверхности фасада, Вт/м^2°С;

δ – склонение Солнца, град.;

β_i – индекс i-й ячейки переплета, отн.ед.;

γ – угол возвышения Солнца над горизонтом i-го участка облачного неба, град.;

$\varepsilon^{б}$ – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, %;

$\varepsilon_{зд}$ – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, %;

$\varepsilon_{бi}$ – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет от i-го участка неба;

$\varepsilon_{\text{зд}j}$ – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий свет, отраженный от j-го участка фасадов зданий противостоящей застройки, определяемый по графикам А.М. Данилюка I и II;

η_0 – световая характеристика окон, представленная в табличном виде;

λ – коэффициент теплопроводности материала слоя конструкции, Вт/(м °С);

ρ – коэффициент отражения видимого света (380-760нм) , отн.ед.;

α_e – коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью фасада;

ρ_e – коэффициент отражения солнечной энергии (380-2500 нм), отн.ед.;

$\rho_{\text{вн}\,i}$ – коэффициент поглощения солнечной радиации i-ой внутренней поверхности в помещении, доли ед.;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м^3;

$\rho_{\text{с}}(x)$ – плотность слоя материала, кг/м^3;

τ – коэффициент пропускания видимого света (380-760нм), отн.ед.;

τ_0 – общий коэффициент пропускания света оконного блока, отн.ед.;

$\tau_{0\text{e}}$ – общий коэффициент пропускания солнечной энергии оконного блока;

τ_2 – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема переплетами оконной конструкции, отн. ед.;

$\tau_{\text{в}\,i}$ – температура внутренней поверхности i-ой ограждающей конструкции, $^{\text{o}}$C;

τ_e – коэффициент пропускания солнечной энергии (380-2500 нм), отн.ед.;

$\tau_{\text{н}\,j}(\text{z})$ – температура наружной поверхности j-ой ограждающей конструкции, $^{\text{o}}$C;

φ – географическая широта местности, град.;

Ω – часовой угол Солнца в данный момент времени, отсчитываемый от момента истинного полдня (Ω считается положительным при отсчете в направлении часовой стрелки);

$\Omega(t_{\odot})$ – часовой угол Солнца в данный момент времени, отсчитываемый от момента истинного полдня, град.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумова, Г.М. Влияние кучевой облачности на рассеянную и суммарную ультрафиолетовую, фотосинтетически активную и интегральную солнечную радиацию / Г.М. Абакумова, Е.И. Незваль, О.А. Шиловцева // Метеорология и гидрология. – 2002. – №7. – С. 29–40.
2. Абакумова, Г.М. Прозрачность атмосферы в Москве за последние 50 лет и ее изменения на территории России / Г.М. Абакумова, Е.В. Горбаренко. – Изд. стер. – М. : ЛКИ, 2016. – 192 с. – ISBN 978-5-9710-1234-5.
3. Айзенберг, Ю.Б. Интегральные системы освещения помещений без достаточного естественного света / Ю.Б. Айзенберг // Светотехника. – 2003. – № 1. – С. 22–28.
4. Баркалов Б.В., Львовский И.Б. Пособие 2.91 к СНиП 2.04.05–91. Расчёт поступления теплоты солнечной радиации в помещения. — М.: Промстройпроект, 45 с.
5. Бартенева, О.Д. Режим естественной освещенности на территории СССР / О.Д. Бартенева, Е.А. Полякова, Н.П. Русин. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1971. – 238 с.
6. Бахарев, Д.В. К теоретическому анализу эмпирической яркости фасадов / Д.В. Бахарев, И.А. Зимнович // Светотехника.— 2008.— №3.— С. 10-17 .
7. Бахарев, Д.В. Методы расчета и нормирования солнечной радиации в градостроительстве: дис. … канд. техн. наук / Д.В. Бахарев. – Москва: НИИСФ, 1968. – 218 с.
8. Бахарев, Д.В. О структуре световых полей / Д.В. Бахарев // Светотехника. – 2005. – № 3. – С. 40–44.
9. Бахарев, Д.В. Яркость городской среды / Д.В. Бахарев, Л.Н. Орлова // Светотехника. – 1990. – № 10. – С. 9–11.
10. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика : учебник / В. Н. Богословский. - Москва : [б. и.], 1982. - 416 с.

11. Богословский, В.Н. Расчет суммарного теплопоступления в помещение через окно / В.Н. Богословский, Фам Нгок Донг // Водоснабжение и санитарная техника. – 1973. – № 1.
12. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. – Москва: Стройиздат, 1979. – 248 с.
13. Болдырев, Н.Г. О распределении яркости по небу / Н.Г. Болдырев // Светотехника. – 1935. – № 6.
14. Болдырев, Н.Г. Теоретическая фотометрия / Н.Г. Болдырев. – Ленинград: ЛИОТ, 1938. – 75 с.
15. Борн, М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. – Москва : Наука, 1973. – 720 с.
16. 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.
17. 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.
18. Гагарин, В.Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий / В.Г. Гагарин // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2009. № 1. С. 10-16.
19. 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.
20. 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.

21. 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.
22. Гагарин, В.Г. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Жилищное строительство. – 2011. – № 8. – С. 2–6.
23. Гагарин, В.Г. Экспериментальные исследования светотехнических параметров оконных стекол / В.Г. Гагарин, Е.В. Коркина // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании. Сборник материалов Международной научной конференции (12–13 ноября 2014 г., Москва). – 2014. – С. 535–536.
24. Гагарина, О.Г. Оценка теплоустойчивости ограждающих конструкций и помещений зданий частотным методом / О.Г. Гагарина, Е.В. Коркина // Строительство и реконструкция. – 2017. – №3(71). – С. 43–48.
25. Гершун, А.А. Приближенный метод определения коэффициентов освещенности с учетом отраженного противолежащими сооружениями света / А.А. Гершун, Н.Г. Болдырев // Труды первой всесоюзной конференции по естественному освещению. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1932. – Вып. II. – С. 10.
26. Гланц, С. Медико-биологическая статистика / С. Гланц ; перевод с англ. – Москва : Практика, 1998. – 459 с.
27. Горбаренко, Е.В. Возможные различия в нормативных и действительных значениях естественной освещенности, вызванные неучетом реальных условий облачности // Жилищное строительство. – 2021. – № 6. – С. 42–50.
28. 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.

29. Горбаренко, Е.В. Моделирование естественной освещенности в условиях безоблачной атмосферы / Е.В. Горбаренко, А.Н. Рублев, Н.А. Бунина // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2021. – Вып. 603. – С. 49–65.
30. 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.
31. ГОСТ 24866-99. Стеклопакеты клееные строительного назначения. – Москва: Госстрой России, 2000. – 46 с.
32. ГОСТ 26602.4-2012 Блоки оконные и дверные. Метод определения общего коэффициента пропускания света = Windows and doors. Method for determination of total light transmittance . – Москва : Стандартинформ, 2019. – 16 с.
33. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Москва : Стандартинформ, 2012. 15 с..
34. ГОСТ 57260-2016 (ISO 15469:2004). Климатология строительная. Параметры для расчёта естественного освещения с учётом распределения яркости по небосводу. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 12 с.
35. ГОСТ EN 410-2014. Стекло и изделия из него. Методы определения оптических характеристик. Определение световых и солнечных характеристик. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 54 с.
36. ГОСТ Р 54164-2010 (ISO 9050:2003) «Стекло и изделия из него. Методы определения оптических характеристик. Определение световых и солнечных характеристик» = Glass and glass products. Optical characteristics determination methods. Determination of luminous and solar characteristics . – Москва : Стандартинформ, 2012. – 20 с.

37. ГОСТ Р 56709-2015 Здания и сооружения. Методы измерения коэффициентов отражения света поверхностями помещений и фасадов. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 6 с.
38. ГОСТ Р 57792-2017 Здания и сооружения. Методы расчета продолжительности инсоляции – М.: Стандартинформ, 2017. – 62 с.
39. 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.
40. 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.
41. 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.
42. 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.
43. Гукетлов, Х.М. К вопросу учета светового климата при расчете и проектировании естественного освещения зданий / Х.М. Гукетлов, И.З. Сруков // Вестник Дагестанского государственного технического

университета. Технические науки. – 2022. – Т. 49. – № 2. – С. 103–109. DOI: https://doi.org/10.21822/2073-6185-2022-49-2-103-109

44. Гусев, Н.М. Естественное освещение зданий / Н.М. Гусев. – Москва: Госстройиздат, 1961. – 171 с.
45. Гусев, Н.М. О светоклиматическом районировании территории Союза / Н.М. Гусев, Н.П. Никольская // Сборник трудов НИИСФ: Естественное освещение и инсоляция зданий. – Москва, 1968. – С. 5–11.
46. Гусев, Н.М. Основы строительной физики. – Москва: Стройиздат, 1975. – 440 с.
47. Гусев, Н.М. Свет в архитектуре / Н.М. Гусев. – Москва: ОНТИ НКТП, 1937. – 211 с.
48. Данилюк, А.М. Расчет естественного освещения помещений. – Л.; М.: ГИСтройЛит, 1941. – 140 с.
49. Данциг, Н.М. Биологическое действие и гигиеническое значение света / Н.М. Данциг // Вестник АМН СССР. – 1972. – № 1. – С. 25–30.
50. Данциг, Н.М. Гигиена освещения и инсоляции зданий и территорий застройки городов / Н.М. Данциг. – Москва: БРЭ, 1971.
51. Данциг, Н.М. Инсоляция зданий и территорий застройки городов как гигиеническая проблема / Н.М. Данциг. – Москва: [б.и.], 1971. – Вып. 5: Ультрафиолетовое излучение.
52. Дацюк, Т.А. Оценка показателей энергоэффективности зданий / Т.А. Дацюк, А.М. Гримитлин, Е.А. Аншукова // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 5 (70). – С. 141–145. DOI: https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-5-141-145
53. Дворецкий, А.Т. Анализ влияния разных типов устройств остекленной веранды на тепловой баланс энергоэффективного дома / А.Т. Дворецкий, К.Н. Клевец // Строительство и реконструкция. – 2014. – № 5. – С. 54–60. [Электронный ресурс]. URL: https://rucont.ru/efd/484832 (дата обращения: 20.12.2019).

54. Дворецкий, А.Т. Низкоэнергетические здания: окна, фасады, солнцезащита, энергоэффективность / А.Т. Дворецкий, А.В. Спиридонов, И.Л. Шубин. – Москва: Директ-Медиа, 2022. – 232 с.
55. Дворецкий, А.Т. Учет климатических особенностей при проектировании солнцезащитных устройств / А.Т. Дворецкий, А.В. Спиридонов, И.Л. Шубин // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2019. – № 1–2 (240–241). – С. 42–44.
56. Дунаев, Б.А. Инсоляция жилища / Б.А. Дунаев. – Москва: Стройиздат, 1979. – 104 с.
57. Здания и сооружения со светопрозрачными фасадами и кровлями. Теоретические основы проектирования светопрозрачных конструкций / под ред. И.В. Борискиной. – Санкт-Петербург: Инженерно-информационный центр оконных систем, 2012. – 400 с.
58. 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
59. Земцов, В.А. Вопросы проектирования и расчета естественного освещения помещений через зенитные фонари шахтного типа / В.А. Земцов // Светотехника. – 1990. – № 10. – С. 25–26.
60. Земцов, В.А. Естественное освещение помещений через зенитные фонари шахтного типа: автореф. дис. … канд. техн. наук. – Москва, 1981. – 16 с.
61. Земцов, В.А. Инсоляция жилых и общественных зданий. Перспективы развития / В.А. Земцов, В.Г. Гагарин // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – № 5. – С. 147–151.
62. Земцов, В.А. Исследование влияния энергосберегающих мероприятий при санации зданий серии II-18 на световой режим помещений / В.А. Земцов, Е.В. Гагарина // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – №4. – С. 83–88.

63. Земцов, В.А. Метод расчета светопропускания оконных блоков с использованием экспериментальных данных по светопропусканию стёкол / В.А. Земцов, Е.В. Гагарина // Светопрозрачные конструкции. – 2010. – №5–6. – С. 22–25.

64. Земцов, В.А. Метод экспериментального определения общего коэффициента светопропускания заполнений светопроемов в натурных условиях / В.А. Земцов, Е.В. Гагарина // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – 2011. – Т.2. – №3. – С. 9–14.

65. Земцов, В.А. Методика расчета продолжительности инсоляции помещений жилых и общественных зданий и территорий по солнечным картам / В.А. Земцов, И.А. Шмаров, В.В. Земцов, В.А. Козлов // Жилищное строительство. – 2018. – № 7. – С. 32–37.

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

67. Земцов, В.А. О методе расчета общего коэффициента пропускания света оконными блоками / В.А. Земцов, Е.В. Гагарина // Проблемы экологической безопасности и энергосбережения в строительстве и ЖКХ. Материалы международной научно-практической конференции. Кавала (Греция). 18–19 августа 2014. – С. 52–58.

68. Земцов, В.А. Расчет естественного освещения помещений при плотной городской застройке / В.А. Земцов, Н.Н. Киреев // Светотехника. – 1993. – № 5–6. – С. 48–49.

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

70. Земцов, В.А. Экологические аспекты инсоляции жилых и общественных зданий / В.А. Земцов, Е.В. Гагарина // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2012. – № 2. – С. 38–41.
71. Земцов, В.А. Экологические аспекты инсоляции жилых и общественных зданий / В.А. Земцов, Е.В. Гагарина // Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2010 году. Научные труды РААСН. Москва-Орел. – 2011. – С. 406-412.
72. Земцов, В.А. Яркостные параметры стандартного неба МКО в расчётах естественного освещения помещений и их применение в различных светоклиматических условиях России / В.А. Земцов, А.К. Соловьёв, И.А. Шмаров // Светотехника. – 2016. – № 6. – С. 55–61.
73. Зиганшин, А.М. Повышение энергоэффективности систем вентиляции посредством профилирования фасонных элементов / А.М. Зиганшин, К.Э. Батрова, Г.А. Гимадиева, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – №15(67). – С. 111–123.
74. Зиганшин, А.М. Совершенствование методов расчета и конструирования механических систем вентиляции сниженной энергоёмкости: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / А.М. Зиганшин ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова". – 2021. – 210 с.
75. Иванова, С.М. Определяне на сграден фактор на засенчване в градска среда // International Conference on Civil Engineering Design and Construction (Science and Practice). – Варна, Болгария, 11–13 сентября 2014 г. – С. 588–596.
76. Каган, Р.Л. О расчете потоков коротковолновой радиации в условиях городской застройки / Р.Л. Каган, Л.П. Клягина // Труды ГГО. – 1976. – Вып. 365. – С. 61–75.
77. Киреев, Н.Н. Определение коэффициента естественного освещения с учетом света, отраженного от подстилающей поверхности // Сборник трудов

НИИСФ: Исследования по строительной светотехнике. – Москва, 1984. – С. 36–41.

78. Киреев, Н.Н. Основы проектирования совмещенного освещения: дис. … д-ра техн. наук / Н.Н. Киреев. – Москва: [б.и.], 1984. – 360 с.

79. Киреев, Н.Н. Повышение эффективности систем естественного освещения зданий на основе более полного учета ресурсов светового климата // Сборник трудов НИИСФ: Совершенствование световой среды помещений. – Москва, 1986. – С. 7–13.

80. Киреев, Н.Н. Сеточный метод расчета естественного освещения / Н.Н. Киреев, Л.Т. Карданов // Строительная светотехника. – Москва: Стройиздат, 1974. – Вып. 7 (XXI).

81. Клягина, Л.П. Прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальные стены при условии моделирования городской застройки / Л.П. Клягина // Труды ГГО. – 1973. – Вып. 305. – С. 30–40.

82. Кондратьев, К.Я. О влиянии облачности и закрытости горизонта на приход радиации к наклонным поверхностям / К.Я. Кондратьев, М.П. Федорова // Актинометрия и оптика атмосферы: тр. Пятого межведомственного совещания. – Москва: Наука, 1963. – С. 311–312.

83. Кондратьев, К.Я. Радиационный режим наклонных поверхностей / К.Я. Кондратьев, З.И. Пивоварова, М.П. Федорова. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1978. – 215 с.

84. Коркина, Е.В. Аналитический метод расчета отраженной от фасада противостоящего здания солнечной радиации / Е.В. Коркина, И.А. Шмаров, В.А. Земцов, М.Д. Тюленев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – №4(382). – С. 189–196 (В Scopus: 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).

85. 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.
86. Коркина, Е.В. Аналитический метод расчета рассеянной солнечной радиации, поступающей на вертикальную поверхность при частично перекрытом небосводе / Е.В. Коркина, И.А. Шмаров // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2018. – №3 (375). – С. 230–236 (В Scopus: 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. 230 – 236).
87. 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.
88. 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.
89. 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.
90. 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.

91. 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.
92. Коркина, Е.В. Графический метод расчета поступающей на фасад рассеянной солнечной радиации при частично перекрытом небосводе / Е.В. Коркина, В.А. Земцов, И.А. Шмаров, В.К. Савин // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2018. – №3(375). – С. 216–220 (В Scopus: 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. 216 – 220).
93. 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.
94. 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.
95. 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
96. 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

97. 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.

98. 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.

99. 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.

100. Коркина, Е.В. Классификация покрытий оконных стекол по светопропусканию / Е.В. Коркина, И.А. Шмаров, В.Г. Гагарин // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – №2. – С. 118–124 (В Scopus: 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).

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

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

103. 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.

104. 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.

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

106. 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.

107. 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.

108. 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.

109. 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.

110. 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.

111. 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.

112. Коркина, Е.В. Расчёт теплопоступлений от солнечной радиации за отопительный период и естественного освещения помещений зданий: учебно-методическое пособие / Е.В. Коркина. – Москва: Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. – 56 с. – ISBN 978-5-7264-2027-1.

113. Коркина, Е.В. Совершенствование методов определения светопропускания оконных блоков для обеспечения естественного освещения помещений зданий: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Коркина Елена Владимировна; Науч.-исслед. ин-т строит. физики Рос. акад. архитектуры и строит. наук. – Москва, 2015. – 186 с.

114. 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.

115. 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.

116. 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.

117. 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.

118. 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.

119. Корниенко, С.В. Новый взгляд на энергосбережение в производственных зданиях / С.В. Корниенко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2022. – № 3 (88). – С. 138–147.

120. Корниенко, С.В. Энергоэффективный мегаполис. Парадоксы / С.В. Корниенко // Светопрозрачные конструкции. – 2022. – № 2 (140). – С. 33–37.

121. Кочев, А.Г. Физико-математическое описание естественной конвекции в помещениях православных храмов / А.Г. Кочев, М.М. Соколов // Приволжский научный журнал. - 2012. - № 2 (22). - С. 78-85.

122. Краткая медицинская энциклопедия / под ред. В.И. Покровского. – Москва: НПО «Медицинская энциклопедия», 1994. – Т. 1. – 608 с.; Т. 2. – 544 с.

123. Круглова, А.И. Климат и ограждающие конструкции: (Количественная характеристика воздействия основных климатических факторов на наружные вертикальные поверхности ограждающих конструкций различной ориентации). – Москва: Стройиздат, 1970. – 169 с.

124. Кувшинов, Ю.Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий. – Москва: МГСУ, 2010. – 320 с.

125. Куприянов, В.Н. Анализ оптических свойств светопрозрачных ограждающих конструкций / В.Н. Куприянов // Сборник научных трудов РААСН. – 2020. – С. 332–339.

126. Куприянов, В.Н. Инсоляция и солнцезащита зданий. – Москва: АСВ, 2023. – 197 с.

127. Куприянов, В.Н. Натурные исследования энергетических параметров инсоляции жилых помещений / В.Н. Куприянов, Ф.Р. Халикова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 4. – С. 139–147.

128. Куприянов, В.Н. Обоснование и развитие энергетического метода расчета инсоляции жилых помещений / В.Н. Куприянов, Ф.Р. Седова // Жилищное строительство. – 2015. – № 5. – С. 83–87.

129. Куприянов, В.Н. Предложения по нормированию и расчету инсоляции жилых помещений / В.Н. Куприянов, Ф.Р. Халикова // Жилищное строительство. – 2013. – № 6. – С. 50–53.

130. Куприянов, В.Н. Пропускание ультрафиолетовой радиации оконными стеклами при различных углах падения луча / В.Н. Куприянов, Ф.Р. Халикова // Жилищное строительство. – 2012. – № 6. – С. 64–65.

131. Ларионова, К.О. Новый взгляд на нормативную методику расчёта коэффициента естественной освещённости при системах бокового и верхнего естественного освещения / К.О. Ларионова, С.В. Стецкий // Светотехника. – 2024. – № 4. – С. 4–7.

132. Лицкевич, В.К. Архитектурная физика: учеб. для вузов / В.К. Лицкевич, Л.И. Макриненко, И.В. Мигалина [и др.]; под ред. Н.В. Оболенского. – Москва: Стройиздат, 2001. – 448 с.

133. Лыков, А.В. Теоретические основы строительной теплофизики / А.В. Лыков. – Минск: [б.и.], 1961. – 520 с.

134. Малявина, Е.Г. Влияние климатических особенностей района строительства на экономически выгодный уровень тепловой защиты офисных зданий / Е.Г. Малявина, А.А. Фролова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2020. – № 11 (743). – С. 89–99.

135. Малявина, Е.Г. Способы задания исходных климатических данных для моделирования нестационарного теплового режима помещения / Е.Г. Малявина, М.И. Урядов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2023. – № 4 (772). – С. 35–45.

136. Марантиди, И.Н. Графический метод расчета освещенности, создаваемой безоблачным небосводом / И.Н. Марантиди, А.И. Смирнов // Строительная светотехника: тр. НИИСФ. – Москва, 1975. – С. 85–90.

137. Методические рекомендации по расчёту специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. – Санкт-Петербург: ФГБУ «ГГО им. А.И. Воейкова», 2017. – 160 с.

138. Методическое пособие "Расчеты теплопоступлений в здание от проникающей солнечной радиации за отопительный период" [Электронный ресурс]. – М.: Минстрой России, ФАУ ФЦС, 2017. – 111 с. URL: https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp35_2017.pdf (дата обращения: 10.11.2018).

139. Могутов, В.А. Температурный режим малоинерционных ограждений зданий при периодических тепловых воздействиях внешней среды: дис. … канд. техн. наук / В.А. Могутов. – Москва: НИИСФ, 1984. – 128 с.

140. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6, выпуск 1–34. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1989–1998.

141. Оболенский, Н.В. Архитектура и солнце / Н.В. Оболенский. – Москва: Стройиздат, 1988. – 223 с.

142. ОСТ 52.04.10-82 «Актинометрия. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин» . – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1984. – 22 с.

143. Пастушков, П.П. Использование расчетного определения эксплуатационной влажности теплоизоляционных материалов / П.П. Пастушков, Н.В. Павленко, Е.В. Коркина // Строительство и реконструкция. – 2015. – №4(60). – С. 168–172.

144. 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.

145. Пивоварова, З.И. Характеристика радиационного режима на территории СССР применительно к запросам строительства / З.И. Пивоварова // Труды ГГО. – 1973. – Вып. 321. – 128 с.

146. Пигольцина, Г.Б. Радиационные факторы мезо- и микроклимата / Г.Б. Пигольцина. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия, 2003. – 199 с. ISBN 5923900033

147. Пономаренко, Г.Н. Нильс Финсен. Первый физиотерапевт — Нобелевский лауреат / Г.Н. Пономаренко – Санкт-Петербург: ВМА, 2003. – 25 с.

148. РД 52.04.562-96 «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Актинометрические наблюдения на станциях» . Вып. 5, часть I. – Москва : Росгидромет, 1997. – 221 с.

149. Руководство по медицине. Диагностика и терапия / под ред. Р. Беркоу, Э. Флетчера. – Москва: Мир, 1997. – Т. 1. – 1045 с.

150. Савельев, О.Л. Метод расчета естественного освещения помещений с учетом неравномерности и динамики распределения яркости в наружном пространстве: автореф. дис. … канд. техн. наук. – Москва, 1988. – 27 с.

151. Савин, В.К. Архитектура и энергоэффективность окна / В.К. Савин, Н.В. Савина // Жилищное строительство. – 2015. – № 10. – С. 47–50.

152. Савин, В.К. Влияние формообразования здания на энергетическую эффективность // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году: сб. науч. тр. РААСН. – Москва, 2021. – Т. 1. – С. 231–236.

153. Савин, В.К. Строительная энергофизика. Энергосбережение. Образ и число. – Москва: [б.и.], 2018. – 478 с.

154. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности

для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573500115#6560IO (дата обращения: 01.07.2024). – (С изменениями на 30 декабря 2022 года).

155. Скобарева, З.А. Биологические аспекты гигиенической оценки естественного и искусственного освещения / З.А. Скобарева, Л.М. Текшева // Светотехника. – 2003. – №4. – С. 7.

156. Соловьёв, А.К. Влияние характеристик светопроёма на энергопотребление офисного здания в климатической зоне с жарким летом и холодной зимой в Китае / А.К. Соловьёв, Сунь Ифэн // Вестник МГСУ. – 2012. – № 9. – С. 31–38.

157. Соловьёв, А.К. Зеркальные фасады: их влияние на освещение противостоящих зданий / А.К. Соловьёв // Светотехника. – 2017. – № 2. – С. 28–31.

158. Соловьёв, А.К. Комфортная световая среда при естественном и совмещённом освещении. Определение её характеристик методом субъективных экспертных оценок / А.К. Соловьёв, С.В. Стецкий, Н.А. Муравьёва // Светотехника. – 2018. – № 3. – С. 32–38.

159. Соловьёв, А.К. Метод расчёта параметров светового климата по световой эффективности солнечного излучения / А.К. Соловьёв, Т.Х.Ф. Нгуен // Светотехника. – 2018. – № 5. – С. 21–24.

160. Соловьёв, А.К. Научные основы повышения энергоэффективности верхнего естественного освещения производственных зданий с применением теории светового поля: дис. … д-ра техн. наук. – Москва, 2011. – 270 с.

161. Соловьёв, А.К. Физика среды, экономия энергии // Функция, конструкция, среда в архитектуре зданий: сб. тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф.: в 2 т. – Москва: НИУ МГСУ, 2019. – Т. 1. – С. 41–42.

162. Соловьев, А.К. Физика среды: учебник. – Москва: АСВ, 2008. – 344 с.

163. СП 131.13330.2020 «Строительная климатология». – Москва : Минстрой России, 2020. – 112 с.

164. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – Москва: ФГУП ЦПП, 2004. – 144 с.

165. СП 345.1325800.2017 с Изм.№1 и Изм№2. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты.– Москва: Минстрой России, 2018. – 51 с.

166. СП 367.1325800.2017 с Изм№2. Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения.– Москва: Минстрой России, 2017. – 130 с.

167. СП 370.1325800.2017 с Изм№2. Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования. – Москва: Минстрой России, 2018. – 61 с.

168. СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – Москва: Минрегион России, 2024. – 96 с.

169. СП 52.13330.2016 с Изм№2. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. – Москва: Минрегион России, 2017. – 135 с.

170. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Москва: Минстрой России, 2020. – 159 с.

171. Спиридонов, А.В. Развитие светопрозрачных конструкций в России / А.В. Спиридонов, И.Л. Шубин // Светотехника. – 2014. – № 3. – С. 46–51.

172. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберг, Г.В. Боос. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: [б.и.], 2019. – 892 с.

173. Стадник, В.В. Сравнение вычисленных и измеренных величин суммарной и рассеянной радиации, поступающей на наклонные поверхности, по данным наблюдений в Метеорологической обсерватории МГУ / В.В. Стадник, Е.В. Горбаренко, О.А. Шиловцева, В.А. Задворных // Труды ГГО. – 2016. – Вып. 581. – С. 138–154.

174. Стецкий, С.В. Расчет естественной освещенности помещений с системой верхнего естественного освещения с учетом светотехнического влияния окружающей застройки / С.В. Стецкий, К.О. Ларионова // Вестник МГСУ. – 2014. – № 12. – С. 20–30.

175. Стецкий, С.В. Создание комфортной световой среды в помещениях с боковым естественным освещением: автореф. дис. … канд. техн. наук. – Москва, 1979. – 21 с.

176. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – Москва: [б.и.], 2002. – 194 с.

177. Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – Москва: [б.и.], 1977. – 736 с.

178. Умнякова, Н.П. Климатические параметры для новых территорий России в Своде правил по строительной климатологии / Н.П. Умнякова, М.В. Клюева, В.А. Смирнов, Д.А. Ким // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – №7. – С. 56–63.

179. Умнякова, Н.П. Обеспечение энергосбережения при строительстве и реконструкции многофункциональных зданий (МФЗ) и комплексов (МФК) в Москве / Н.П. Умнякова, И.Н. Бутовский, Е.В. Веселовацкая, А.А. Верховский // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2023. – №6(1066). – С. 16–19.

180. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

181. Фокин, С.Г. Обоснование гигиенических требований к световому режиму помещений жилых и общественных зданий в условиях крупного города: автореф. дис. … канд. мед. наук / С.Г. Фокин. – Москва: МГМА, 2003. – 24 с.

182. Фокин, С.Г. Оценка гигиенических принципов нормирования инсоляции в условиях крупного города на примере Москвы / С.Г. Фокин, Т.Е. Бобкова, М.С. Шишова // Гигиена и санитария. – 2003. – № 2. – С. 9–10.

183. Фыонг, Н.Т.Х. Оценка естественного освещения зданий с учетом солнцезащитных конструкций при реальных состояниях облачности / Н.Т.Х. Фыонг, А.К. Соловьёв // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – № 2. – С. 180–200.

184. Чжибо, Ч. Исследование теплопоступлений и теплопотерь через низкоэмиссионное остекление в городах Китая / Ч. Чжибо, Е.В. Коркина, С. Чэн, М.Д. Тюленев // Жилищное строительство. – 2021. – №4. – С. 39–46. DOI: https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-4-39-46.

185. Шеина, С.Г. Применение ветровой энергетики в жилищном строительстве Китая / С.Г. Шеина, У Шисяо, А.А. Федоровская, Н.П. Умнякова // Жилищное строительство. – 2023. – №7. – С. 52–57.

186. Шеина, С.Г. Энергоустойчивость в жизненном цикле зданий в регионах Ирака / С.Г. Шеина, Н.П. Умнякова, Л.В. Гиря, Мухсен М.Д.М. // Жилищное строительство. – 2022. – №10. – С. 50–56.

187. Шкловер, А.М. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий / А.М. Шкловер, Б.Ф. Васильев, Ф.В. Ушков. – Москва: Госстройиздат, 1956. – 350 с.

188. Шмаров, И.А. Влияние светопропускания энергосберегающих оконных блоков на соблюдение гигиенических требований / И.А. Шмаров, В.А. Земцов, В.Г. Гагарин, Е.В. Коркина // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2016. – №4(364). – С. 176–181 (В Scopus: 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).

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

190. 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.

191. 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.

192. 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.

193. 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.

194. 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.

195. 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.

196. Щепетков, Н.И. О некоторых недостатках норм и методик инсоляции и естественного освещения / Н.И. Щепетков // Светотехника. – 2006. – № 1. – С. 55–56.

197. Щепетков, Н.И. Физика света в архитектуре будущего среды / Н.И. Щепетков // Архитектура и современные информационные технологии. 2021. № 1 (54). С. 248-261.

198. Щепетков, Н.И. Энергоэффективный подход к освещению помещений и городской среды / Н.И. Щепетков // Энергосбережение. 2016. № 3. С. 20-27.

199. Юрьев, И.О. Математическая модель теплового режима производственного здания для автоматизированной системы управления теплоснабжением: дис. … канд. техн. наук / И.О. Юрьев. – Москва: НИИСФ, 1989. – 128 с.

200. Abakumova, G.M. Fifty years of actinometrical measurements in Moscow / G.M. Abakumova, E.V. Gorbarenko, E.I. Nezval, O.A. Shilovtseva // International Journal of Remote Sensing. – 2008. – Vol. 29. – No. 9. – P. 2629–2665.

201. Agugiaro, G. Solar radiation estimation on building roofs and web-based solar cadaster / G. Agugiaro, F. Nex, F. Remondino, R. De Filippi, S. Droghetti, C. Furlanello // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2012. – Vol. I-2. – P. 177–182. DOI: https://doi.org/10.5194/isprsannals-I-2-177-2012.

202. Alchapar, N.L. Optothermal properties of façade coatings. Effects of environmental exposure over solar reflective index / N.L. Alchapar, E.N. Correa // Journal of Building Engineering. – 2020. – Vol. 32. – P. 101-536.

203. Arens, E. Sunlight and indoor thermal comfort: updates to standard 55 / E. Arens, D. Heinzerling, G. Paliaga // ASHRAE Journal. – 2018. – Vol. 60. – No. 7. – P. 12–21.

204. Bennett, J. Natural daylight illumination, its relation to isolation / J. Bennett // Illumination Engineering. – 1962. – Vol. 57. – P. 145–149.

205. Black, J.N. Solar radiation and duration sunshine / J.N. Black, C.W. Bonithon, J.A. Prescott // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 1954. – Vol. 80. – P. 231–235.

206. Boubekri, M. Impact of window size and sunlight penetration on office workers' mood and satisfaction / M. Boubekri, R.B. Hull, L.L. Boyer // Environment and Behavior. – 1991. – Vol. 23. – No. 4. – P. 474–493.

207. BR 443:2019. Conventions for U-value calculations.

208. Brainard, G.C. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor / G.C. Brainard, J.P. Hanifin, J.M. Greeson, B. Byrne, G. Glickman, E. Gerner, M.D. Rollag // The Journal of Neuroscience. – 2001. – Vol.21(16). – P.6405–6412.

209. BS 8206-2:2008. Lighting for Buildings – Part 2: Code of Practice for Daylighting. – London: BSI, 2008.

210. Budak, V.P. A physical model of the firmament to calculate daylight / V.P. Budak, P.A. Smirnov // Light & Engineering. – 2013. – Vol. 21. – No. 3. – P. 17–23.

211. CAN/CSA A440.2. Fenestration energy performance.

212. Carmody, J. Measure Guideline: Energy-Efficient Window Performance and Selection Northern STAR. Energy Efficiency & Renewable Energy / J. Carmody, K. Haglund. – Minnesota: University of Minnesota, 2012. – 79 p.

213. Carmody, J. Residential Windows. A Guide to New Technologies and Energy Performance / J. Carmody, S. Selkowitz, L. Heschong. – New York; London: [б.и.], 1996. – 214 p.

214. Carvalho, M.J. Incidence Angle Modifiers: A General Approach for Energy Calculations / M.J. Carvalho, P. Horta, J.F. Mendes, M. Collares-Perreira // Proceedings of ISES World Congress 2007. – 2009. – P. 608–612. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-75997-3_112.

215. Cheng, Sun. Many-Objective Optimization Design of a Public Building for Energy, Daylighting and Cost Performance Improvement / S. Cheng, L. Qianqian, H. Yunsong // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10. – No. 7. – P. 2435. DOI: https://doi.org/10.3390/app10072435.

216. Cheong, K.H. A simulation-aided approach in improving thermal-visual comfort and power efficiency in buildings / K.H. Cheong, Y.H. Teo, J.M. Koh, U.R. Acharya, S.C. Man Yu // Journal of Building Engineering. – 2020. – Vol. 27. – P. 100936.

217. CIE DS 011.1/E-2001. Spatial distribution of daylight - CIE standard general sky. – Vienna: CIE Central Bureau, 2001.

218. Collingro, C. Influence of window on the communication with the external environment in a room with PSALI / C. Collingro, G. Roessler // Proceedings of CIE Study Group A Symposium. – Варна, Болгария, 1–2 октября 1972 г. – С. 92–95.

219. Comment of DIN EN 14351-1. Product standard, performance characteristics. – Rosenheim: IFTR, 2008.

220. Darula, S. Sunlight and skylight availability / S. Darula, R. Kittler // Advances in Energy Research. – 2011. – Vol. 1. – № 4. – P. 133–182.

221. DIN 5034-1. Tageslicht in Innenraumen. – Berlin: Deutsches Institut fur Normung e.V., 1999.

222. DIN EN 13363-1:2007. Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren.

223. Du, T. Effect of space layouts on the energy performance of office buildings in three climates / T. Du, S. Jansen, M. Turrin, A. Dobbelsteen // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 39. – P. 102198. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102198.

224. ECE/HBP/81. Compendium of model provisions for building regulations. – New York: United Nations, 1992. – 105 p.

225. El Diasty, R. Variable positioning of the sun using time duration / R. El Diasty // Renewable Energy. – 1998. – Vol. 14. – No. 1–4. – P. 185–191.

226. EN 17037:2018. Daylight in Buildings, 2018.

227. EN 410:2011. Glass in building – Determination of luminous and solar characteristics of glazing.

228. EN 673:2011. Glass in building – Determination of thermal transmittance (U value) – Calculation method.

229. EN ISO 52016-1:2017(E). Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 1: Calculation procedures. – 2017. – 178 p.

230. Esquivias, P.M. Solar radiation entering through openings: Coupled assessment of luminous and thermal aspects / P.M. Esquivias, D. Moreno, J. Navarro // Energy and Buildings. – 2018. – Vol. 175. – P. 208–218. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.07.021.

231. Fang, Y. Design optimization of building geometry and fenestration for daylighting and energy performance / Y. Fang, S. Cho // Solar Energy. – 2019. – Vol. 191. – P. 7–18.

232. Faye, I. Influence of the Incidence Angle Modifier and Radiation as a Function of the Module Performance for Monocrystalline Textured Glass and No Textured in Outdoor Exposed / I. Faye, A. Ndiaye, E. Mamadou. – 2021. DOI: https://doi.org/10.5772/intechopen.96160.

233. Fontoynont, M. Perceived performance of daylighting systems: lighting efficacy and agreeableness / M. Fontoynont // Solar Energy. – 2002. – Vol. 73. – No. 2. – P. 83–94.

234. Gagarin, V.G. Determination of possible increase of R-value of enclosing structures based on the payback conditions / V.G. Gagarin, A.Y. Neklyudov, Z. Zhou // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 146. – P. 100–102.

235. Gagarin, V.G. Improving the accuracy of the calculation of thermal capacity of heating systems when designing the buildings with high energy efficiency / V.G. Gagarin, A.Y. Neklyudov // International journal for housing science and its applications. – 2015. – Vol. 39. – No. 2. – P. 79–87.

236. Gagarin, V.G. Thermal Performance as the Main Factor of Energy Saving of Buildings in Russia / V.G. Gagarin // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 146. – P. 112–119. DOI: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.360.

237. Gillette, G. The issue of sky conditions / G. Gillette [и др.] // Lighting Design & Application. – 1985. – March. – P. 22–27.

238. Goswami, D. Yogi. Principles of solar engineering, 3rd edition / D. Yogi Goswami. – Boca Raton: CRC Press, 2015. – 772 p. ISBN 978-1-4665-6379-7.

239. Hanam, B. Energy performance of windows: navigating North American and European window standards / B. Hanam, A. Jaugelis, G. Finch // 14th Canadian Conference on Building Science and Technology. – Торонто, 2014. – P. 1–10.

240. Hay, J. Calculation of the solar radiation incident on inclined surface / J. Hay, J. Davies // Proceedings First Canadian Solar Radiation Data Workshop. – 1980. – P. 59–72.

241. Heinemann, D. Energy meteorology. Lecture notes postgraduate programme «Renewable energy» / D. Heinemann. – Oldenburg: [б.и.], 2000. – 102 p.

242. Hopkinson, R.G. The permanent supplementary artificial lighting of interiors / R.G. Hopkinson, J.J. Longioore // Transactions of Illuminating Engineering Society (London). – 1959. – Vol. 24. – No. 3. – P. 121–148.

243. https://md.mos.ru/1.%20Тарифы%20ЖКХ%202022.pdf [23.04.2023]

244. IES Daylight Metrics Committee. IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). – Illuminating Engineering Society of North America, 2012. – Approved Method IES LM-83-12.

245. Igawa, N. Sky luminance distribution model for all sky conditions / N. Igawa, H. Nakamura, K. Matsuura // Proc. CIE Session. – Варшава, 1999. – Т. 1. – Ч. 2. – С. 26–28.

246. Islahi, A. Hottel's Clear Day Model for a typical arid city — Jeddah / A. Islahi, S. Shakil, M. Hamed // International Journal of Engineering Science Invention. – 2015. – Vol. 4. – Iss. 6. – P. 32–37.

247. ISO 10077-1:2017. Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 1: General.

248. ISO 10077-2:2017. Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames.

249. ISO 10292:1994. Glass in building – Calculation of steady-state U values (thermal transmittance) of multiple glazing.

250. ISO 15099:2003. Thermal performance of windows, doors and shading devices – Detailed calculations.

251. ISO 9050:2003. Glass in building — Determination of light transmittance, solar energy transmittance and ultraviolet transmittance, and related glazing factors.

252. ISO/FDIS 52010-1:2016. Energy performance of buildings — External climatic conditions — Part 1: Conversion of climatic data for energy calculations. – 2016. – 46 p.

253. ISO/FDIS 52022-1:2016. Energy performance of buildings — Thermal, solar and daylight properties of building components and elements — Part 1: Simplified calculation method of the solar and daylight characteristics for solar protection devices combined with glazing. – 2016. – 24 p.

254. ISO/FDIS 52022-3:2016. Energy performance of buildings — Thermal, solar and daylight properties of building components and elements — Part 3: Detailed calculation method of the solar and daylight characteristics for solar protection devices combined with glazing. – 2016. – 36 p.

255. Ivanova, S.M. Estimation of background diffuse irradiance on orthogonal surfaces under partially obstructed anisotropic sky. Part 1 — Vertical surfaces / S.M. Ivanova // Solar Energy. – 2013. – Vol. 95. – P. 376–391. DOI: 10.1016/j.solener.2013.01.021.

256. Ivanova, S.M. Estimation of background diffuse irradiance on orthogonal surfaces under partially obstructed anisotropic sky. Part II — Horizontal surfaces / S.M. Ivanova // Solar Energy. – 2014. – Vol. 100. – P. 234–250. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.12.010.

257. Ivanova, S.M. Estimation of solar radiation for buildings with complex architectural layouts // International Conference Solaris. – Чехия, 2011. – С. 104–109.

258. JGJ 26-2010 Design standard for energy efficiency of residential buildings in severe cold and cold zones. — Beijing : China Architecture & Building Press, 2010. — 129 p.

259. Källblad, K. A method to estimate the shading of solar radiation theory and implementation in a computer program. – Лунд, Швеция: Lund University, 2012. – 7 p.

260. Karlsson, J. A simple model for assessing the energy performance of windows / J. Karlsson, B. Karlsson, A. Roos // Energy and Buildings. – 2001. – Vol. 33. – P. 641–651.

261. Karlsson, J. Evaluation of window energy rating models for different houses and European climates / J. Karlsson, A. Roos // Solar Energy. – 2004. – Vol. 76. – No. 1–3. – P. 71–77. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.08.016.

262. Karlsson, J. WinSel — a general window selection and energy-rating tool // Proceedings of World Renewable Energy Congress. – Брайтон, 2000.

263. Keller, B. A universally valid strategy for low energy houses / B. Keller, E. Magyari, T. Yuan, S. Bodenfeld // Proceedings of World Renewable Energy Congress VI. – Брайтон, 2000. – Vol. 1. – P. 377–382.

264. Kerekes, A. Effect of wall thickness on the solar gain // Journal of Sustainable Energy. – 2016. – Vol. 7. – No. 1. – P. 15–21.

265. Khosla, S. Energy Efficient Buildings / S. Khosla, S.K. Singh // International Journal of Civil Engineering Research. – 2014. – Vol. 5. – No. 4. – P. 361–366.

266. Kimball, H.H. Daylight illumination on horizontal, vertical and sloping surfaces / H.H. Kimball, J.F. Hand // Monthly Weather Review. – 1922. – Vol. 50. – № 12. – P. 615–623.

267. Kimball, H.H. Sky brightness and daylight illumination measurement / H.H. Kimball, J.F. Hand // Monthly Weather Review. – 1921. – Vol. 48. – № 9. – P. 481–492.

268. Kittler, R. A new generation of sky standards / R. Kittler, S. Darula, R. Perez // Proc. LuxEuropa Conference. – Амстердам, 1997. – С. 359–373.

269. Kittler, R. A set of standard skies. Characterizing daylight conditions for computer and energy conscious design / R. Kittler, R. Perez, S. Darula. – 1998. – 55 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.4798.7048.

270. Kittler, R. Luminance distribution characteristics of homogeneous skies: a measurement and prediction strategy / R. Kittler // Lighting Research and Technology. – 1985. – Vol. 17. – № 4. – P. 183–188.

271. Kittler, R. Luminance distribution on cloudless sky after measurement and theoretical relations / R. Kittler // Meteorologicke zpravy. – 1962. – № 2. – С. 34.

272. Kittler, R. Luminance models of homogeneous skies for design and energy performance predictions / R. Kittler // Proc. International Daylighting Conference. – Лонг-Бич, США, 1986. – С. 18–22.

273. Kittler, R. Standardisation of the outdoor conditions for the calculation of the Daylight Factor with clear skies / R. Kittler // Proc. Sunlight in Buildings. – Роттердам, 1967. – С. 273–286.

274. Klucher, T. Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces / T. Klucher // Solar Energy. – 1979. – Vol. 23. – P. 111–114.

275. Kocifaj, M. CIE standard sky model with reduced number of scaling parameters / M. Kocifaj // Solar Energy. – 2011. – Vol. 85. – № 3. – P. 553–559.

276. Kontoleon, K.J. Dynamic Thermal Circuit Modeling with Distribution of Internal Solar Radiation on Varying Façade Orientations / K.J. Kontoleon // Energy and Buildings. – 2012. – Vol. 47. – No. 4. – P. 139–150.

277. Kontoleon, K.J. Energy Saving Assessment in Buildings with Varying Façade Orientations and Types of Glazing Systems when Exposed to Sun / K.J. Kontoleon // International Journal of Performability Engineering. – 2013. – Vol. 9. – No. 1. – P. 33–48.

278. 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.

279. 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.

280. 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.

281. Kotey, N.A. Solar Gain through Windows with Shading Devices: Simulation Versus Measurement / N.A. Kotey, C.S. Barnaby, J.L. Wright, M.R. Collins // ASHRAE Research Project RP-1311. – 2009. – Vol. 115. – Pt. 2. – P. 18–30.

282. Lan, Pan. Orientation effect on thermal and energy performance of vertical greenery systems // Energy and Buildings. – 2018. – Vol. 175. – P. 102–112.

283. Lee, K. Estimation of surface solar irradiation using sky view factor, sunshine factor and solar irradiation models according to geometry and buildings / K. Lee, G. Levermore // 4th International Conference on Building Energy and Environment. – 2018. – P. 329–332.

284. Leskovar, V.Z. Influence of glazing size on energy efficiency of timber-frame buildings / V.Z. Leskovar, M. Premrov // Construction and Building Materials. – 2012. – No. 30. – P. 92–99.

285. Levinson, R. Design, characterization, and fabrication of solar-retroreflective cool-wall materials / R. Levinson, S. Chen, J. Slack, H. Goudey, T. Harima, P. Berdahl // Solar Energy: Materials and Solar Cells. – 2020. – Vol. 206. – P. 110-117.

286. Levinson, R. Using solar availability factors to adjust cool-wall energy savings for shading and reflection by neighboring buildings / R. Levinson // Solar Energy. – 2019. – Vol. 180. – P. 717–734. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.023.

287. Littlefair, P. Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment / P. Littlefair // Solar Energy. – 2001. – Vol. 70. – No. 3. – P. 177–185.

288. Maltais, L.-G. Daylighting ‘energy and comfort’ performance in office buildings: Sensitivity analysis, metamodel and pareto front / L.-G. Maltais, L.

Gosselin // Journal of Building Engineering. – 2017. – Vol. 14. – P. 61–72. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.09.012.

289. Mardajevic, J. A proposal for a European standard for daylight in buildings / J. Mardajevic, P. Raynham // Lux Europa 2013: 12th European Lighting Conference. – Краков, Польша, 2013.

290. Mardaljevic, J. A roadmap for upgrading national/EU standards for daylight in buildings / J. Mardaljevic, J. Christoffersen // Proceedings of the CIE Centenary Conference. – Париж, 2013.

291. Mardaljevic, J. Climate connectivity in the daylight factor basis of building standards / J. Mardaljevic, J. Christoffersen // Building and Environment. – 2017. – Vol. 113. – P. 200–209. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.009

292. Mardaljevic, J. Daylight simulation validation, sky models and daylight coefficients / J. Mardaljevic, P. Raynham. – 1999. – 330 p.

293. Mardaljevic, J. Examples of climate-based daylight modelling // CIBSE National Conference 2006. – London, 2006. – Paper No. 67.

294. Marion, W. Solar Radiation Data Manual for Buildings / W. Marion, S. Wilcox. – Golden: National Renewable Energy Laboratory, 1995. – 262 p.

295. Miyazaki, T. Energy savings of office buildings by the use of semi-transparent solar cells for windows / T. Miyazaki, A. Akisawa, T. Kashiwagi // Renewable Energy. – 2005. – Vol. 30. – № 3. – P. 281–304.

296. Moon, P. Illumination from non-uniform sky / P. Moon, D.E. Spencer // Illuminating Engineering. – 1942. – № 37. – P. 707–726.

297. Mueller, R. A New Algorithm for the Satellite-Based Retrieval of Solar Surface Irradiance in Spectral Bands / R. Mueller, T. Behrendt, A. Hammer, A. Kemper // Remote Sensing of Environment. – 2012. – Vol. 4. – P. 622–647. DOI: https://doi.org/10.3390/rs4030622.

298. Muscio, A. An index for the overall performance of opaque building elements subjected to solar radiation / A. Muscio, H. Akbari // Energy and Buildings. – 2017. – Vol. 157. – P. 184–194. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.010.

299. Nabil, A. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors / A. Nabil, J. Mardaljevic // Energy and Buildings. – 2005. – Vol. 38. – No. 7. – P. 905–913.

300. Ne'eman, E. Critical minimum acceptable window size: a study of window design and provision of a view / E. Ne'eman, R.G. Hopkinson // Lighting Research and Technology. – 1970. – Vol. 2. – № 1. – P. 17–27.

301. Ne'eman, E. The design of windows in relation to outside view, interior form, sunshine and activity / E. Ne'eman, R.G. Hopkinson // BRE Conference on "Perception of the External World". – 1974. – P. 35–42.

302. 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.

303. Nguyen, T.K.-P. Luminance distributions in the tropical sky conditions // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – Vol. 84. – No. 8. – P. 192–204. DOI: https://doi.org/10.18720/MCE.84.18.

304. O'Brien, W. The use of solar design days in a passive solar house conceptual design tool / W. O'Brien, T. Kesik, A. Athienitis // 3rd Canadian Solar Buildings Conference. – Фредериктон, Канада, 20–22 августа 2008 г. – С. 1–13.

305. Passive Solar Design for the Home. Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse. – DOE/GO-102001-1105 FS121. – 2001. – 8 p.

306. Perez, R. All weather model for sky luminance distribution – preliminary configuration and validation / R. Perez, R. Seals, J. Michalsky // Solar Energy. – 1993. – Vol. 50. – № 3. – P. 235–245.

307. Pernigotto, G. Impact of solar irradiation models on simulated hourly energy performance of buildings / G. Pernigotto, A. Prada, P. Baggio, A. Gasparella, A. Mahdavi // Proceedings of BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association. – Хайдарабад, Индия, 7–9 декабря 2015 г. – С. 955–962.

308. Petherbridge, P. The brightness distribution of the overcast sky when the ground is snow-covered / P. Petherbridge // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 1955. – Vol. 81. – № 349. – P. 466–477.

309. Pleijel, G. Daylight Investigation Description of Test Set-Up and Results of Selected Test Series. – Stockholm: Bonnier, 1949. – 67 p.

310. Prada, A. Effect of solar radiation model on the predicted energy performance of buildings / A. Prada, G. Pernigotto, P. Baggio // International High Performance Buildings Conference. – 2014. – Paper 130. [Электронный ресурс]. URL: http://docs.lib.purdue.edu/ihpbc/130 (дата обращения: 01.07.2024).

311. Premrov, M. Influence of the building shape on the energy performance of timber-glass buildings in different climatic conditions / M. Premrov // Energy. – 2015. – P. 1–11. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.027.

312. Procedure for Determining Fenestration Product Solar Heat Gain Coefficient and Visible Transmittance at Normal Incidence. – National Fenestration Rating Council (NFRC), 2020.

313. Procedure for Determining Fenestration Product U-factors. – National Fenestration Rating Council (NFRC), 2020.

314. Rahman, S.S. Effect of angle of incidence on the performance of bulk heterojunction organic solar cells: A unified optoelectronic analytical framework / S.S. Rahman, K. Alam // AIP Advances. – 2017. – Vol. 7. – P. 065101. DOI: https://doi.org/10.1063/1.4985049.

315. Reber, G. Angular dependent solar gain for insulating glasses from experimental optical and thermal data / G. Reber, R. Steiner, P. Oelhafen, A. Romanyuk // CISBAT 2005. – Лозанна, 2005. – P. 173–178.

316. Reinhart, C.F. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design / C.F. Reinhart, J. Mardaljevic, Z. Rogers // Leukos. – 2006. – Vol. 3. – No. 1. – P. 7–31.

317. Reinhart, C.F. Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds / C.F. Reinhart, O. Walkenhorst // Energy & Buildings. – 2001. – Vol. 33. – № 7. – P. 683–697.

318. Roos, A. Angular dependent optical properties of low-e and solar control windows — simulations versus measurements / A. Roos, P. Nijnatten, M.G. Hutchins [и др.] // Solar Energy. – 2001. – Vol. 69. – Suppl. – P. 15–26.

319. Schittich, C. Glass Construction Manual / C. Schittich, G. Staib, D. Balkow [и др.]. – Basel: Birkhäuser, 1999. – 326 p.

320. Schlangen, L.J. The Lighting environment, its metrology, and non-visual responses / L.J. Schlangen, L.L. Price // Frontiers in Neurology. – 2021. – Vol. 12. – P. 235.

321. Shaik, S. Building glass retrofitting strategies in hot and dry climates: Cost savings on cooling, diurnal lighting, color rendering, and payback timeframes / S. Shaik, V.R. Maduru, K. Kontoleon, M. Arıcı // Energy. – 2022. – Vol. 243. – P. 123106. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123106.

322. Solovyov, A.K. Modern approaches to normalizing natural lighting of residential buildings // Research Results Light & Engineering. – 2020. – Vol. 28. – No. 5. – P. 53–60.

323. Subramaniam, S. A more accurate approach for calculating illuminance with daylight coefficients / S. Subramaniam, R. Mistrick // The IES Annual Conference. – 2017. – 19 p.

324. Takebayashi, H. Analysis of Solar Radiation Shading Effects by Trees in the Open Space around Buildings / H. Takebayashi, M. Kasahara, Sh. Tanabe, M. Kouyama // Sustainability. – 2017. – Vol. 9. – Iss. 8. – P. 1398. DOI: https://doi.org/10.3390/su9081398.

325. Touloupaki, E. Optimization of building form to minimize energy consumption through parametric modelling / E. Touloupaki, T. Theodosiou // Procedia Environmental Sciences. – 2017. – Vol. 38. – P. 509–514.

326. Tregenza, P.R. Daylight coefficients / P.R. Tregenza, I.M. Waters // Lighting Research and Technology. – 1983. – Vol. 15. – № 2. – P. 65–71. DOI: 10.1177/096032718301500201.

327. Tregenza, P.R. Measured and calculated frequency distributions of daylight illuminance // Lighting Research & Technology. – 1986. – Vol. 18. – No. 2. – P. 71–74.

328. Tregenza, P.R. Subdivision of the sky hemisphere for luminance measurements / P.R. Tregenza // Lighting Research and Technology. – 1987. – Vol. 19. – № 1. – P. 13–14.

329. Vanaga, R. Heat transfer analysis by use of lense integrated in building wall / R. Vanaga, R. Purvins, A. Blumberga, I. Veidenbergs, D. Blumberga // Energy Procedia. – 2017. – Vol. 128. – P. 453–460. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.030.

330. Vlachokostas, A. Quantification of energy savings from dynamic solar radiation regulation strategies in office buildings / A. Vlachokostas, N. Madamopoulos // Energy and Buildings. – 2016. – Vol. 122. – P. 140–149. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.022.

331. 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.

332. Yunsong, H. Simulation-Based Multiobjective Optimization of Timber-Glass Residential Buildings in Severe Cold Regions / H. Yunsong, Yu Hong, S. Cheng // Sustainability. – 2017. – Vol. 9. – P. 2353. DOI: https://doi.org/10.3390/su9122353.

333. 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.

334. Zemtsov, V.A. Luminance parameters of the standard CIE sky within natural room illumination calculations and their application under various light climate conditions in Russia / V.A. Zemtsov, A.K. Solovyov, I.A. Shmarov // Light & Engineering. – 2017. – No. 1. – P. 106–111.

335. Zhang, Y. Solar radiation reflective coating material on building envelopes: Heat transfer analysis and cooling energy saving / Y. Zhang, E. Long, Y. Li, P. Li // Energy Exploration & Exploitation. – 2017. – P. 1–19.

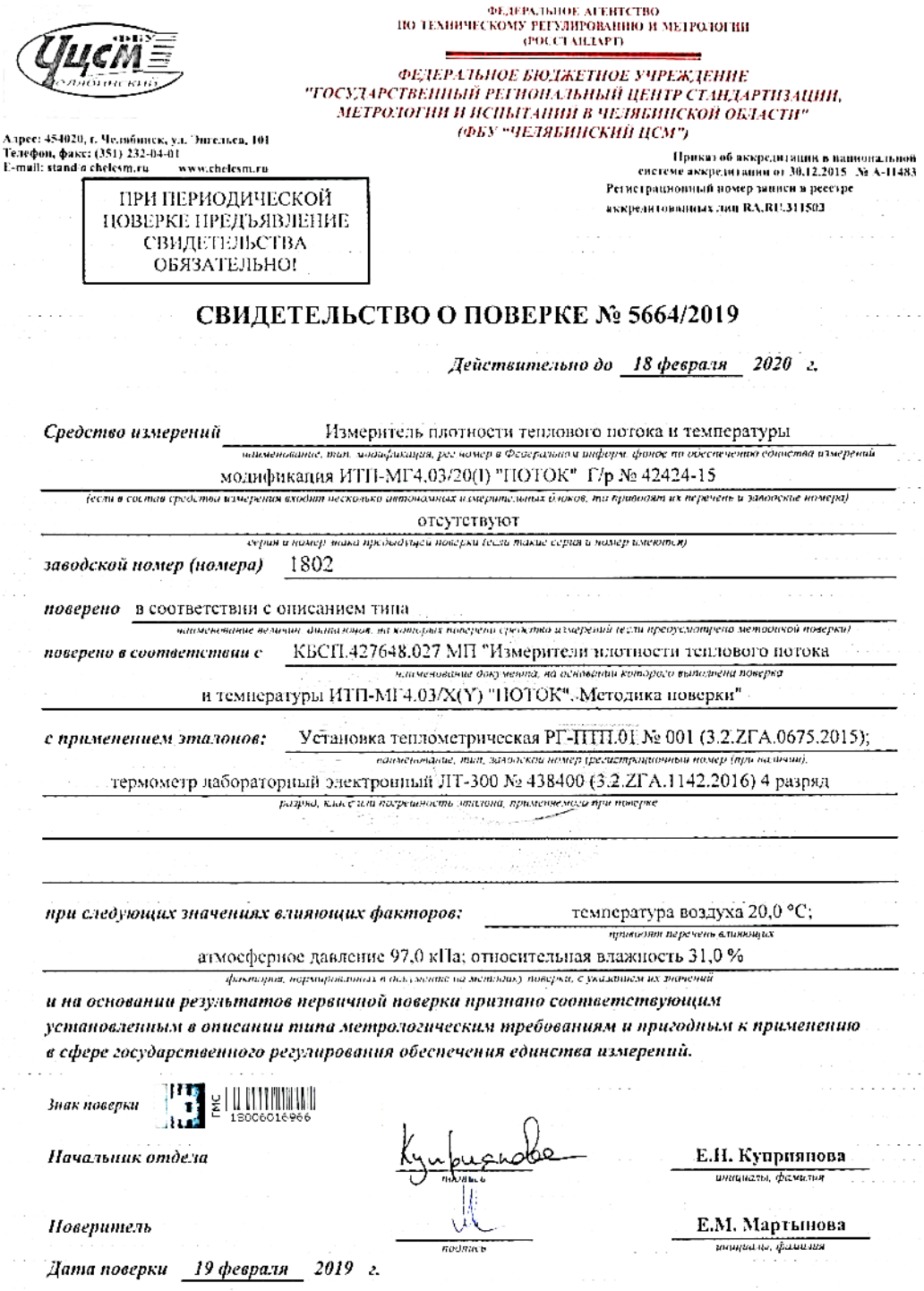
336. Zhu, D. Optical and Thermal Characterization of Energy-Efficient Windows in Anhui District in China / D. Zhu, M. Mageto, S. Zhao, A. Roos // Proceedings of ISES World Congress 2007. – Берлин: Springer, 2009. – P. 608–612. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-75997-3_87.

337. Zi, Y. Sky type classification in Harbin during winter / Y. Zi, C. Sun, Y. Han // Journal of Asian Architecture and Building Engineering. – 2020. – 13 p. DOI: https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1752217.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А – Свидетельства о поверке приборов

А.1 Свидетельство о поверке прибора для измерения температуры нагрева исследуемой стены



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
(РОССТАНДАРТ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
"ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ"
(ФБУ "ЧЕЛЯБИНСКИЙ ЦСМ")

Адрес: 454020, г. Челябинск, ул. Энгельса, 101
Телефон, факс: (351) 232-04-01
E-mail: stand@chelcsm.ru www.chelcsm.ru

Приказ об аккредитации в национальной системе аккредитации от 30.12.2015 № А-11483
Регистрационный номер записи в реестре аккредитованных лиц RA.RU.311503

ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОВЕРКЕ ПРЕДЪЯВЛЕНИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ОБЯЗАТЕЛЬНО!

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ № 5664/2019

Действительно до 18 февраля 2020 г.

Средство измерений Измеритель плотности теплового потока и температуры
наименование, тип, модификация, рег.номер в Федеральном информ. фонде по обеспечению единства измерений
модификация ИТП-МГ4.03/20(I) "ПОТОК" Г/р № 42424-15
(если в состав средства измерения входит несколько автономных измерительных блоков, то приводят их перечень и заводские номера)
отсутствуют
серия и номер знака предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)
заводской номер (номера) 1802
поверено в соответствии с описанием типа
наименование величин, диапазонов, на которых поверено средство измерений (если предусмотрено методикой поверки)
поверено в соответствии с КБСП.427648.027 МП "Измерители плотности теплового потока
наименование документа, на основании которого выполнена поверка
и температуры ИТП-МГ4.03/Х(Y) "ПОТОК". Методика поверки"
с применением эталонов: Установка теплометрическая РГ-ПТП.01 № 001 (3.2.ZГА.0675.2015);
наименование, тип, заводской номер (регистрационный номер (при наличии),
термометр лабораторный электронный ЛТ-300 № 438400 (3.2.ZГА.1142.2016) 4 разряд
разряд, класс или погрешность эталона, применяемого при поверке
при следующих значениях влияющих факторов: температура воздуха 20,0 °С;
приводят перечень влияющих
атмосферное давление 97,0 кПа; относительная влажность 31,0 %
факторов, нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений
и на основании результатов первичной поверки признано соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений.

Знак поверки ГМС 18006016966

Начальник отдела *подпись* Е.Н. Куприянова *инициалы, фамилия*

Поверитель *подпись* Е.М. Мартынова *инициалы, фамилия*

Дата поверки 19 февраля 2019 г.

Рисунок А.1 – Свидетельство о поверке прибора для измерения температуры

А.2 Свидетельства о поверке оборудования для измерения солнечной радиации

В Метеорологической обсерватории кафедры метеорологии и климатологии географического факультета Московского Государственного университета им. М.В. Ломоносова (МО МГУ) (www.momsu.ru) с 1954 года ведутся непрерывные актинометрические наблюдения. В настоящее время МО МГУ располагает уникальным, единственным в России, комплексом непрерывных актинометрических наблюдений в условиях большого города. Она является единственной станцией в Москве, где систематически проводятся измерения солнечной радиации в различных участках спектра.

Однородность рядов актинометрических данных обеспечивается использованием однотипных приборов, а также одинаковыми методиками поверки приборов, измерений и обработки данных, проводимых строго по наставлению гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям, согласно РД 52.04.562-96 [148]. Данные передаются в Главную Геофизическую Обсерваторию им. А.И. Воейкова (ГГО) для включения в национальный режимно-справочный банк данных «Актинометрия»; в Мировой центр радиационных данных (МЦРД) (http://wrdc.mgo.rssi.ru), где проходят дополнительную проверку; публикуются в ежеквартальном бюллетене «Солнечная радиация и радиационный баланс (мировая сеть)».

Все наблюдения и измерения производятся в строгом соответствии с принятыми международными и отечественными нормами, установленными ВМО и Росгидрометом. Обсерватория имеет бессрочную лицензию 1692202 Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей Среды (регистрационный номер Р/2016/3024/100/Л, рисунок А.2) на проведение гидрометеорологических наблюдений. Свидетельства о поверке приборов – рисунок А.3.



МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ЛИЦЕНЗИЯ

№ Р / 2016 / 3024 / 100 / Л

от « 14 » марта 2016 г.

На осуществление

«Деятельность в области гидрометеорологии и в смежных с ней областях (за исключением указанной деятельности, осуществляемой в ходе инженерных изысканий, выполняемых для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства)», включающая в себя:

а) определение метеорологических, климатологических и гелиогеофизических характеристик окружающей среды;

в) подготовку и предоставление потребителям аналитической и расчетной информации о состоянии окружающей среды;

г) формирование и ведение банков данных в области гидрометеорологии и смежных с ней областях.

Настоящая лицензия предоставлена

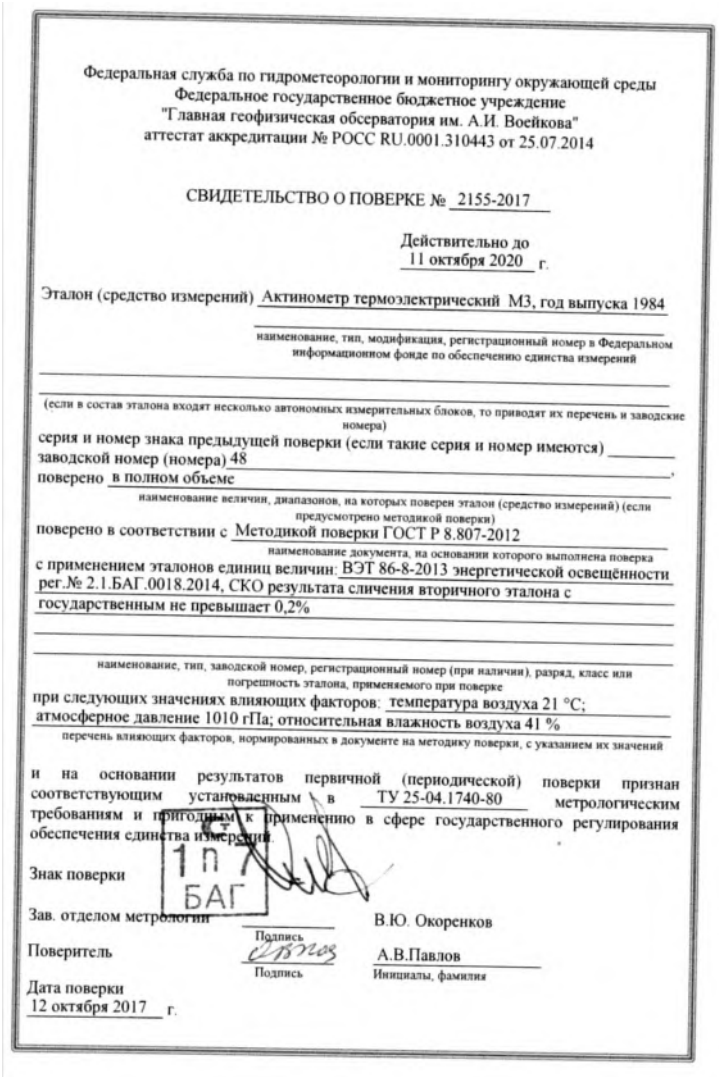
федеральному государственному бюджетному образовательному учреждению высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, МГУ имени М.В. Ломоносова, Московский университет или МГУ)

Основной государственный регистрационный номер юридического лица (индивидуального предпринимателя) (ОГРН) 1037700258694

Идентификационный номер налогоплательщика ИНН 7729082090

1692202 *

Рисунок А.2 – Лицензия МО МГУ



Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
Федеральное государственное бюджетное учреждение
"Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова"
аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.310443 от 25.07.2014

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ № 2155-2017

Действительно до
11 октября 2020 г.

Эталон (средство измерений) Актинометр термоэлектрический М3, год выпуска 1984
наименование, тип, модификация, регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений

(если в состав эталона входят несколько автономных измерительных блоков, то приводят их перечень и заводские номера)

серия и номер знака предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются) _____
заводской номер (номера) 48
поверено в полном объеме
наименование величин, диапазонов, на которых поверен эталон (средство измерений) (если предусмотрено методикой поверки)

поверено в соответствии с Методикой поверки ГОСТ Р 8.807-2012
наименование документа, на основании которого выполнена поверка

с применением эталонов единиц величин: ВЭТ 86-8-2013 энергетической освещённости рег.№ 2.1.БАГ.0018.2014, СКО результата сличения вторичного эталона с государственным не превышает 0,2%

наименование, тип, заводской номер, регистрационный номер (при наличии), разряд, класс или погрешность эталона, применяемого при поверке

при следующих значениях влияющих факторов: температура воздуха 21 °С; атмосферное давление 1010 гПа; относительная влажность воздуха 41 %
перечень влияющих факторов, нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений

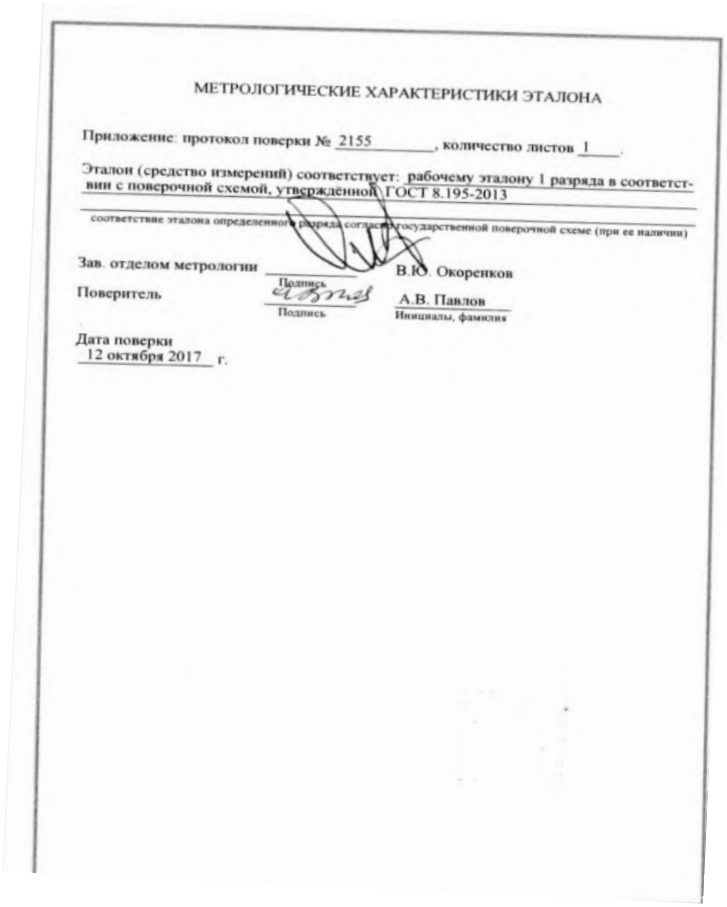
и на основании результатов первичной (периодической) поверки признан соответствующим установленным в ТУ 25-04.1740-80 метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений.

Знак поверки

Зав. отделом метрологии _____ В.Ю. Окоренков
Подпись

Поверитель _____ А.В.Павлов
Подпись Инициалы, фамилия

Дата поверки
12 октября 2017 г.



МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭТАЛОНА

Приложение: протокол поверки № 2155, количество листов 1.

Эталон (средство измерений) соответствует: рабочему эталону 1 разряда в соответствии с поверочной схемой, утвержденной ГОСТ 8.195-2013
соответствие эталона определенного разряда согласно государственной поверочной схеме (при ее наличии)

Зав. отделом метрологии _____ В.Ю. Окоренков
Подпись

Поверитель _____ А.В. Павлов
Подпись Инициалы, фамилия

Дата поверки
12 октября 2017 г.

Рисунок А.3 – Свидетельство о поверке

А.3 Свидетельства о поверке спектрофотометров СФ-256 УВИ и СФ-256 БИК



Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии

РОСАККРЕДИТАЦИЯ

Федеральное бюджетное учреждение
«Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области»
(ФБУ «Тест-С.-Петербург»)

ОСНОВАН В 1900 г.

Регистрационный номер аттестата аккредитации RA.RU.311483 от 29.12.2015

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ
№ 0117788

Действительно до "25" июня 2020 г.

Средство измерений *Спектрофотометр СФ-256 УВИ,*
наименование, тип, модификация средства измерений, регистрационный номер
№ 21559-01
в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений, присвоенный при утверждении типа

заводской (серийный) номер *ХТ0007*

в составе —

номер знака предыдущей поверки —

поверено *в полном объеме*
наименование единиц величин, диапазонов измерений, на которых поверено средство измерений

в соответствии с *Методика поверки раздел 3 РЭ " Спектрофотометр СФ-256УВИ"*
наименование или обозначение документа, на основании которого выполнена поверка
Ю-30.67.101 РЭ

с применением эталонов: *ГРЭ единицы спектральных коэффициентов пропускания в*
регистрационный номер и (или) наименование, тип, заводской номер,
диапазоне значений от 2,3 до 93%, в диапазоне длин волн от 220 до 2500нм. Комплект
разряд, класс или погрешность эталонов, применяемых при поверке
свтофильтров КС-105 № ХК0017,рег.№3.1.ZСП.0179.2013,ПГ±0.25.%,±0.5нм

при следующих значениях влияющих факторов: *температура окружающего воздуха*
перечень влияющих факторов,
21 °С, относительная влажность 51 %, атмосферное давление 101,6 кПа
нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений

и на основании результатов ~~первичной~~ (периодической) поверки признано пригодным к применению.

Знак поверки:

Начальник отдела 436		*Бакулин Вадим Юрьевич*
должность руководителя подразделения или другого уполномоченного лица	*подпись*	*фамилия, имя и отчество (при наличии)*
Поверитель		*Баранова Ирина Дмитриевна*
	подпись	*фамилия, имя и отчество (при наличии)*

№ 304783

Дата поверки "26" июня 2019 г.

Рисунок А.4 – Свидетельство о поверке прибора СФ-256 УВИ



ВНИИОФИ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

119361, Москва, ул. Озёрная, 46; Телефон: 8(495) 437 56 33; Факс: 8(495) 437 31 47; E-mail: vniiofi@vniiofi.ru

ФГУП «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ»

РЕГИСТРАЦИОННЫЙ НОМЕР В РЕЕСТРЕ АККРЕДИТОВАННЫХ ЛИЦ № RA.RU. 311485

свидетельство

о поверке

№ 4590/19-О

Действительно до
«10» июля 2020 г.

Средство измерений **Спектрофотометры СФ-256 БИК,**
наименование, тип, модификация средства измерений,

регистрационный №21558-09
регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений, присвоенный при утверждении типа

заводской (серийный) номер **АВ0007**

в составе **-**

номер знака предыдущей поверки **18000234275**

поверено **в полном объеме**
наименование единицы величин, диапазонов измерений, на которых поверено средство измерений

в соответствии с **«Спектрофотометры СФ-256 БИК» Раздел 3. Методика**
наименование или обозначение документа, на основании которого выполнена поверка

поверки. Ю-30.67.102 РЭ

с применением эталонов: **Государственного рабочего эталона единицы**
регистрационный номер и (или) наименование, тип, заводской номер, разряд класс или погрешность эталонов, применяемых при поверке

величины СКНП в диапазоне длин волн от 0,2 до 2,5 мкм 3.1.ZZA.0019.2015

при следующих значениях влияющих факторов: **температура окружающей среды 21,5 °С; влажность воздуха 53 %; атмосферное давление 97,3 кПа**
перечень влияющих факторов, нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений

и на основании результатов ~~первичной~~ (периодической) поверки признано пригодным к применению.
ненужное зачеркнуть

Знак поверки

ГНС 19009210415

Главный метролог _____ ***Негода Сергей Николаевич***
Подпись *фамилия, имя и отчество*

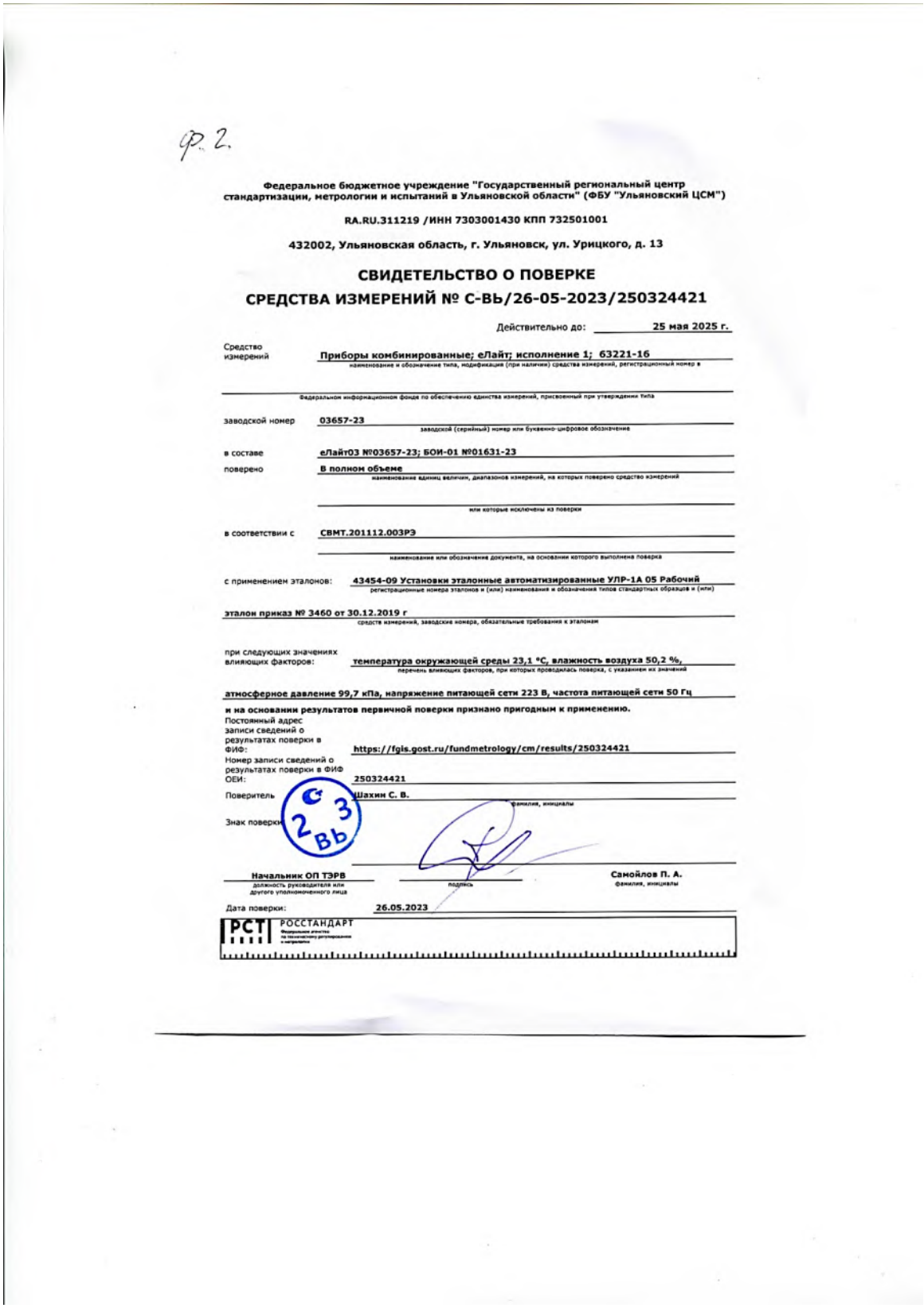
Поверитель _____ ***Фиданян Геворк Саркисович***
Подпись *фамилия, имя и отчество*

Дата поверки
«11» июля 2019 г.

по № XIX 002992

Рисунок А.5 – Свидетельство о поверке прибора СФ-256 БИК

А.4 Свидетельство о поверке приборов комбинированных «еЛайт»



Ф. 2.

Федеральное бюджетное учреждение "Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Ульяновской области" (ФБУ "Ульяновский ЦСМ")

RA.RU.311219 /ИНН 7303001430 КПП 732501001

432002, Ульяновская область, г. Ульяновск, ул. Урицкого, д. 13

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ № С-ВЬ/26-05-2023/250324421

Действительно до: 25 мая 2025 г.

Средство измерений: Приборы комбинированные; еЛайт; исполнение 1; 63221-16
(наименование и обозначение типа, модификация (при наличии) средства измерений, регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений, присвоенный при утверждении типа)

заводской номер: 03657-23
(заводской (серийный) номер или буквенно-цифровое обозначение)

в составе: еЛайт03 №03657-23; БОИ-01 №01631-23

поверено: В полном объеме
(наименование единиц величин, диапазонов измерений, на которых поверено средство измерений или которые исключены из поверки)

в соответствии с: СВМТ.201112.003РЭ
(наименование или обозначение документа, на основании которого выполнена поверка)

с применением эталонов: 43454-09 Установки эталонные автоматизированные УЛР-1А 05 Рабочий
(регистрационные номера эталонов и (или) наименования и обозначения типов стандартных образцов и (или) средств измерений, заводские номера, обязательные требования к эталонам)

эталон приказ № 3460 от 30.12.2019 г

при следующих значениях влияющих факторов: температура окружающей среды 23,1 °С, влажность воздуха 50,2 %,
(перечень влияющих факторов, при которых проводилась поверка, с указанием их значений)

атмосферное давление 99,7 кПа, напряжение питающей сети 223 В, частота питающей сети 50 Гц

и на основании результатов первичной поверки признано пригодным к применению.

Постоянный адрес записи сведений о результатах поверки в ФИФ: https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/250324421

Номер записи сведений о результатах поверки в ФИФ ОЕИ: 250324421

Поверитель: Шахин С. В.
(фамилия, инициалы)

Знак поверки: 2 ВЬ 3

Начальник ОП ТЭРВ (должность руководителя или другого уполномоченного лица) — (подпись) — Самойлов П. А. (фамилия, инициалы)

Дата поверки: 26.05.2023

РСТ РОССТАНДАРТ

Рисунок А.6 – Свидетельство о поверке люксметра «ЕЛайт» исп.1 (стр. 1)

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И (ИЛИ) ПРОТОКОЛ ПОВЕРКИ

Эталоны и средства поверки:
43454-09 Установки эталонные автоматизированные УЛР-1А 05 Рабочий эталон
приказ № 3460 от 30.12.2019 г

Поверитель _____ **Шахин С. В.**
подпись фамилия, имя и отчество

26 мая 2023 г.

Рисунок А.7 – Свидетельство о поверке люксметра «ЕЛайт» исп.1 (стр. 2)



Федеральное бюджетное учреждение "Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Ульяновской области" (ФБУ "Ульяновский ЦСМ")

RA.RU.311219 /ИНН 7303001430 КПП 732501001

432002, Ульяновская область, г. Ульяновск, ул. Урицкого, д. 13

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ № С-ВЬ/22-05-2023/248087155

Действительно до: 21 мая 2025 г.

Средство измерений: Приборы комбинированные; еЛайт; исполнение 3; 63221-16

наименование и обозначение типа, модификация (при наличии) средства измерений, регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений, присвоенный при утверждении типа

заводской номер: 03601-23

заводской (серийный) номер или буквенно-цифровое обозначение

в составе: еЛайт03 №03601-23

поверено: В полном объеме

наименование единиц величин, диапазонов измерений, на которых поверено средство измерений

или которые исключены из поверки

в соответствии с: СВМТ.201112.003РЭ

наименование или обозначение документа, на основании которого выполнена поверка

с применением эталонов: - (перечень эталонов и средств поверки приведен на оборотной

регистрационные номера эталонов и (или) наименования и обозначения типов стандартных образцов и (или)

стороне свидетельства)

средств измерений, заводские номера, обязательные требования к эталонам

при следующих значениях влияющих факторов: температура окружающей среды 23,2 °С, влажность воздуха 50,4 %,

перечень влияющих факторов, при которых проводилась поверка, с указанием их значений

атмосферное давление 100,2 кПа, напряжение питающей сети 223 В, частота питающей сети 50 Гц

и на основании результатов первичной поверки признано пригодным к применению.

Постоянный адрес записи сведений о результатах поверки в ФИФ: https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/results/248087155

Номер записи сведений о результатах поверки в ФИФ ОЕИ: 248087155

Поверитель: Шакин С. В.

Знак поверки: С 3 2 ВЬ

Начальник отдела

Самойлов П. А.

Дата поверки: 22.05.2023

РСТ РОССТАНДАРТ

Рисунок А.8 – Свидетельство о поверке люксметра «ЕЛайт» исп.3 (стр. 1)



МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И (ИЛИ) ПРОТОКОЛ ПОВЕРКИ

Эталоны и средства поверки:
43454-09 Установки эталонные автоматизированные УЛР-1А 05 Рабочий эталон
приказ № 3460 от 30.12.2019 г

Поверитель

22 мая 2023 г.

Шахин С. В.
фамилия, имя и отчество

Рисунок А.9 – Свидетельство о поверке люксметра «ЕЛайт» исп.3 №2 (стр. 2)

А.5 Свидетельства о поверке люксметров



РОССТАНДАРТ

•ВНИИОФИ•

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

119361, Москва, ул. Озерная, 46 Факс: 8 (495) 437 31 47 E-mail: vniiofi@vniiofi.ru

ФГУП «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ»

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о поверке

№ 1554/15-О

ГМС 085267628

Действительно до «13» марта 2016 г.

Средство измерений **Люксметр «Аргус-01»**
(наименование, тип)

(серия и номер клейма предыдущей поверки)

заводской номер **230**

принадлежащее **ФГБУ "НИИСФ РААСН"**
(наименование юридического лица)

7713018998
(ИНН)

поверено в соответствии с Раздел 12 РЭ 4381-002-05842749-99
(наименование и номер документа на основании которого проведена поверка)

и на основании результатов периодической поверки соответствует описанию утвержденного типа

Поверительное клеймо

Главный метролог (подпись) С.Н. Негода (инициалы, фамилия)

Поверитель (подпись) О.А. Минаева (инициалы, фамилия)

«13» марта 2015 г.

по № XV 011521

Рисунок А.10 – Свидетельство о поверке люксметра «Аргус-01» №230 (стр. 1)



МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Диапазон длин волн, мкм ..... 0,38 – 0,80.

2. Диапазон измерений освещенности, лк ..... 1 – 200 000.

3. Предел допускаемой погрешности результатов измерений освещенности, % .....8,0.

Поверитель (подпись) О.А. Минаева

ВНИИОФИ

Рисунок А.11 – Свидетельство о поверке люксметра «Аргус-01» №230 (стр.2)



ГОССТАНДАРТ

•ВНИИОФИ•

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

119361, Москва, ул. Озерная, 46 Факс: 8 (495) 437 31 47 E-mail: vniofi@vniofi.ru

ФГУП «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ»

свидетельство

о поверке

№ 1555/15-О

ГМС 085267627

Действительно до «13» марта 2016 г.

Средство измерений **Люксметр «Аргус-01»**
(наименование, тип)

(серия и номер клейма предыдущей поверки)

заводской номер **232**

принадлежащее **ФГБУ "НИИСФ РААСН"**
(наименование юридического лица)

7713018998
(ИНН)

поверено в соответствии с Раздел 12 РЭ 4381-002-05842749-99
(наименование и номер документа на основании которого проведена поверка)

и на основании результатов периодической поверки соответствует описанию утвержденного типа

Поверительное клеймо

ГС ГА 5 ГМЦ

Главный метролог _____ (подпись) С.Н. Негода (инициалы, фамилия)

Поверитель _____ (подпись) О.А. Минаева (инициалы, фамилия)

«13» марта 2015 г.

по № XV 011522

Рисунок А.12 – Свидетельство о поверке люксметра «Аргус-01» №232 (стр.1)



МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Диапазон длин волн, мкм ..... 0,38 – 0,80.

2. Диапазон измерений освещенности, лк ..... 1 – 200 000.

3. Предел допускаемой погрешности результатов измерений освещенности, % .....8,0.

Поверитель (подпись) О.А. Минаева

ВНИИОФИ

Рисунок А.13 – Свидетельство о поверке люксметра «Аргус-01» №232 (стр.2)

Приложение Б – Акт о внедрении результатов диссертационной работы

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНСТРОЙ РОССИИ)

федеральное государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук»
(НИИСФ РААСН)

Исх. от_____№_____

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор НИИСФ РААСН
_____ И.Л. Шубин
«__»_____2025 г.

АКТ
о внедрении результатов докторской диссертационной работы
Коркиной Елены Владимировны

Настоящим актом подтверждается, что результаты докторской диссертационной работы Коркиной Е.В. «Применение энергосберегающего остекления в зданиях при учёте особенностей поступления солнечной радиации», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук, использованы при выполнении:

- П. 11.5.4 и 11.5.5, П. 10.6, таблица Б.1 Изменений №1 и №2 к СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты».
- Таблица Е.1 СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий».
- Таблицы: А.7, А.8, А.17, А.18 Изменений №2 к СП 367.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения».
- Таблица 4, раздел 11 Изменений №2 к СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования».

Главный научный сотрудник, руководитель лаборатории «Строительная светотехника» НИИСФ РААСН, кандидат технических наук И.А. Шмаров

Главный научный сотрудник, руководитель лаборатории «Строительная теплофизика» НИИСФ РААСН, доктор технических наук, профессор, член-корр. РААСН В.Г. Гагарин

Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAACS)
Россия, 127238, Москва, Локомотивный пр., д.21, тел.: +7 495 482 4076, факс: +7 495 482 4060, niisf@niisf.ru, www.niisf.ru

Рисунок Б.1 – Акт о внедрении результатов работы

Приложение В – Дополнительные материалы к главе 2

В.1 Пример определения прямой освещённости и отношения прямой освещенности в помещении на различном расстоянии от окна к наружной освещенности для трех городов

Рассматривается пример расчёта прямой освещенности и отношения освещенности в помещении на различном расстоянии от окна, ориентированного на юго-запад, к наружной освещенности для 12 ч. дня. Расчетная точка располагается на различном расстоянии от окна: 1м, 2м, 3м, 4м, 5м. Расчет проводится для трех городов: Сочи, Москва, Санкт- Петербург.

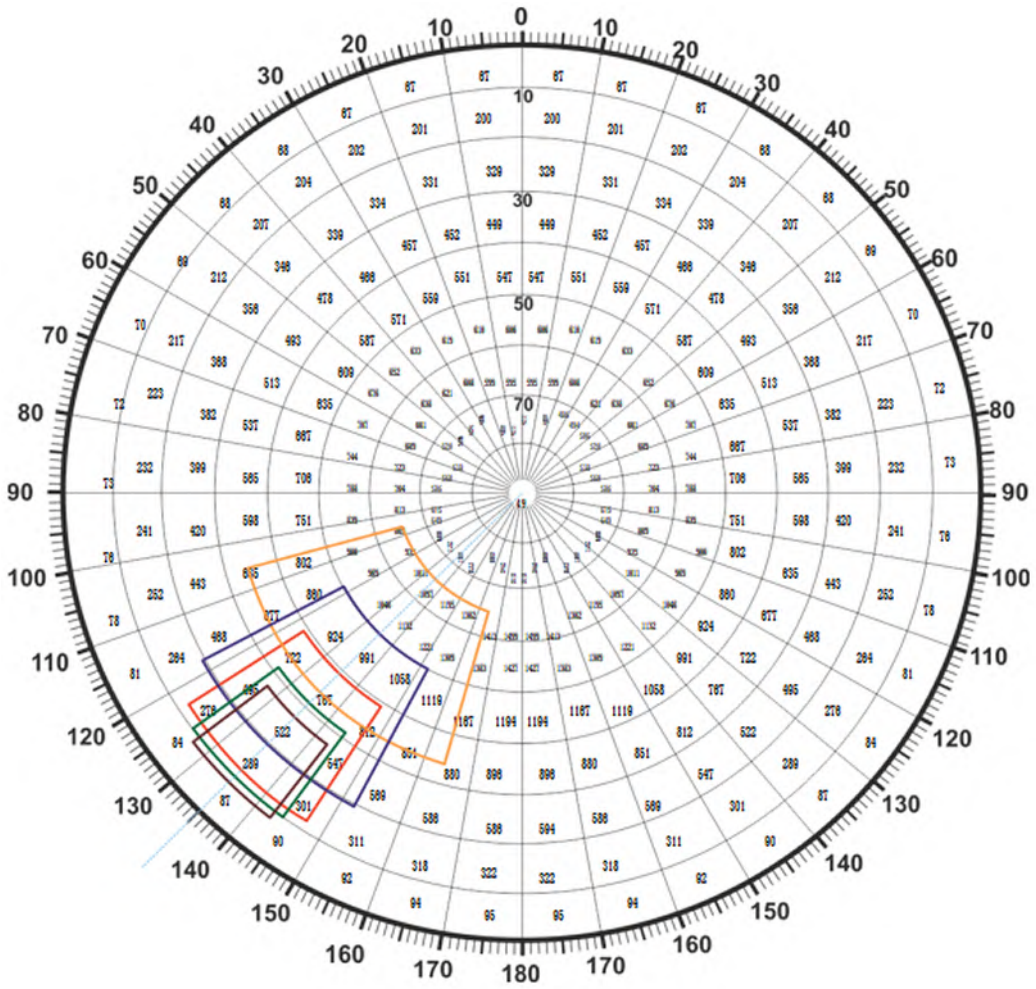


Рисунок В.1 − Определение контура светопроема на диаграмме и расчет освещенности на различном расстоянии от окна в 12 ч в г. Сочи. Обозначение контуров: 1м - оранжевый, 2м - синий, 3м - красный, 4м - зеленый, 5м - коричневый

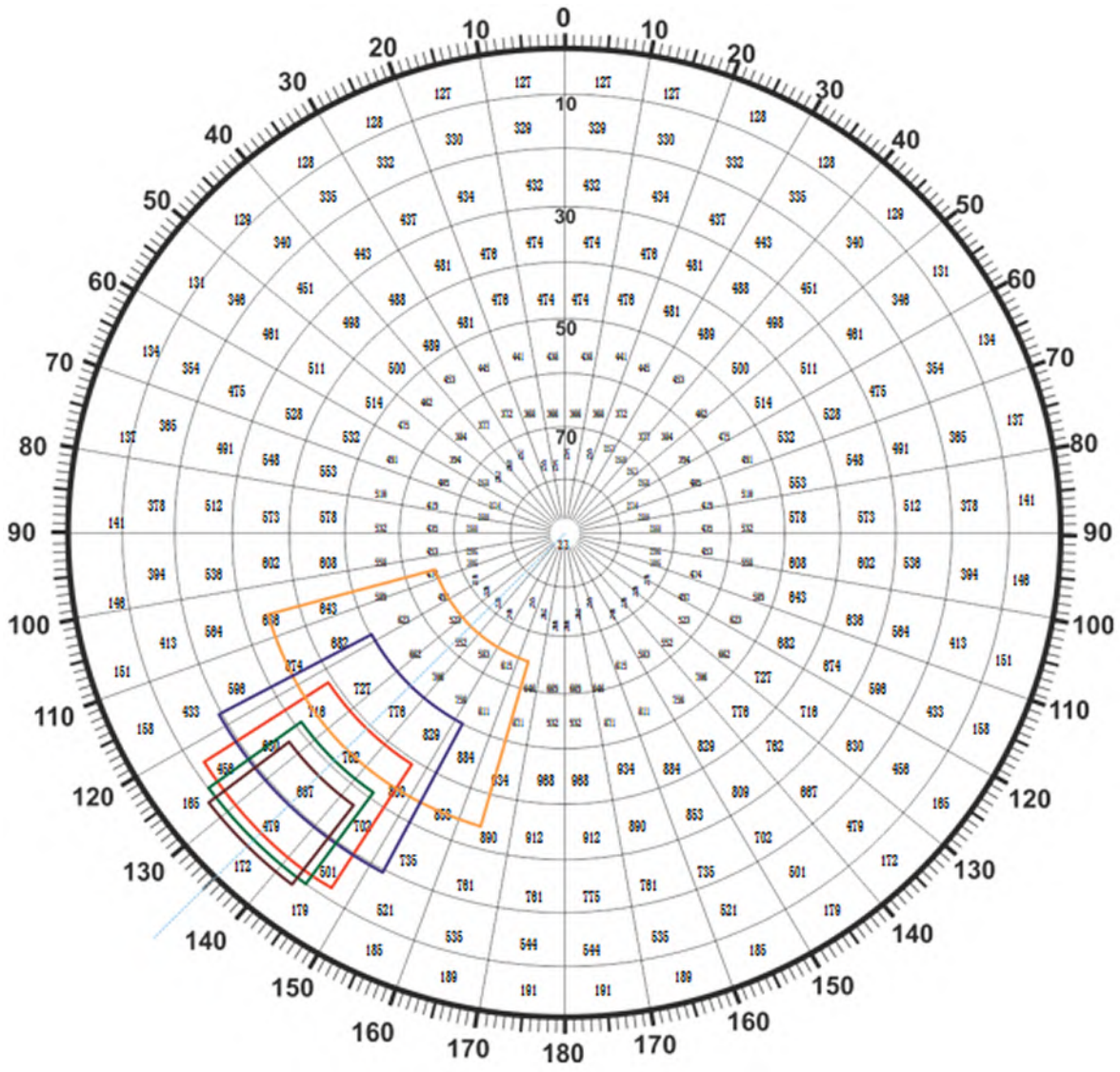


Рисунок В.2 − Определение контура светопроема на диаграмме и расчет освещенности на различном расстоянии от окна в 12 ч в г. Москве. Обозначение контуров: 1м - оранжевый, 2м - синий, 3м - красный, 4м - зеленый, 5м - коричневый

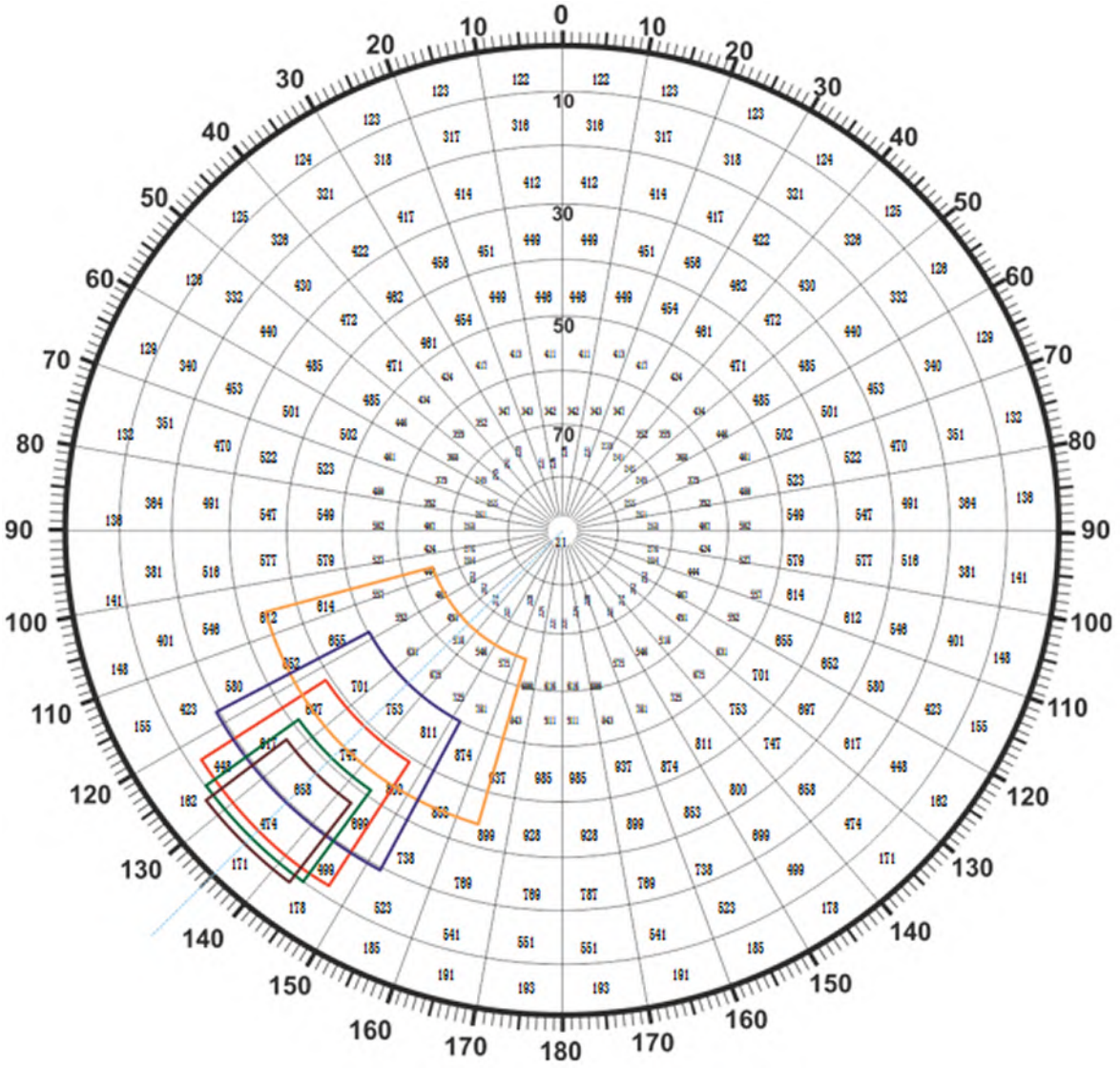


Рисунок В.3 − Определение контура светопроема на диаграмме и расчет освещенности на различном расстоянии от окна в 12 ч в г. Санкт- Петербурге. Обозначение контуров: 1 м - оранжевый, 2 м - синий, 3 м - красный, 4 м - зеленый, 5 м - коричневый

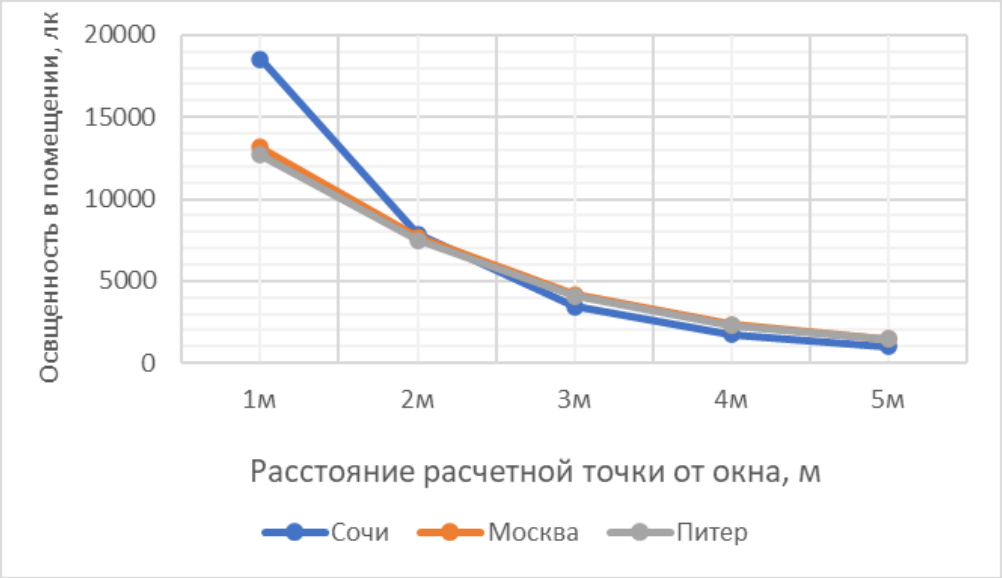


Рисунок В.4 – Освещенность в помещении в расчетной точке на различном расстоянии от окна

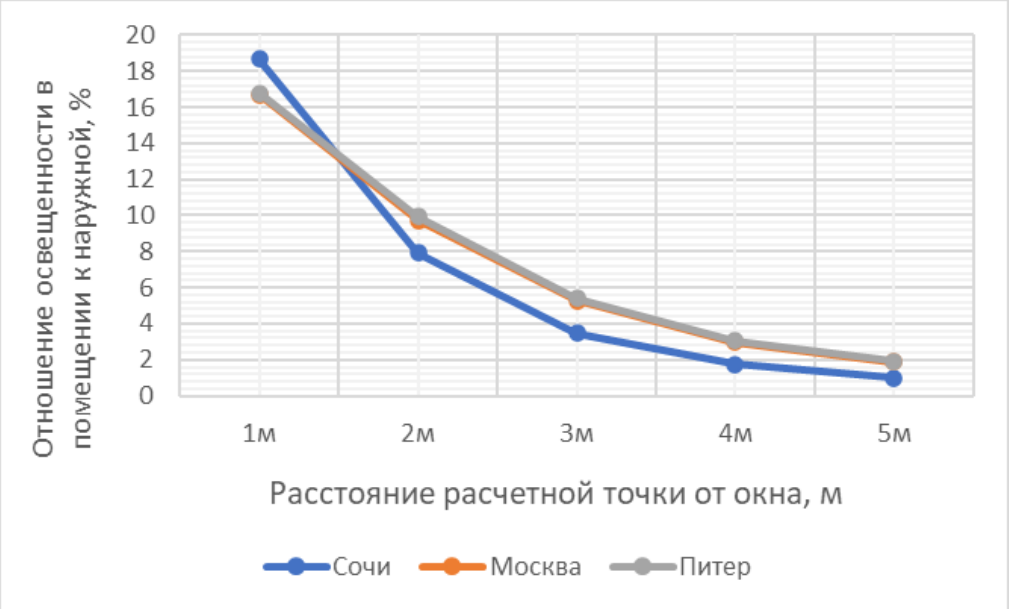


Рисунок В.5 – Отношение освещенности в помещении к наружной на различном расстоянии от окна, %

Сравнивая распределение освещенности по часам светового дня, можно заключить, что во всех трех городах освещённость в помещении в расчетной точке, расположенной по центру помещения, возрастает к полудню, однако для Сочи значение в полдень меньше, чем для Москвы и Санкт-Петербурга. Это объясняется

следующим образом. Распределение освещенности по небосводу в Сочи следующее: освещенность в 12 ч. дня значительно увеличивается по направлению к Солнцу. В Москве и в Санкт-Петербурге увеличение освещенности по направлению к Солнцу также наблюдается, при этом в Москве более значительно, в Санкт-Петербурге менее значительно, но в обоих случаях в меньшей степени, чем в Сочи. При вычислении прямой освещенности в расчётной точке, находящейся в центре помещения, не захватывается область небосвода, близкая к Солнцу и создающая максимальную освещенность. Поэтому суммарное значение освещённости в помещении в исследуемой расчётной точке для Сочи (3970 лк) оказывается меньшим, чем для Москвы (4858 лк) и Санкт-Петербурга (4929 лк). Поэтому меньшим для Сочи, чем для Москвы и Санкт-Петербурга, оказывается и значение отношения освещённости в помещении в расчетной точке к наружной освещенности (4 %, 6,2 %, 6,5 %).

Указанные диаграммы распределения освещённости по небосводу в 12ч дня, но уже для помещения, ориентированного на юго-запад, использованы и для другого примера – исследования изменения освещённости при удалении расчетной точки от окна в трех городах (рисунки В.4 и В.5). Из графиков изменения освещенности в расчетных точках видно, что при расположении расчетной точки на расстоянии 1м от окна, когда в расчетную точку попадает область небосвода, близкая к Солнцу (рисунки В.1-В.3 (оранжевый контур)), освещенность в Сочи наибольшая, в Москве меньше, в Санкт-Петербурге еще меньше. Это обстоятельство соответствует характеру распределения освещённости по небосводу, указанному выше.

Таким образом, освещенность и отношение освещенности в помещении к наружной освещенности зависит от:

- от распределения освещённости по небосводу, характерному для заданной местности;
- от ориентации (азимута) светопроема;
- от положения расчетной точки;
- от расчетного часа дня и месяца года.

В.2 Актинометрические станции для групп городов РФ по ресурсам светового климата .

Таблица В.1 – Актинометрические станции для городов первой группы административных районов по ресурсам светового климата по данным [169]

Название местности	Выпуск по [140]	Актинометрическая станция и ее номер в выпуске по [140]	Сев.ш., гр.
г. Москва	Вып. 8	5. МГУ	55,70
Владимирская обл.	Вып. 29	23. Владимир	53,47
Калужская обл.	Вып. 28	3.Советск	53,56
Камчатский край	Вып. 27	25.П.-Камчатский	53,01
Кемеровская обл.	Вып. 20	35. Куздеево	53,20
Курганская обл.	Вып. 9	39.Памятное	56,01
Нижегородская обл.	Вып. 29	27. Мыза	55,11
Новосибирская обл.	Вып. 20	20. Огурцово	54,52
Пермский край	Вып.9	3.Чермоз	58,47
Рязанская обл.	Вып. 29	36. Павелец	53,47
Респ. Башкортостан	Вып. 9	23. Уфа	54,74
Респ. Марий Эл	Вып. 29	29. Йошкар-Ола	57,33
Респ. Мордовия	Вып. 29	33. Саранск	53,47
Респ. Татарстан	Вып. 12	1. Вязовые	55,47
Респ. Саха (Якутия)	Вып. 24	61. Якутск	62,03
Свердловская обл.	Вып. 9	18.Верхнее Дуброво	56,75
Смоленская обл.	Вып. 3	38. Смоленск	54,8
Тульская обл.	Вып. 28	3.Советск	53,56
Тюменская обл.	Вып. 17	43.Тобольск	58,20
Удмуртская Респ.	Вып. 29	10. Ижевск	57,33
Хабаровский край	Вып. 25	20.Хабаровск	48,48
Челябинская обл.	Вып. 9	39.Памятная	56,01
Чувашская Респ.	Вып. 29	30.Чебоксары	57,33
Чукотский АО	Вып. 33	12.Марково	64,40

Таблица В.2 – Актинометрические станции для городов второй группы административных районов по ресурсам светового климата по данным [169]

Название местности	Выпуск по [140]	Актинометрическая станция и ее номер в выпуске по [140]	Сев.ш., гр.
Белгородская обл.	Вып. 28	21. Белгород по 15 Курск	51,43
Брянская обл.	Вып. 28	9. Брянск по 3 Советск	53,56
Волгоградская обл.	Вып. 13	5. Волгоград	48,70
Воронежская обл.	Вып. 28	16 Воронеж	51,32
Еврейская АО	Вып. 25	26. Екатерино-Никольское	47,75
Забайкальский кр.	Вып. 23	28. Чита	52,03
Кабардино-Балкарская Респ.	Вып. 13	39. Нальчик 34. Шаджатмаз	43,56
Камчатский край	Вып. 27	25. П.–Камчатский	53,01
Красноярский край (южнее 63°с. ш.)	Вып. 21	53. Шумиха	55,14
Иркутская обл.	Вып. 22	39. Иркутск	52,17
Курская обл.	Вып. 28	15. Курск	51,43
Липецкая обл.	Вып. 28	11, 12 по 17. Нижнедевицк	51,32
Магаданская обл.	Вып. 33	39. Магадан	59,34
Оренбургская обл.	Вып. 12	30. Чебеньки	51,97
Орловская обл.	Вып. 28	15. Курск	51,43
Пензенская обл.	Вып. 12	39. Ростоши	50,19
Алтайский край	Вып. 20	41. Благовещенка	52,83
Республика Бурятия	Вып. 22 Вып. 23	Западная Бурятия: 4. Багдарин Восточная Бурятия: 13. Иволгинск	 54,45 51,74
Респ. Ингушетия	Вып. 13	35. Бермамыт	43,48
Респ. Коми	Вып. 1, кн. 1	29. Ираэль (табл. 1.5-1.10), 30. Усть-Щугор (табл. 1.15)	64,41
Респ.Саха (Якутия) (южнее 63° с. ш.)	Вып. 24	61. Якутск	62,03
Респ. Сев. Осетия	Вып. 13	40. Орджоникидзе	43,48
Респ. Тыва	Вып. 21	81. Кызыльская	51,71
Респ. Хакасия	Вып. 21	73. Хакасская	53,05
Омская обл.	Вып. 17	65. Омск	54,99
Самарская обл.	Вып. 12	16. Самара (Куйбышев)	55,44
Саратовская обл.	Вып. 12	44. Ершов	51.35
Сахалинская обл.	Вып. 34	23. Южно-Сахалинск	46,95
Тамбовская обл.	Вып. 28	18. Каменная Степь	51,04
Томская обл.	Вып. 20	1. Александровское	44.71
Ульяновская обл.	Вып. 12	39. Ростоши	50,19
Хабар. кр. (юж.55°с.ш.)	Вып. 25	20. Хабаровск	48,48
Ханты-Мансийский АО	Вып. 17	34. Ханты-Мансийск по 30. Сытомино	61,31
Чеченская Респ.	Вып. 13	35. Бермамыт	43,48

Таблица В.3 – Подбор актинометрических станций для городов третьей, четвертой и пятой групп административных районов по ресурсам светового климата по данным [169]

Название местности	Выпуск по [140]	Актинометрическая станция и ее номер в выпуске по [140]	Сев.ш., гр.
Амурская обл.	25	29. Сковородино	53.99
Архангельская обл.	1	13. Архангельск	64,54
Астраханская обл.	13	13. Астрахань	46,35
Вологодская обл.	1	21. Каргополь	61,51
Ивановская обл.	29	14. Кострома	57,77
Калининградская обл.	6	5. Шилуте	55,35
Кировская обл.	29	6. Нолинск	57,56
Костромская обл.	29	14. Кострома	57,77
Краснодарский край	13	20. Краснодар	45,04
Ленинградская обл.	3	14. Новая Ладога	60,11
Мурманская обл.	2	10. Хибины	67,74
Ненецкий АО	1	13. Архангельск	64,54
Новгородская обл.	3	27. Валдай	57,98
Приморский край	26	15. Новосельское	57,73
Псковская обл.	3	24. Николаевская	47,62
Республика Дагестан	15	2. Кизляр	43,85
Республика Калмыкия	13	11. Гигант	46,51
Республика Карелия	3	7. Петрозаводск	61,79
Ростовская обл.	13	8. Цимлянск	47,65
Ставропольский край	13	31. Пятигорск	44,04
Тверская обл.	3	34. Торопец	56,50
Ямало-Ненецкий автономный округ	1	24. Елецкая	67,04
Ярославская обл.	3	32. Торжок	57,04
Крым	10	77. Никитский сад	44,51

В.3 - Графики распределения освещенности в расчетной точке модельного помещения за год при последовательной ориентации светопроема по четырем румбам.

Графики зависимости освещённости в р.т. от времени, с обозначенной линией в 200 лк для различных городов России приведены на рисунках В.6-В.85.

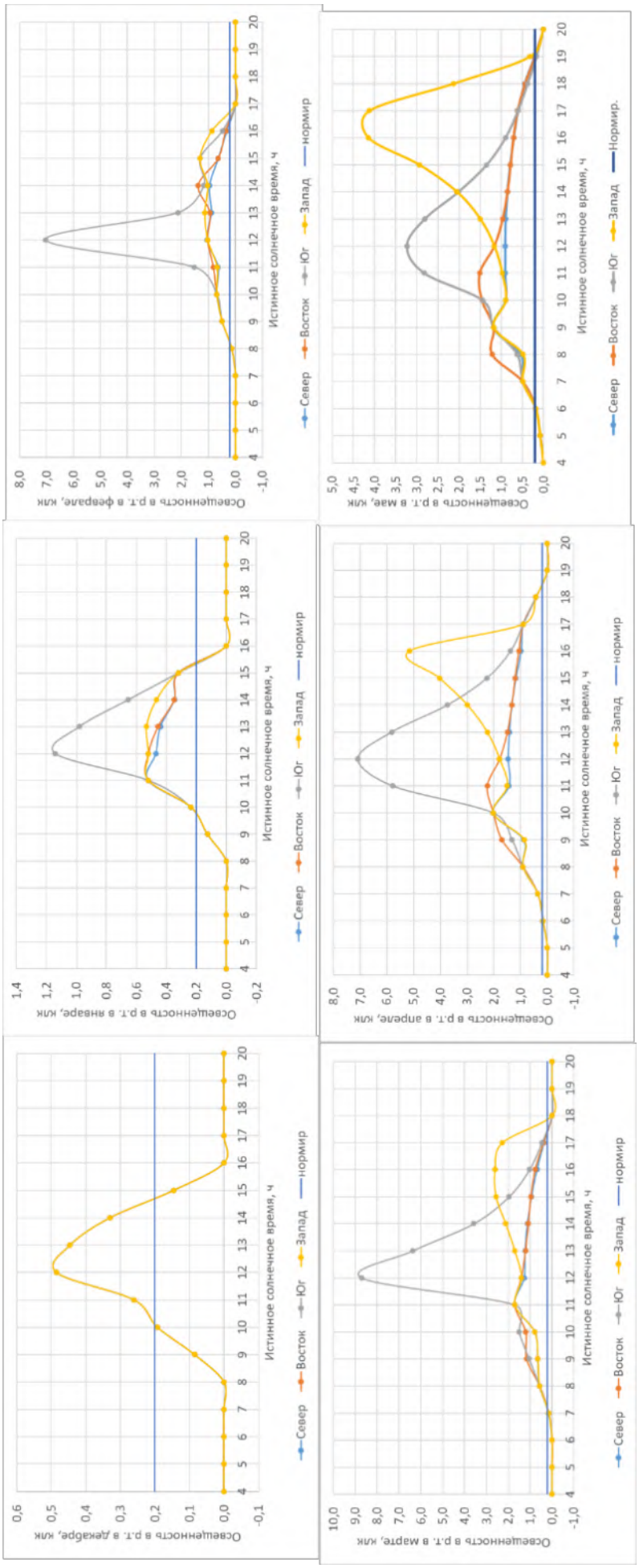


Рисунок В.6 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Павелец

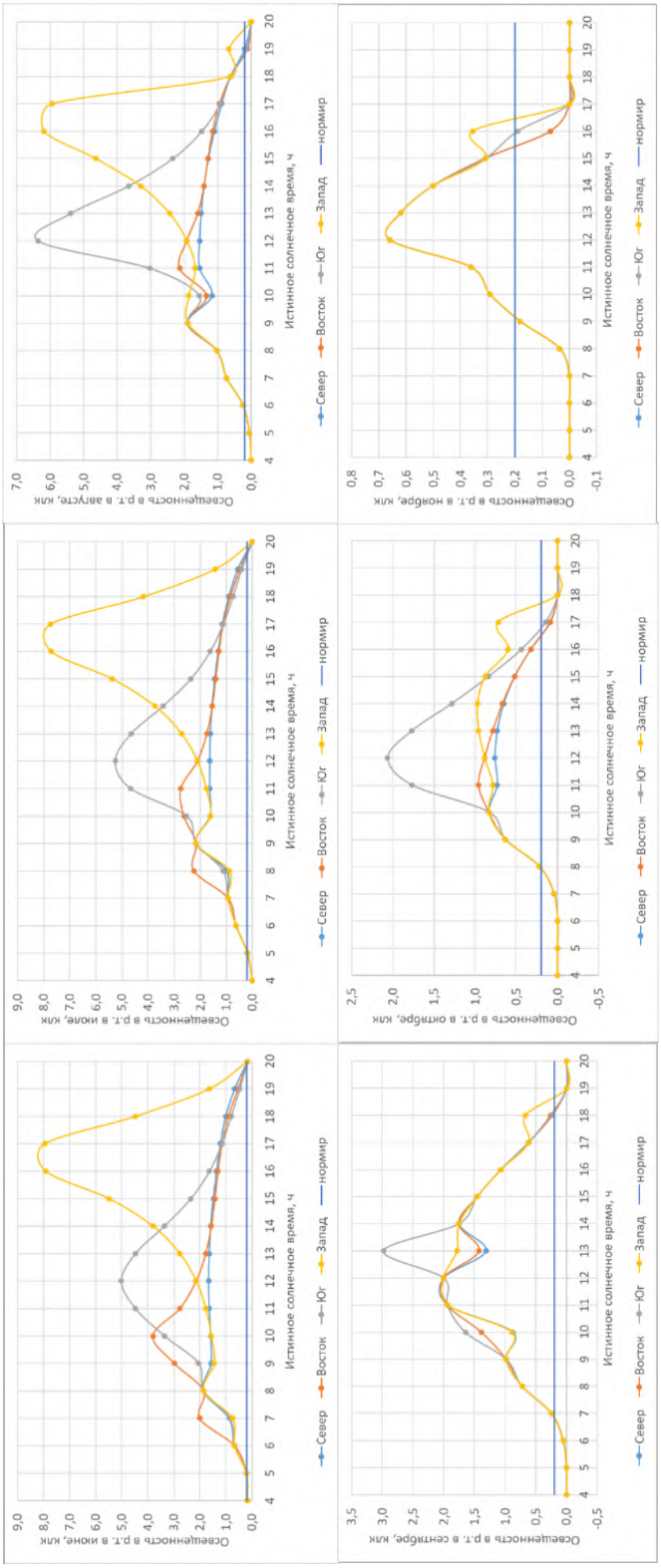


Рисунок В.7 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Павелец

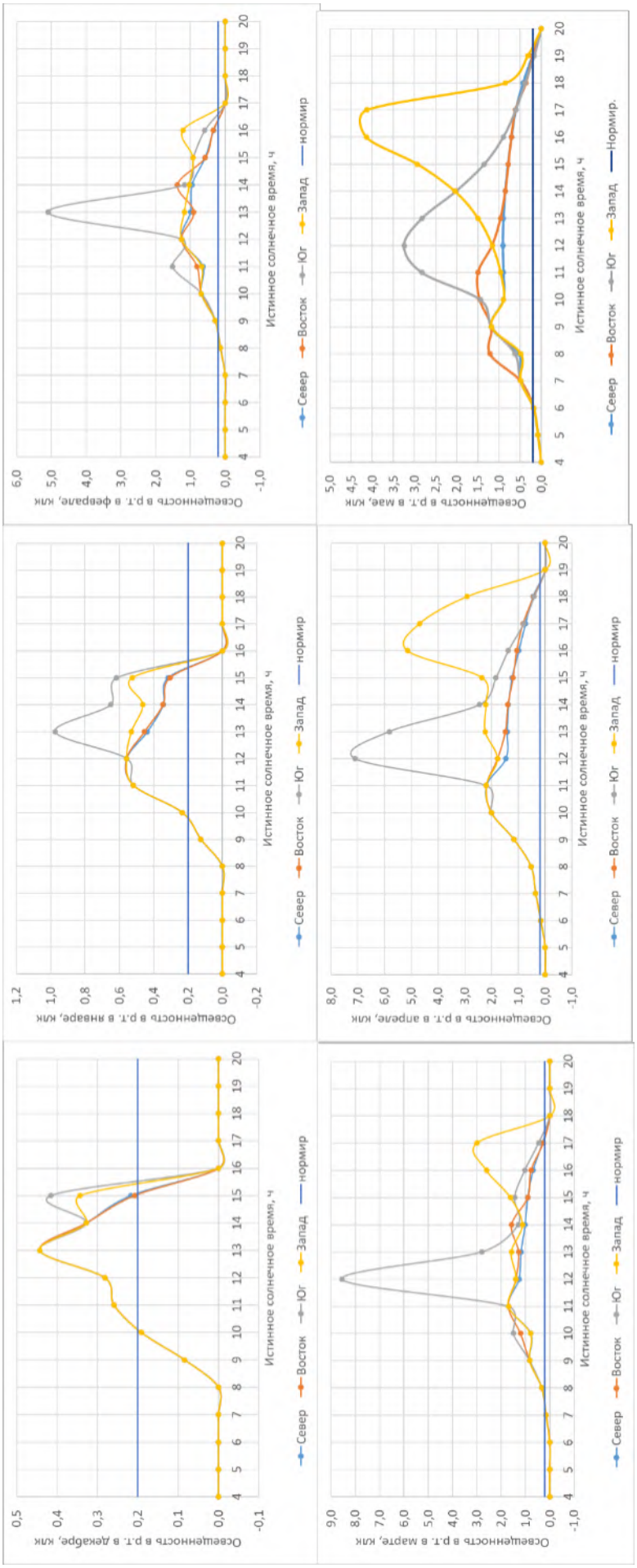


Рисунок В.8 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Советск

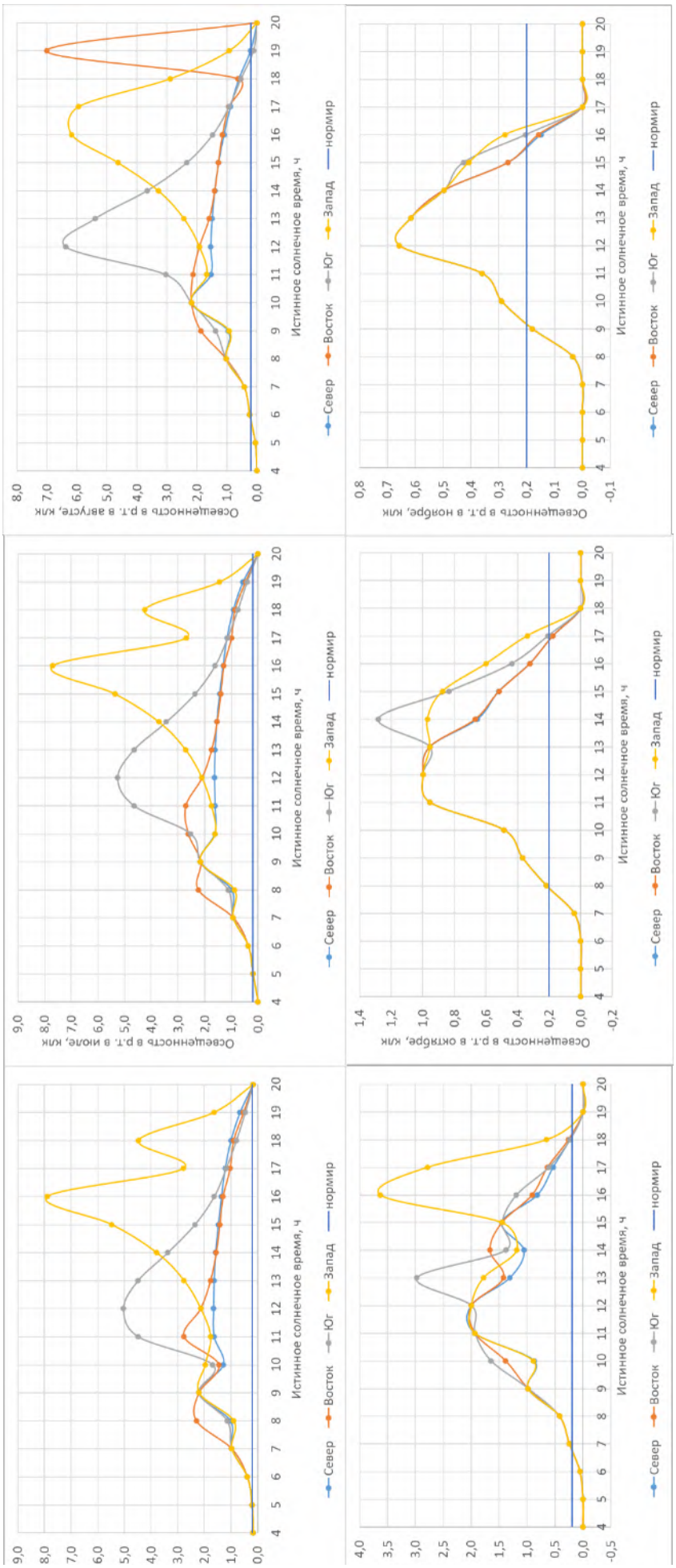


Рисунок В.9 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Советск

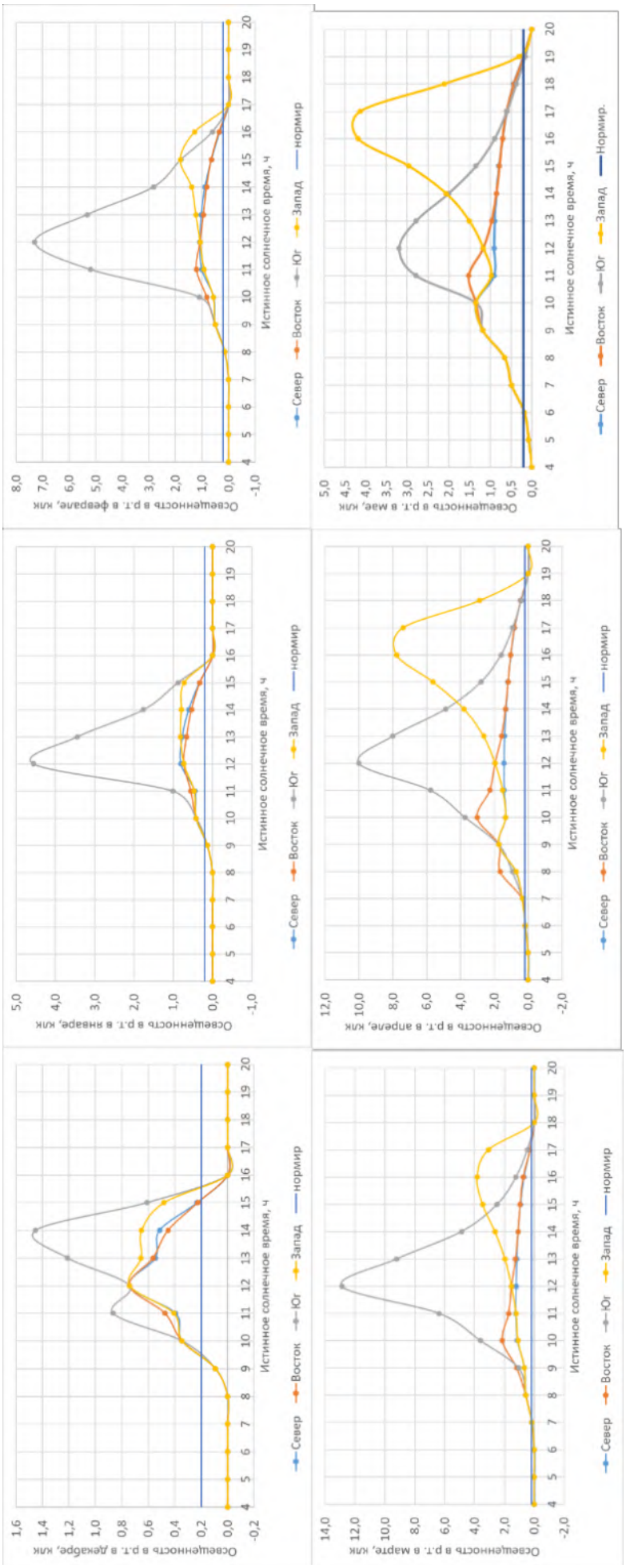


Рисунок В.10 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Петропавловск-Камчатский

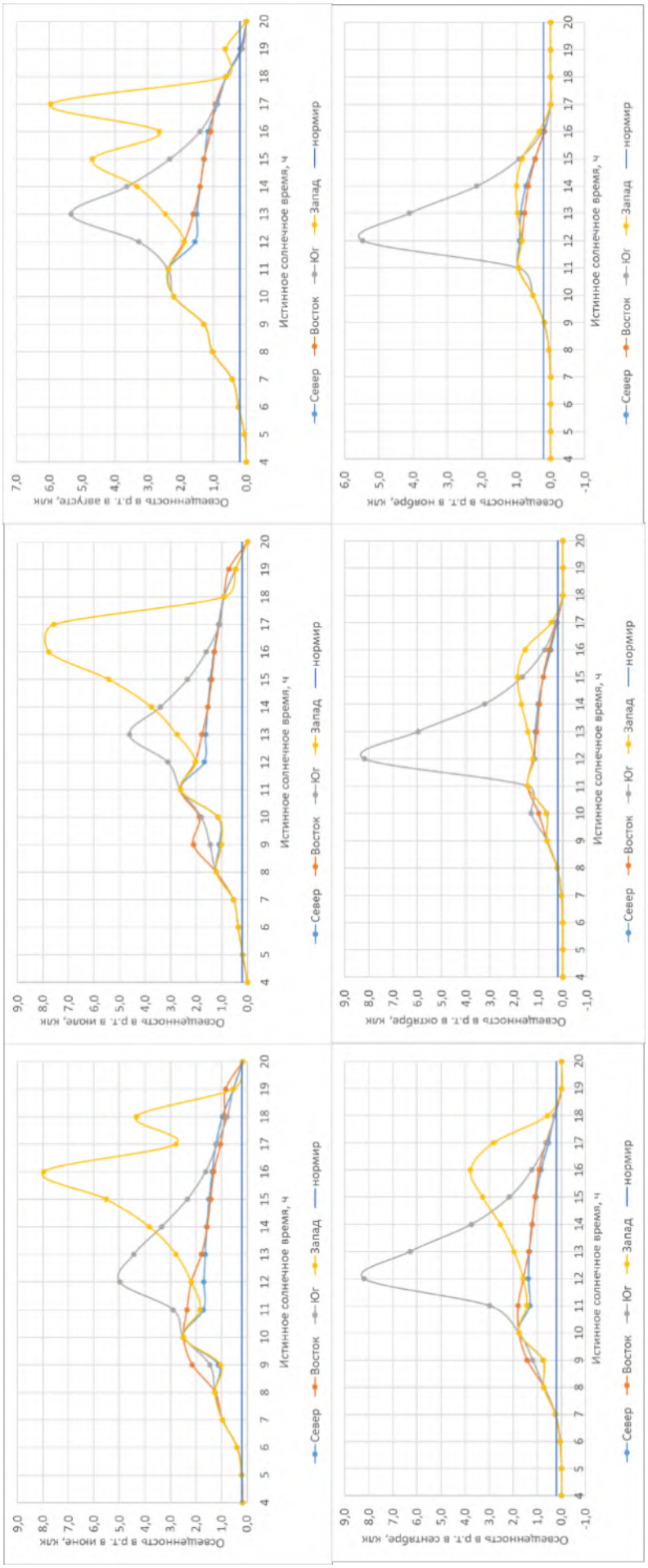


Рисунок В.11 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Петропавловск-Камчатский

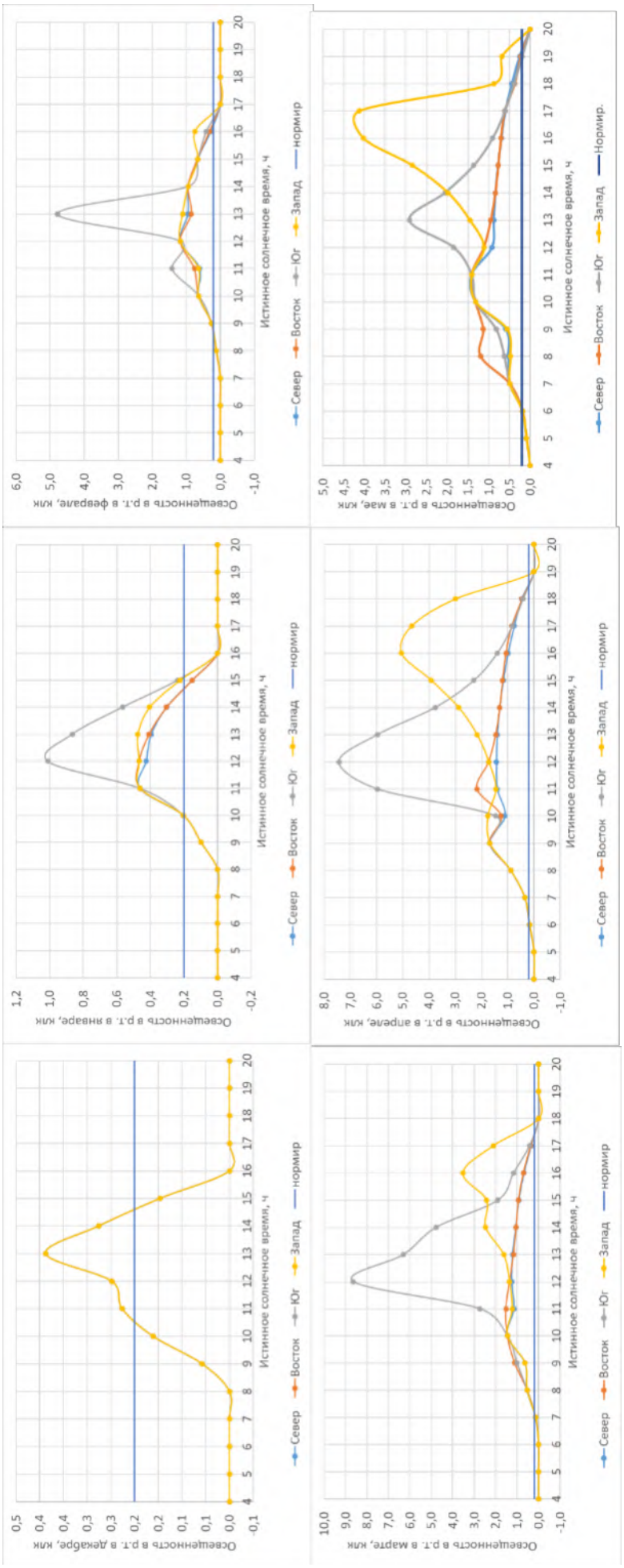


Рисунок В.12 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Шумиха

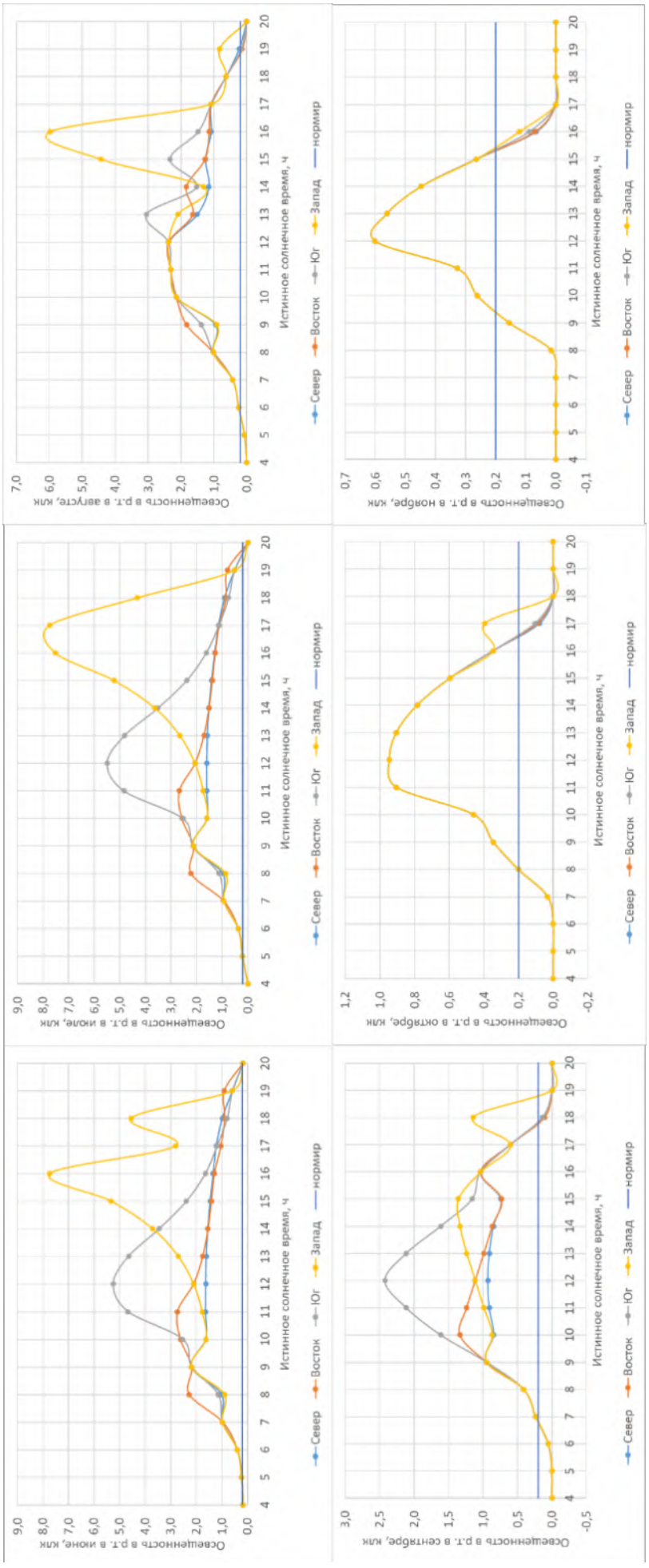


Рисунок В.13 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Шумиха

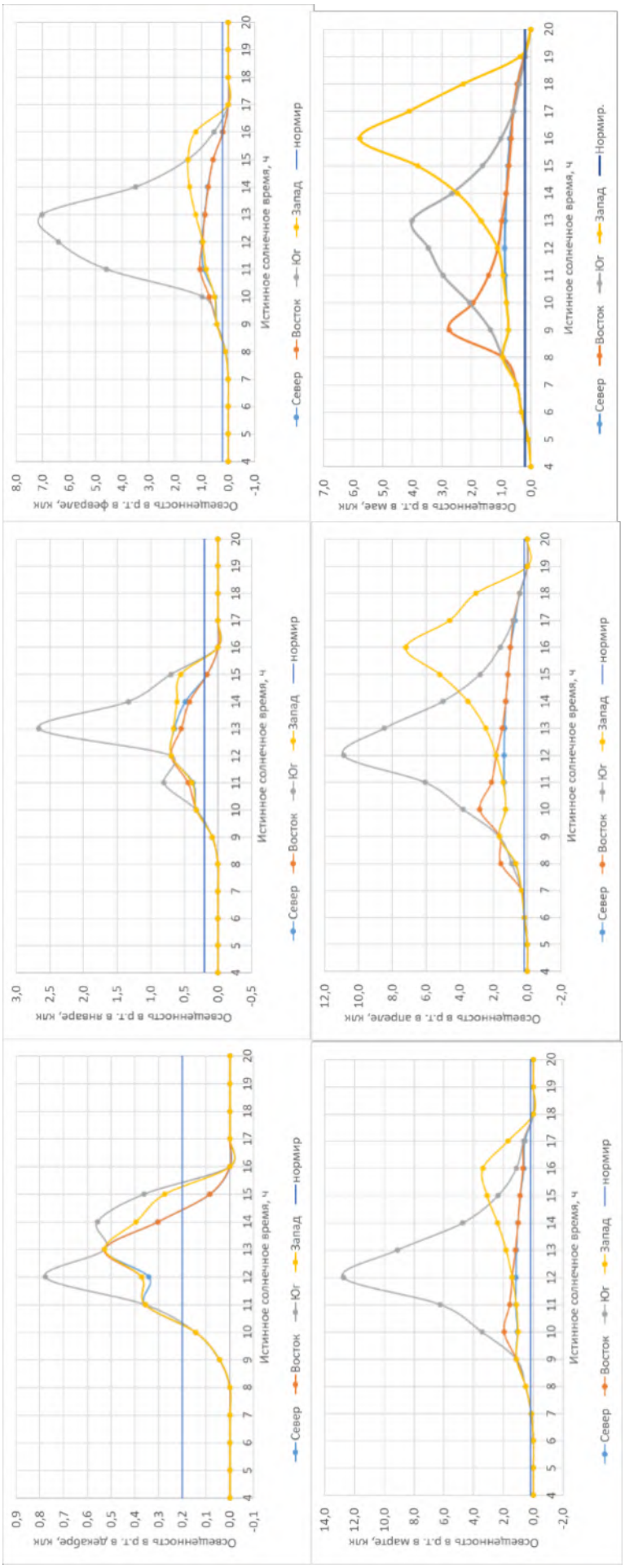


Рисунок В.14 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Памятное

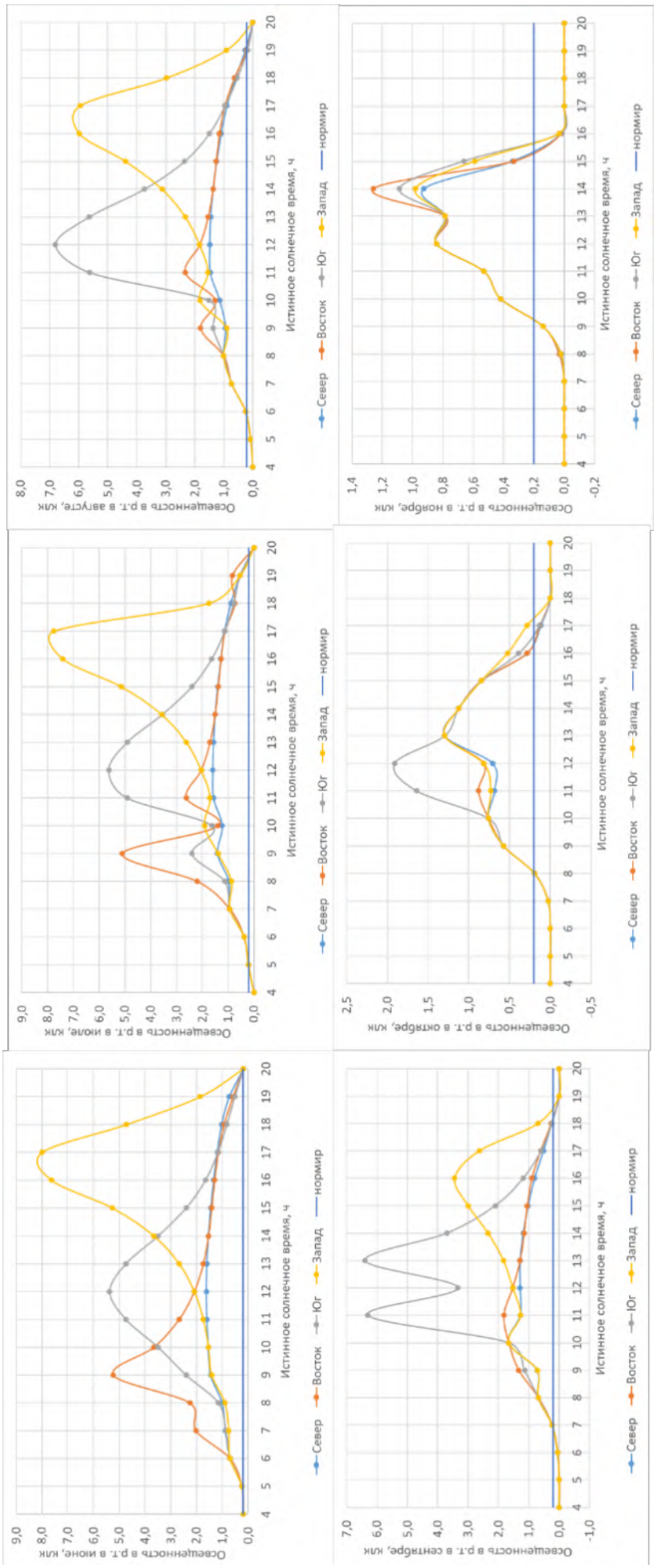


Рисунок В.15 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Памятное.

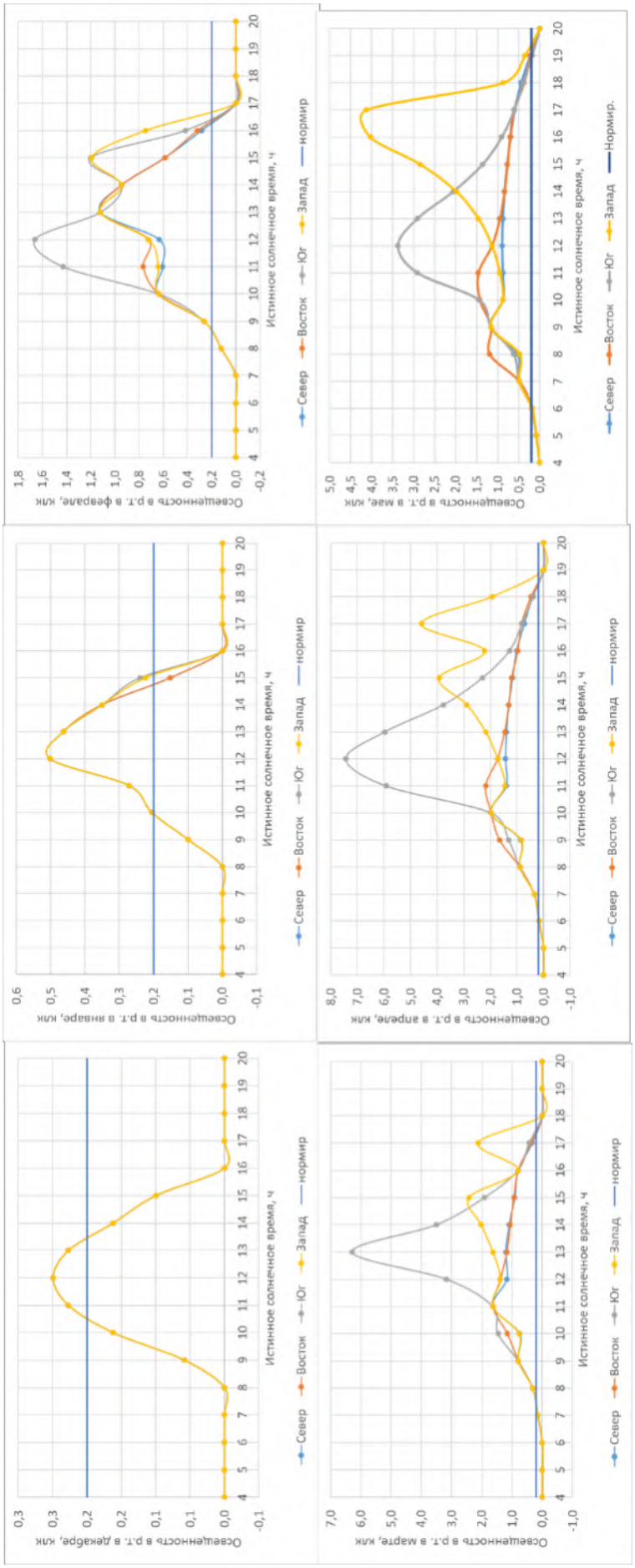


Рисунок В.16 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Мыза

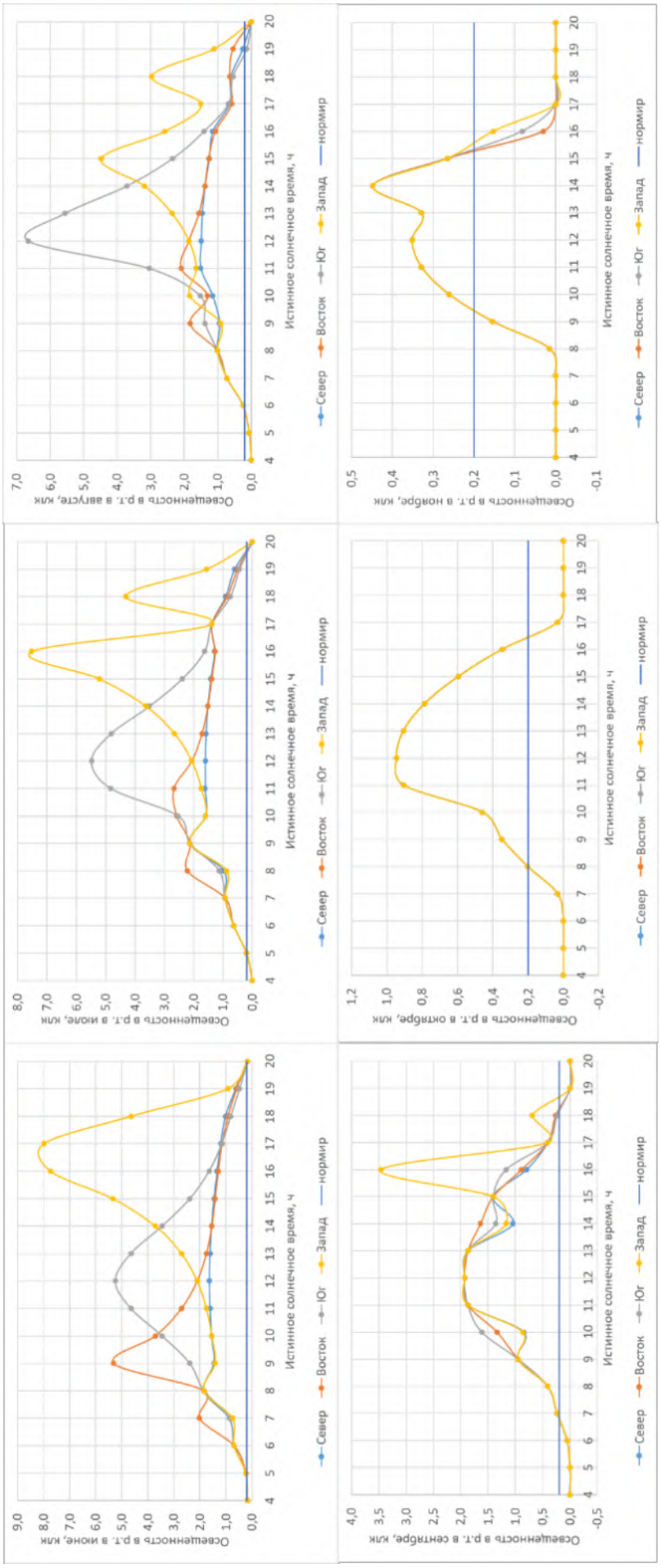


Рисунок В.17 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Мыза

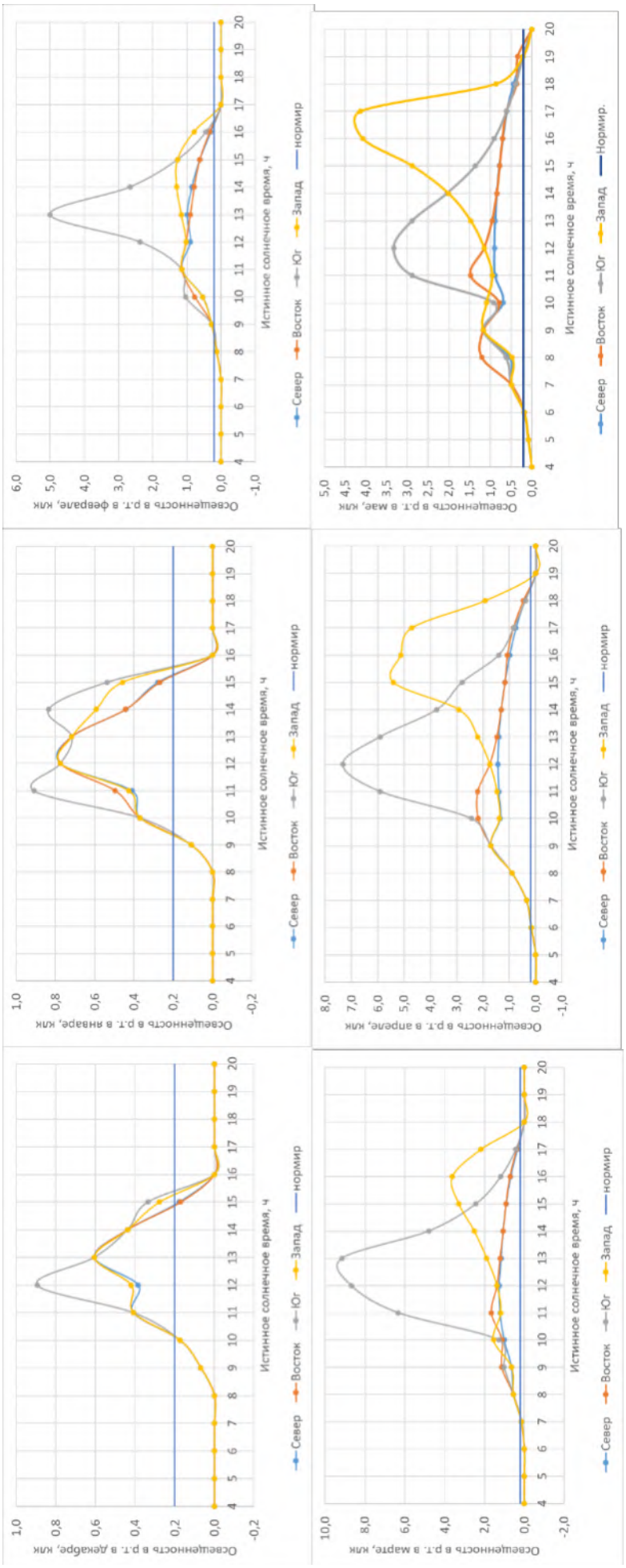


Рисунок В.18 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Огурцово

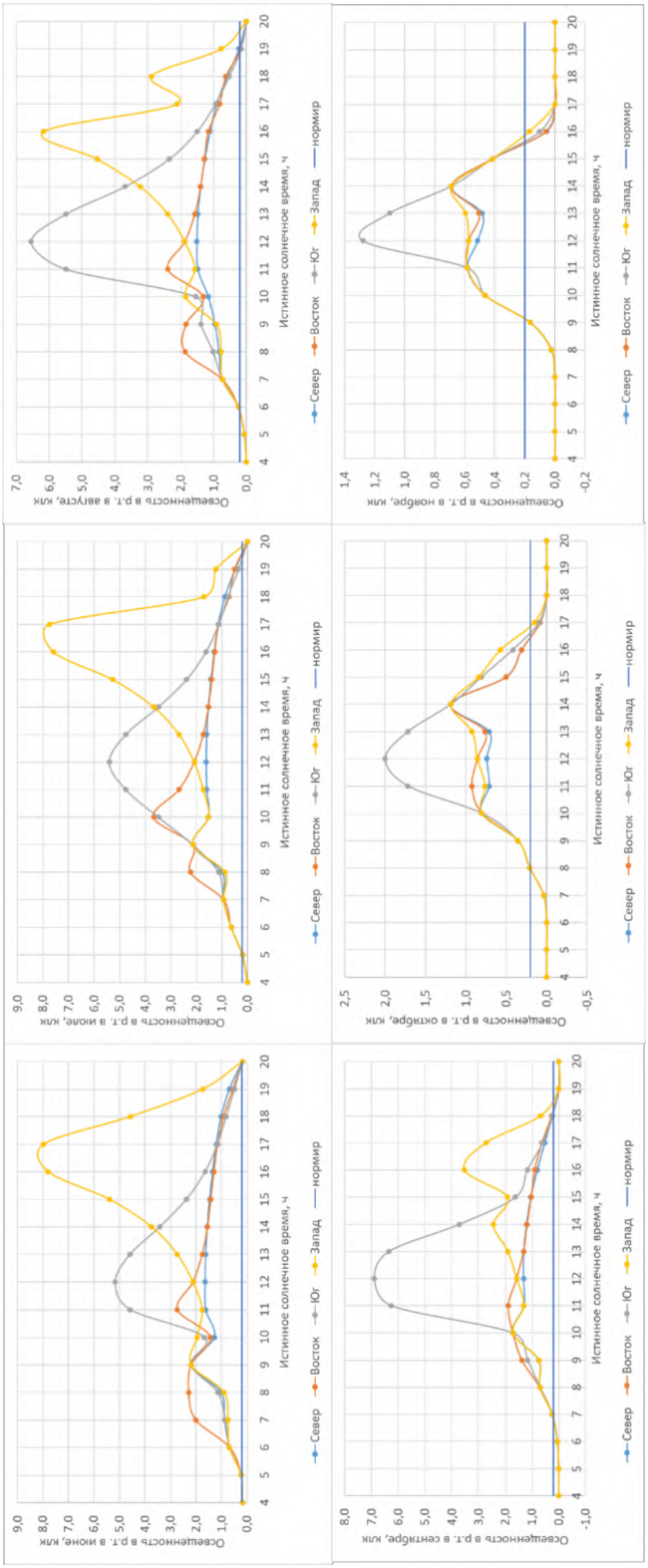


Рисунок В.19 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Огурцово

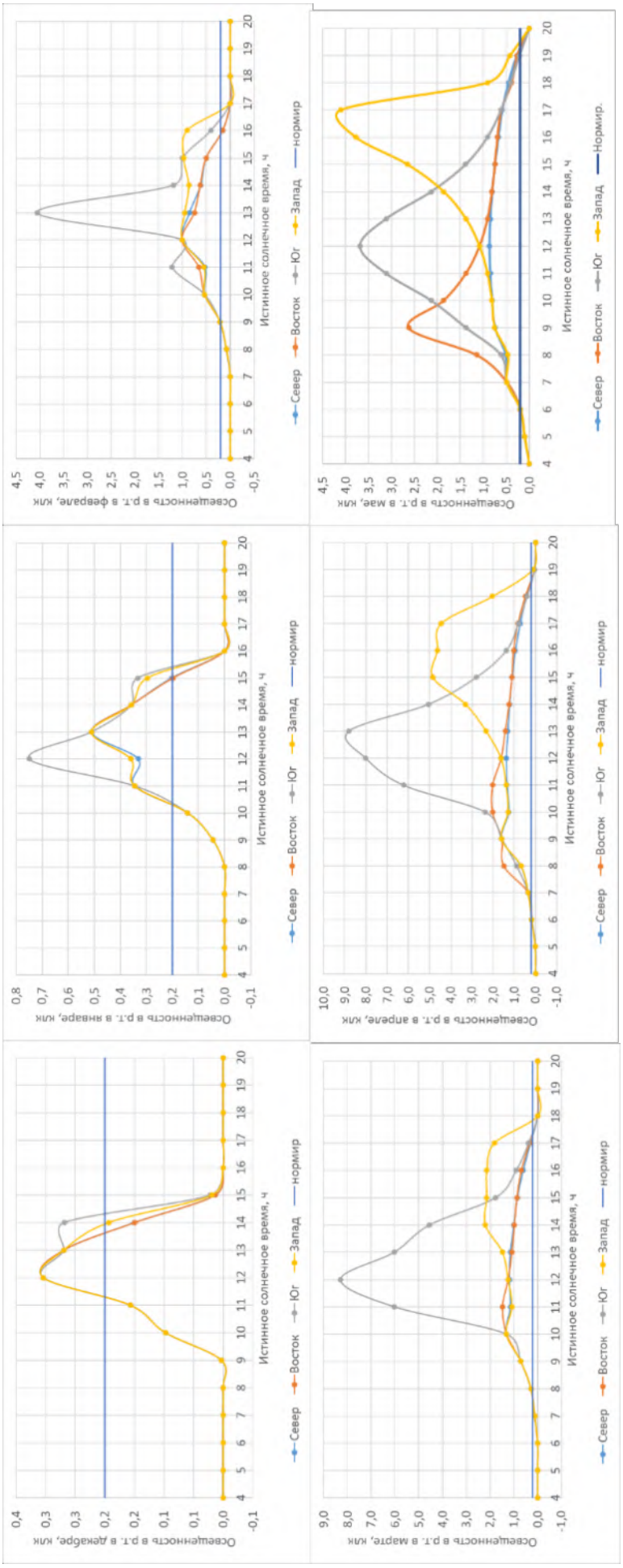


Рисунок В.20 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Чермоз

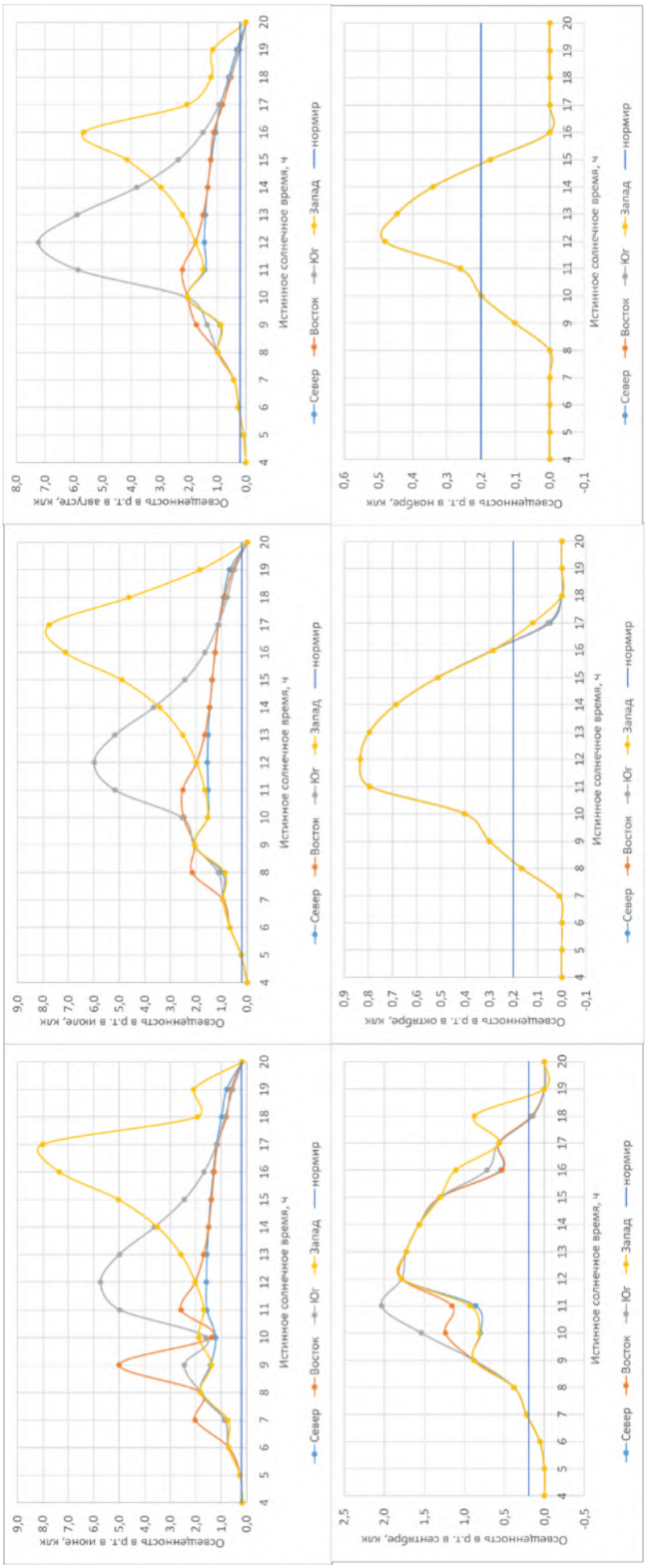


Рисунок В.21 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Чермоз

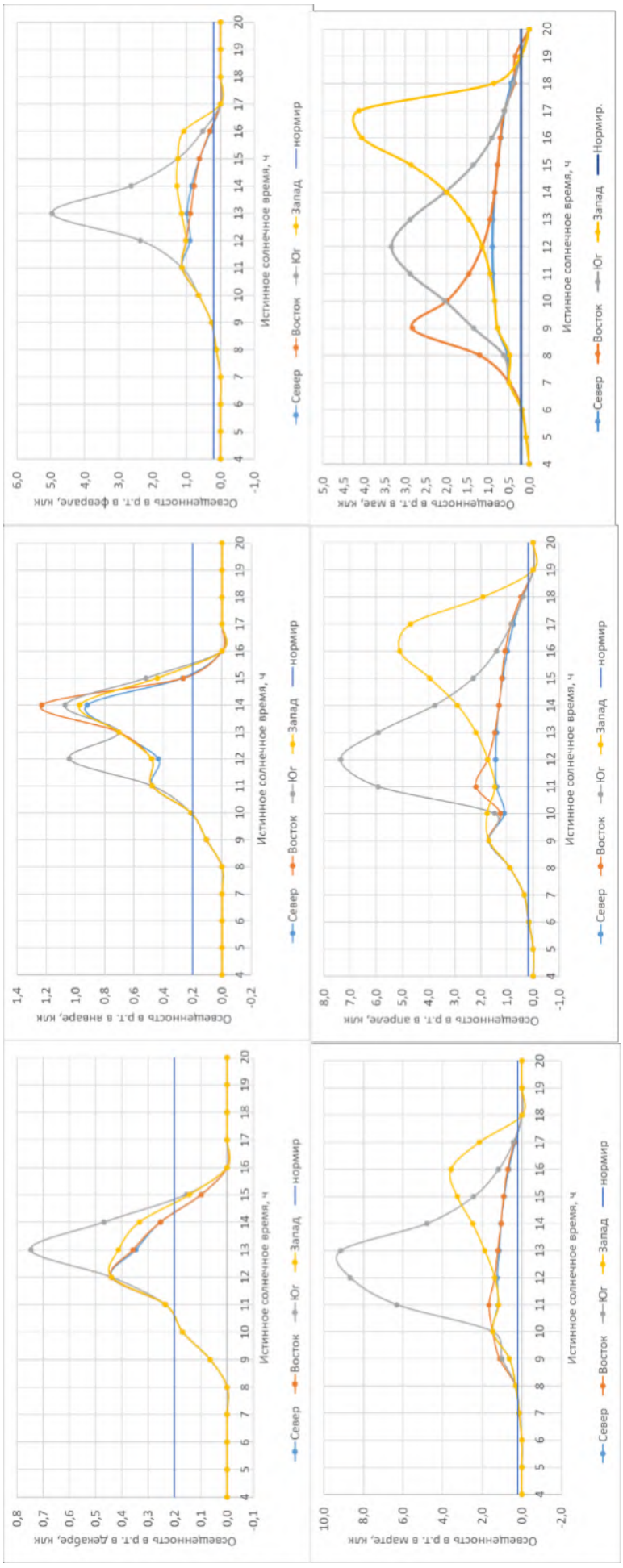


Рисунок В.22 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Уфа

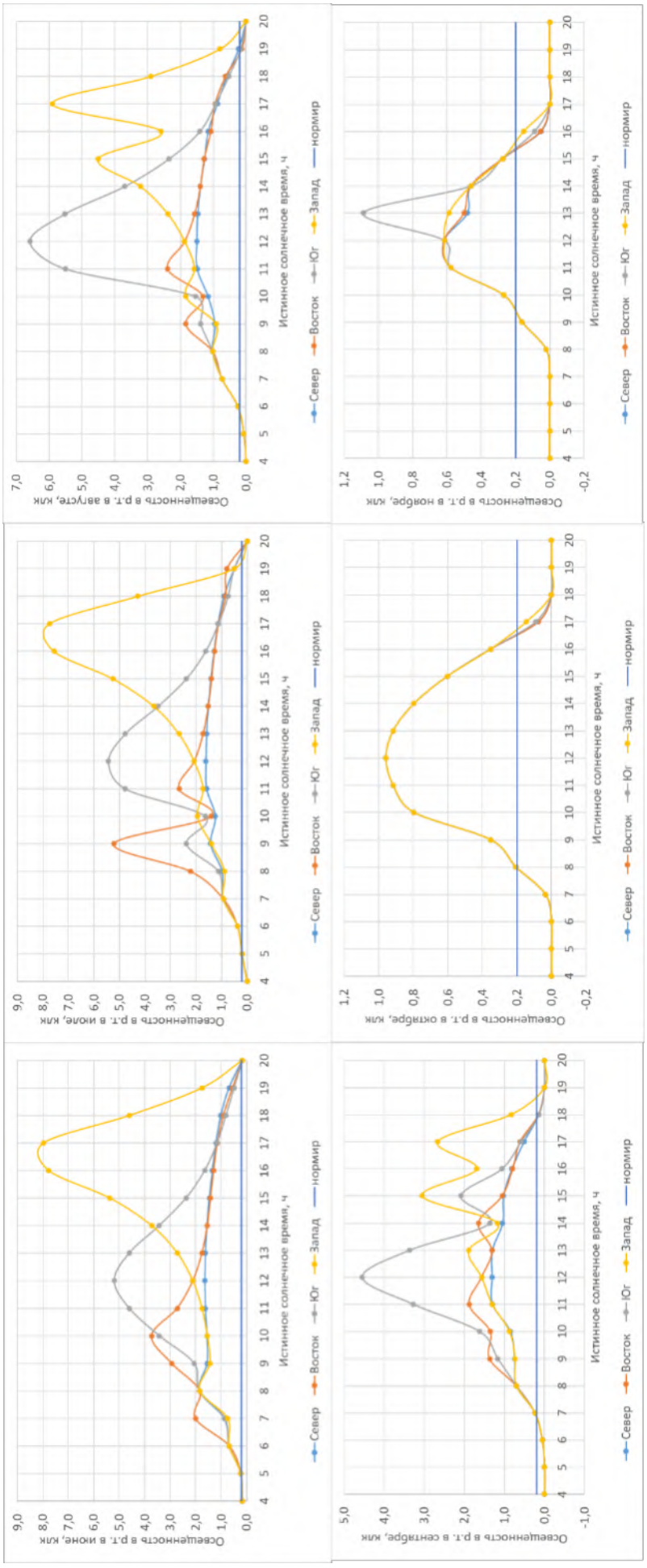


Рисунок В.23 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Уфа

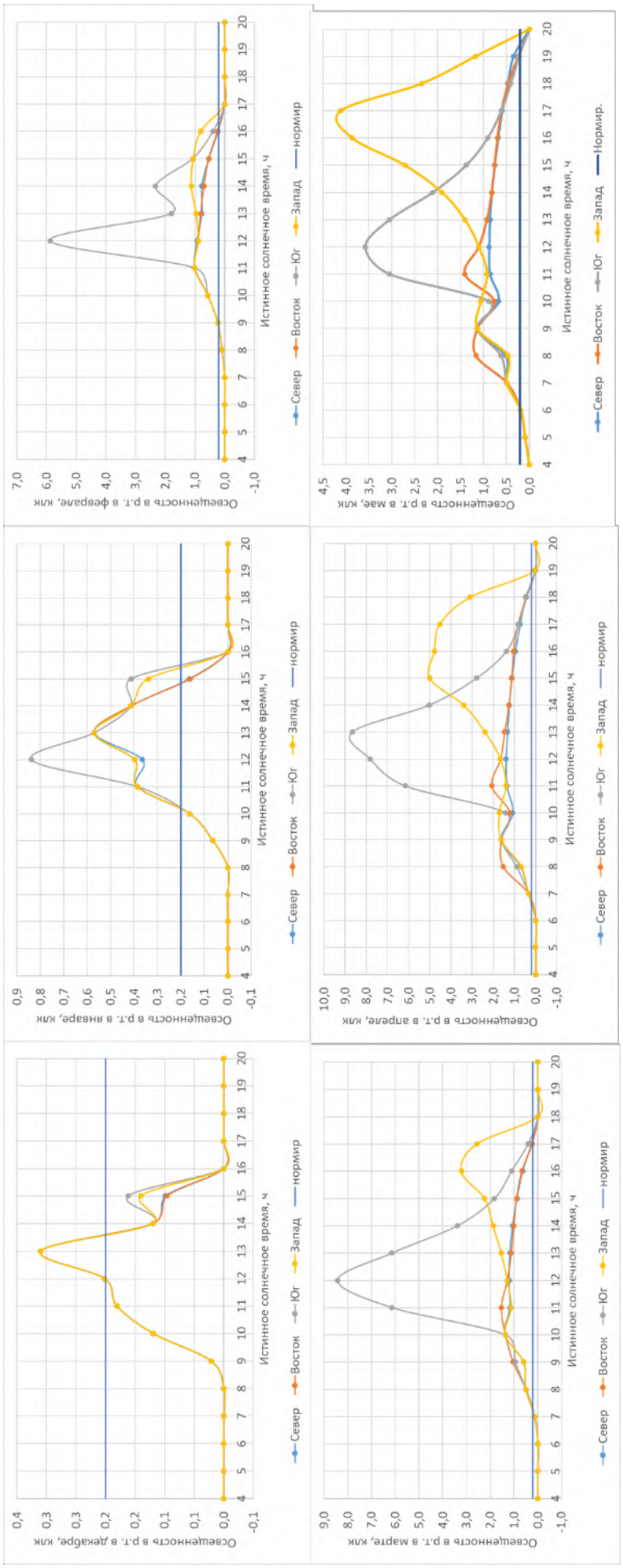


Рисунок В.24 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Полинск

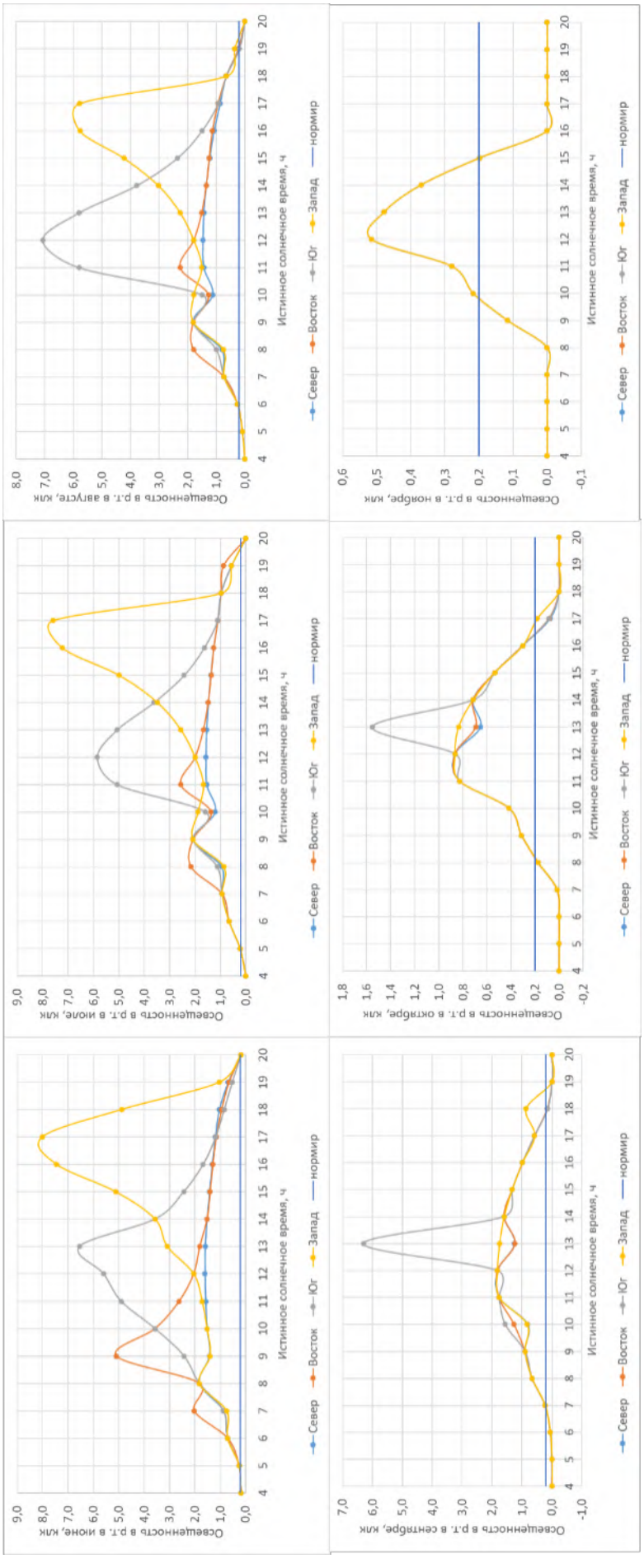


Рисунок В.25 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Полинск

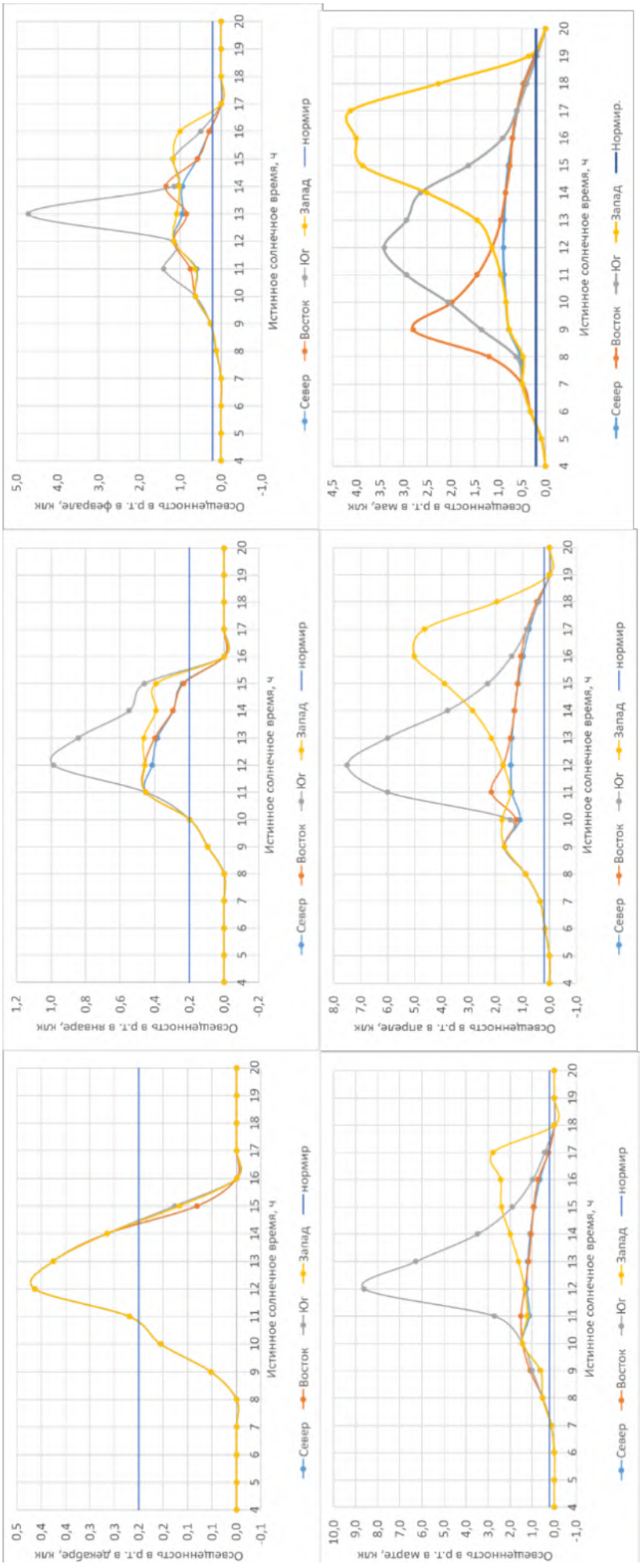


Рисунок В.26 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Вязовые

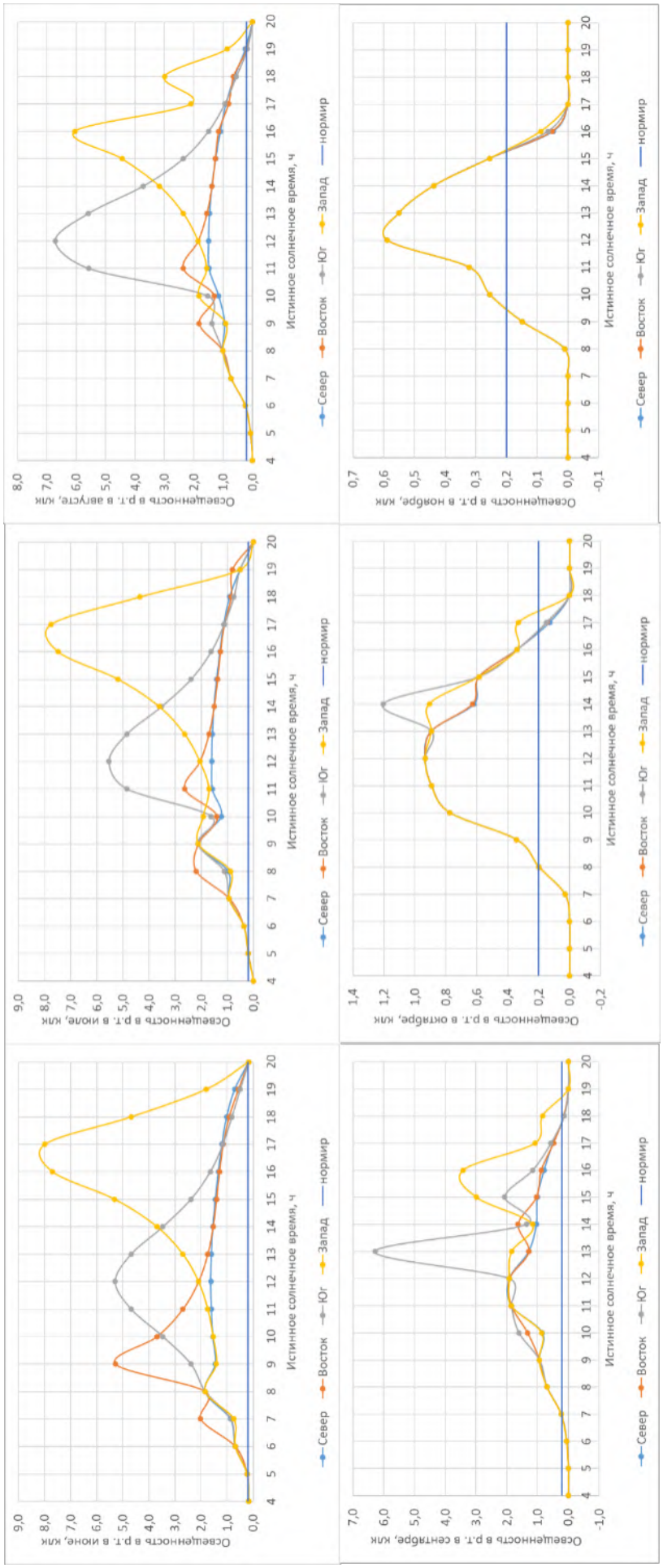


Рисунок В.27 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Вязовые

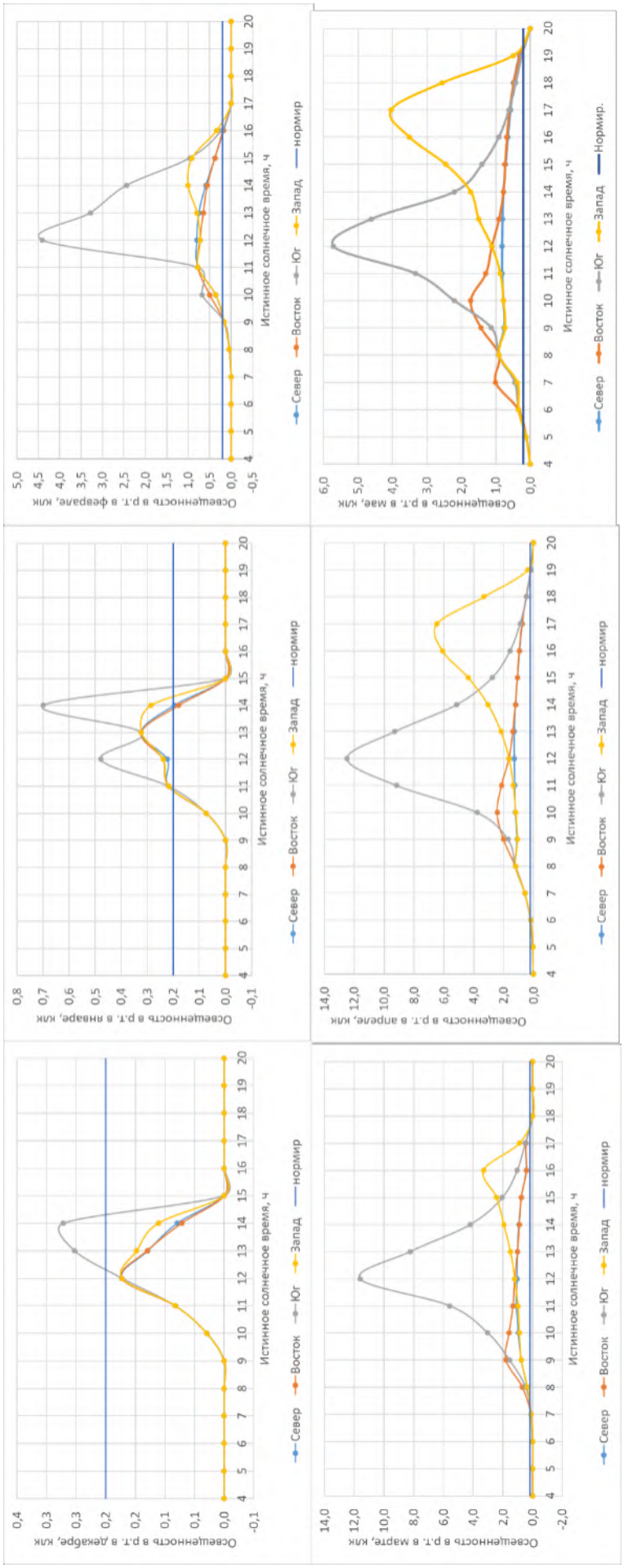


Рисунок В.28 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Якутск.

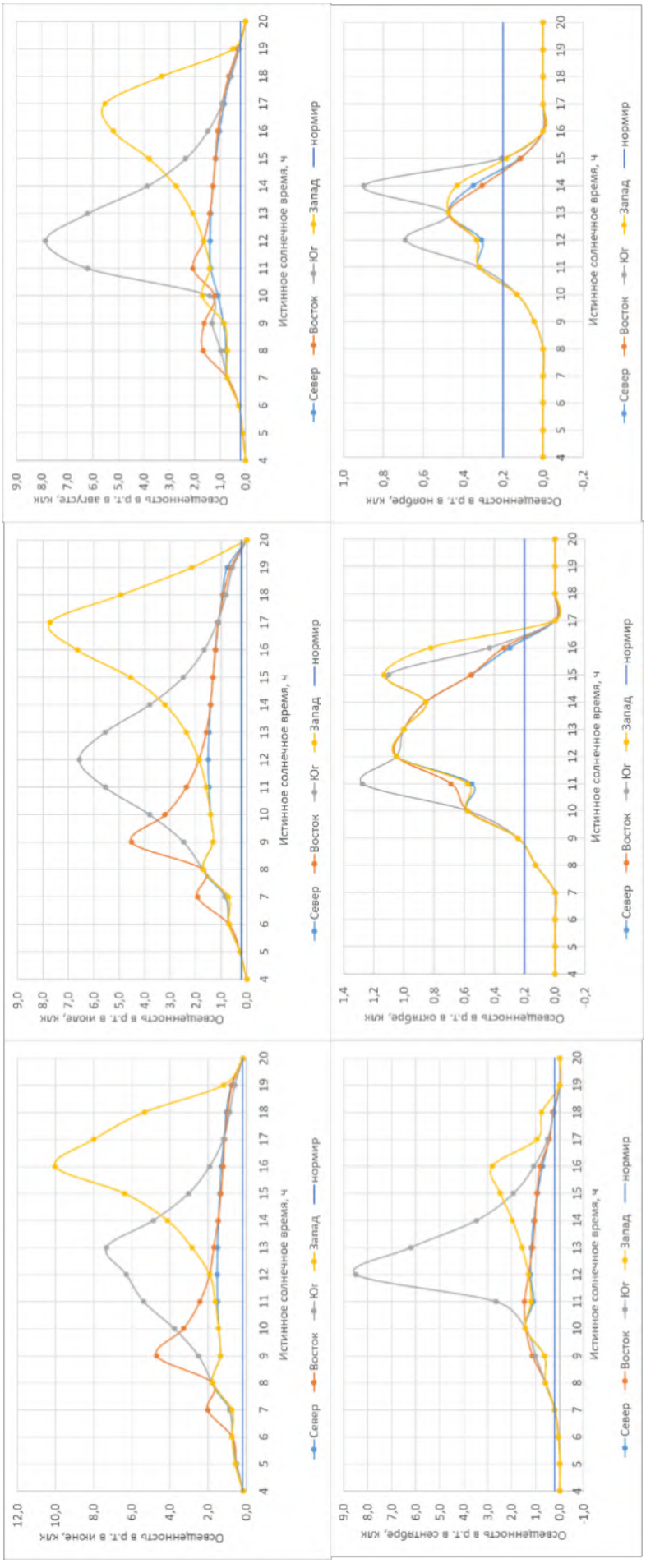


Рисунок В.29 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Якутск

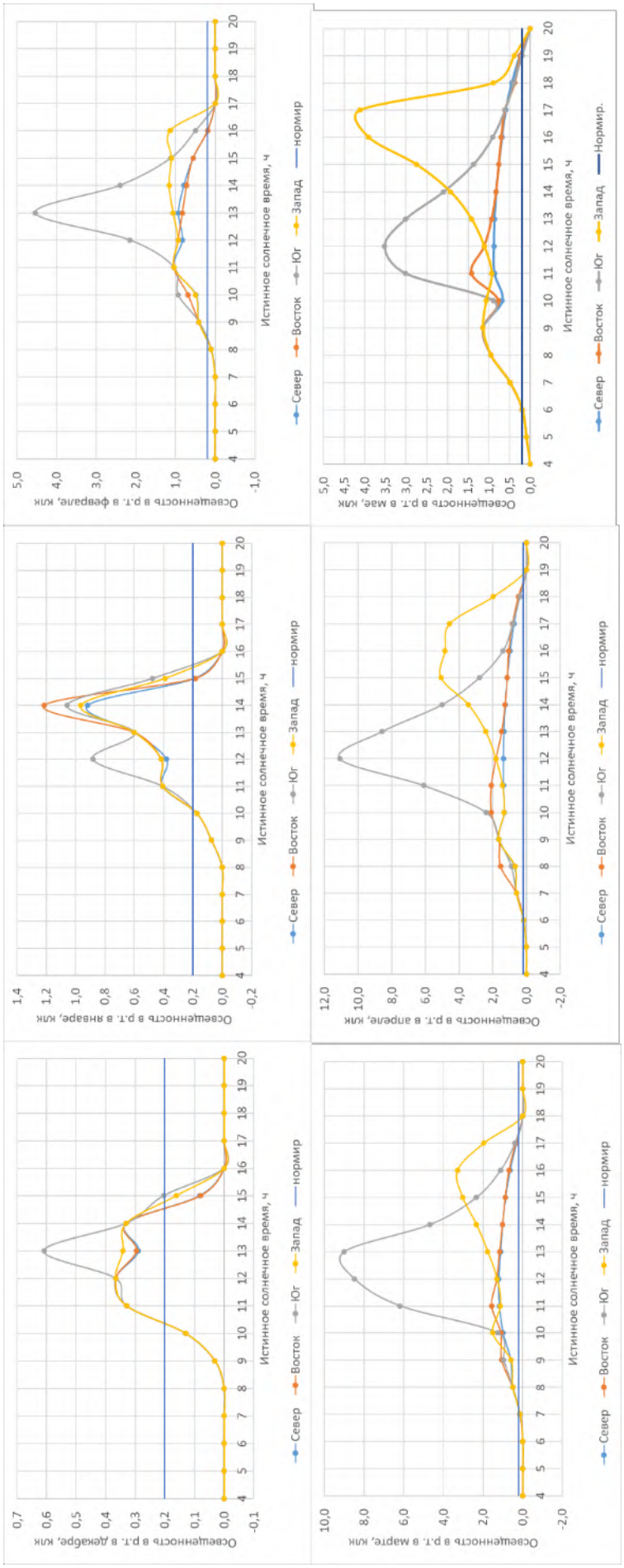


Рисунок В.30 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Верхнее Дуброво

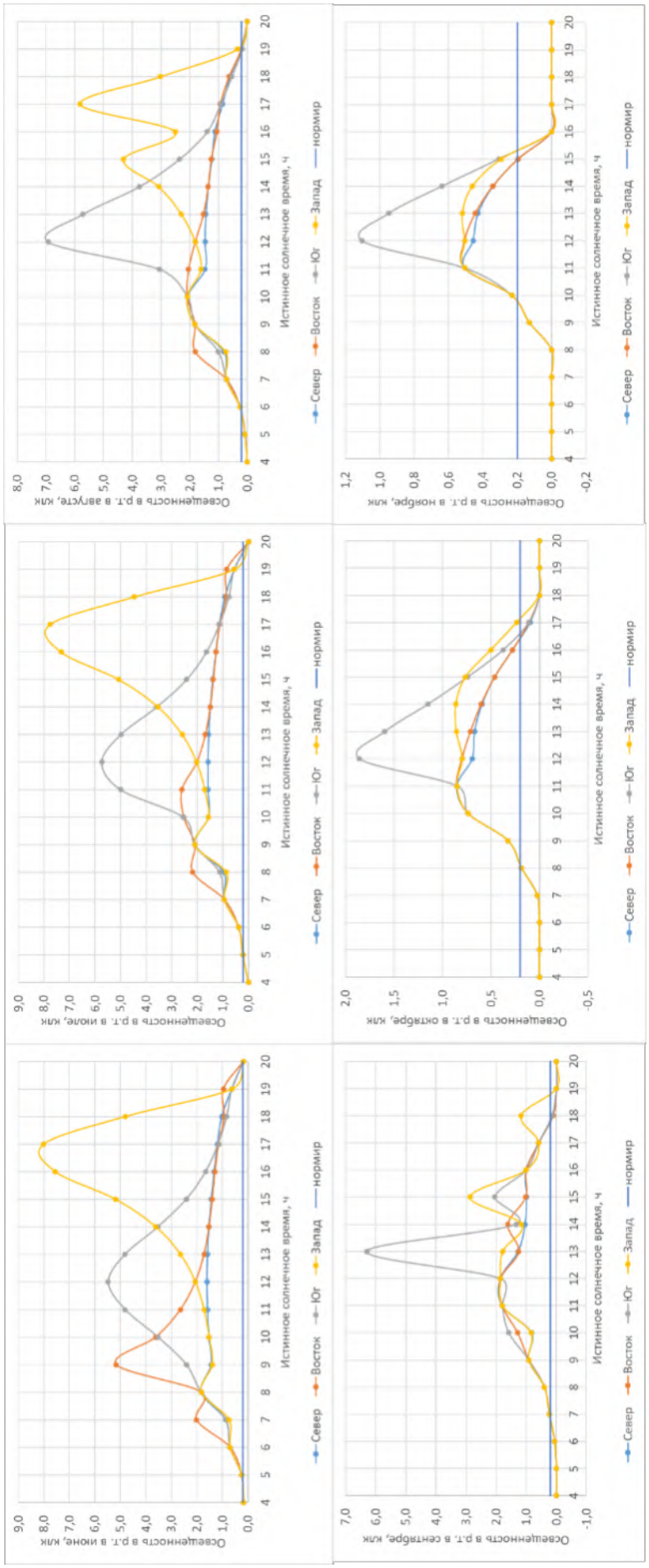


Рисунок В.31 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Верхнее Дуброво

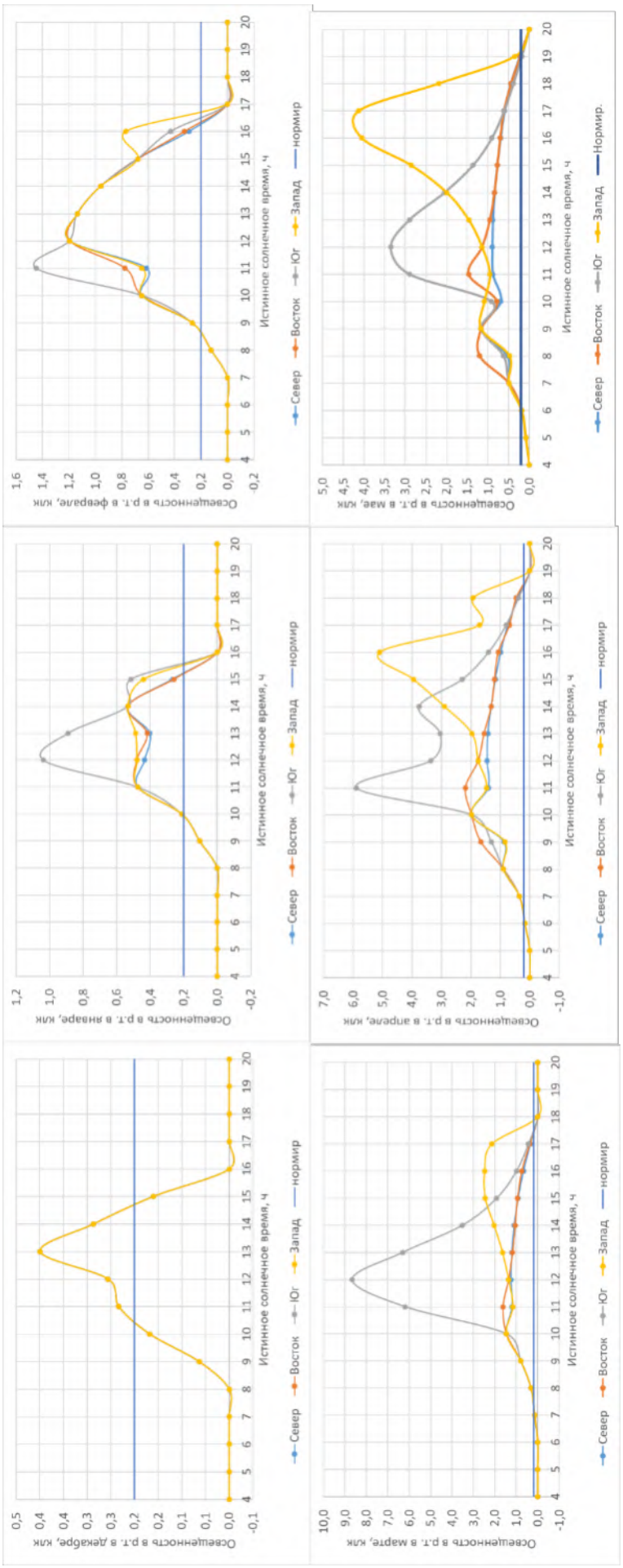


Рисунок В.32 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Смоленск

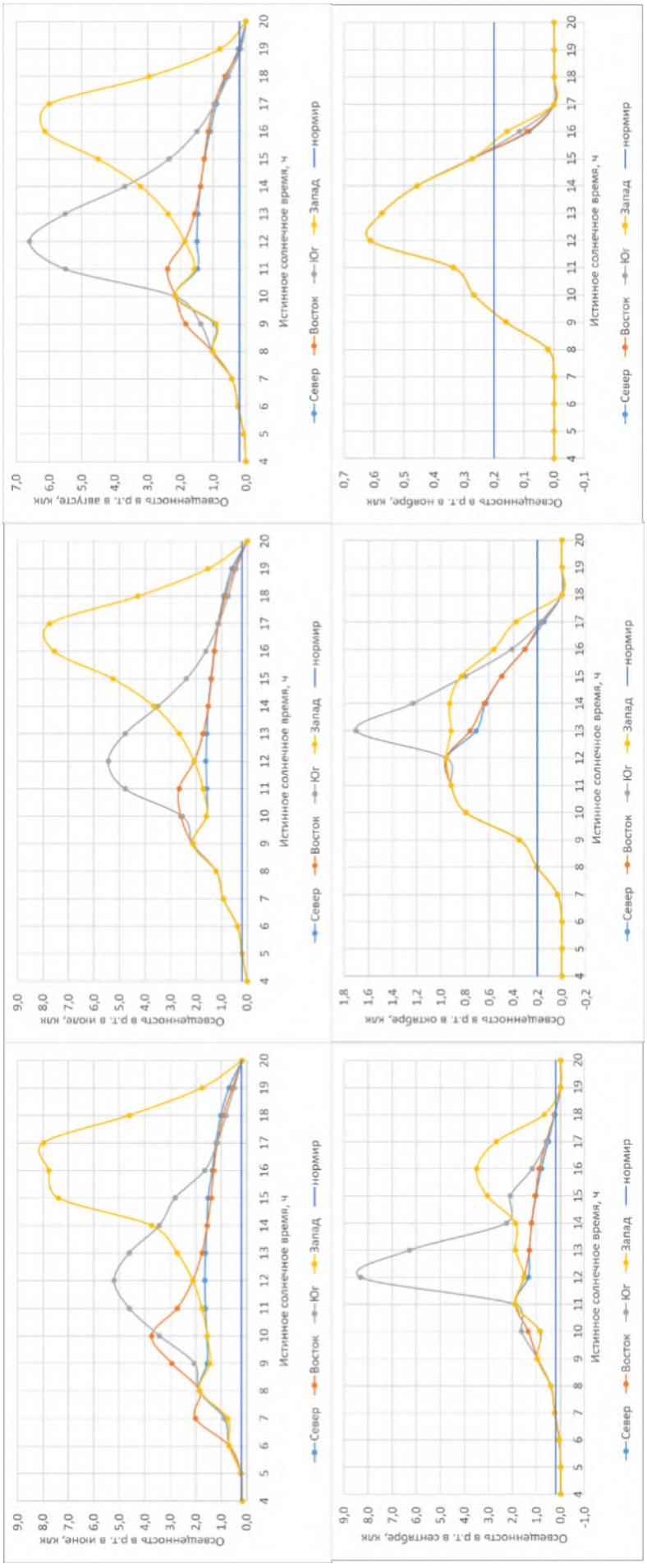


Рисунок В.33 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Смоленск

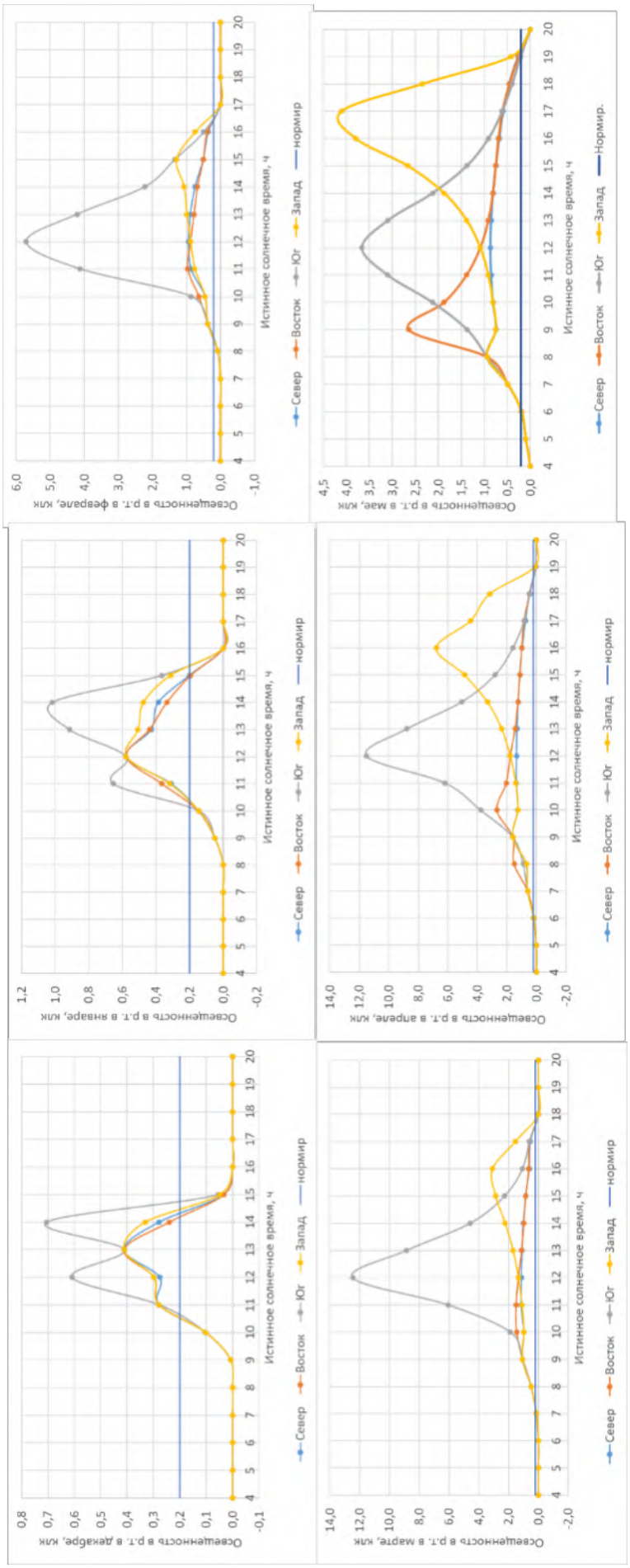


Рисунок В.34 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Тобольск

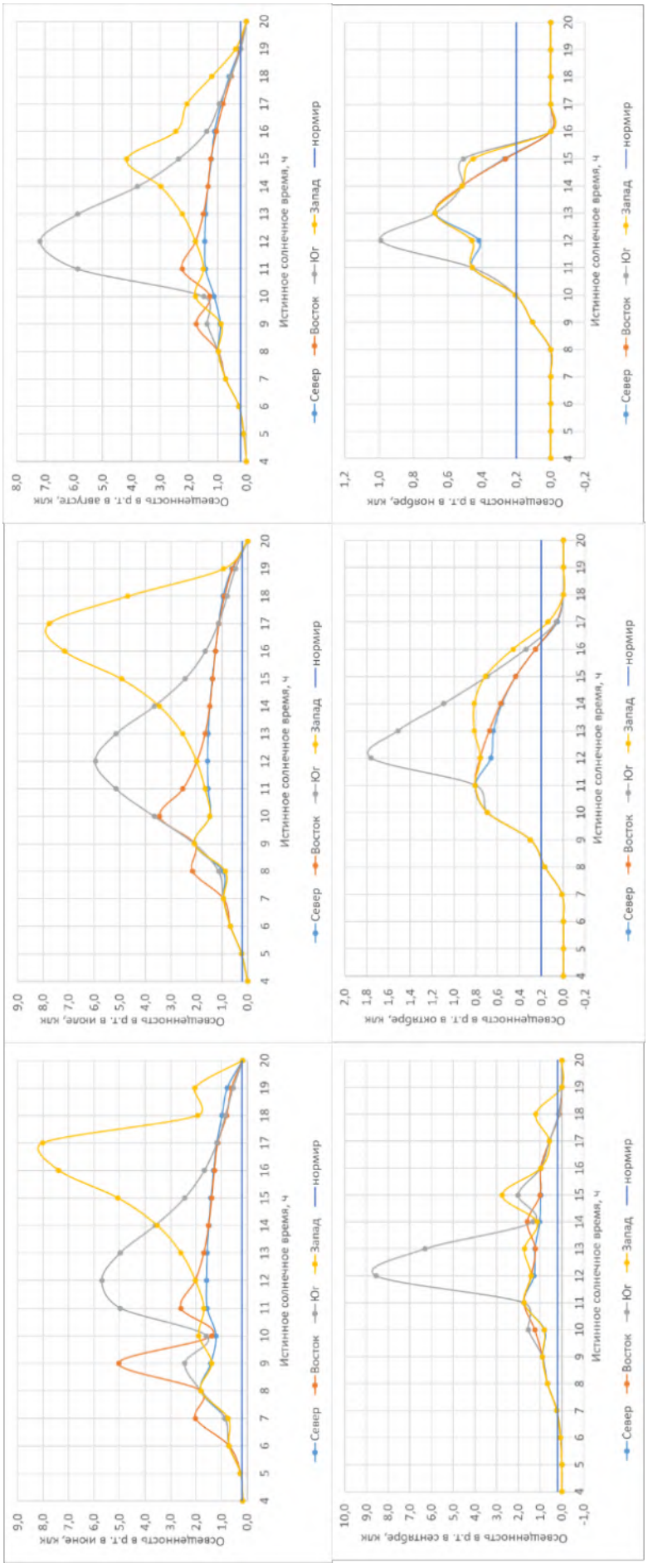


Рисунок В.35 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Тобольск

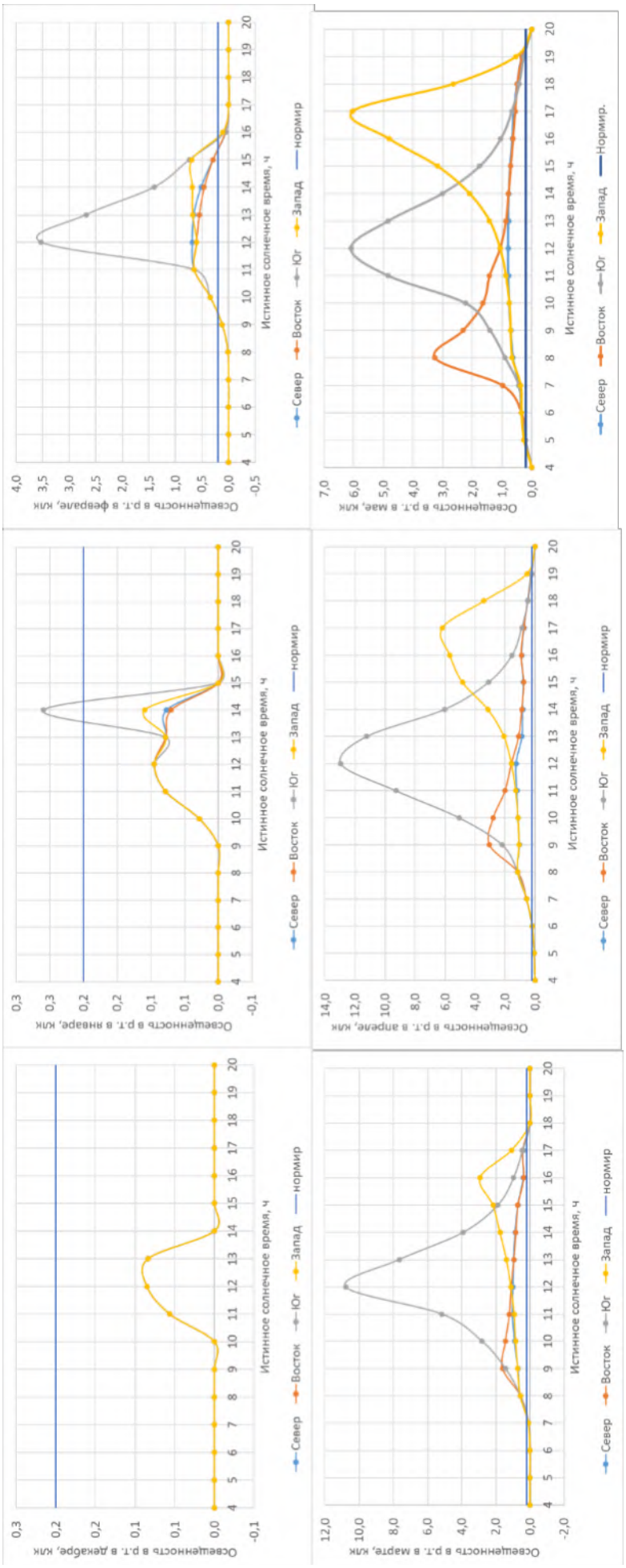


Рисунок В.36 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Марково

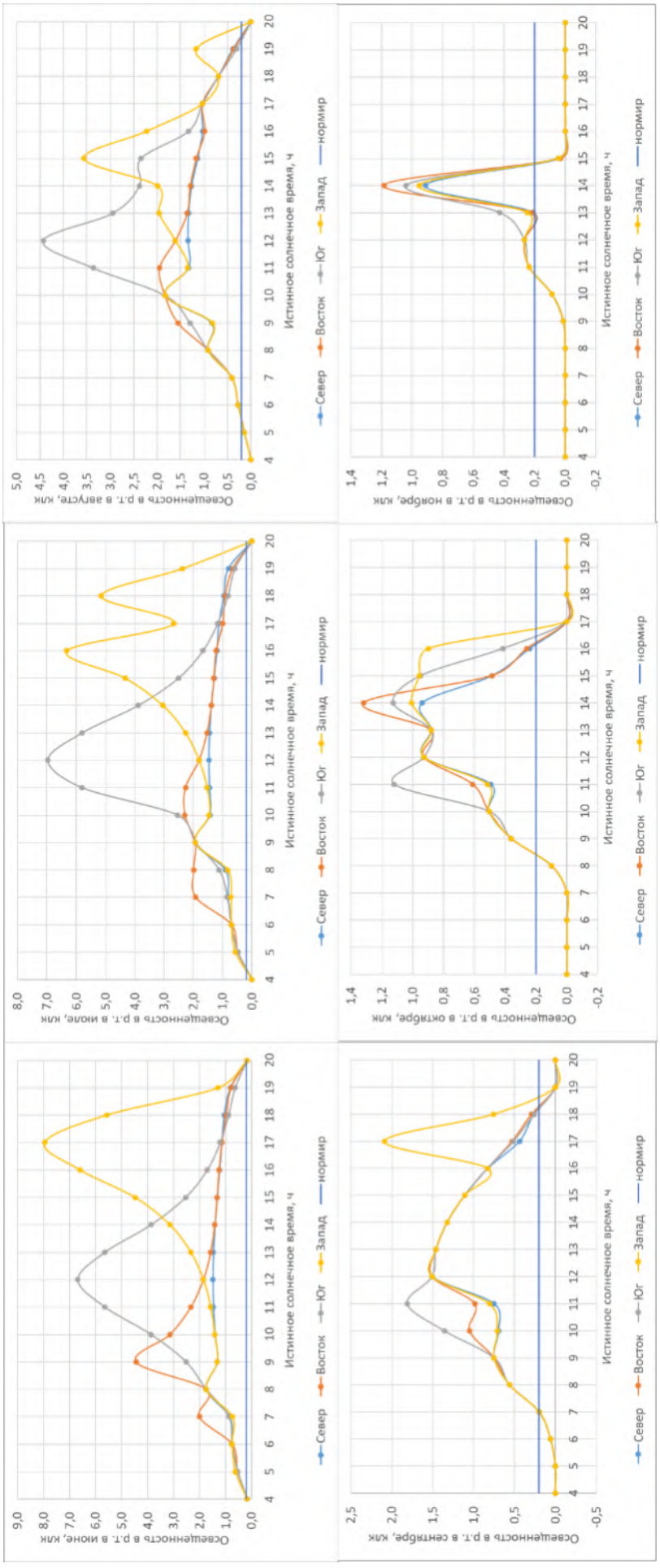


Рисунок В.37 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Марково

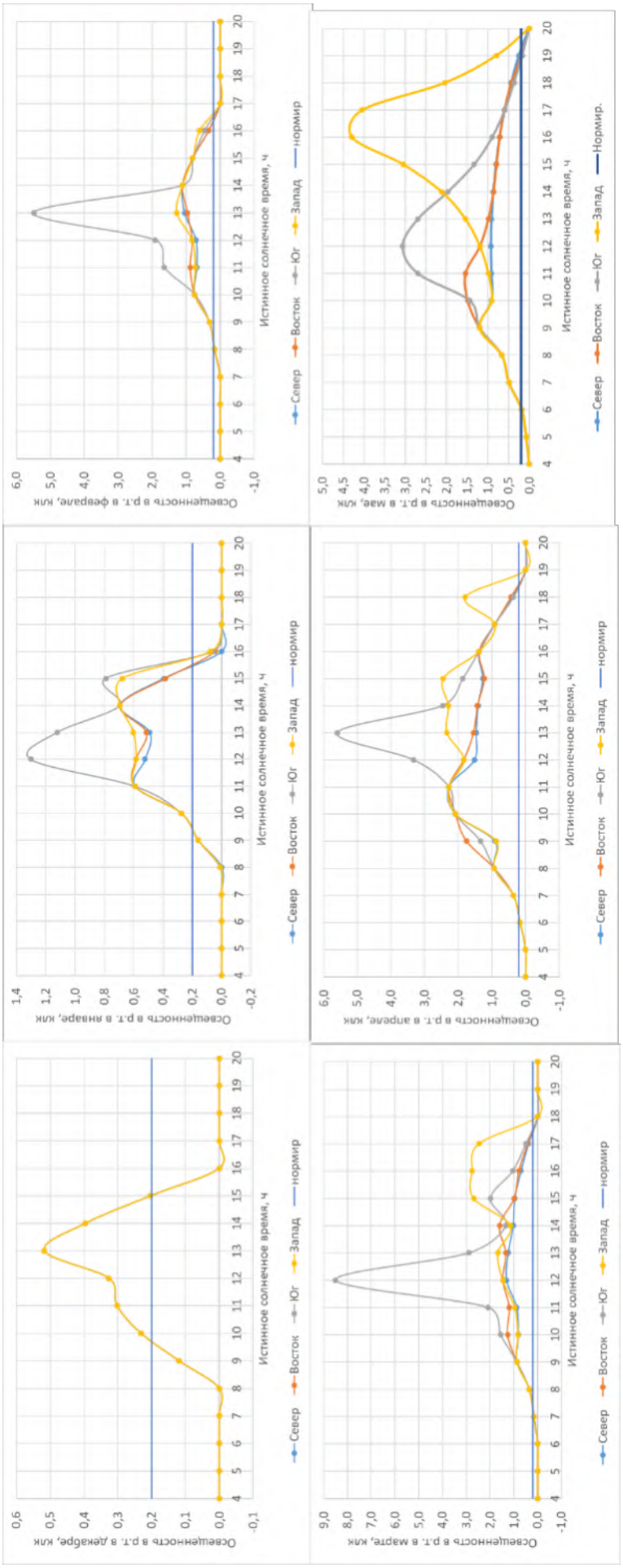


Рисунок В.38 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Курск

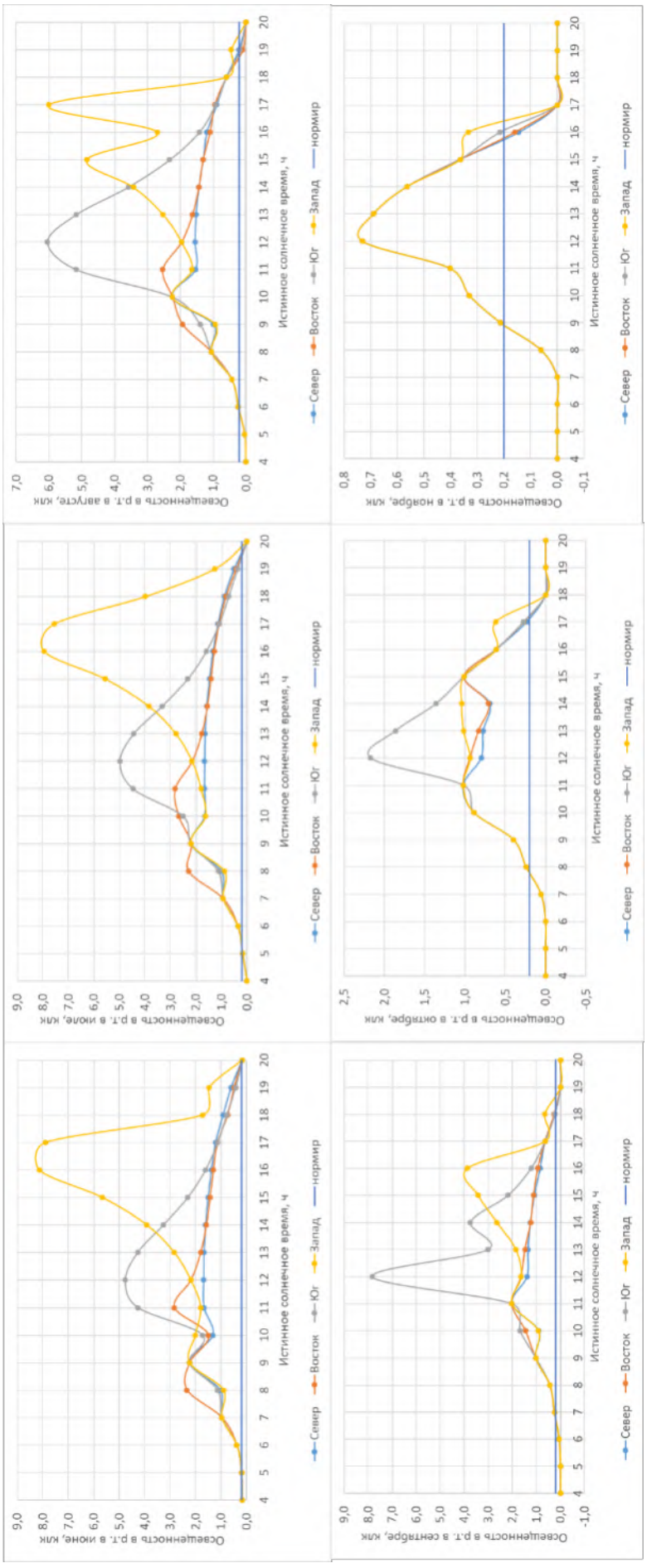


Рисунок В.39 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Курск

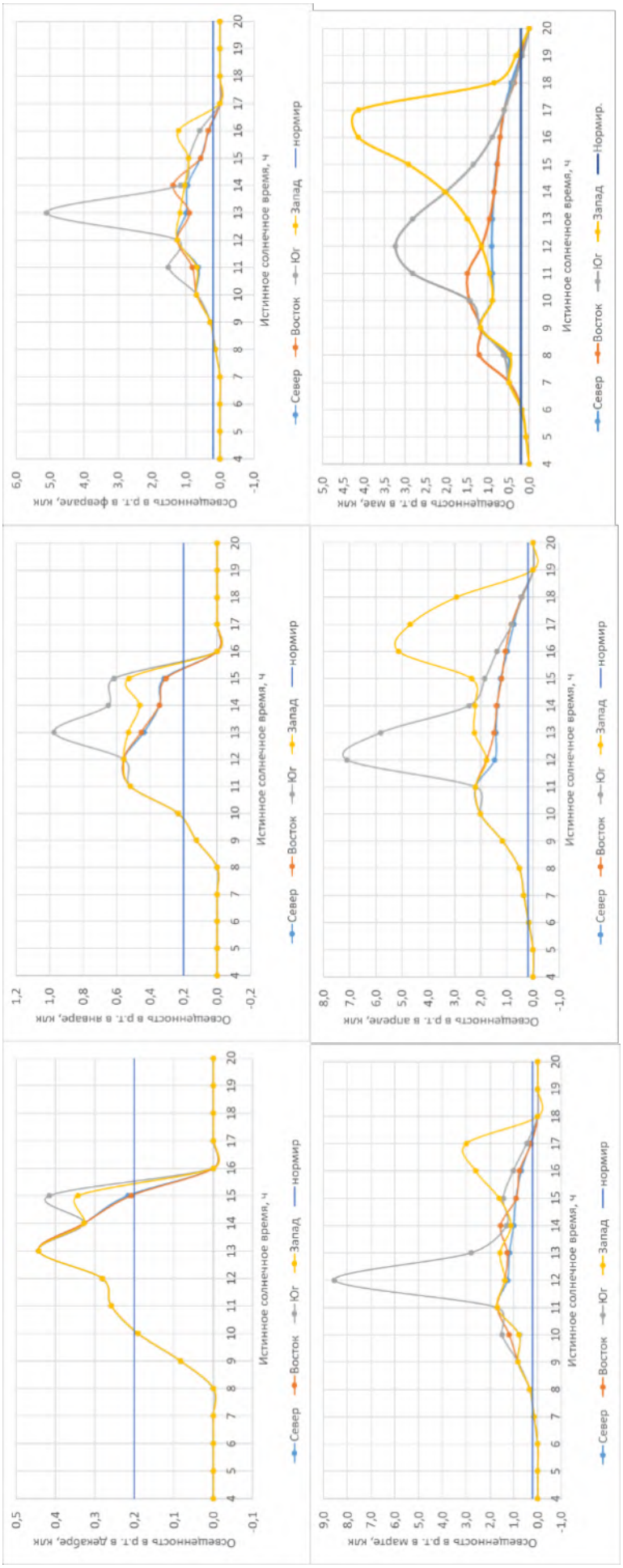


Рисунок В.40 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Советск

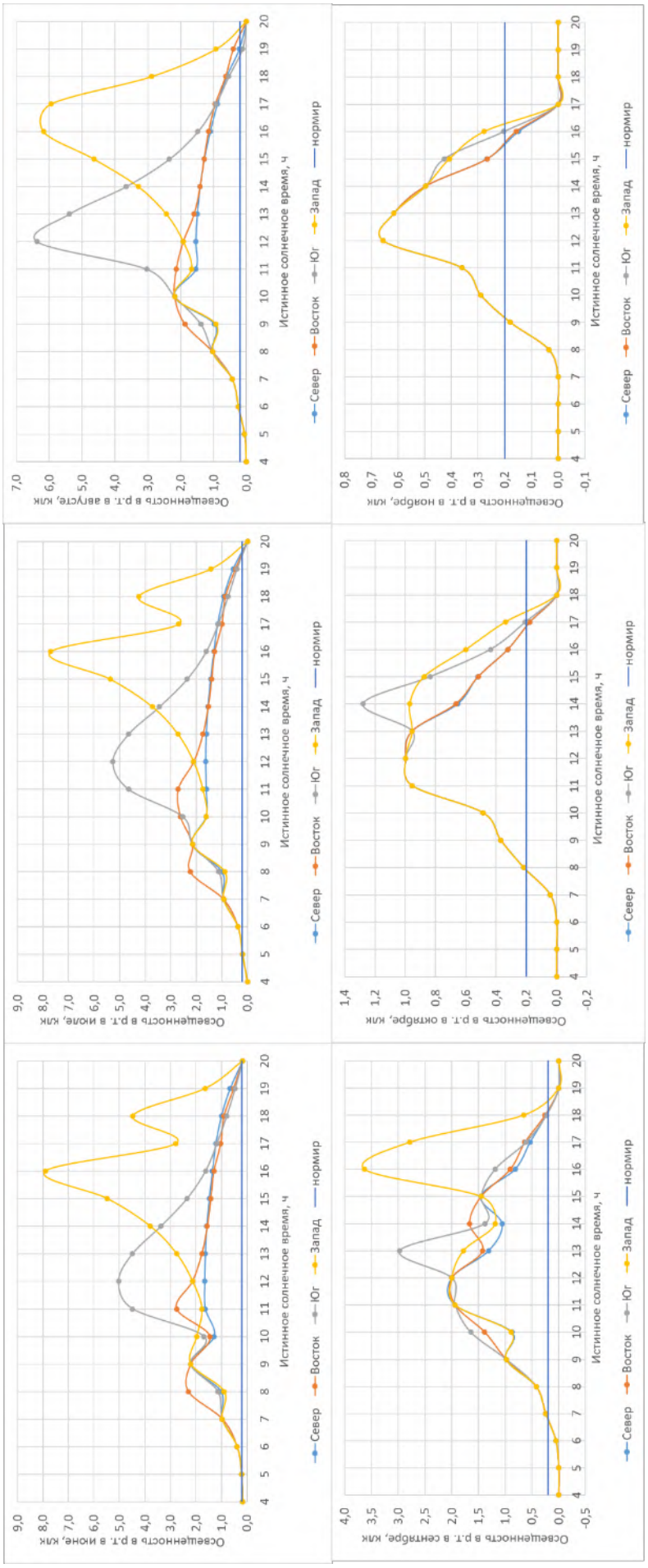


Рисунок В.41 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Советск

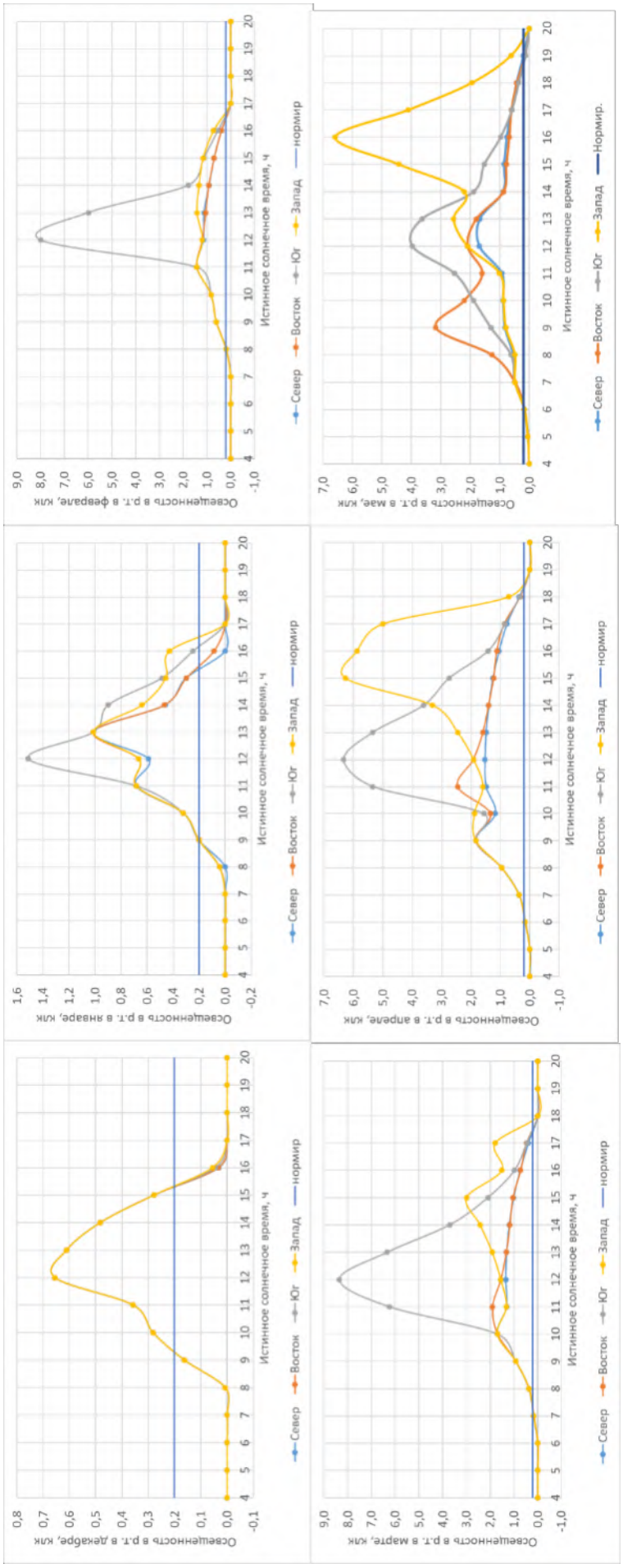


Рисунок В.42 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Волгоград

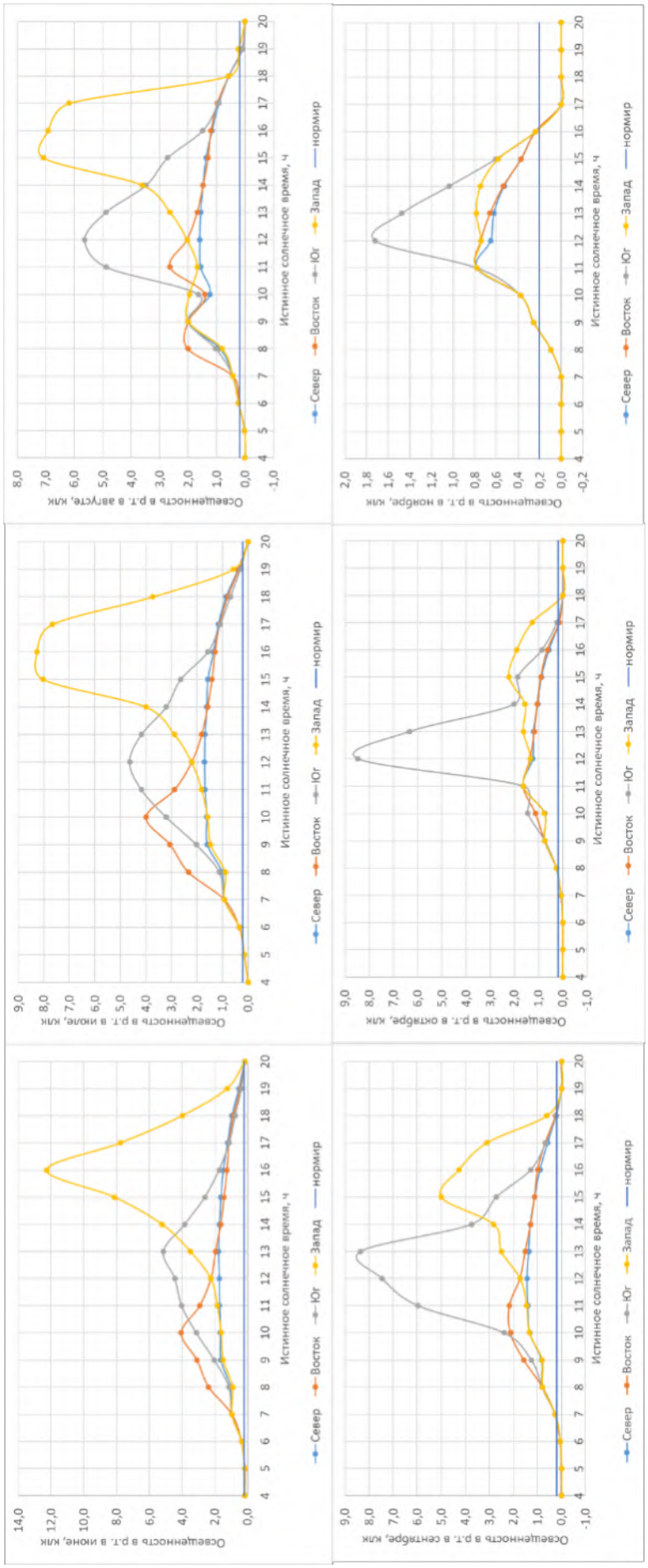


Рисунок В.43 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Волгоград

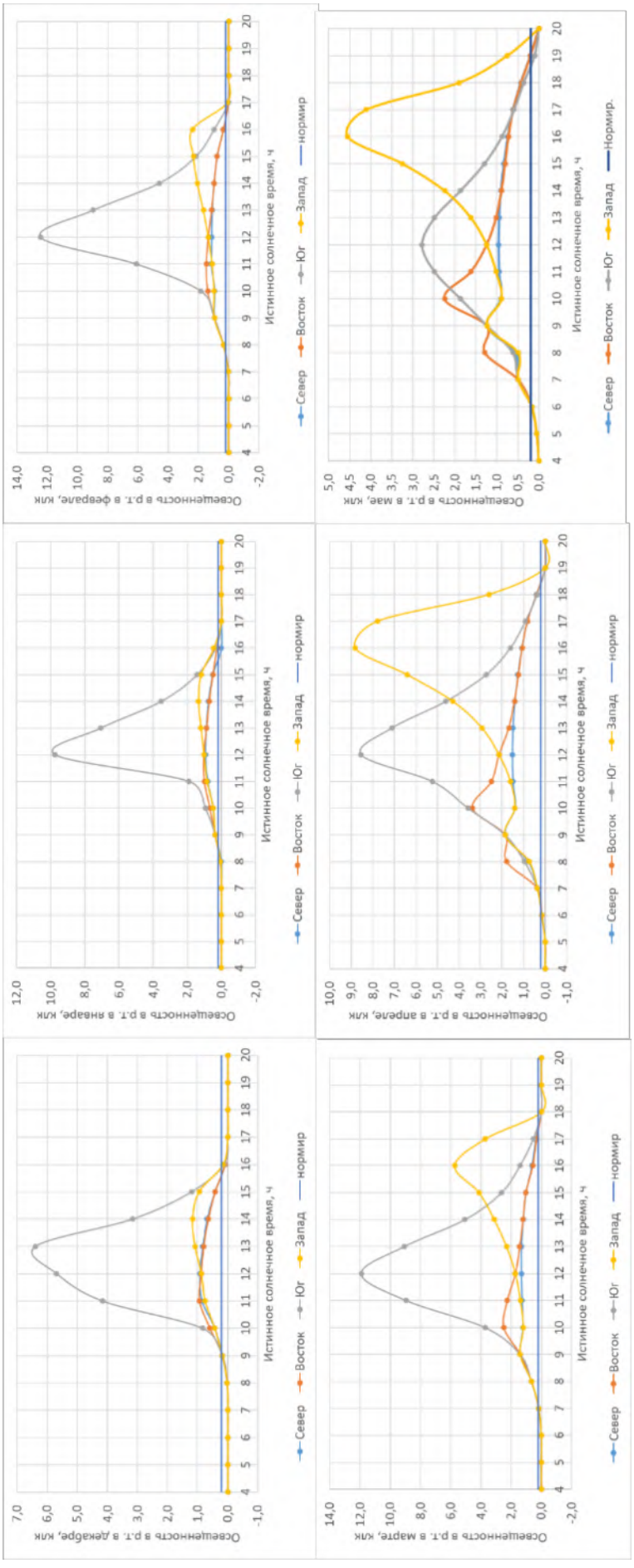


Рисунок В.44 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Екатерино-Никольское

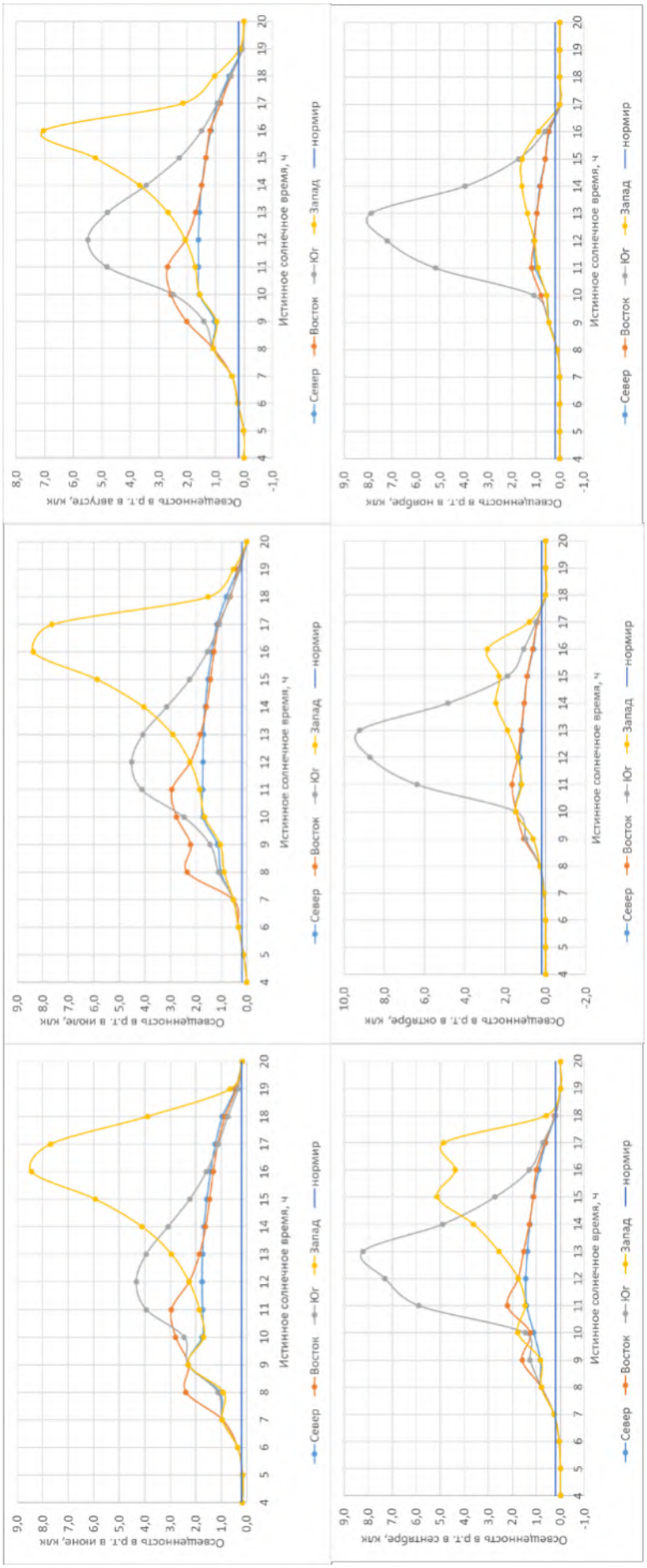


Рисунок В.45 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Екатерино-Никольское

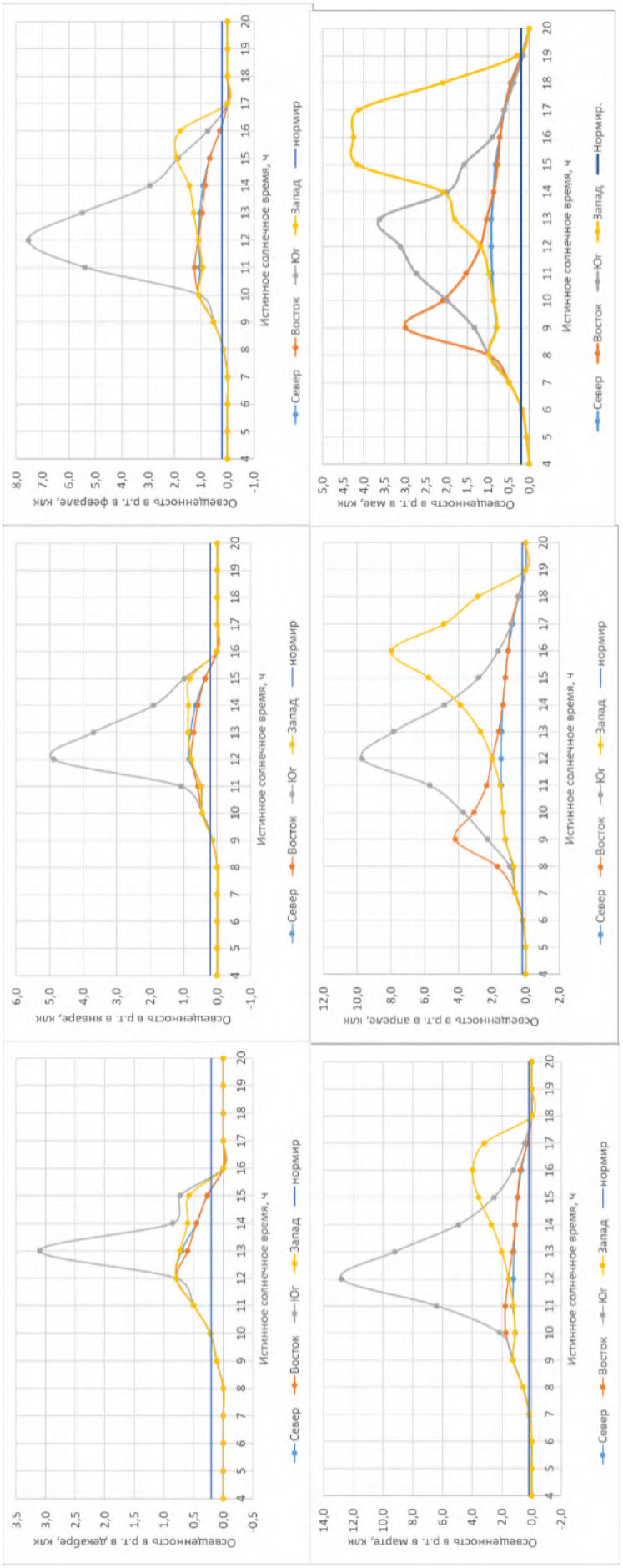


Рисунок В.46 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Чита

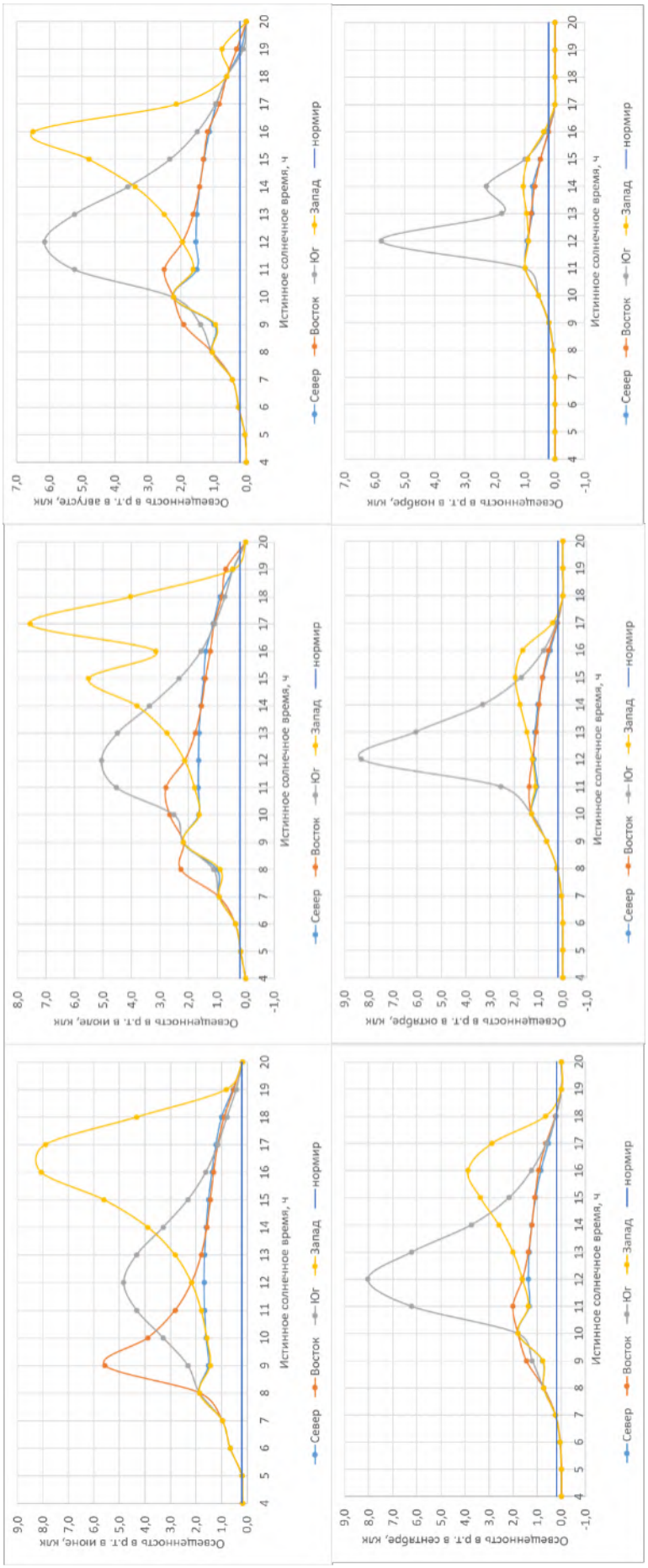


Рисунок В.47 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Чита

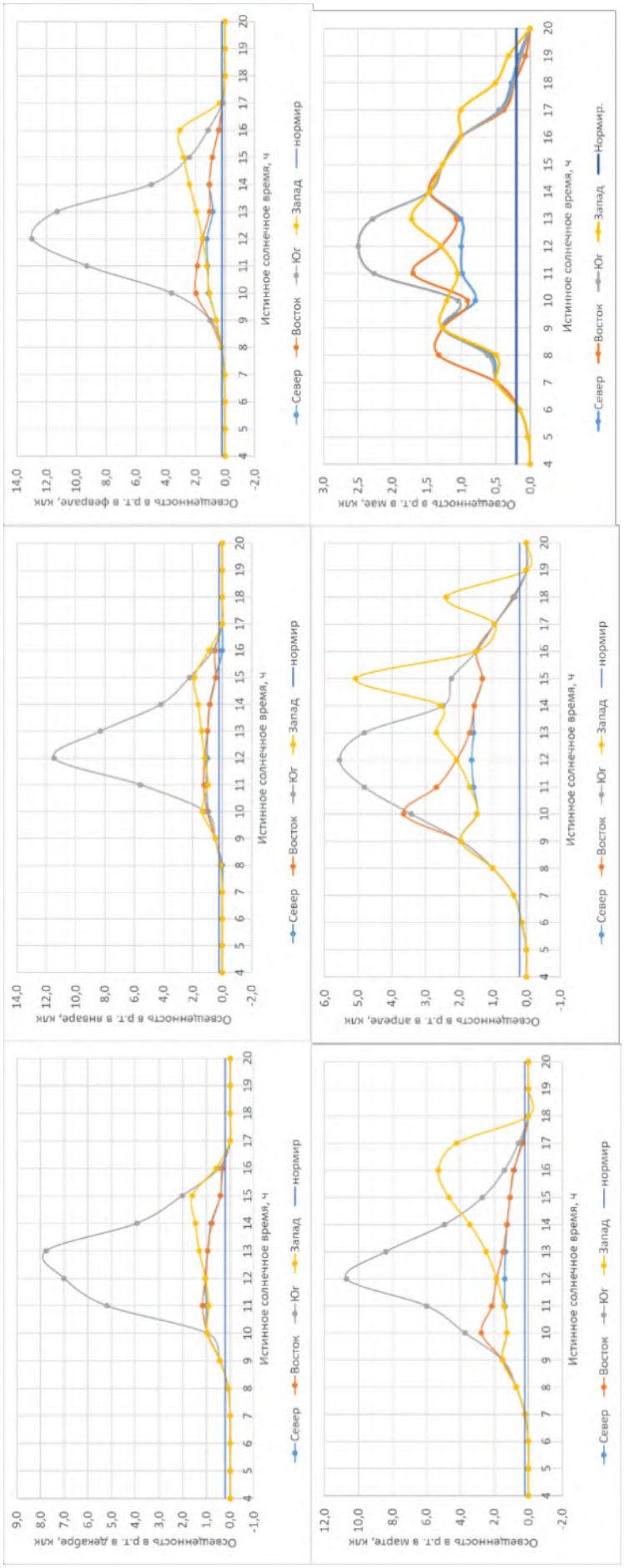


Рисунок В.48 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Шаджатмаз

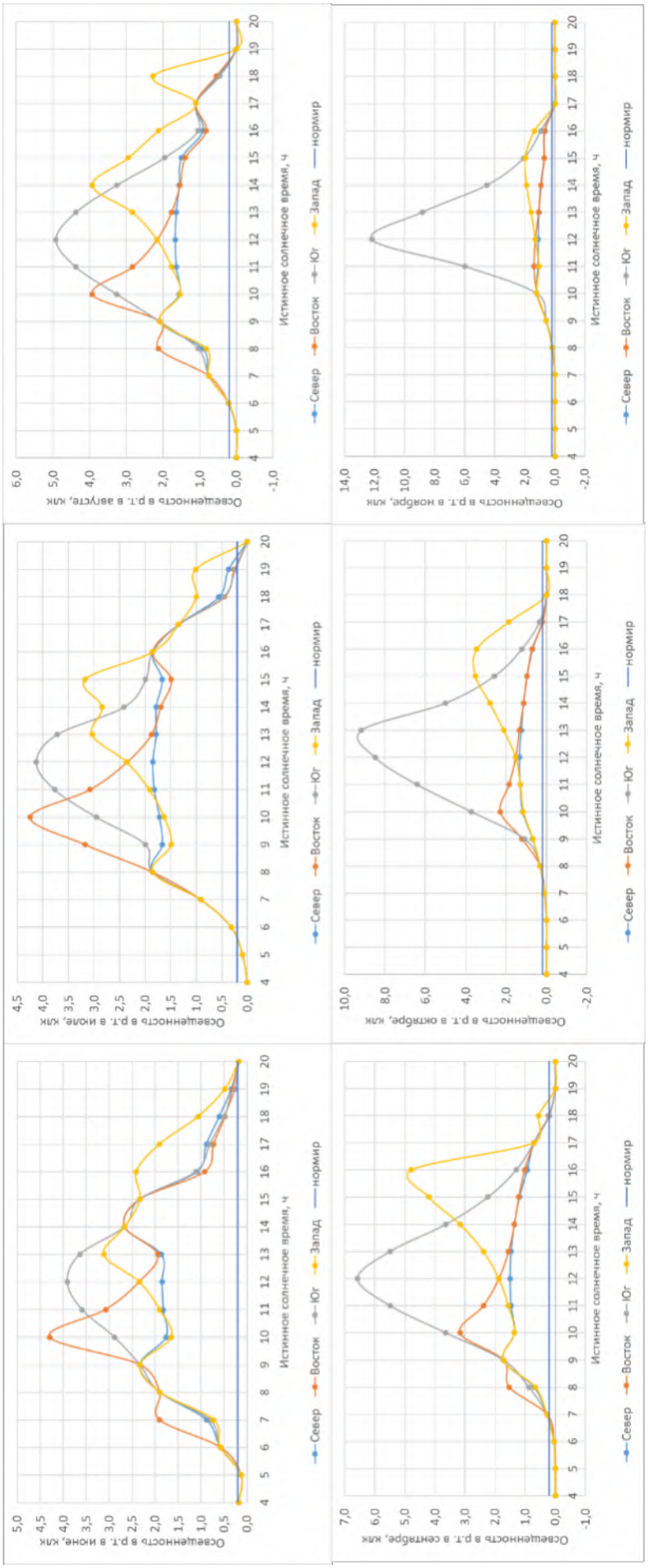


Рисунок В.49 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Шаджатмаз

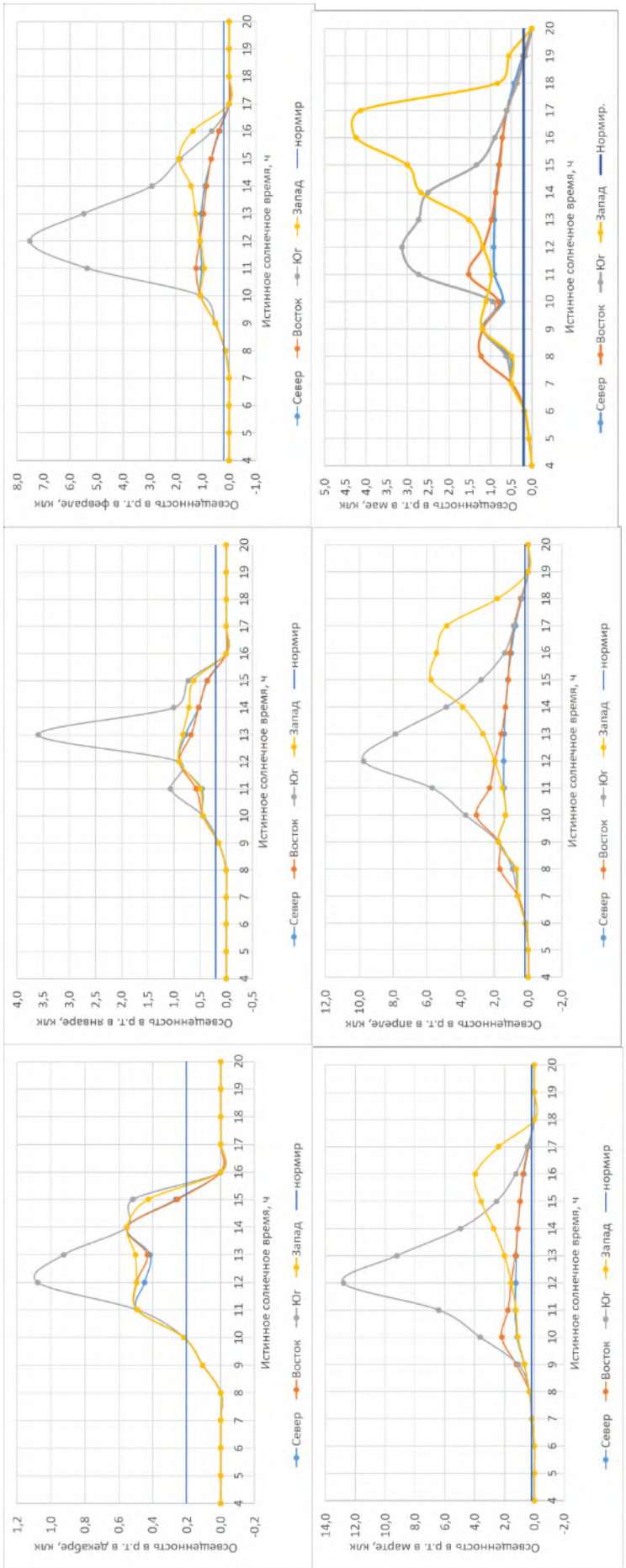


Рисунок В.50 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Иркутск

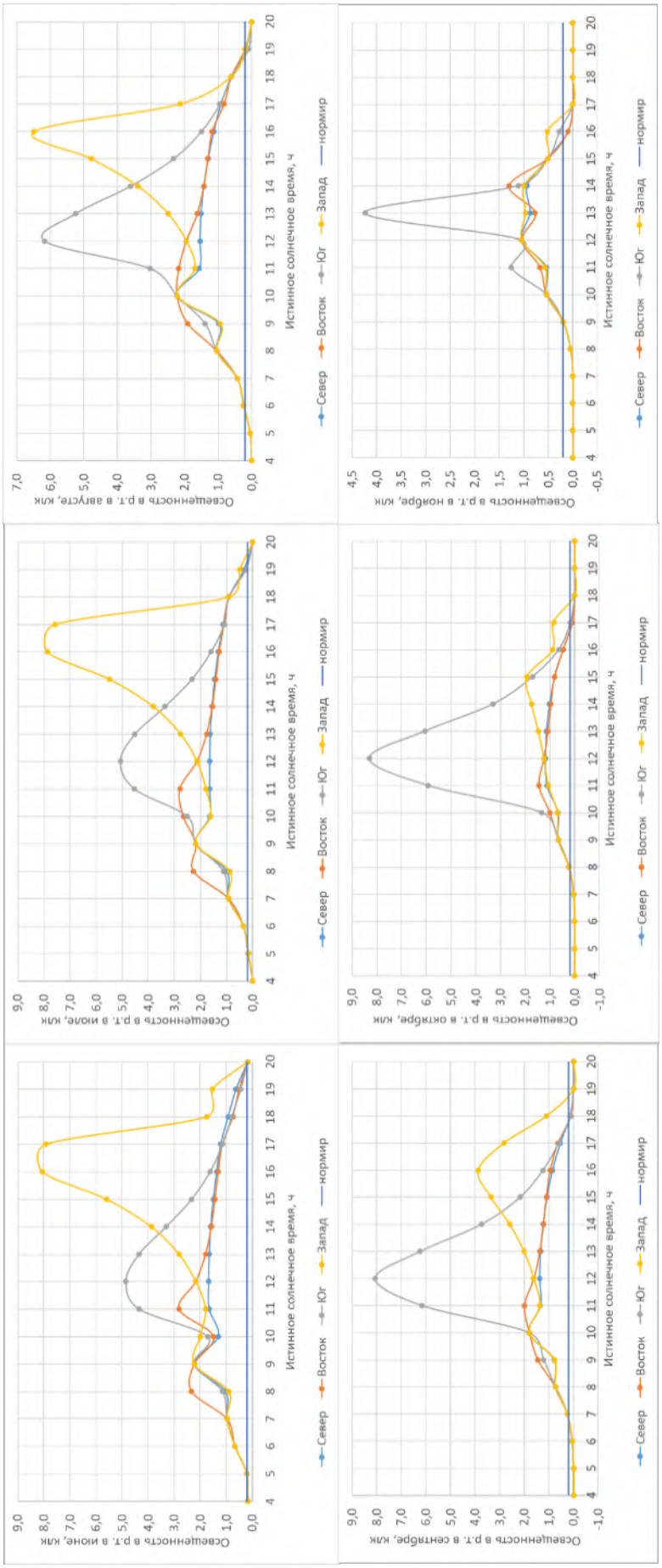


Рисунок В.51 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Иркутск

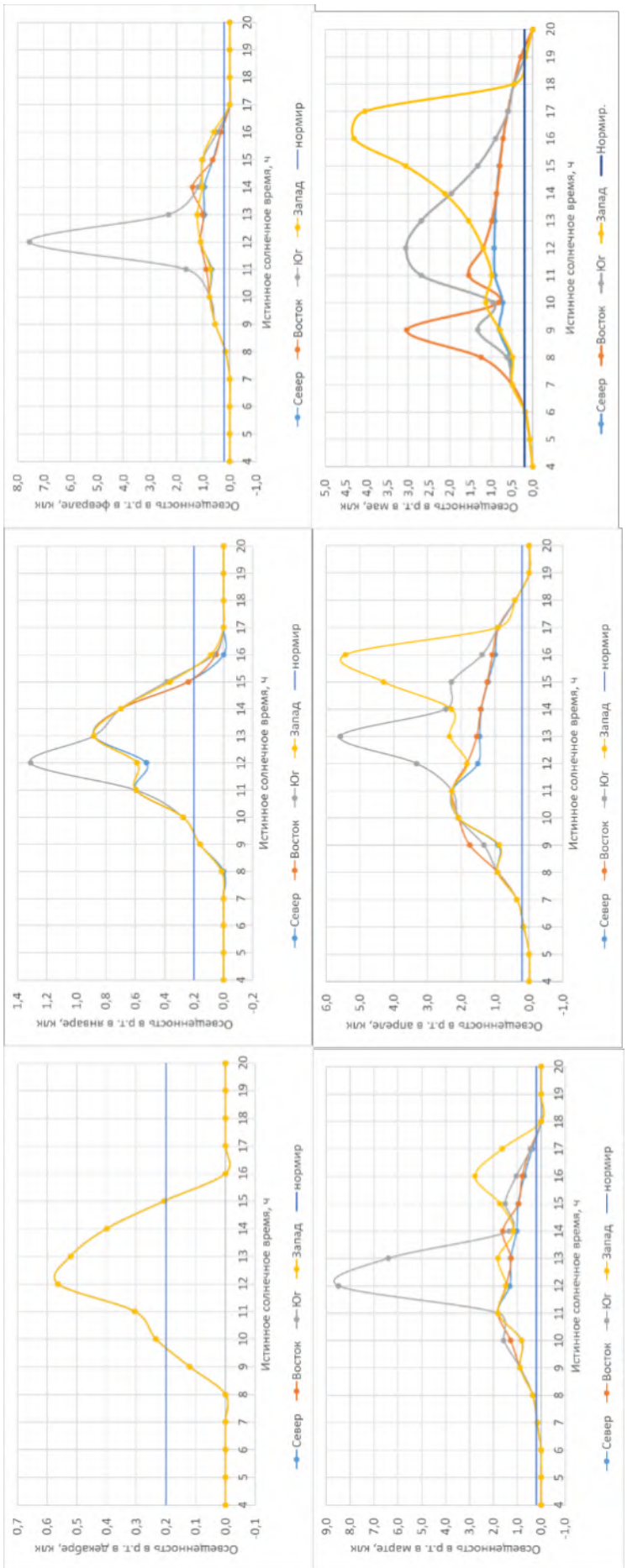


Рисунок В.52 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Нижнедевицк

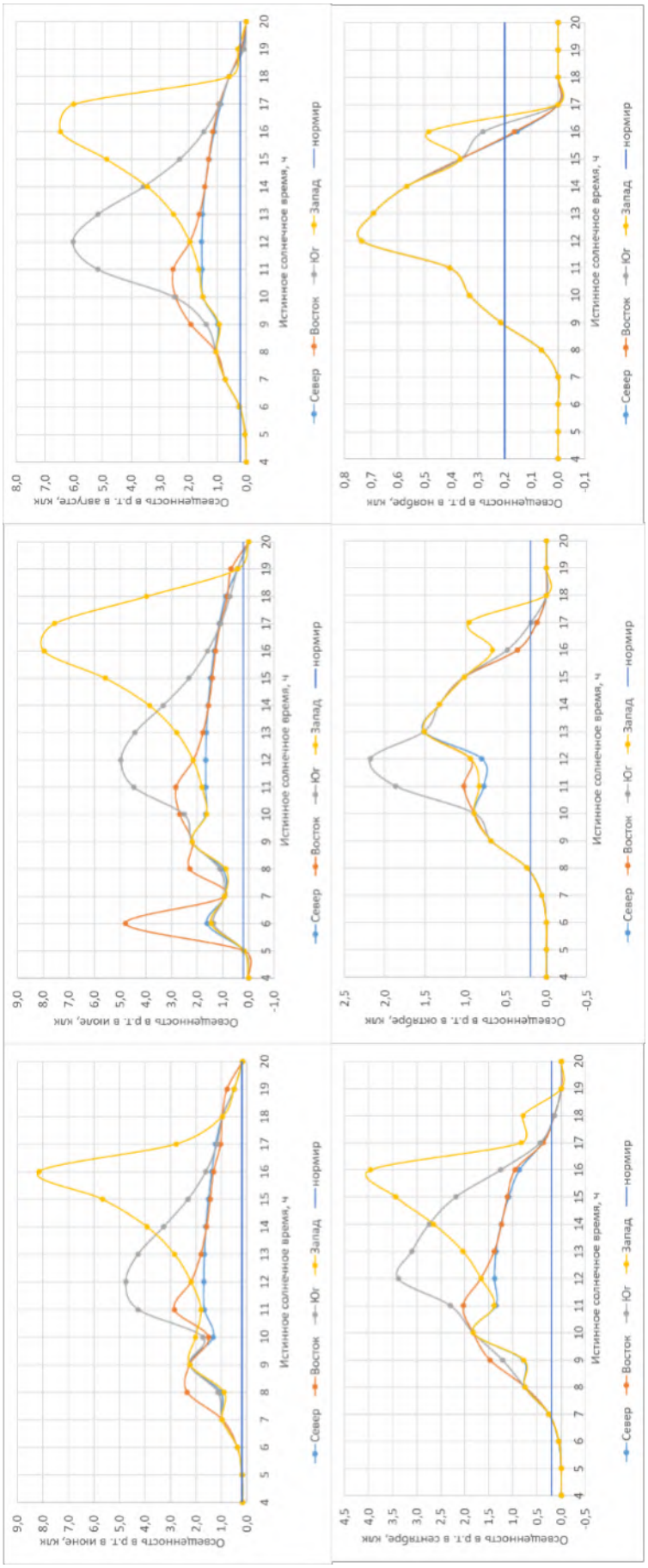


Рисунок В.53 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Нижнедевицк

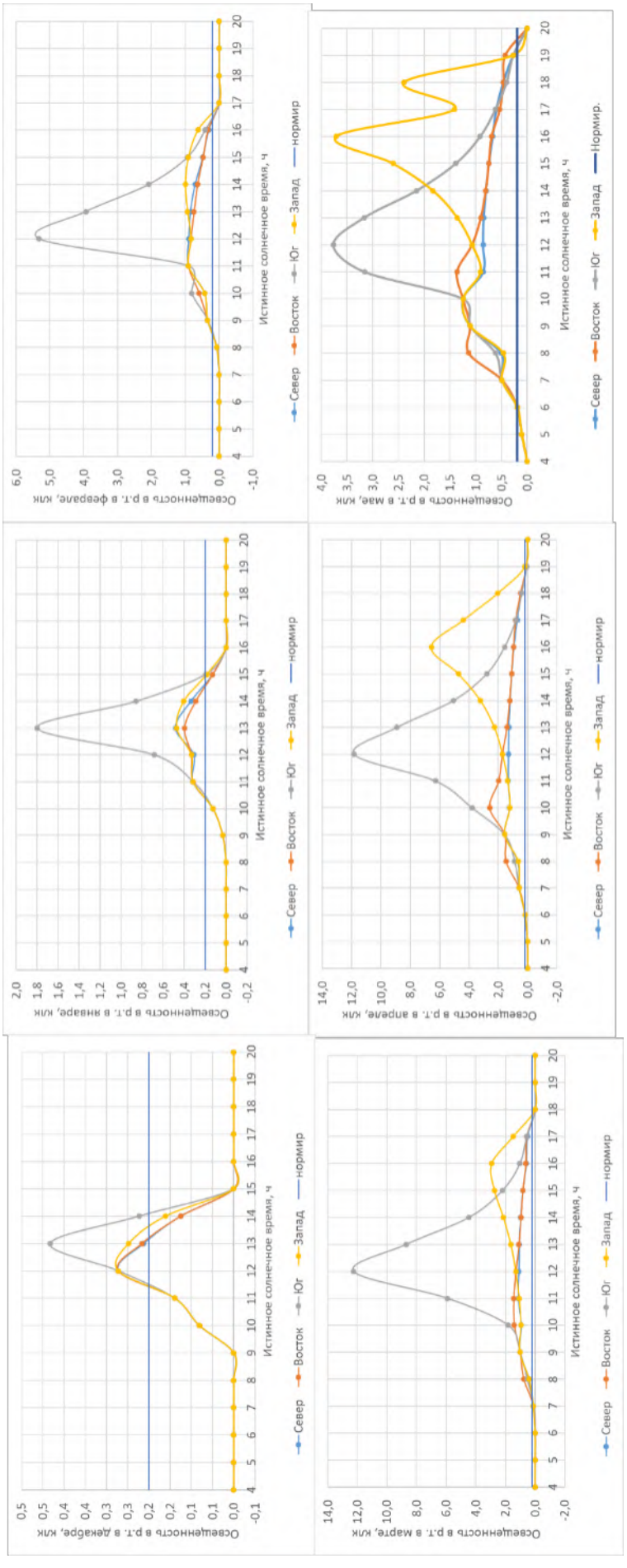


Рисунок В.54 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Магадан

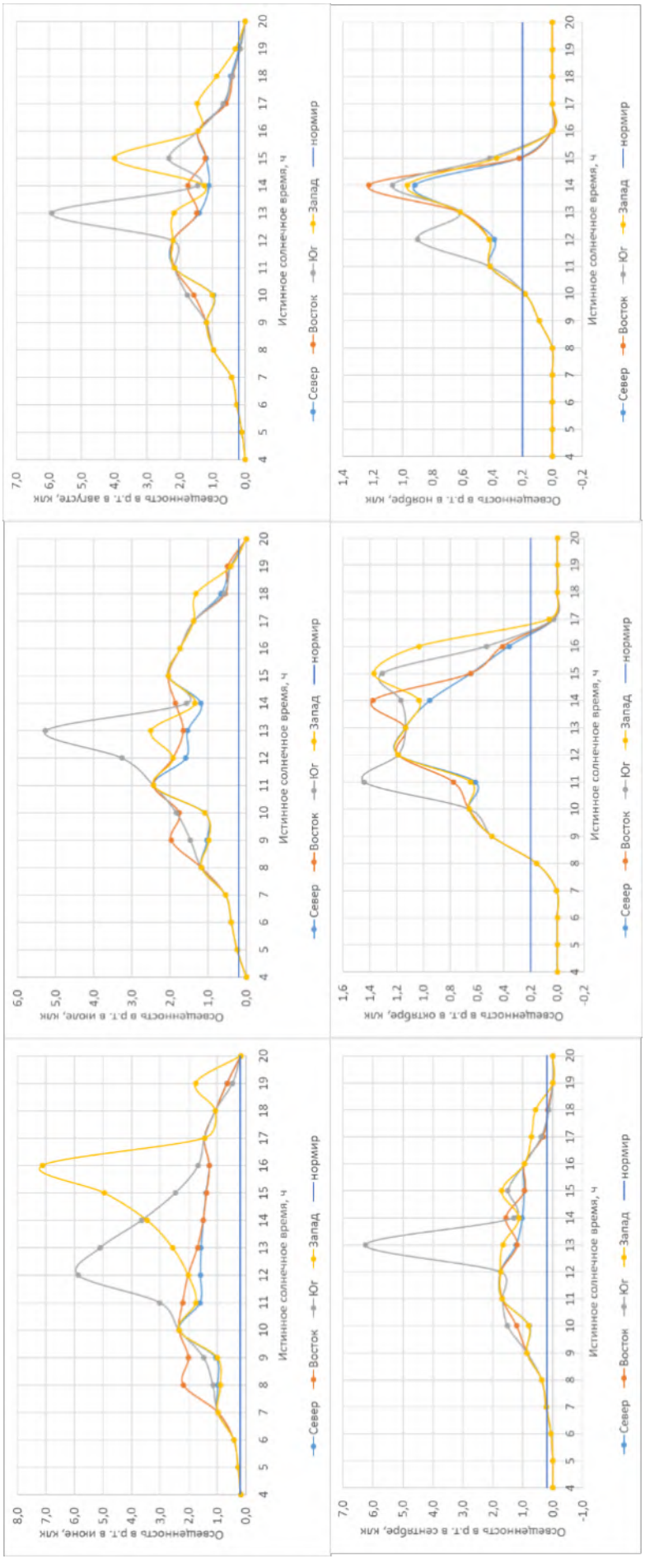


Рисунок В.55 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Магадан

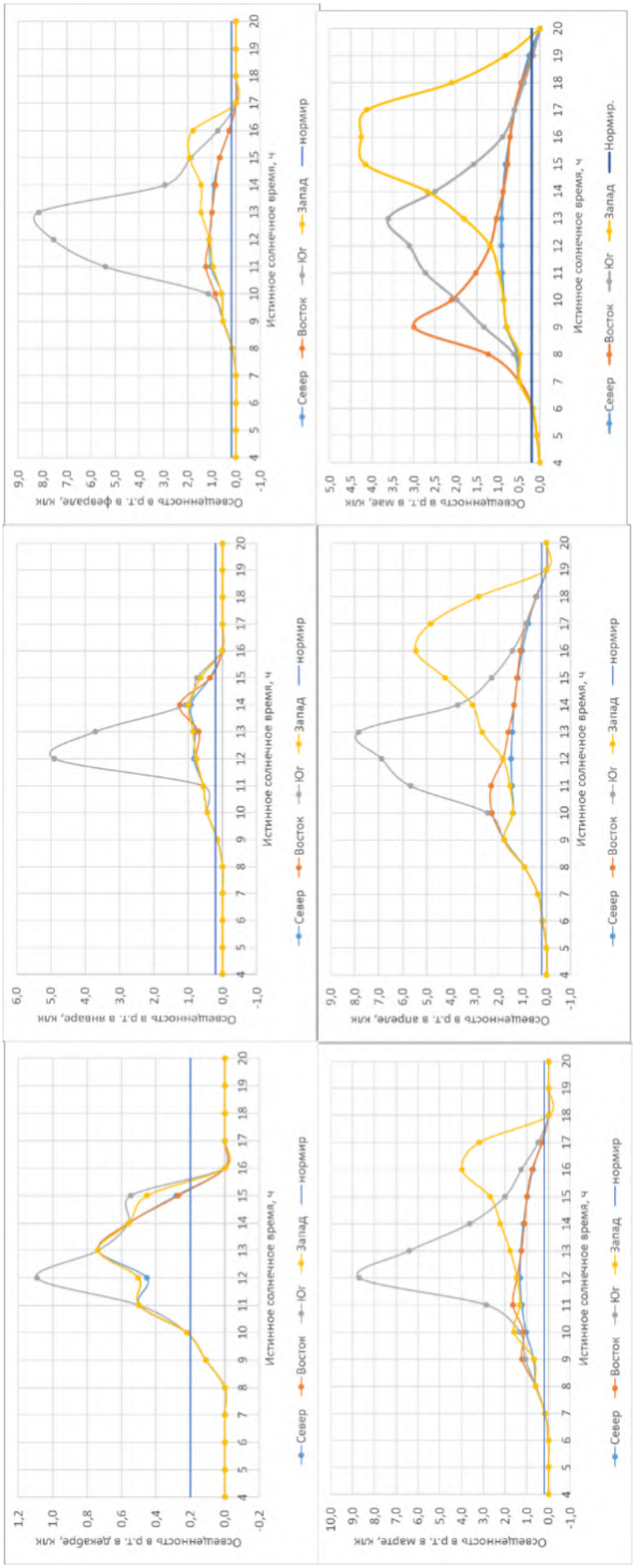


Рисунок В.56 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Чебеньки

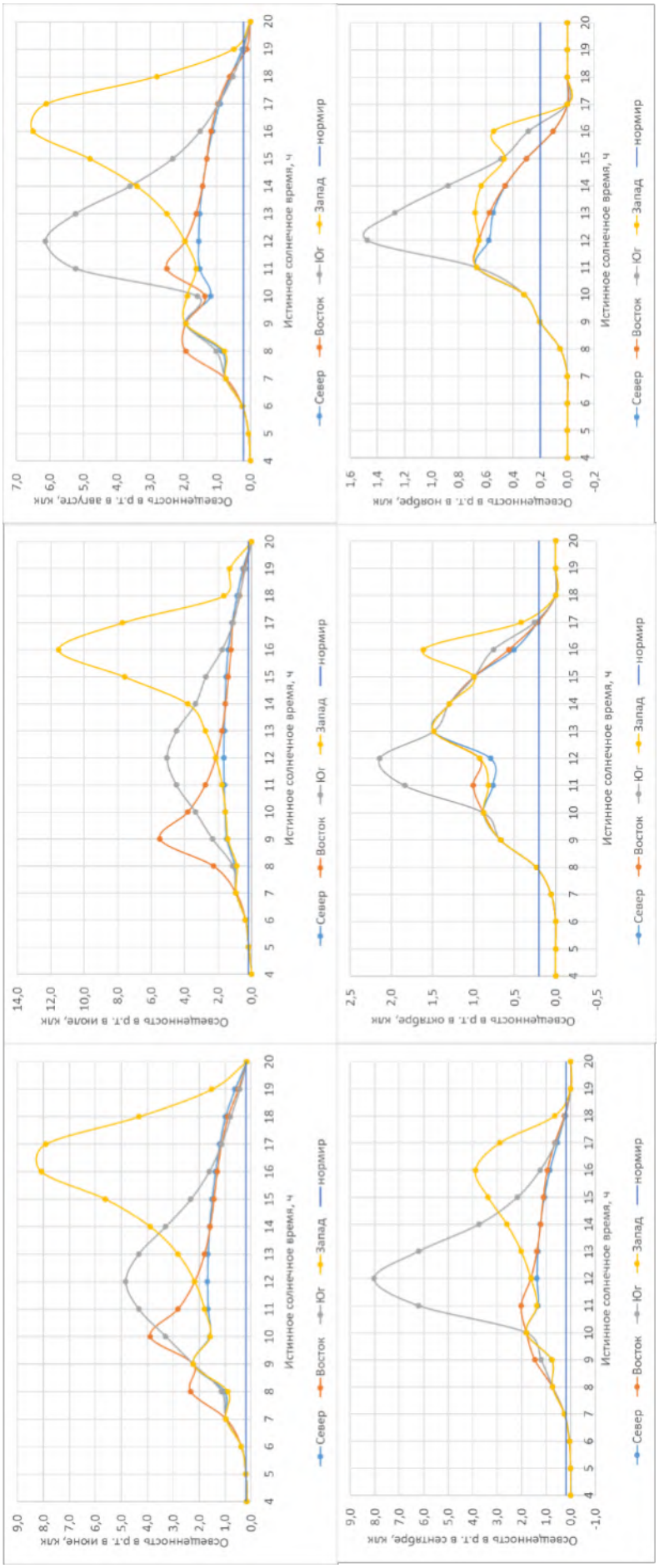


Рисунок В.57 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Чебеньки

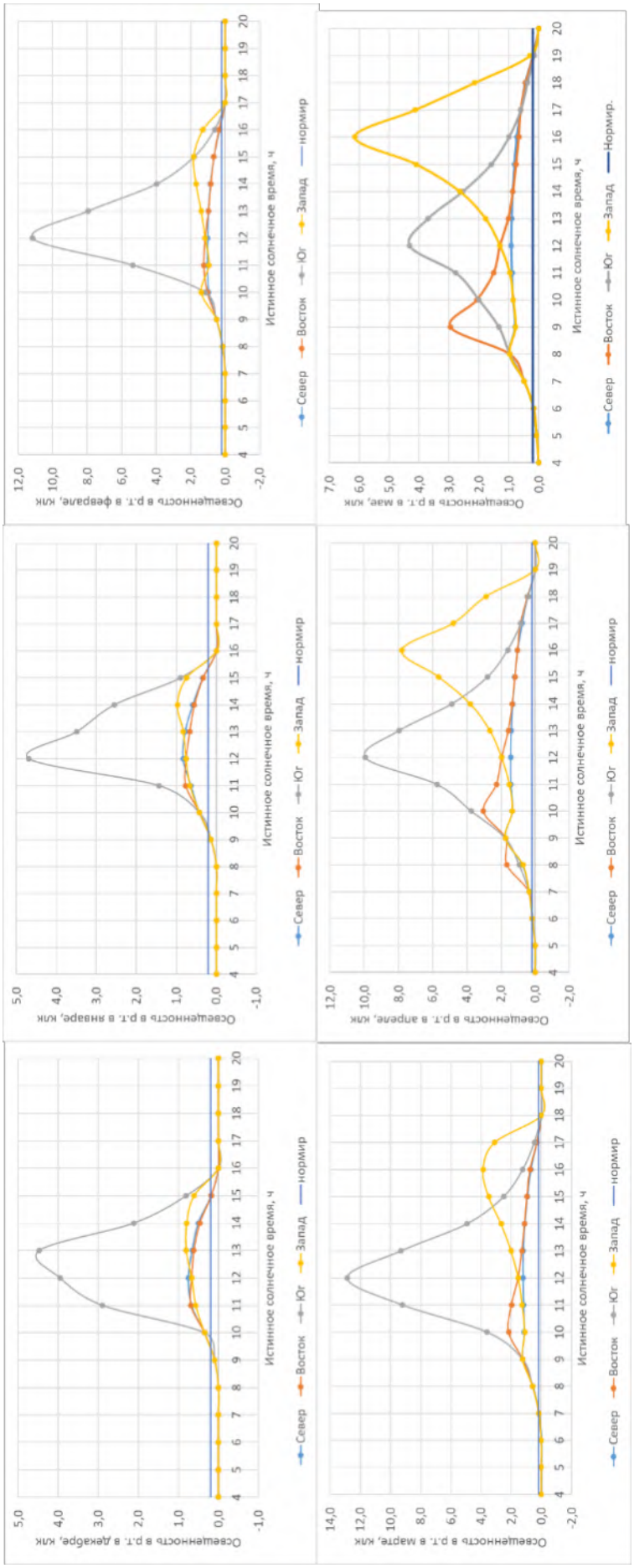


Рисунок В.58 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Благовещенка

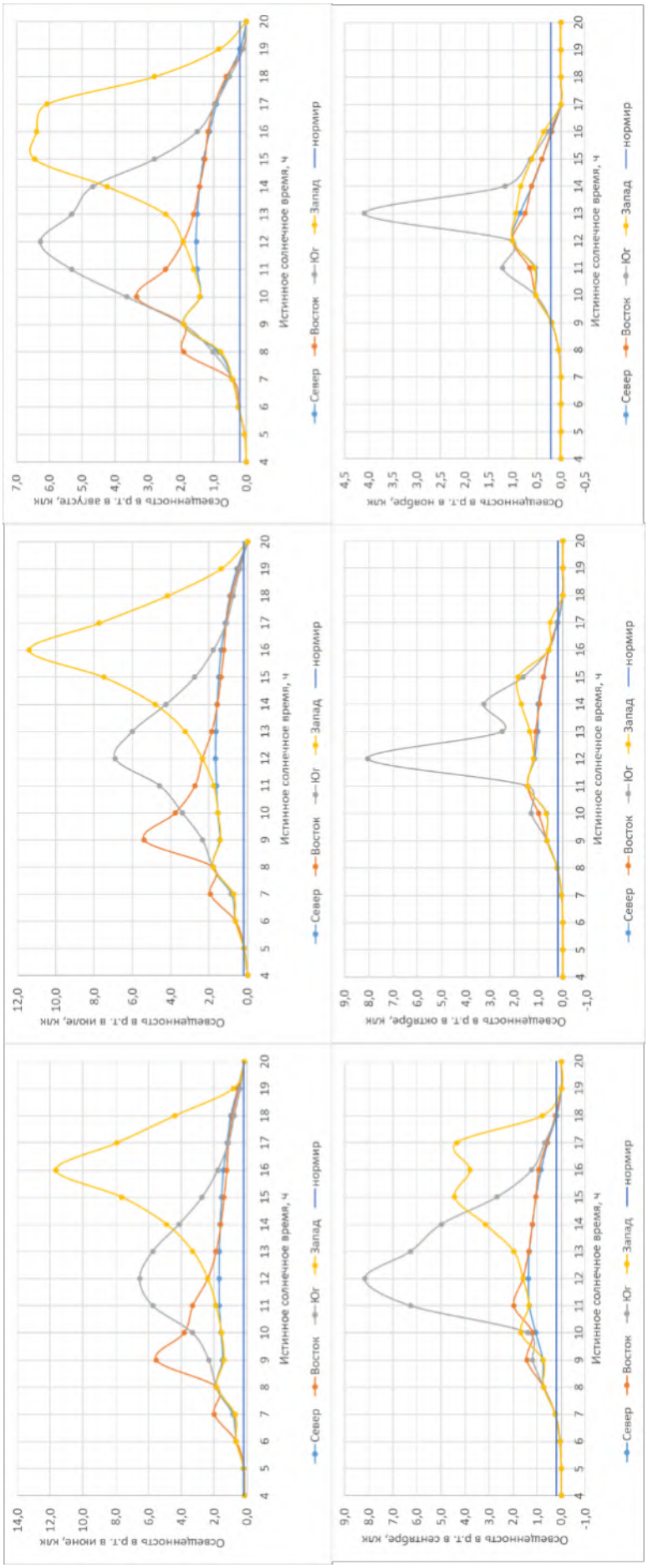


Рисунок В.59 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Благовещенка

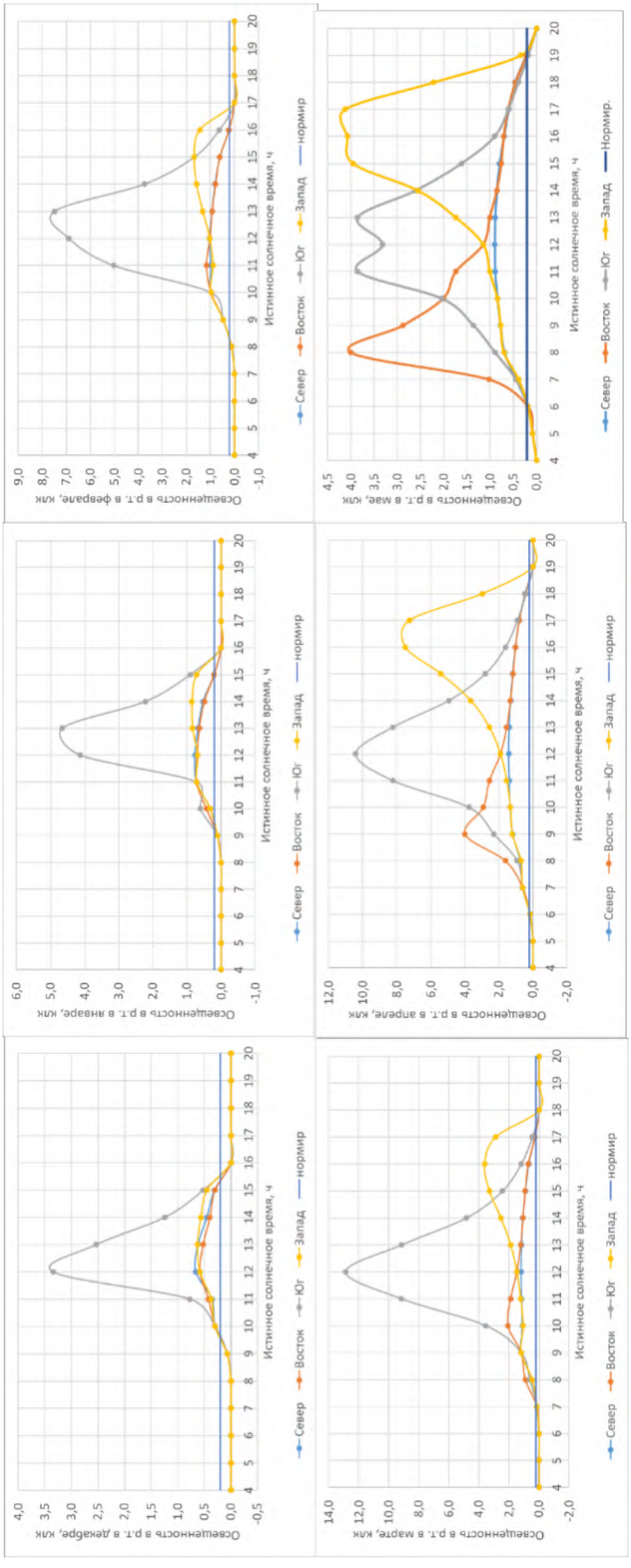


Рисунок В.60 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Багдарин

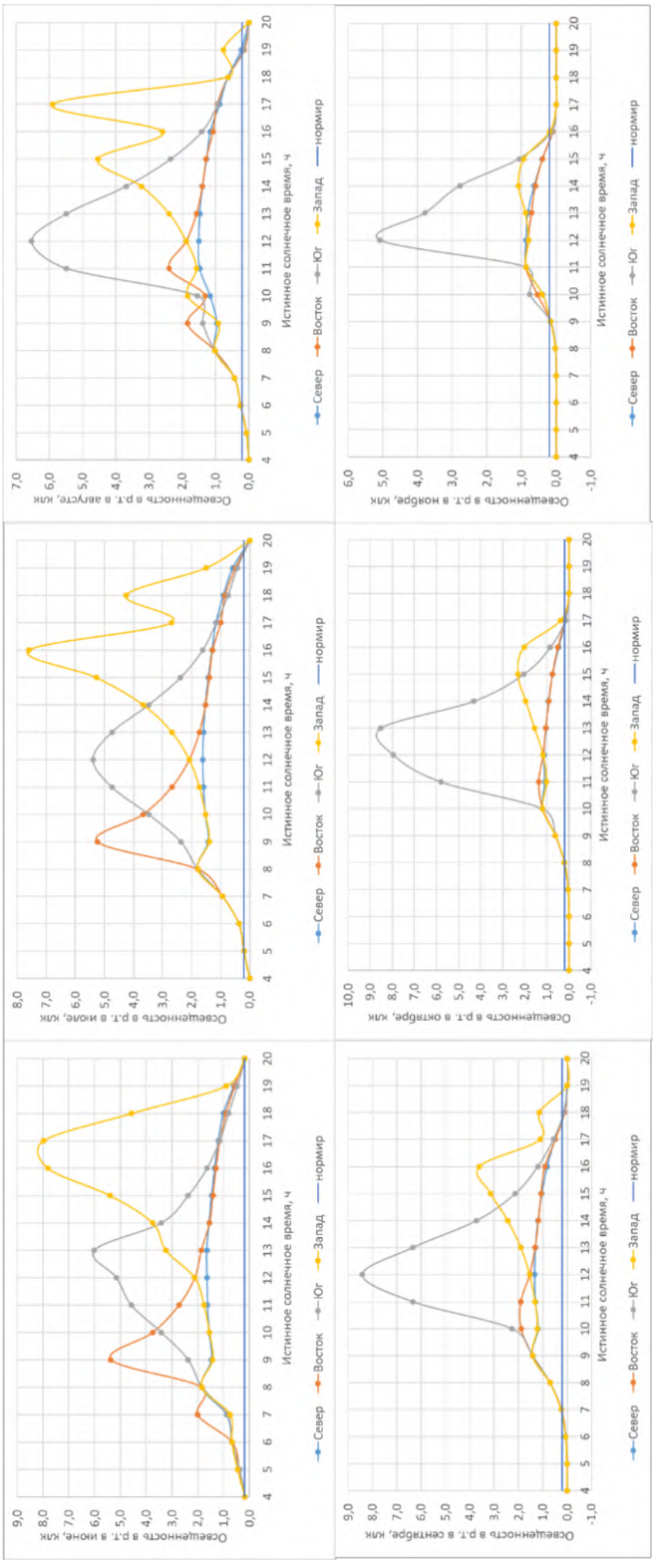


Рисунок В.61 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Багдарин

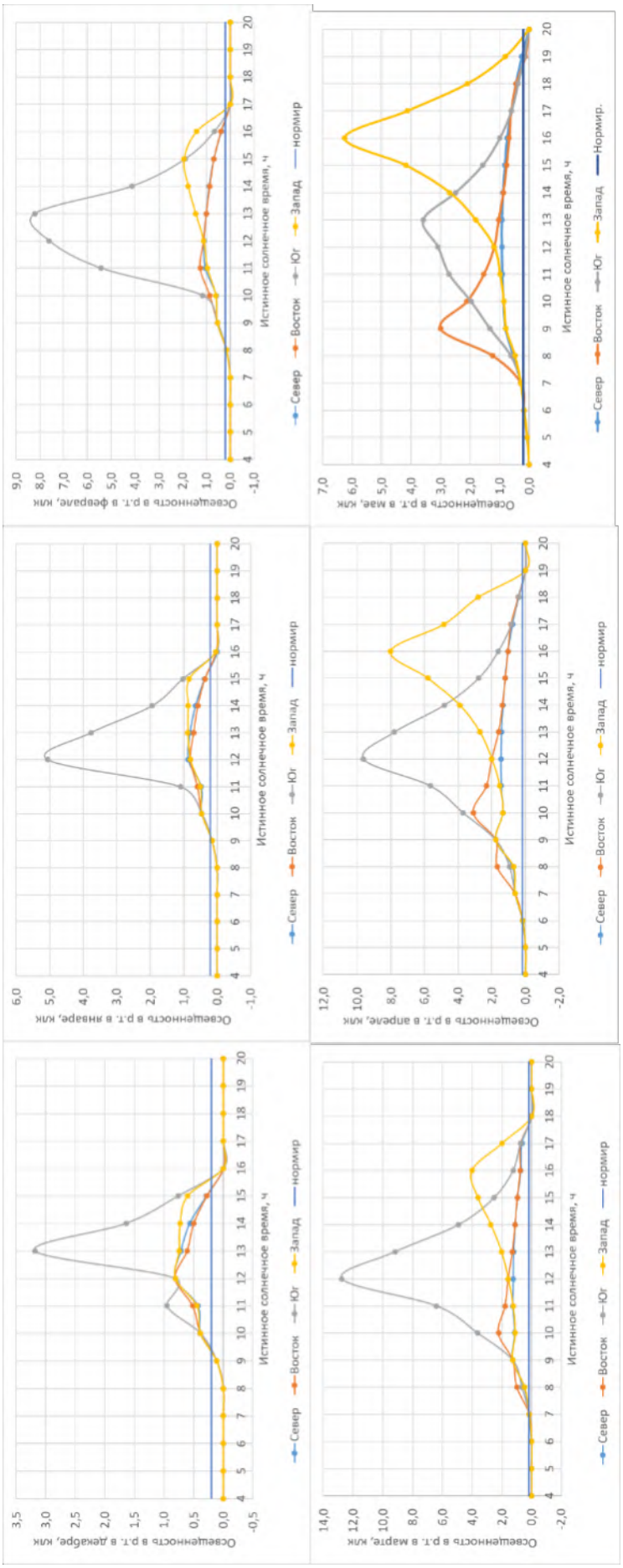


Рисунок В.62 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Иволгинск

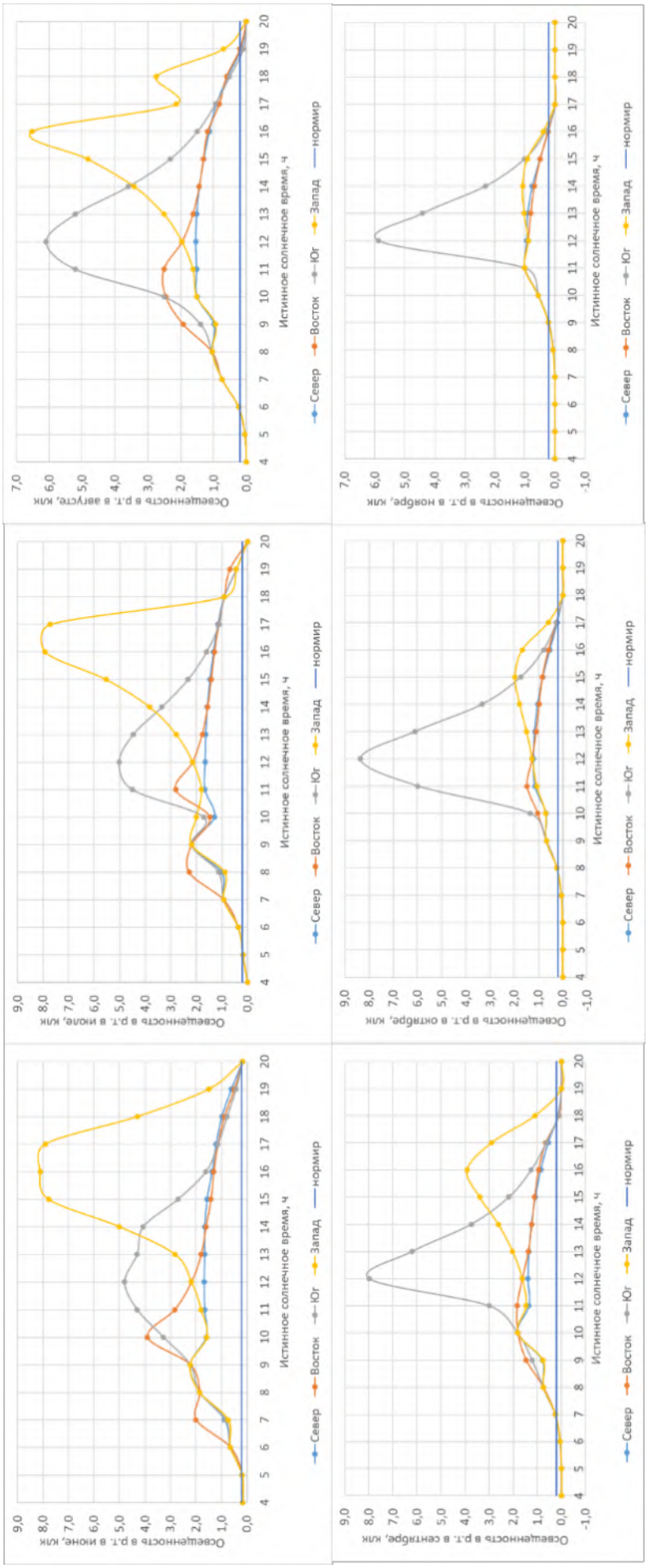


Рисунок В.63 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Иволгинск

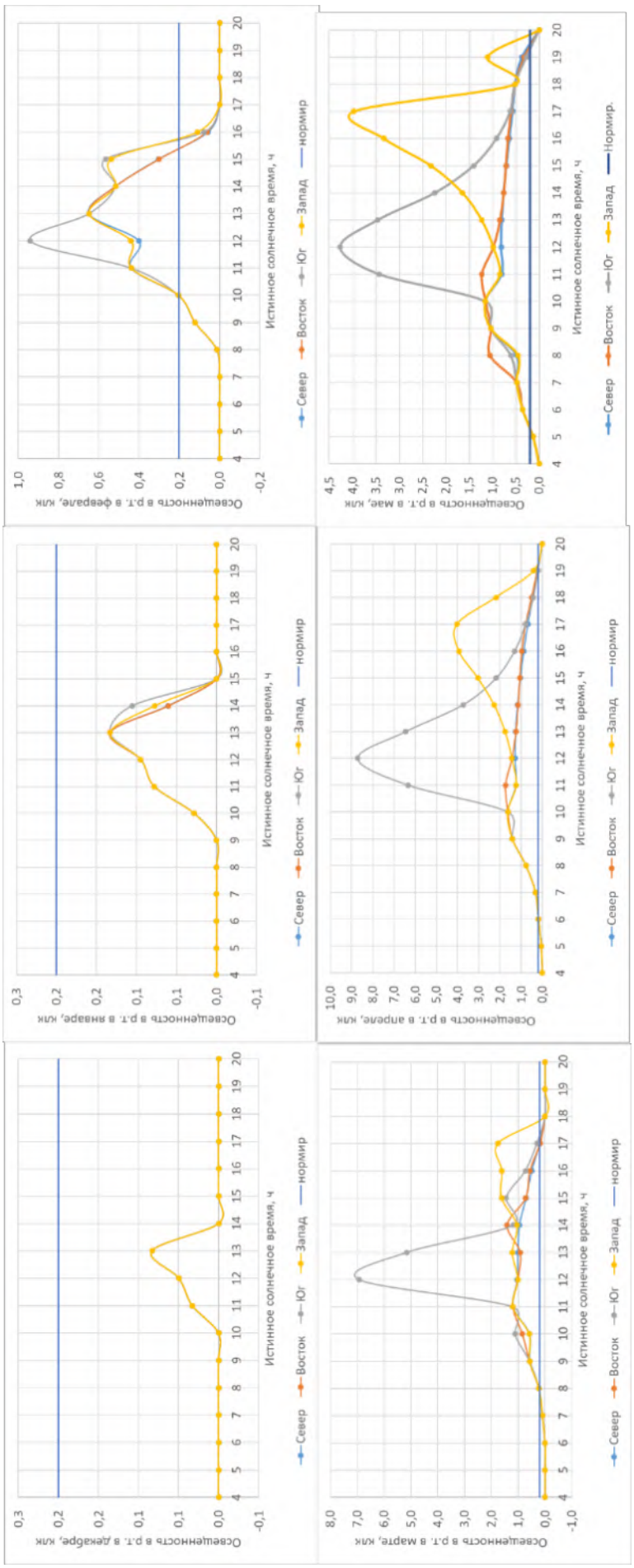


Рисунок В.64 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Израэль

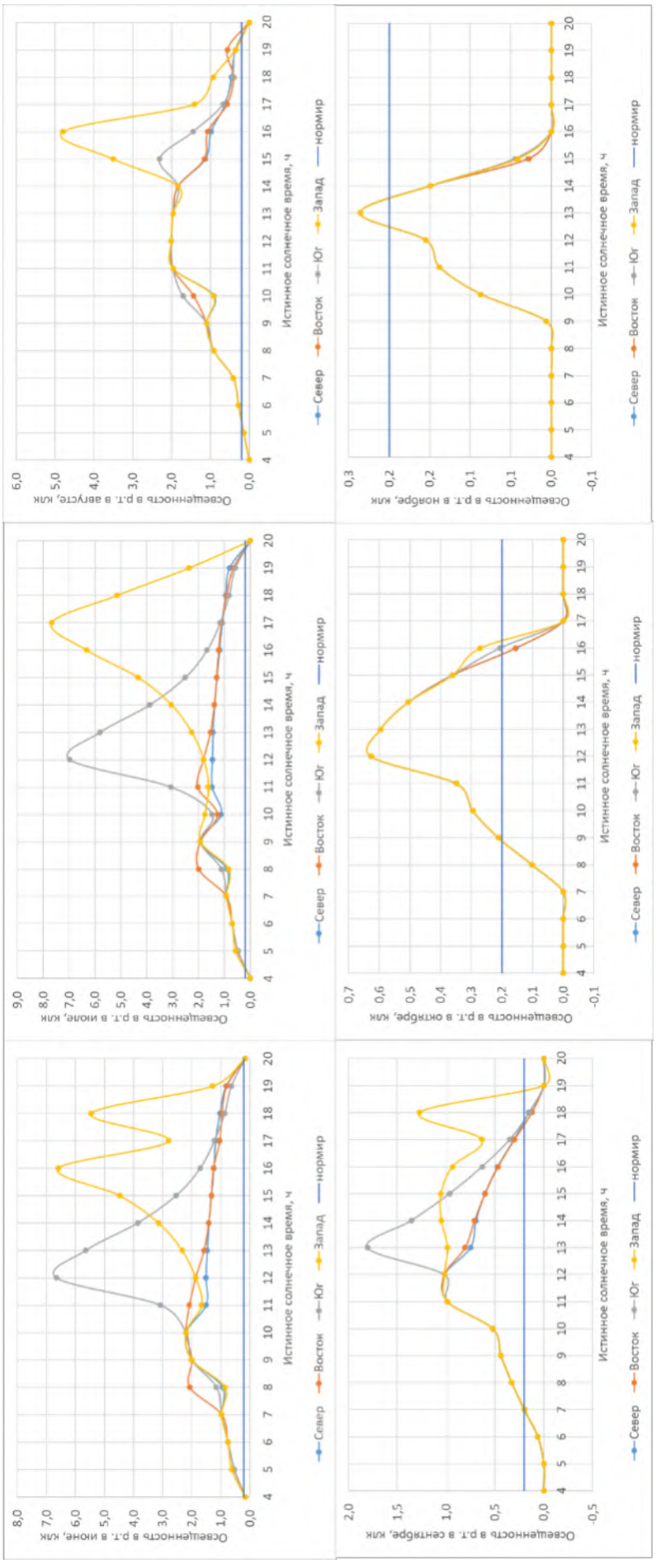


Рисунок В.65 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Ираэль

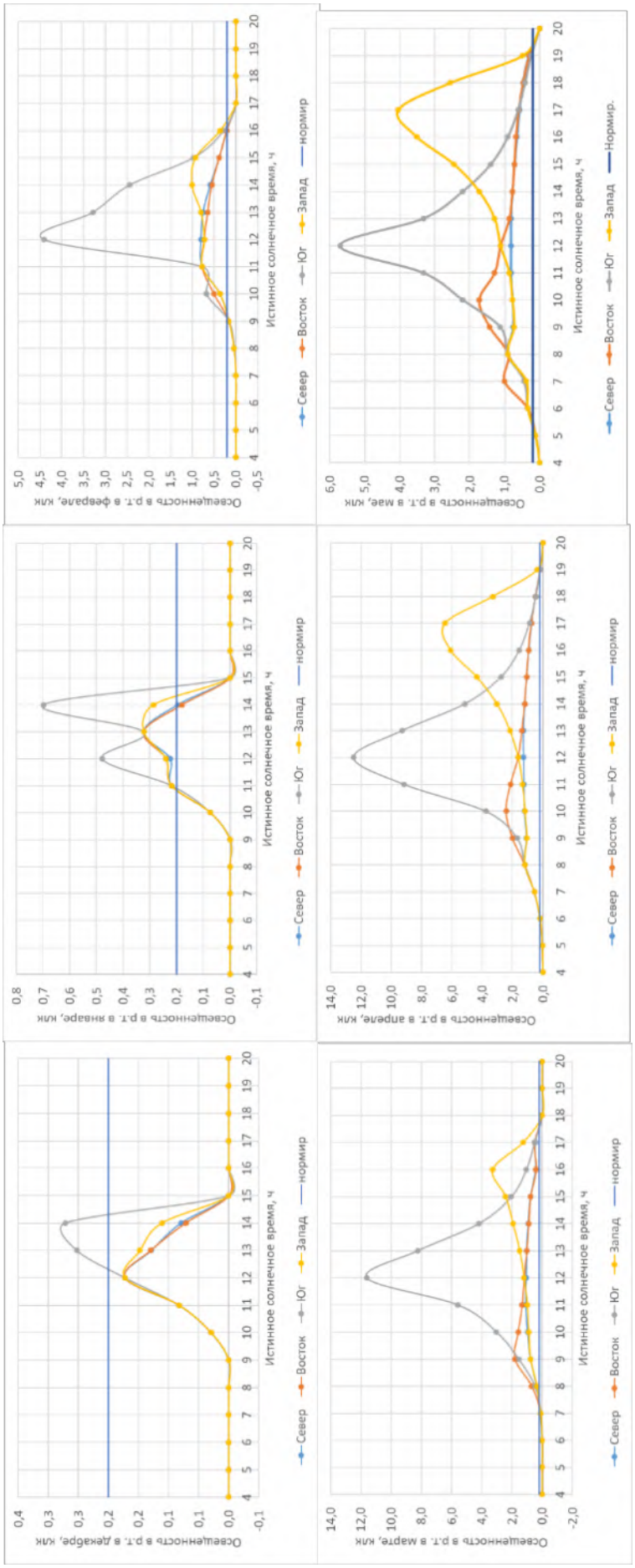


Рисунок В.66 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Якутск

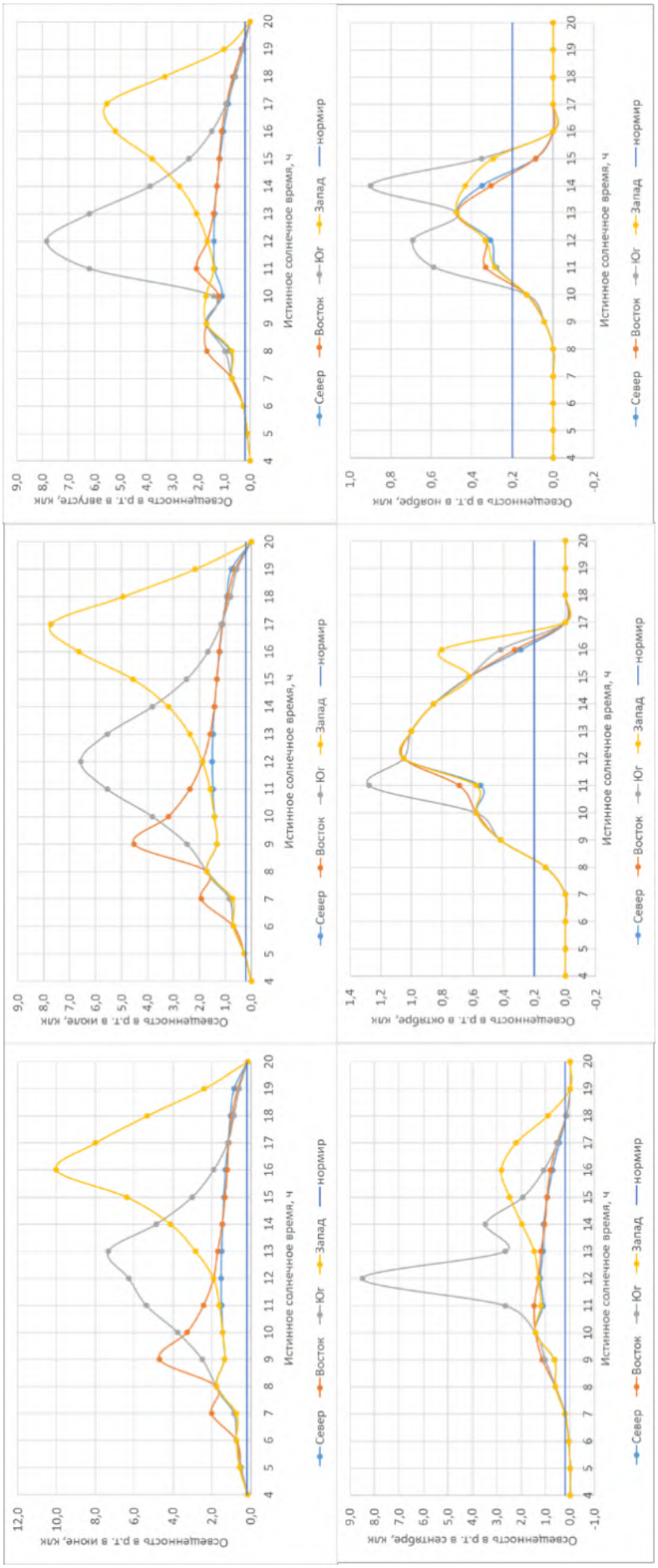


Рисунок В.67 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Якутск

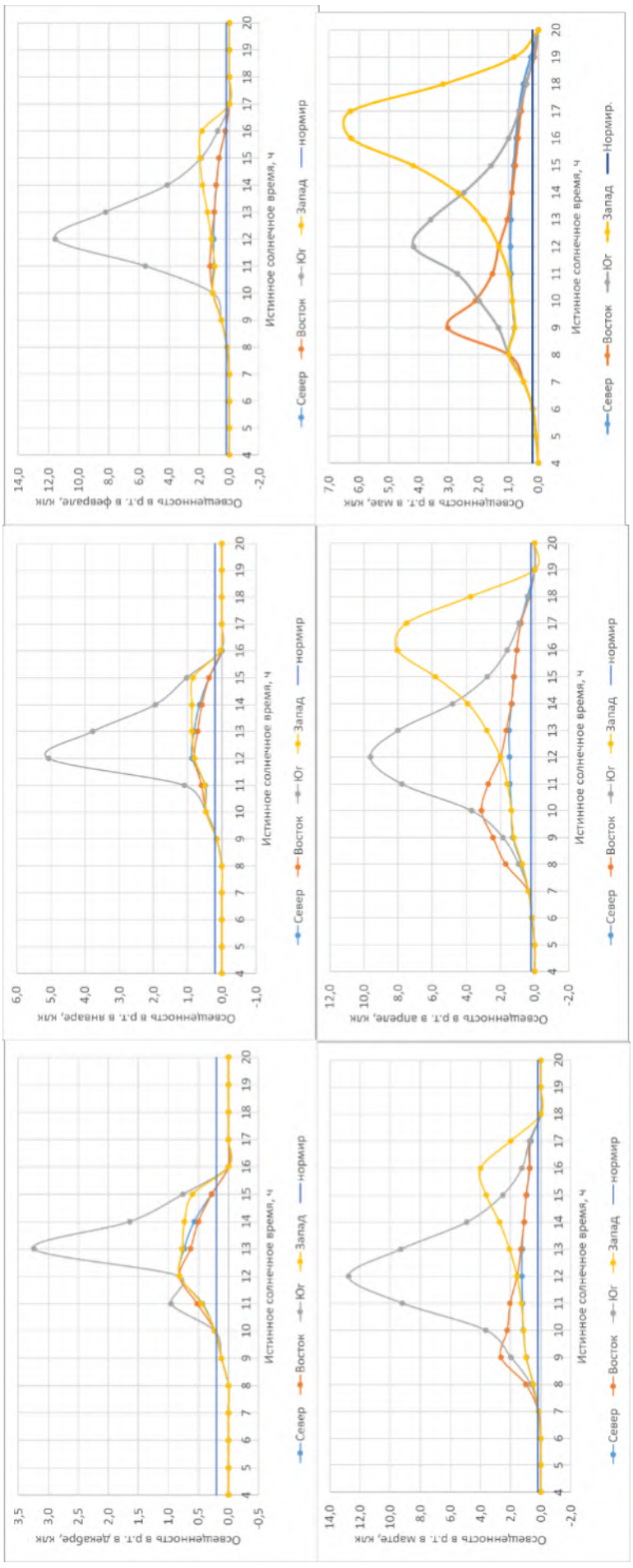


Рисунок В.68 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Кызыльская

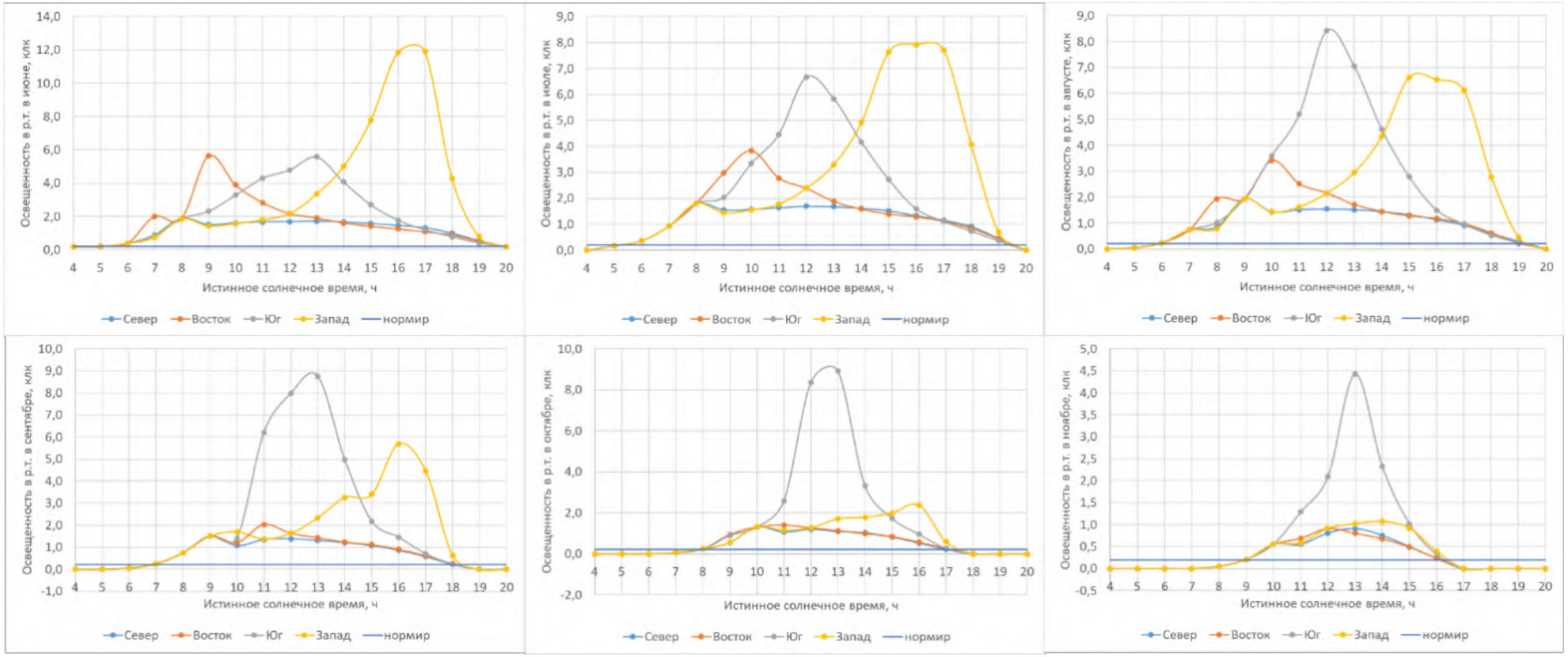


Рисунок В.69 − Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Кызыльская

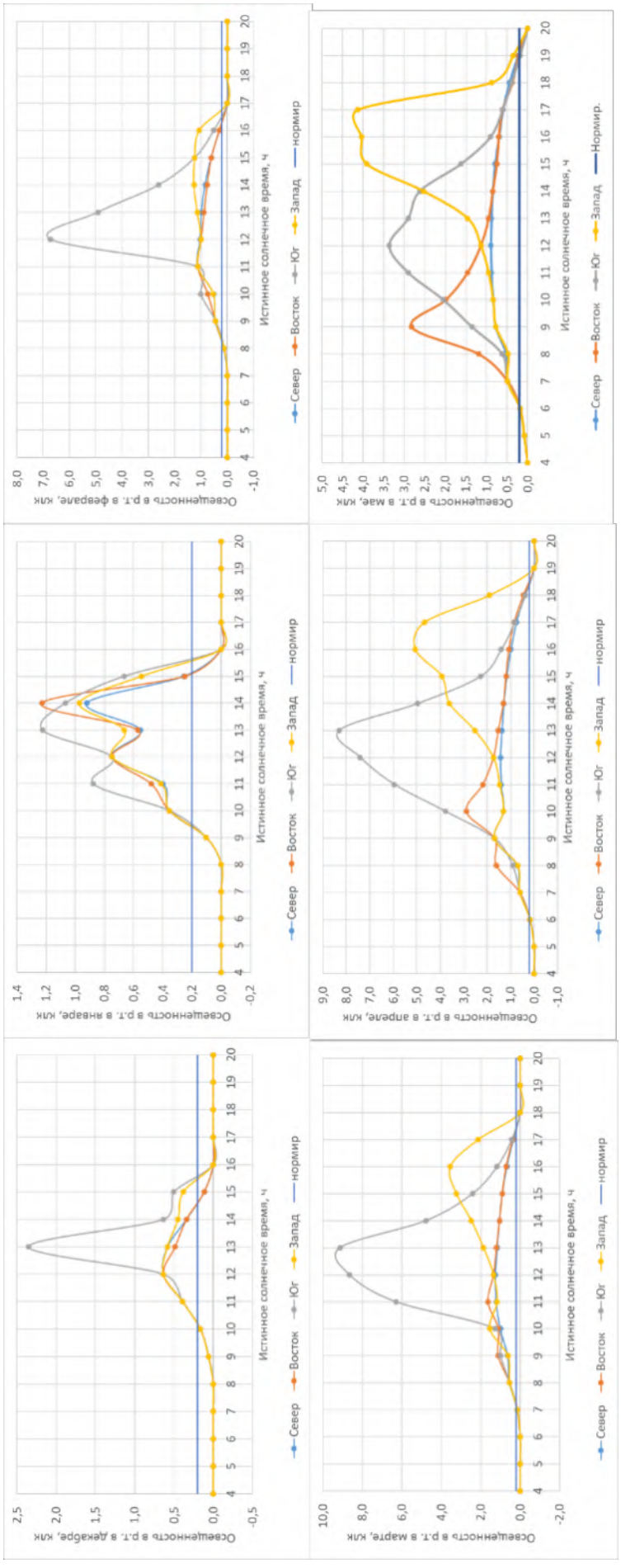


Рисунок В.70 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Омск

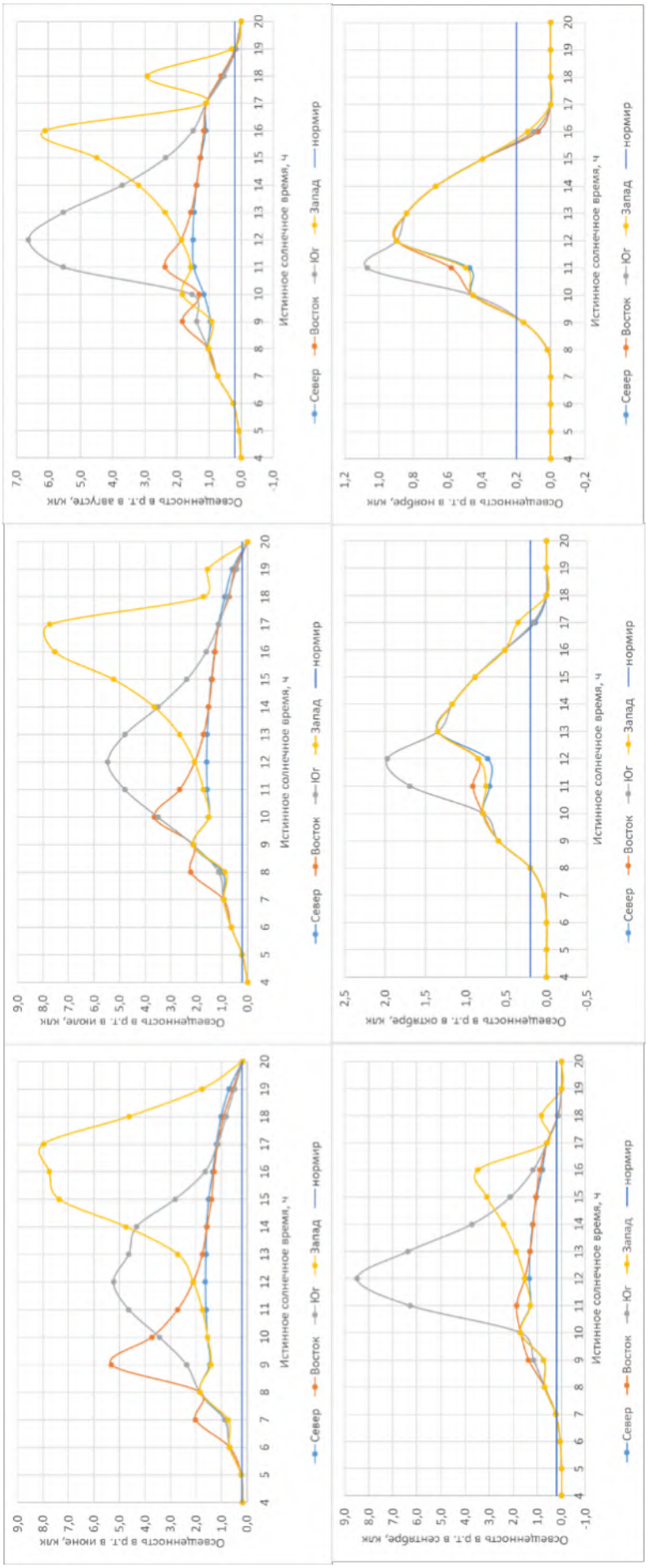


Рисунок В.71 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Омск

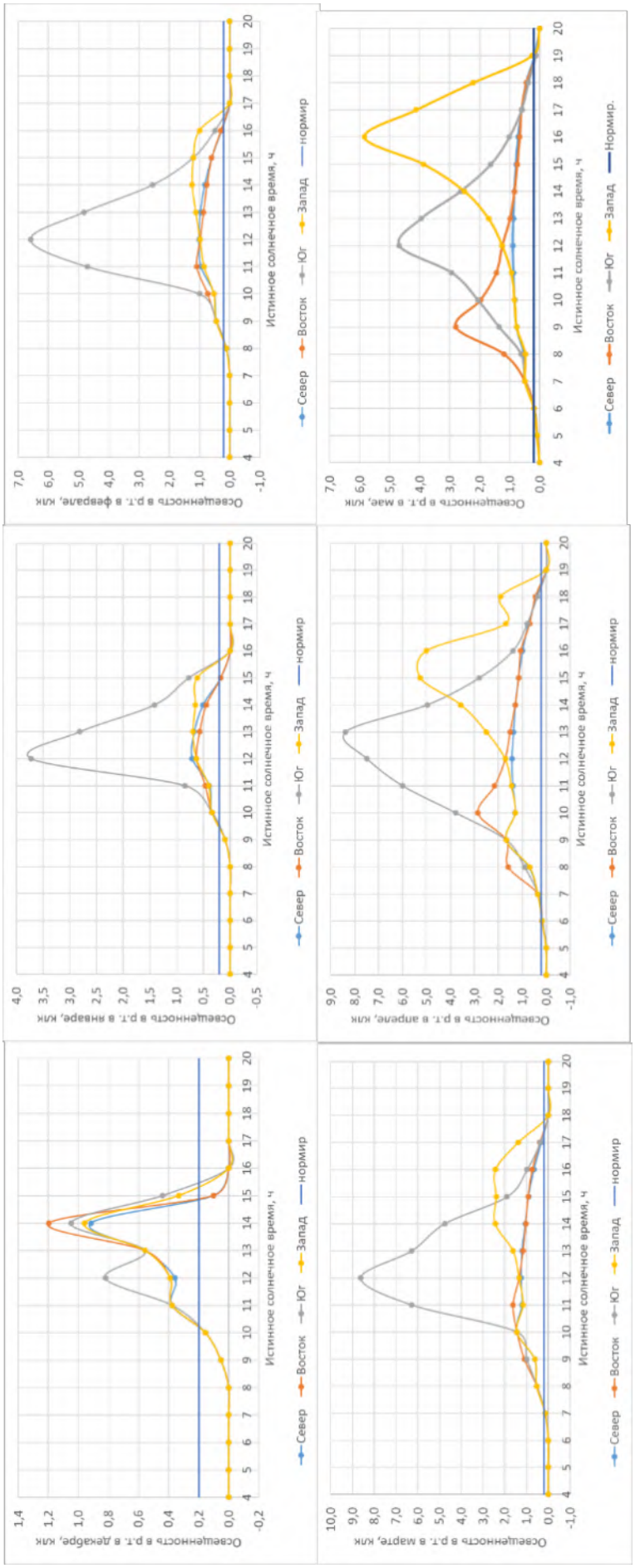


Рисунок В.72 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Самара (Куйбышев)

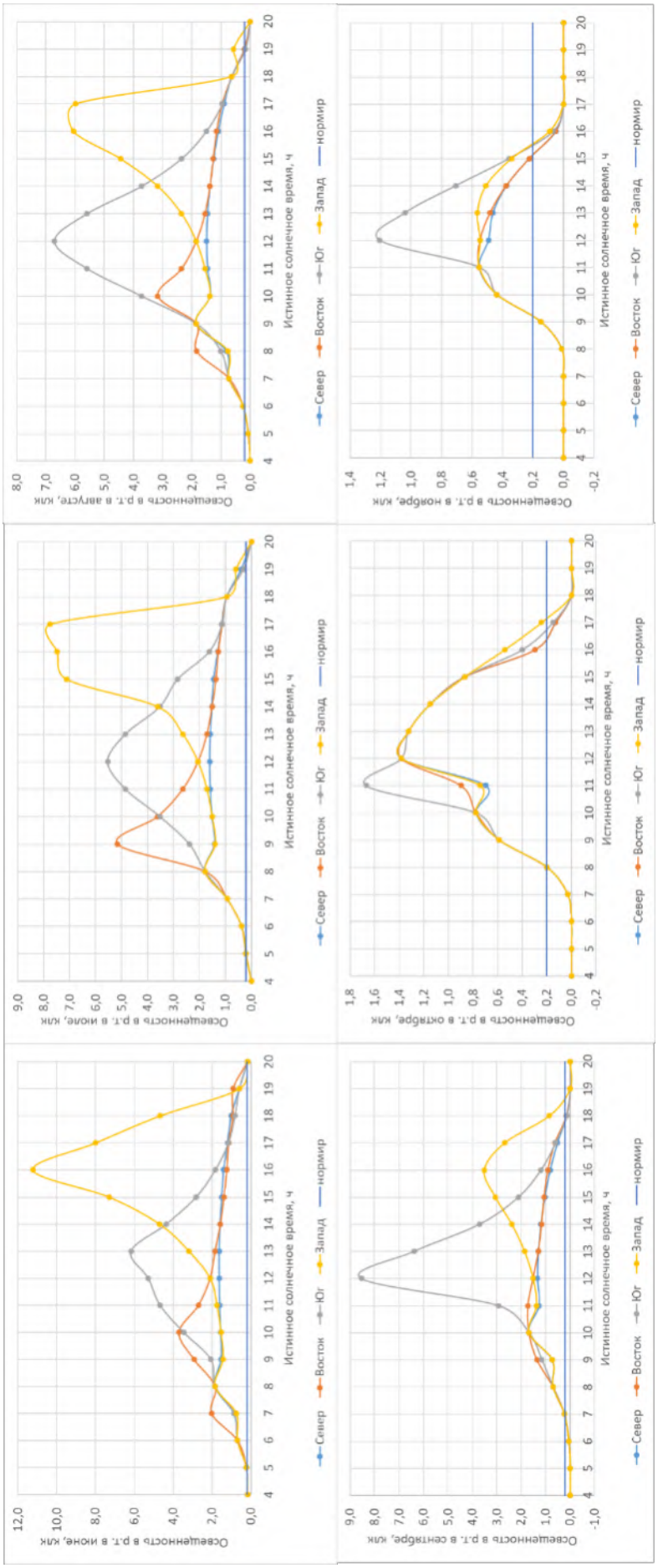


Рисунок В.73 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Самара (Куйбышев)

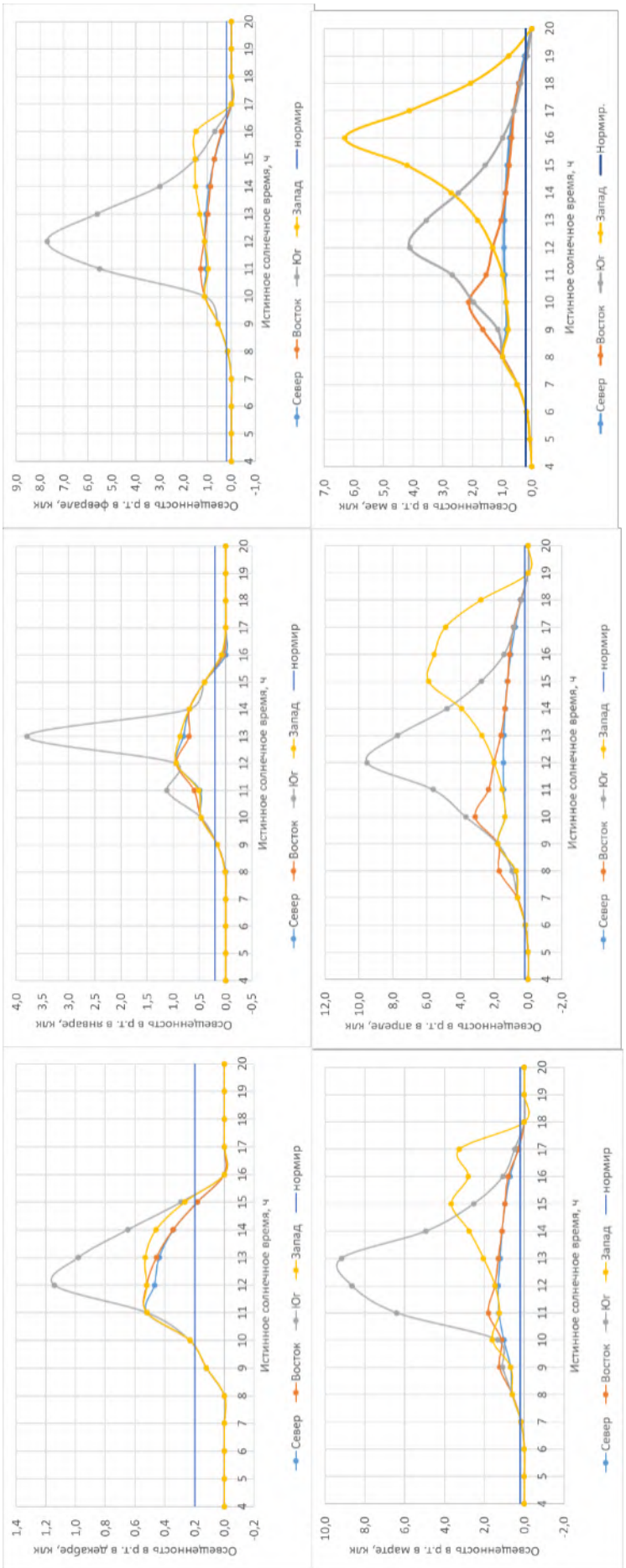


Рисунок В.74 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Ершов

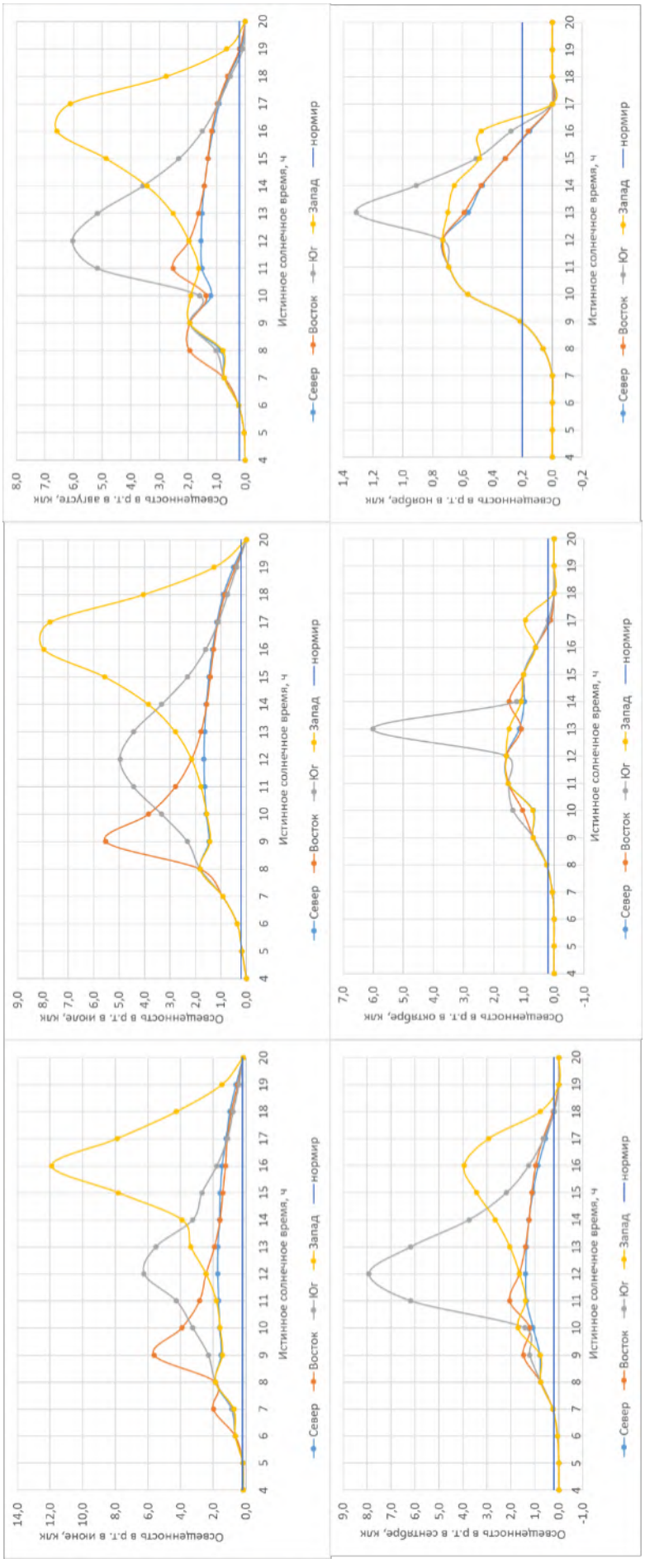


Рисунок В.75 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Ершов

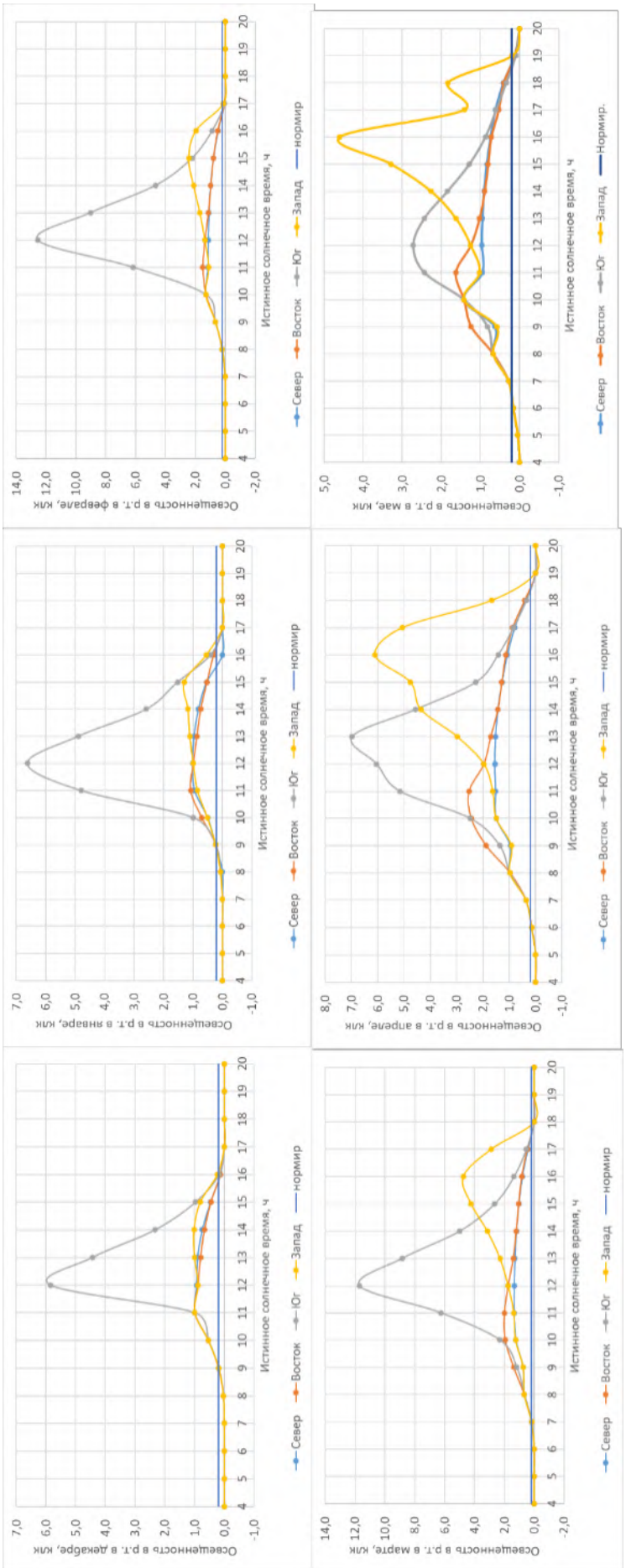


Рисунок В.76 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Южно-Сахалинск

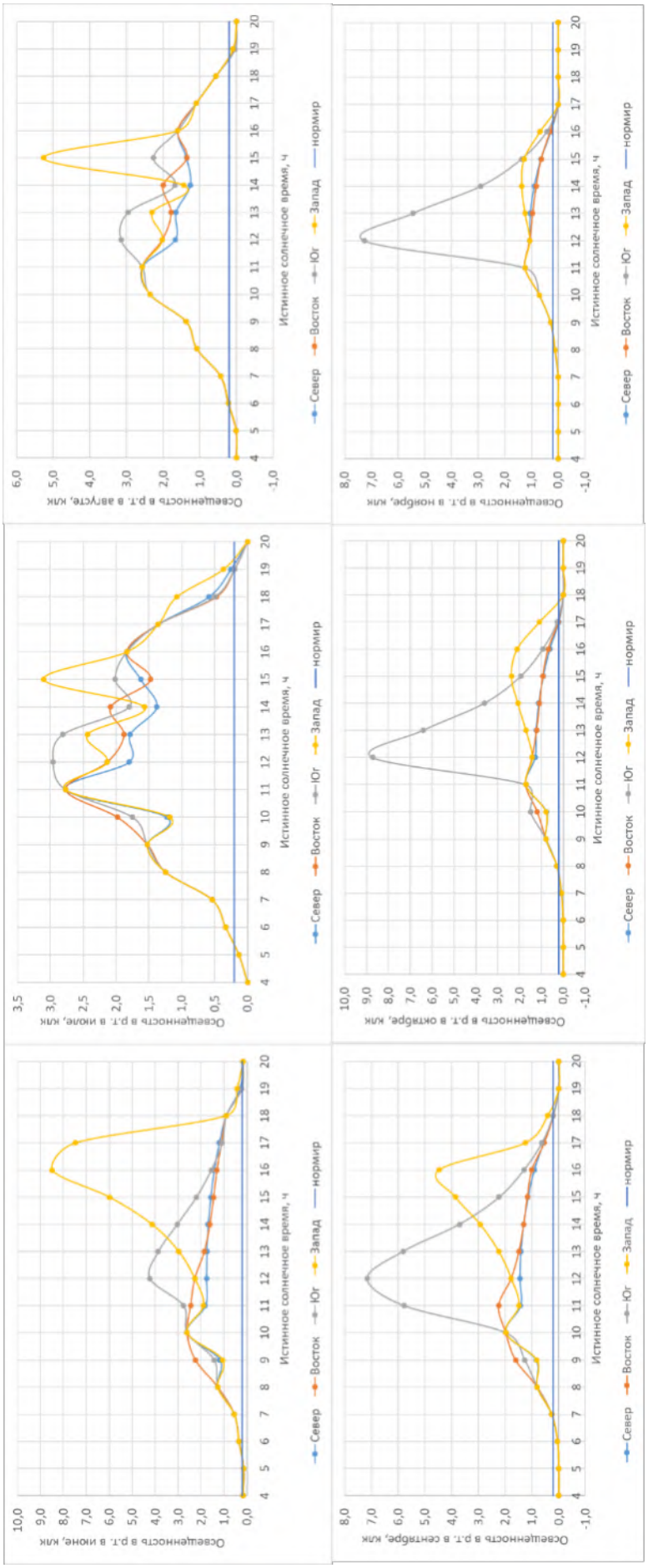


Рисунок В.77 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Южно-Сахалинск

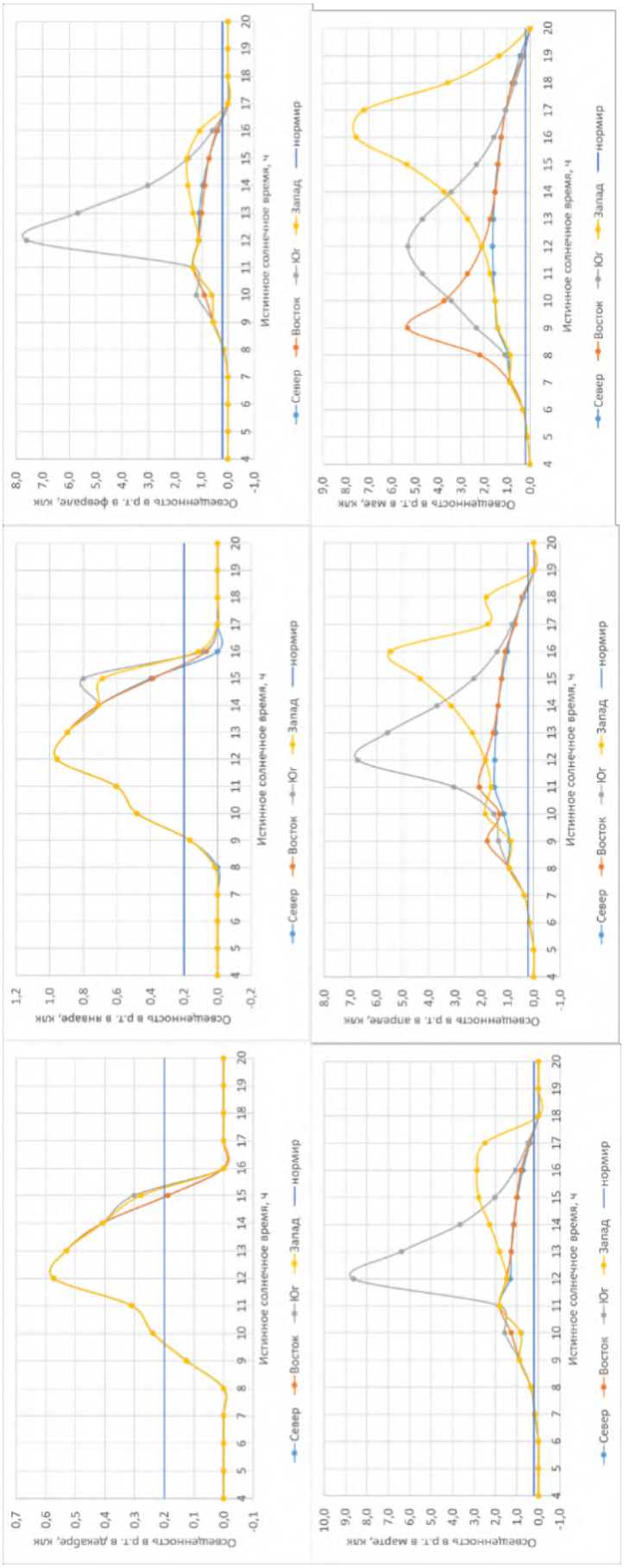


Рисунок В.78 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Каменная Степь

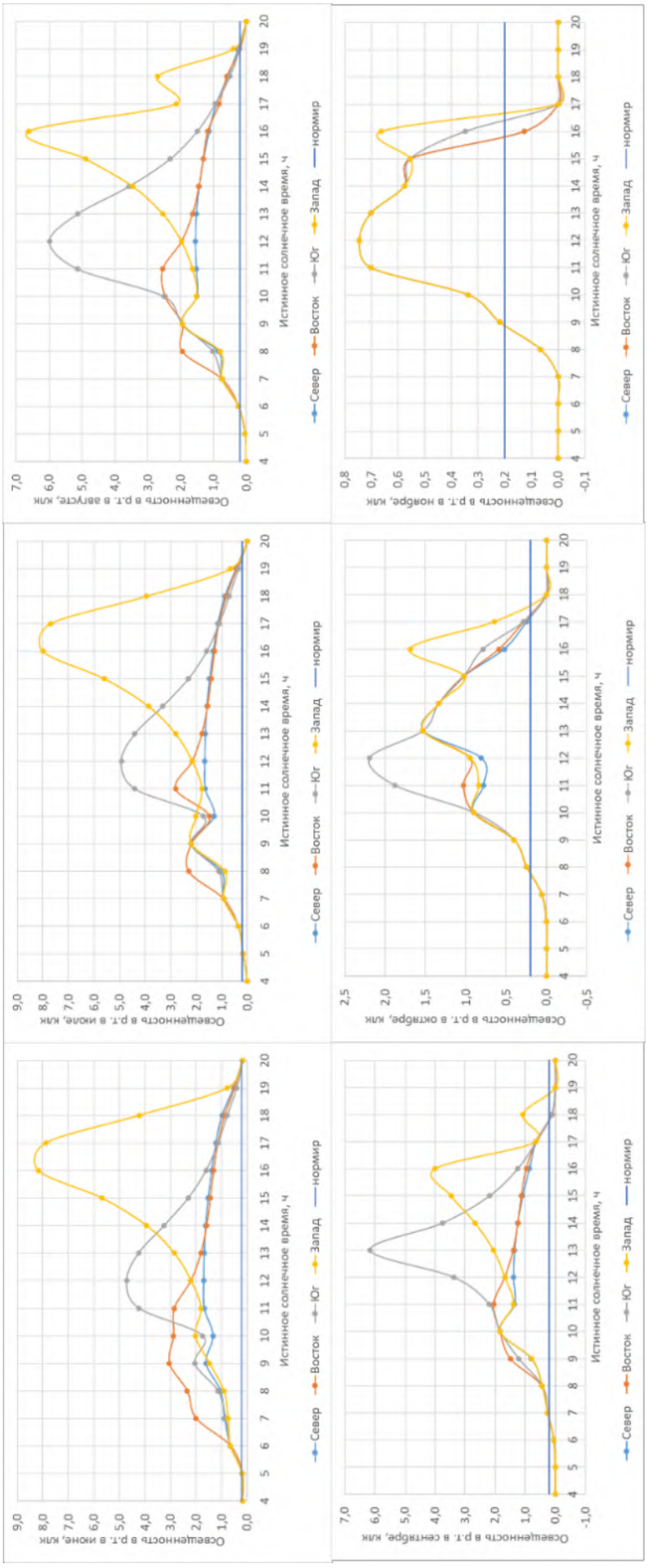


Рисунок В.79 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Каменная Степь

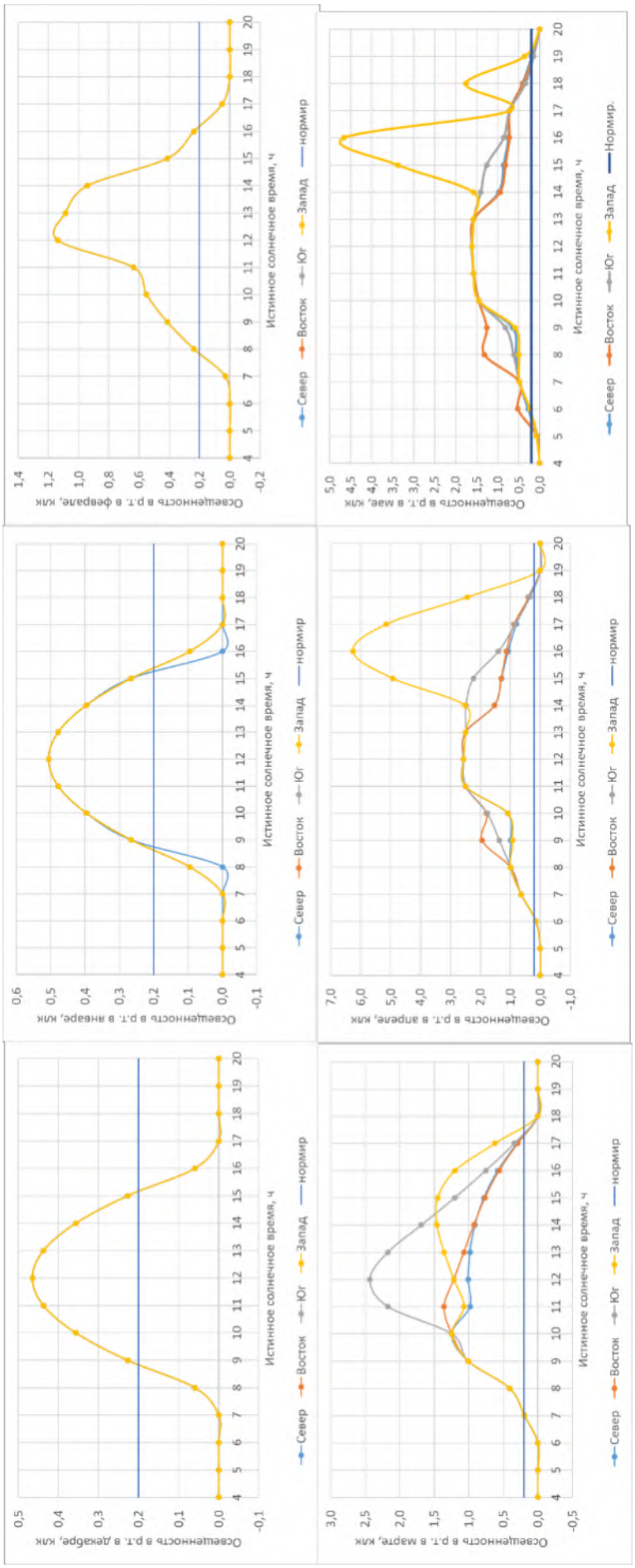


Рисунок В.80 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Александровское

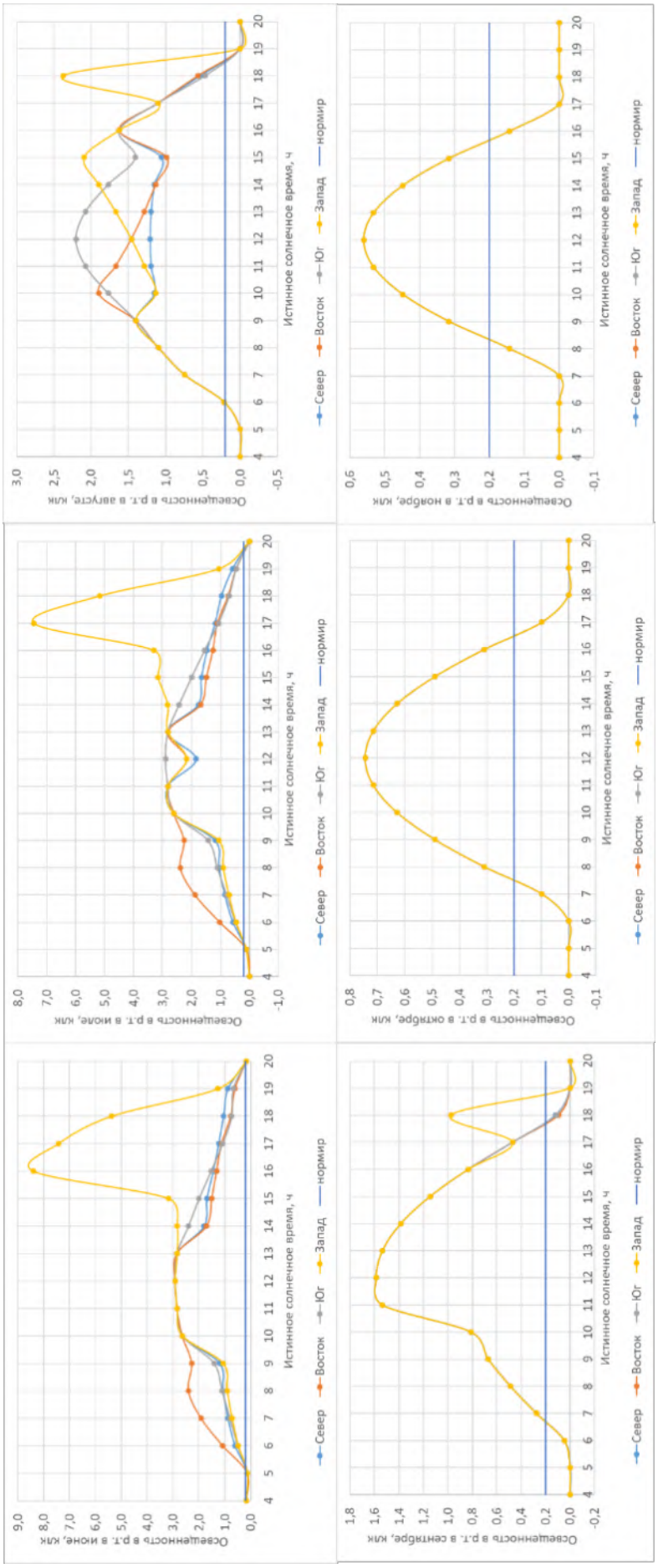


Рисунок В.81 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Александровское

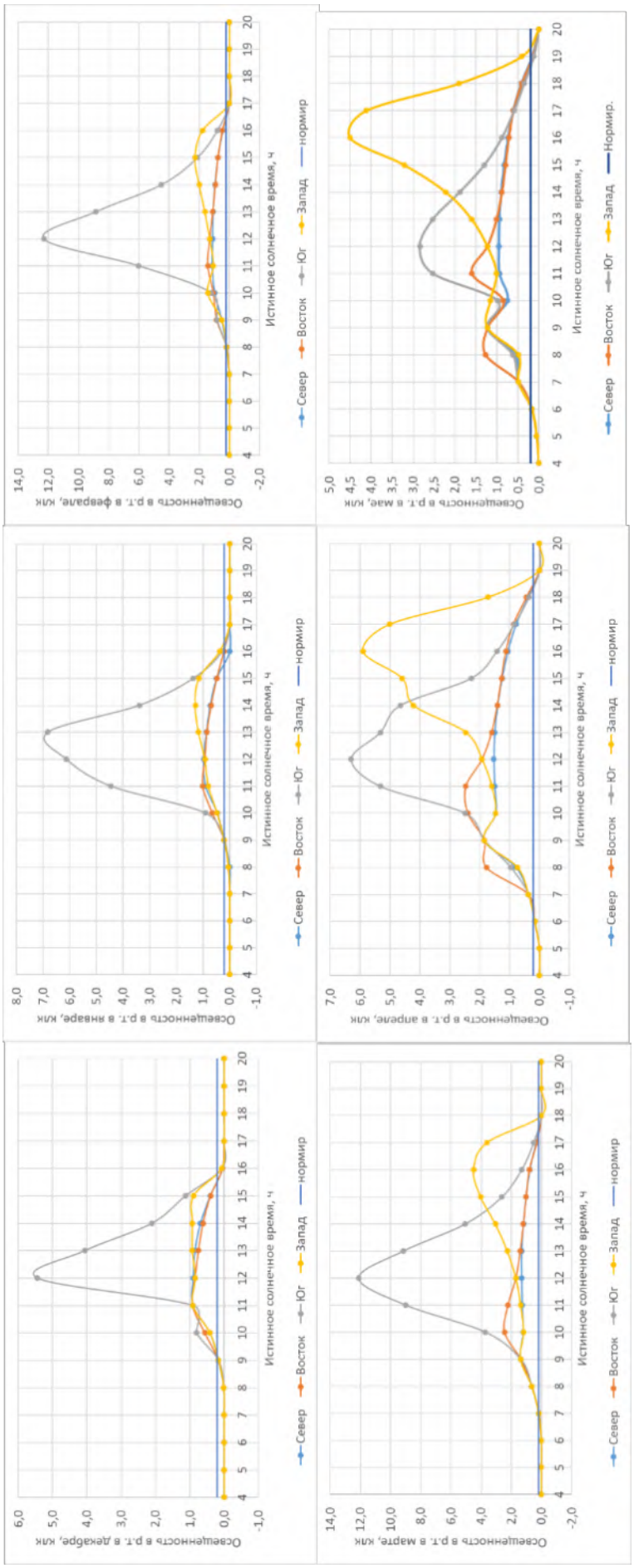


Рисунок В.82 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Хабаровск

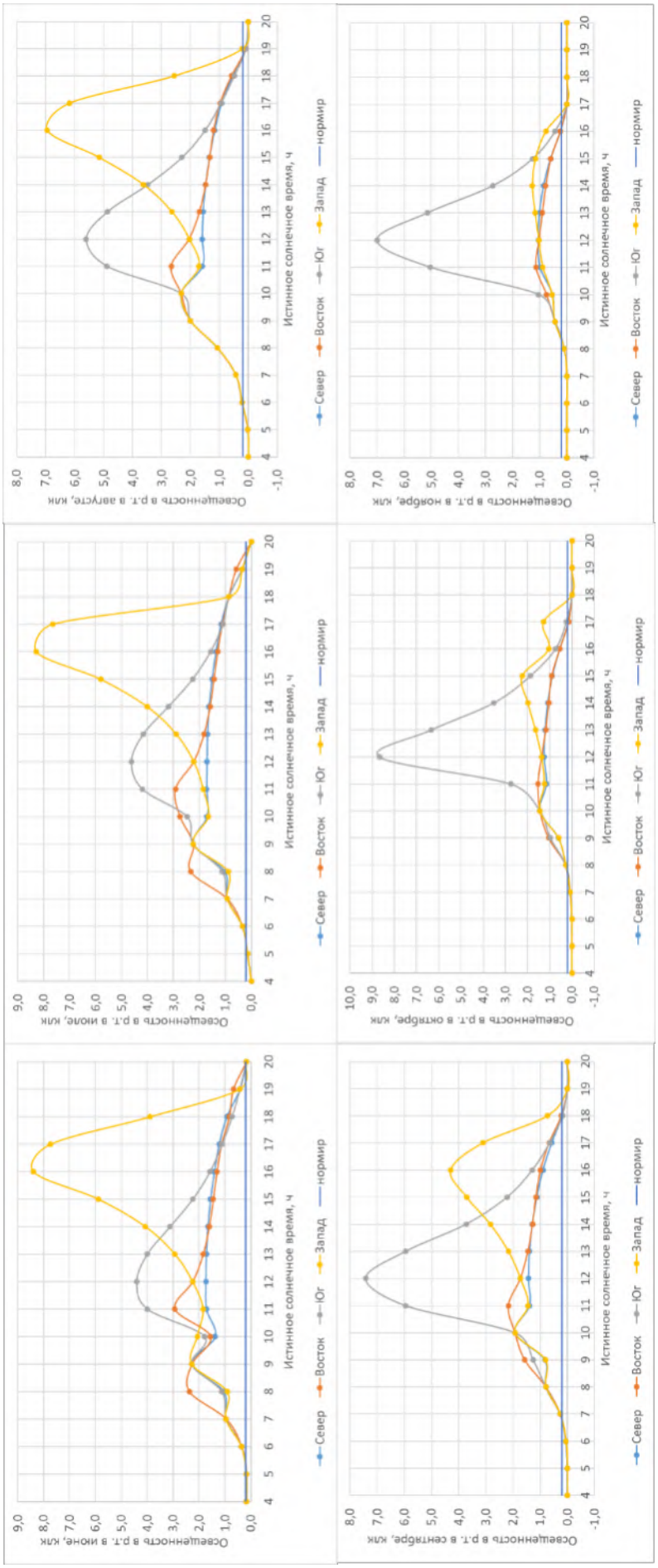


Рисунок В.83 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Хабаровск

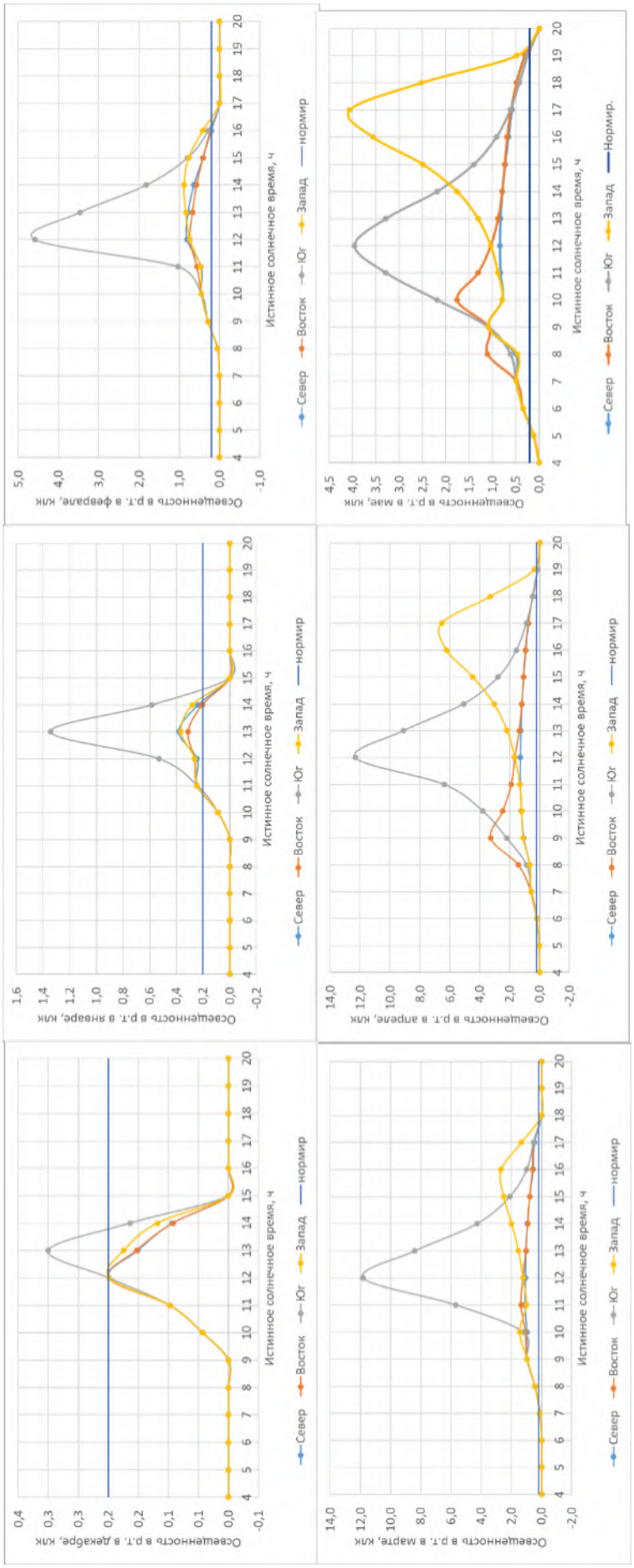


Рисунок В.84 – Освещенность в зимние и весенние месяцы в р.т. помещения, ст. Сытомино

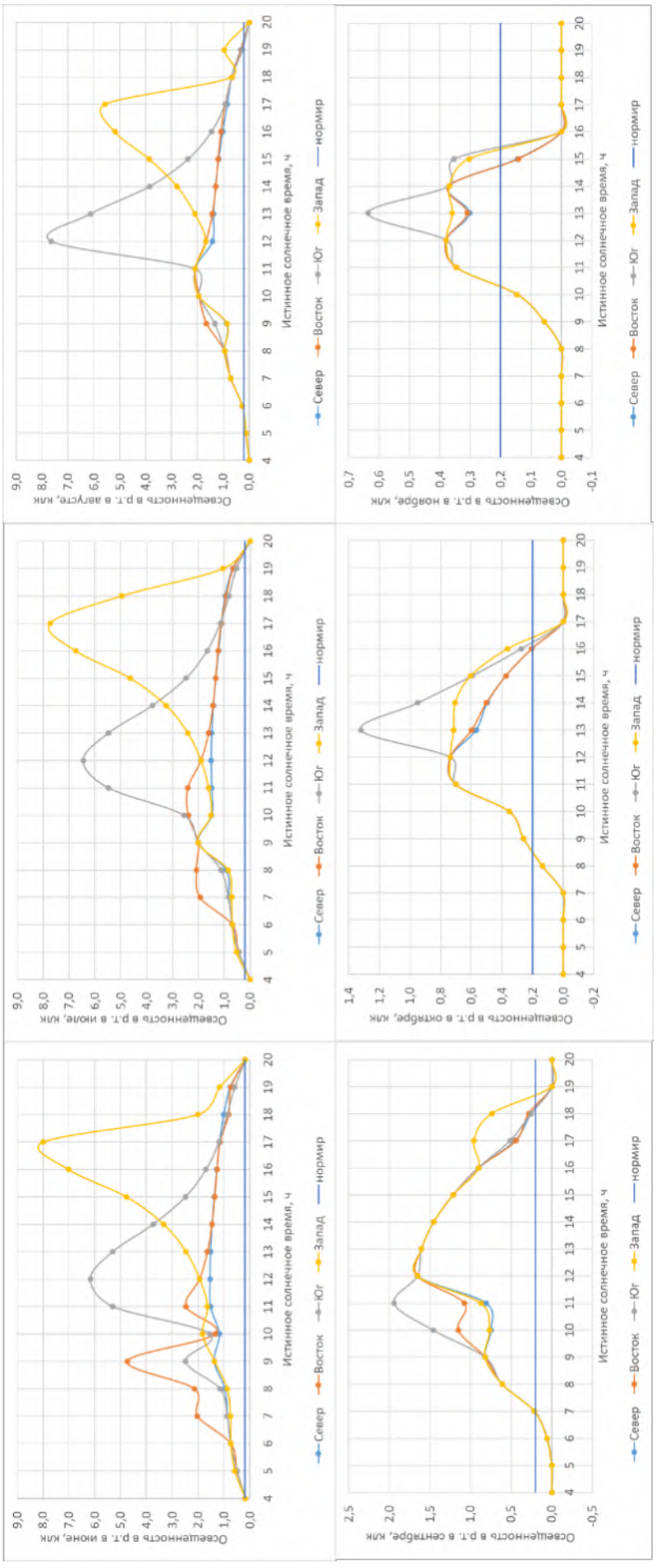


Рисунок В.85 – Освещенность в летние и осенние месяцы в р.т. помещения, ст. Сытомино

Приложение Г – Дополнительные материалы к главе 3

Г.1 Значения рассчитанных почасовых коэффициентов пересчета, $К^{ч}_{ГВ}$, для 38-80° с.ш.

В таблицах Г.1-Г.22 приведены коэффициенты пересчета прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную для 38-80° с.ш.

Таблица Г.1 – $К_{гв}$ для 38° с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5		2,56	0,96							1,67	5,14	
8,5	2,82	1,63	0,89	0,41					0,65	1,26	2,32	3,33
9,5	2,06	1,38	0,86	0,48	0,26		0,20	0,37	0,68	1,13	1,79	2,30
10,5	1,79	1,27	0,85	0,52	0,32	0,23	0,26	0,42	0,69	1,08	1,59	1,96
11,5	1,69	1,23	0,85	0,54	0,35	0,26	0,29	0,44	0,70	1,05	1,51	1,84
12,5	1,69	1,23	0,85	0,54	0,35	0,26	0,29	0,44	0,70	1,05	1,51	1,84
13,5	1,79	1,27	0,85	0,52	0,32	0,23	0,26	0,42	0,69	1,08	1,59	1,96
14,5	2,06	1,38	0,86	0,48	0,26		0,20	0,37	0,68	1,13	1,79	2,30
15,5	2,82	1,63	0,89	0,41					0,65	1,26	2,32	3,33
16,5		2,56	0,96							1,67	5,14	
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
5,5;18,5					9,29	6,11	7,04					
6,5;17,5				4,76	3,17	2,69	2,86	3,83	7,28			
7,5;16,5		5,71	3,32	2,27	1,81	1,63	1,69	2,02	2,76	4,39	9,55	
8,5;15,5	3,29	2,33	1,74	1,36	1,15	1,07	1,10	1,25	1,55	2,04	2,89	3,70
9,5;14,5	1,58	1,25	1,01	0,83	0,73	0,68	0,70	0,78	0,92	1,14	1,45	1,69
10,5;13,5	0,78	0,65	0,54	0,46	0,41	0,39	0,39	0,43	0,50	0,60	0,73	0,83
11,5;12,5				0,15	0,13	0,12	0,13	0,14				
Северная ориентация												
5,5					3,27	2,59	2,78					

Таблица Г.2 – Кгв для 40° с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5		2,86	1,03							1,81		
8,5	3,17	1,77	0,95	0,45					0,70	1,36	2,56	3,81
9,5	2,25	1,48	0,93	0,53	0,30	0,20	0,24	0,41	0,73	1,21	1,94	2,54
10,5	1,94	1,37	0,91	0,57	0,36	0,27	0,30	0,46	0,74	1,15	1,72	2,14
11,5	1,83	1,32	0,91	0,58	0,38	0,30	0,33	0,48	0,75	1,13	1,63	2,00
12,5	1,83	1,32	0,91	0,58	0,38	0,30	0,33	0,48	0,75	1,13	1,63	2,00
13,5	1,94	1,37	0,91	0,57	0,36	0,27	0,30	0,46	0,74	1,15	1,72	2,14
14,5	2,25	1,48	0,93	0,53	0,30	0,20	0,24	0,41	0,73	1,21	1,94	2,54
15,5	3,17	1,77	0,95	0,45					0,70	1,36	2,56	3,81
16,5		2,86	1,03							1,81		
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
5,5;18,5					8,34	5,61	6,42					
6,5;17,5				4,72	3,11	2,63	2,80	3,77	7,35			
7,5;16,5		6,28	3,44	2,29	1,80	1,62	1,69	2,03	2,82	4,66		
8,5;15,5	3,66	2,48	1,80	1,38	1,16	1,07	1,10	1,26	1,58	2,14	3,14	4,19
9,5;14,5	1,70	1,32	1,04	0,85	0,74	0,69	0,71	0,79	0,95	1,19	1,55	1,84
10,5;13,5	0,83	0,68	0,56	0,47	0,41	0,39	0,40	0,44	0,52	0,62	0,77	0,89
11,5;12,5					0,13	0,13	0,13	0,14				
Северная ориентация												
5,5					2,90	2,34	2,51					

Таблица Г.3 – Кгв для 42° с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5		3,21	1,10							1,97		
8,5	3,61	1,92	1,02	0,49				0,35	0,75	1,46	2,85	4,43
9,5	2,48	1,60	0,99	0,57	0,34	0,24	0,28	0,45	0,78	1,31	2,12	2,82
10,5	2,12	1,47	0,98	0,61	0,40	0,31	0,34	0,50	0,80	1,24	1,87	2,36
11,5	1,99	1,42	0,97	0,63	0,43	0,33	0,37	0,52	0,81	1,21	1,77	2,19
12,5	1,99	1,42	0,97	0,63	0,43	0,33	0,37	0,52	0,81	1,21	1,77	2,19
13,5	2,12	1,47	0,98	0,61	0,40	0,31	0,34	0,50	0,80	1,24	1,87	2,36
14,5	2,48	1,60	0,99	0,57	0,34	0,24	0,28	0,45	0,78	1,31	2,12	2,82
15,5	3,61	1,92	1,02	0,49				0,35	0,75	1,46	2,85	4,43
16,5		3,21	1,10							1,97		
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
5,5;18,5					7,58	5,19	5,90					
6,5;17,5				4,69	3,05	2,57	2,74	3,72	7,44			
7,5;16,5		6,98	3,57	2,32	1,80	1,61	1,68	2,04	2,88	4,98		
8,5;15,5	4,11	2,64	1,86	1,40	1,17	1,07	1,11	1,28	1,62	2,24	3,45	4,83
9,5;14,5	1,84	1,39	1,08	0,86	0,74	0,69	0,71	0,80	0,97	1,24	1,66	2,02
10,5;13,5	0,90	0,72	0,58	0,48	0,42	0,39	0,40	0,45	0,53	0,65	0,82	0,96
11,5;12,5					0,14	0,13	0,13	0,14				
Северная ориентация												
5,5					2,60	2,13	2,27					

Таблица Г.4 – Кгв для 44° с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5		3,65	1,18							2,15		
8,5	4,17	2,09	1,10	0,54				0,39	0,81	1,58	3,20	5,28
9,5	2,76	1,73	1,06	0,62	0,38	0,28	0,31	0,49	0,84	1,40	2,33	3,17
10,5	2,33	1,59	1,05	0,66	0,44	0,34	0,38	0,55	0,86	1,33	2,03	2,60
11,5	2,18	1,53	1,04	0,68	0,47	0,37	0,41	0,57	0,87	1,30	1,92	2,41
12,5	2,18	1,53	1,04	0,68	0,47	0,37	0,41	0,57	0,87	1,30	1,92	2,41
13,5	2,33	1,59	1,05	0,66	0,44	0,34	0,38	0,55	0,86	1,33	2,03	2,60
14,5	2,76	1,73	1,06	0,62	0,38	0,28	0,31	0,49	0,84	1,40	2,33	3,17
15,5	4,17	2,09	1,10	0,54				0,39	0,81	1,58	3,20	5,28
16,5		3,65	1,18							2,15		
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
5,5;18,5					6,95	4,83	5,47					
6,5;17,5				4,66	3,00	2,52	2,69	3,68	7,54			
7,5;16,5		7,87	3,72	2,34	1,81	1,61	1,68	2,05	2,95	5,35		
8,5;15,5	4,71	2,83	1,93	1,43	1,18	1,08	1,11	1,29	1,67	2,37	3,84	5,72
9,5;14,5	2,02	1,47	1,12	0,88	0,75	0,70	0,72	0,82	1,00	1,30	1,79	2,24
10,5;13,5	0,97	0,76	0,60	0,49	0,42	0,40	0,41	0,46	0,54	0,68	0,88	1,05
11,5;12,5					0,14	0,13	0,13					
Северная ориентация												
5,5					2,35	1,95	2,07					

Таблица Г.5 – Кгв для 46° с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5		4,23	1,27							2,37		
8,5	4,92	2,30	1,18	0,58				0,43	0,87	1,71	3,64	6,52
9,5	3,09	1,88	1,14	0,67	0,42	0,32	0,35	0,54	0,90	1,51	2,57	3,60
10,5	2,57	1,72	1,13	0,71	0,48	0,38	0,42	0,59	0,92	1,43	2,23	2,90
11,5	2,40	1,66	1,12	0,73	0,51	0,41	0,45	0,62	0,93	1,40	2,10	2,67
12,5	2,40	1,66	1,12	0,73	0,51	0,41	0,45	0,62	0,93	1,40	2,10	2,67
13,5	2,57	1,72	1,13	0,71	0,48	0,38	0,42	0,59	0,92	1,43	2,23	2,90
14,5	3,09	1,88	1,14	0,67	0,42	0,32	0,35	0,54	0,90	1,51	2,57	3,60
15,5	4,92	2,30	1,18	0,58				0,43	0,87	1,71	3,64	6,52
16,5		4,23	1,27							2,37		
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
5,5;18,5					6,43	4,52	5,11	10,85				
6,5;17,5				4,64	2,95	2,48	2,64	3,64	7,65			
7,5;16,5		9,02	3,88	2,38	1,81	1,60	1,68	2,06	3,03	5,79		
8,5;15,5	5,51	3,06	2,01	1,45	1,19	1,08	1,12	1,31	1,72	2,51	4,32	7,02
9,5;14,5	2,24	1,57	1,16	0,90	0,76	0,71	0,73	0,83	1,03	1,37	1,95	2,52
10,5;13,5	1,05	0,80	0,62	0,50	0,43	0,40	0,41	0,46	0,56	0,71	0,95	1,15
11,5;12,5					0,14	0,13	0,13					
Северная ориентация												
5,5					2,14	1,79	1,90	2,95				

Таблица Г.6 – Кгв для 48° с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5			1,36						0,84	2,62		
8,5	5,98	2,53	1,26	0,63	0,34			0,48	0,93	1,85	4,22	
9,5	3,50	2,05	1,22	0,72	0,46	0,35	0,39	0,58	0,97	1,63	2,86	4,16
10,5	2,87	1,87	1,21	0,77	0,53	0,42	0,46	0,64	0,99	1,54	2,45	3,27
11,5	2,66	1,80	1,20	0,79	0,56	0,46	0,49	0,67	1,00	1,51	2,31	2,99
12,5	2,66	1,80	1,20	0,79	0,56	0,46	0,49	0,67	1,00	1,51	2,31	2,99
13,5	2,87	1,87	1,21	0,77	0,53	0,42	0,46	0,64	0,99	1,54	2,45	3,27
14,5	3,50	2,05	1,22	0,72	0,46	0,35	0,39	0,58	0,97	1,63	2,86	4,16
15,5	5,98	2,53	1,26	0,63	0,34			0,48	0,93	1,85	4,22	
16,5			1,36						0,84	2,62		
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
5,5;18,5					5,99	4,26	4,79	9,84				
6,5;17,5				4,62	2,91	2,43	2,60	3,60	7,77			
7,5;16,5			4,06	2,41	1,81	1,60	1,68	2,08	3,12	6,31		
8,5;15,5	6,66	3,33	2,09	1,48	1,20	1,09	1,13	1,33	1,77	2,67	4,95	
9,5;14,5	2,51	1,68	1,21	0,93	0,78	0,72	0,74	0,85	1,07	1,45	2,15	2,89
10,5;13,5	1,16	0,85	0,65	0,51	0,44	0,41	0,42	0,47	0,58	0,75	1,03	1,28
11,5;12,5						0,13	0,14					
Северная ориентация												
5,5					1,96	1,66	1,75	2,64				

Таблица Г.7 – Кгв для 50° с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5			1,47						0,90	2,92		
8,5	7,60	2,82	1,36	0,68	0,38			0,52	1,00	2,02	4,98	
9,5	4,03	2,24	1,32	0,78	0,50	0,39	0,43	0,63	1,04	1,77	3,22	4,91
10,5	3,23	2,03	1,30	0,82	0,57	0,47	0,51	0,69	1,06	1,67	2,72	3,73
11,5	2,97	1,95	1,29	0,85	0,60	0,50	0,54	0,72	1,07	1,63	2,54	3,37
12,5	2,97	1,95	1,29	0,85	0,60	0,50	0,54	0,72	1,07	1,63	2,54	3,37
13,5	3,23	2,03	1,30	0,82	0,57	0,47	0,51	0,69	1,06	1,67	2,72	3,73
14,5	4,03	2,24	1,32	0,78	0,50	0,39	0,43	0,63	1,04	1,77	3,22	4,91
15,5	7,60	2,82	1,36	0,68	0,38			0,52	1,00	2,02	4,98	
16,5			1,47						0,90	2,92		
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
5,5;18,5					5,61	4,03	4,52	9,02				
6,5;17,5				4,61	2,88	2,40	2,56	3,57	7,91			
7,5;16,5			4,27	2,45	1,82	1,60	1,68	2,10	3,21	6,95		
8,5;15,5	8,42	3,65	2,19	1,52	1,22	1,10	1,14	1,36	1,83	2,85	5,81	
9,5;14,5	2,86	1,81	1,27	0,95	0,79	0,72	0,75	0,86	1,10	1,53	2,39	3,38
10,5;13,5	1,29	0,91	0,68	0,53	0,45	0,41	0,43	0,49	0,60	0,80	1,13	1,45
11,5;12,5						0,13						
Северная ориентация												
5,5					1,80	1,53	1,62					

Таблица Г.8 – Кгв для 52º с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5			1,58						0,96	3,29		
8,5		3,17	1,46	0,73	0,42	0,30	0,34	0,56	1,07	2,21	6,08	
9,5	4,73	2,47	1,42	0,83	0,55	0,43	0,48	0,68	1,11	1,92	3,67	5,97
10,5	3,67	2,23	1,40	0,89	0,62	0,51	0,55	0,74	1,14	1,81	3,04	4,33
11,5	3,35	2,14	1,39	0,91	0,65	0,54	0,58	0,77	1,15	1,77	2,83	3,86
12,5	3,35	2,14	1,39	0,91	0,65	0,54	0,58	0,77	1,15	1,77	2,83	3,86
13,5	3,67	2,23	1,40	0,89	0,62	0,51	0,55	0,74	1,14	1,81	3,04	4,33
14,5	4,73	2,47	1,42	0,83	0,55	0,43	0,48	0,68	1,11	1,92	3,67	5,97
15,5		3,17	1,46	0,73	0,42	0,30	0,34	0,56	1,07	2,21	6,08	
16,5			1,58						0,96	3,29		
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
4,5;19,5						8,90						
5,5;18,5					5,28	3,83	4,28	8,33				
6,5;17,5				4,61	2,84	2,36	2,53	3,54	8,06			
7,5;16,5			4,50	2,49	1,83	1,61	1,69	2,12	3,32	7,75		
8,5;15,5		4,05	2,30	1,56	1,23	1,11	1,16	1,38	1,90	3,07	7,04	
9,5;14,5	3,33	1,97	1,33	0,98	0,80	0,74	0,76	0,89	1,15	1,64	2,69	4,08
10,5;13,5	1,45	0,98	0,71	0,54	0,46	0,42	0,43	0,50	0,63	0,85	1,25	1,67
Северная ориентация												
4,5						5,46						
5,5					1,66	1,42	1,50					

Таблица Г.9 – Кгв для 54º с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5			1,71						1,03	3,76		
8,5		3,60	1,58	0,79	0,46	0,34	0,38	0,61	1,15	2,43		
9,5	5,70	2,74	1,53	0,90	0,60	0,48	0,52	0,73	1,20	2,10	4,25	7,59
10,5	4,25	2,45	1,50	0,95	0,67	0,55	0,60	0,80	1,22	1,97	3,44	5,14
11,5	3,83	2,35	1,49	0,97	0,70	0,59	0,63	0,83	1,23	1,92	3,18	4,50
12,5	3,83	2,35	1,49	0,97	0,70	0,59	0,63	0,83	1,23	1,92	3,18	4,50
13,5	4,25	2,45	1,50	0,95	0,67	0,55	0,60	0,80	1,22	1,97	3,44	5,14
14,5	5,70	2,74	1,53	0,90	0,60	0,48	0,52	0,73	1,20	2,10	4,25	7,59
15,5		3,60	1,58	0,79	0,46	0,34	0,38	0,61	1,15	2,43		
16,5			1,71						1,03	3,76		
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
4,5;19,5						7,48	9,69					
5,5;18,5					4,99	3,65	4,07	7,75				
6,5;17,5				4,61	2,82	2,33	2,50	3,52	8,23			
7,5;16,5			4,77	2,54	1,85	1,61	1,69	2,15	3,44	8,76		
8,5;15,5		4,56	2,43	1,60	1,25	1,12	1,17	1,41	1,98	3,33		
9,5;14,5	3,99	2,15	1,40	1,01	0,82	0,75	0,77	0,91	1,19	1,76	3,09	5,16
10,5;13,5	1,67	1,07	0,75	0,56	0,47	0,43	0,44	0,51	0,65	0,90	1,40	1,97
Северная ориентация												
4,5						4,56	5,69					
5,5					1,54	1,32	1,39					

Таблица Г.10 – Кгв для 56º с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5			1,86	0,62	0,26	0,13	0,18	0,41	1,11	4,37		
8,5		4,15	1,71	0,85	0,50	0,38	0,42	0,66	1,23	2,69		
9,5	7,16	3,07	1,65	0,96	0,64	0,52	0,57	0,79	1,28	2,30	5,03	
10,5	5,04	2,72	1,62	1,02	0,72	0,60	0,64	0,86	1,31	2,15	3,95	6,31
11,5	4,46	2,59	1,61	1,04	0,75	0,64	0,68	0,89	1,32	2,09	3,62	5,38
12,5	4,46	2,59	1,61	1,04	0,75	0,64	0,68	0,89	1,32	2,09	3,62	5,38
13,5	5,04	2,72	1,62	1,02	0,72	0,60	0,64	0,86	1,31	2,15	3,95	6,31
14,5	7,16	3,07	1,65	0,96	0,64	0,52	0,57	0,79	1,28	2,30	5,03	
15,5		4,15	1,71	0,85	0,50	0,38	0,42	0,66	1,23	2,69		
16,5			1,86	0,62	0,26	0,13	0,18	0,41	1,11	4,37		
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
4,5;19,5						6,46	8,09					
5,5;18,5					4,74	3,49	3,88	7,25				
6,5;17,5				4,62	2,79	2,31	2,47	3,51	8,41			
7,5;16,5			5,07	2,60	1,86	1,62	1,70	2,18	3,57	10,09		
8,5;15,5		5,22	2,57	1,65	1,27	1,14	1,19	1,44	2,06	3,64		
9,5;14,5	4,99	2,38	1,48	1,04	0,84	0,76	0,79	0,93	1,25	1,90	3,63	
10,5;13,5	1,96	1,17	0,79	0,58	0,48	0,44	0,45	0,53	0,68	0,97	1,59	2,40
Северная ориентация												
4,5					7,44	3,90	4,71					
5,5					1,43	1,23	1,29					

Таблица Г.11 – Кгв для 58º с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5			2,03						1,19			
8,5		4,90	1,85	0,91	0,55	0,42	0,47	0,71	1,32	3,01		
9,5		3,48	1,79	1,03	0,69	0,57	0,61	0,85	1,38	2,54	6,14	
10,5	6,16	3,04	1,76	1,09	0,77	0,65	0,70	0,92	1,41	2,37	4,63	8,14
11,5	5,33	2,89	1,75	1,12	0,81	0,69	0,73	0,96	1,42	2,30	4,18	6,67
12,5	5,33	2,89	1,75	1,12	0,81	0,69	0,73	0,96	1,42	2,30	4,18	6,67
13,5	6,16	3,04	1,76	1,09	0,77	0,65	0,70	0,92	1,41	2,37	4,63	8,14
14,5		3,48	1,79	1,03	0,69	0,57	0,61	0,85	1,38	2,54	6,14	
15,5		4,90	1,85	0,91	0,55	0,42	0,47	0,71	1,32	3,01		
16,5			2,03						1,19			
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
4,5;19,5						5,69	6,95					
5,5;18,5					4,52	3,35	3,72	6,82				
6,5;17,5				4,63	2,77	2,28	2,45	3,49	8,61			
7,5;16,5			5,43	2,66	1,88	1,63	1,72	2,21	3,71			
8,5;15,5		6,11	2,74	1,70	1,30	1,15	1,21	1,48	2,15	4,02		
9,5;14,5		2,67	1,57	1,08	0,86	0,77	0,81	0,96	1,31	2,06	4,40	
10,5;13,5	2,38	1,29	0,84	0,60	0,49	0,45	0,46	0,54	0,71	1,05	1,84	3,08
Северная ориентация												
4,5						3,40	4,02					
5,5					1,33	1,14	1,20					

Таблица Г.12 – Кгв для 60º с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5			2,22						1,28			
8,5		5,95	2,02	0,98	0,60	0,46	0,51	0,77	1,42	3,41		
9,5		4,00	1,94	1,10	0,75	0,61	0,66	0,91	1,49	2,83	7,86	
10,5	7,89	3,45	1,91	1,17	0,83	0,70	0,75	0,99	1,52	2,62	5,56	
11,5	6,59	3,25	1,90	1,20	0,87	0,74	0,79	1,02	1,53	2,53	4,94	8,75
12,5	6,59	3,25	1,90	1,20	0,87	0,74	0,79	1,02	1,53	2,53	4,94	8,75
13,5	7,89	3,45	1,91	1,17	0,83	0,70	0,75	0,99	1,52	2,62	5,56	
14,5		4,00	1,94	1,10	0,75	0,61	0,66	0,91	1,49	2,83	7,86	
15,5		5,95	2,02	0,98	0,60	0,46	0,51	0,77	1,42	3,41		
16,5			2,22						1,28			
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
4,5;19,5					8,93	5,09	6,10					
5,5;18,5					4,32	3,22	3,57	6,44				
6,5;17,5				4,65	2,75	2,26	2,43	3,49	8,84			
7,5;16,5			5,84	2,72	1,90	1,64	1,73	2,25	3,88			
8,5;15,5		7,37	2,93	1,75	1,32	1,17	1,23	1,52	2,26	4,49		
9,5;14,5		3,05	1,68	1,12	0,88	0,79	0,82	0,99	1,37	2,26	5,61	
10,5;13,5	3,04	1,44	0,89	0,63	0,51	0,46	0,48	0,56	0,75	1,15	2,20	
Северная ориентация												
4,5					4,85	3,01	3,49					
5,5					1,23	1,07	1,12					

Таблица Г.13 – Кгв для 62º с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5			2,44	0,78					1,37			
8,5			2,21	1,05	0,64	0,50	0,55	0,82	1,53	3,90		
9,5		4,70	2,12	1,19	0,80	0,66	0,71	0,98	1,61	3,18		
10,5		3,96	2,09	1,26	0,89	0,75	0,80	1,06	1,64	2,92	6,94	
11,5	8,60	3,71	2,07	1,29	0,93	0,80	0,85	1,10	1,66	2,82	6,01	
12,5	8,60	3,71	2,07	1,29	0,93	0,80	0,85	1,10	1,66	2,82	6,01	
13,5		3,96	2,09	1,26	0,89	0,75	0,80	1,06	1,64	2,92	6,94	
14,5		4,70	2,12	1,19	0,80	0,66	0,71	0,98	1,61	3,18		
15,5			2,21	1,05	0,64	0,50	0,55	0,82	1,53	3,90		
16,5			2,44	0,78					1,37			
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
4,5;19,5					7,64	4,61	5,44					
5,5;18,5				11,06	4,14	3,11	3,44	6,11				
6,5;17,5				4,67	2,74	2,25	2,41	3,48	9,09			
7,5;16,5			6,34	2,79	1,92	1,65	1,75	2,29	4,06			
8,5;15,5			3,15	1,82	1,35	1,19	1,25	1,56	2,38	5,10		
9,5;14,5		3,54	1,80	1,16	0,90	0,81	0,84	1,02	1,45	2,51		
10,5;13,5		1,64	0,96	0,65	0,52	0,47	0,49	0,58	0,79	1,26	2,73	
Северная ориентация												
4,5					4,12	2,69	3,08					
5,5					1,15	1,00	1,04					

Таблица Г.14 – Кгв для 64° с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5			2,71	0,84					1,48			
8,5			2,43	1,12	0,69	0,55	0,60	0,88	1,66	4,56		
9,5		5,66	2,33	1,27	0,86	0,71	0,77	1,05	1,74	3,62		
10,5		4,63	2,29	1,35	0,96	0,81	0,86	1,14	1,78	3,29	9,21	
11,5		4,30	2,27	1,39	1,00	0,85	0,91	1,18	1,79	3,17	7,65	
12,5		4,30	2,27	1,39	1,00	0,85	0,91	1,18	1,79	3,17	7,65	
13,5		4,63	2,29	1,35	0,96	0,81	0,86	1,14	1,78	3,29	9,21	
14,5		5,66	2,33	1,27	0,86	0,71	0,77	1,05	1,74	3,62		
15,5			2,43	1,12	0,69	0,55	0,60	0,88	1,66	4,56		
16,5			2,71	0,84					1,48			
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
3,5;20,5						6,60						
4,5;19,5					6,68	4,21	4,91					
5,5;18,5				10,28	3,99	3,01	3,32	5,82				
6,5;17,5				4,70	2,73	2,23	2,40	3,48	9,36			
7,5;16,5			6,93	2,87	1,95	1,67	1,76	2,34	4,27			
8,5;15,5			3,41	1,89	1,38	1,21	1,27	1,61	2,51	5,91		
9,5;14,5		4,24	1,94	1,21	0,93	0,83	0,87	1,06	1,54	2,83		
10,5;13,5		1,91	1,03	0,69	0,54	0,48	0,50	0,61	0,84	1,41	3,61	
Северная ориентация												
3,5						6,12						
4,5					3,57	2,43	2,75					
5,5					1,07	0,93	0,97					

Таблица Г.15 – Кгв для 66° с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5			3,03	0,90					1,60			
8,5			2,69	1,21	0,75	0,59	0,65	0,95	1,80	5,47		
9,5		7,10	2,57	1,37	0,93	0,77	0,82	1,12	1,89	4,18		
10,5		5,57	2,52	1,46	1,03	0,87	0,93	1,22	1,93	3,75		
11,5		5,10	2,50	1,49	1,07	0,92	0,97	1,27	1,95	3,60	10,48	
12,5		5,10	2,50	1,49	1,07	0,92	0,97	1,27	1,95	3,60	10,48	
13,5		5,57	2,52	1,46	1,03	0,87	0,93	1,22	1,93	3,75		
14,5		7,10	2,57	1,37	0,93	0,77	0,82	1,12	1,89	4,18		
15,5			2,69	1,21	0,75	0,59	0,65	0,95	1,80	5,47		
16,5			3,03	0,90					1,60			
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
3,5;20,5						5,44	6,95					
4,5;19,5					5,95	3,89	4,48					
5,5;18,5				9,62	3,84	2,91	3,21	5,57				
6,5;17,5				4,74	2,72	2,22	2,39	3,49	9,67			
7,5;16,5			7,66	2,96	1,98	1,68	1,79	2,39	4,50			
8,5;15,5			3,73	1,96	1,42	1,24	1,30	1,66	2,67	7,04		
9,5;14,5		5,29	2,12	1,27	0,96	0,85	0,89	1,10	1,64	3,24		
10,5;13,5		2,27	1,12	0,72	0,56	0,50	0,52	0,63	0,90	1,59		
Северная ориентация												
3,5						5,01	6,29					
4,5					3,14	2,21	2,48					
5,5						0,87	0,91					

Таблица Г.16 – Кгв для 68º с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5			3,43	0,96				0,69	1,73			
8,5			3,01	1,29	0,80	0,64	0,70	1,02	1,96	6,80		
9,5			2,87	1,47	0,99	0,82	0,88	1,20	2,06	4,93		
10,5		6,95	2,81	1,57	1,10	0,93	0,99	1,31	2,11	4,36		
11,5		6,25	2,78	1,61	1,15	0,98	1,04	1,36	2,13	4,16		
12,5		6,25	2,78	1,61	1,15	0,98	1,04	1,36	2,13	4,16		
13,5		6,95	2,81	1,57	1,10	0,93	0,99	1,31	2,11	4,36		
14,5			2,87	1,47	0,99	0,82	0,88	1,20	2,06	4,93		
15,5			3,01	1,29	0,80	0,64	0,70	1,02	1,96	6,80		
16,5			3,43	0,96				0,69	1,73			
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
3,5;20,5						4,63	5,71					
4,5;19,5					5,36	3,61	4,13	10,12				
5,5;18,5				9,05	3,72	2,83	3,12	5,34				
6,5;17,5				4,78	2,72	2,21	2,38	3,50	10,00			
7,5;16,5			8,58	3,06	2,01	1,70	1,81	2,44	4,77			
8,5;15,5			4,12	2,05	1,46	1,26	1,33	1,71	2,85	8,71		
9,5;14,5			2,33	1,34	0,99	0,87	0,92	1,14	1,75	3,80		
10,5;13,5		2,83	1,23	0,76	0,58	0,51	0,54	0,66	0,97	1,83		
Северная ориентация												
3,5						4,24	5,13					
4,5					2,80	2,02	2,25	4,93				
5,5						0,81	0,85					

Таблица Г.17 – Кгв для 70º с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5			3,93	1,03				0,74	1,88			
8,5			3,40	1,39	0,86	0,69	0,75	1,09	2,14			
9,5			3,22	1,59	1,06	0,88	0,95	1,29	2,26	6,00		
10,5		9,23	3,15	1,70	1,18	1,00	1,06	1,41	2,32	5,18		
11,5		8,04	3,12	1,75	1,24	1,05	1,12	1,46	2,34	4,90		
12,5		8,04	3,12	1,75	1,24	1,05	1,12	1,46	2,34	4,90		
13,5		9,23	3,15	1,70	1,18	1,00	1,06	1,41	2,32	5,18		
14,5			3,22	1,59	1,06	0,88	0,95	1,29	2,26	6,00		
15,5			3,40	1,39	0,86	0,69	0,75	1,09	2,14			
16,5			3,93	1,03				0,74	1,88			
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
3,5;20,5					7,10	4,04	4,84					
4,5;19,5					4,89	3,37	3,83	8,64				
5,5;18,5				8,55	3,60	2,75	3,03	5,13				
6,5;17,5				4,83	2,72	2,21	2,38	3,51	10,38			
7,5;16,5			9,75	3,17	2,05	1,73	1,84	2,51	5,08			
8,5;15,5			4,61	2,15	1,50	1,29	1,37	1,78	3,06			
9,5;14,5			2,59	1,41	1,03	0,90	0,95	1,20	1,89	4,59		
10,5;13,5		3,73	1,37	0,80	0,60	0,53	0,56	0,69	1,04	2,16		
Северная ориентация												
3,5					6,16	3,66	4,32					
4,5					2,52	1,85	2,05	4,17				
5,5						0,75						

Таблица Г.18 – Кгв для 72° с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5				1,11	0,59			0,80	2,05			
8,5			3,90	1,50	0,93	0,75	0,81	1,17	2,35			
9,5			3,67	1,72	1,14	0,95	1,02	1,39	2,49	7,64		
10,5			3,58	1,84	1,27	1,07	1,14	1,52	2,56	6,37		
11,5		11,22	3,54	1,90	1,33	1,13	1,20	1,58	2,59	5,96		
12,5		11,22	3,54	1,90	1,33	1,13	1,20	1,58	2,59	5,96		
13,5			3,58	1,84	1,27	1,07	1,14	1,52	2,56	6,37		
14,5			3,67	1,72	1,14	0,95	1,02	1,39	2,49	7,64		
15,5			3,90	1,50	0,93	0,75	0,81	1,17	2,35			
16,5				1,11	0,59			0,80	2,05			
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
3,5;20,5					5,85	3,58	4,21					
4,5;19,5					4,50	3,17	3,58	7,55				
5,5;18,5				8,11	3,50	2,68	2,95	4,95				
6,5;17,5				4,89	2,72	2,20	2,38	3,53	10,80			
7,5;16,5				3,29	2,09	1,75	1,87	2,57	5,44			
8,5;15,5			5,23	2,26	1,55	1,33	1,40	1,85	3,31			
9,5;14,5			2,92	1,49	1,07	0,93	0,98	1,25	2,05	5,81		
10,5;13,5			1,54	0,85	0,63	0,55	0,58	0,73	1,14	2,64		
Северная ориентация												
3,5					5,04	3,22	3,72					
4,5					2,28	1,71	1,88	3,61				

Таблица Г.19 – Кгв для 74° с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5				1,19	0,63	0,48	0,53	0,85	2,24			
8,5			4,55	1,62	0,99	0,80	0,87	1,25	2,59			
9,5			4,25	1,87	1,23	1,02	1,09	1,50	2,76			
10,5			4,13	2,01	1,36	1,15	1,23	1,64	2,85	8,24		
11,5			4,08	2,07	1,43	1,21	1,29	1,71	2,88	7,57		
12,5			4,08	2,07	1,43	1,21	1,29	1,71	2,88	7,57		
13,5			4,13	2,01	1,36	1,15	1,23	1,64	2,85	8,24		
14,5			4,25	1,87	1,23	1,02	1,09	1,50	2,76			
15,5			4,55	1,62	0,99	0,80	0,87	1,25	2,59			
16,5				1,19	0,63	0,48	0,53	0,85	2,24			
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
3,5;20,5					4,98	3,22	3,73					
4,5;19,5					4,17	2,99	3,36	6,71				
5,5;18,5				7,73	3,40	2,62	2,88	4,78				
6,5;17,5				4,95	2,73	2,20	2,38	3,55	11,26			
7,5;16,5				3,42	2,14	1,78	1,90	2,65	5,86			
8,5;15,5			6,06	2,39	1,60	1,36	1,45	1,93	3,61			
9,5;14,5			3,35	1,59	1,12	0,96	1,02	1,32	2,25			
10,5;13,5			1,76	0,91	0,66	0,57	0,60	0,77	1,25	3,40		
Северная ориентация												
3,5					4,26	2,86	3,26					
4,5					2,08	1,58	1,73	3,18				

Таблица Г.20 – Кгв для 76° с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5				1,28	0,68	0,52	0,58	0,92	2,47			
8,5			5,45	1,75	1,06	0,86	0,93	1,35	2,89			
9,5			5,04	2,04	1,32	1,09	1,17	1,62	3,10			
10,5			4,86	2,20	1,47	1,24	1,32	1,78	3,20			
11,5			4,79	2,27	1,54	1,30	1,39	1,86	3,25	10,33		
12,5			4,79	2,27	1,54	1,30	1,39	1,86	3,25	10,33		
13,5			4,86	2,20	1,47	1,24	1,32	1,78	3,20			
14,5			5,04	2,04	1,32	1,09	1,17	1,62	3,10			
15,5			5,45	1,75	1,06	0,86	0,93	1,35	2,89			
16,5				1,28	0,68	0,52	0,58	0,92	2,47			
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
3,5;20,5					4,33	2,93	3,35	8,07				
4,5;19,5					3,89	2,84	3,17	6,04				
5,5;18,5				7,38	3,32	2,57	2,81	4,63				
6,5;17,5				5,02	2,74	2,21	2,38	3,58				
7,5;16,5				3,57	2,18	1,81	1,94	2,73	6,37			
8,5;15,5			7,21	2,53	1,66	1,40	1,49	2,02	3,97			
9,5;14,5			3,94	1,70	1,17	1,00	1,06	1,39	2,49			
10,5;13,5			2,05	0,98	0,69	0,60	0,63	0,82	1,39			
Северная ориентация												
3,5					3,68	2,57	2,90	6,64				
4,5					1,91	1,46	1,60	2,83				

Таблица Г.21 – Кгв для 78° с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5				1,37	0,74	0,57	0,63	0,98	2,74			
8,5			6,78	1,91	1,14	0,92	1,00	1,45	3,25			
9,5			6,16	2,23	1,42	1,17	1,26	1,75	3,51			
10,5			5,90	2,42	1,59	1,33	1,42	1,94	3,64			
11,5			5,80	2,50	1,67	1,40	1,50	2,02	3,70			
12,5			5,80	2,50	1,67	1,40	1,50	2,02	3,70			
13,5			5,90	2,42	1,59	1,33	1,42	1,94	3,64			
14,5			6,16	2,23	1,42	1,17	1,26	1,75	3,51			
15,5			6,78	1,91	1,14	0,92	1,00	1,45	3,25			
16,5				1,37	0,74	0,57	0,63	0,98	2,74			
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
3,5;20,5					3,84	2,69	3,04	6,56				
4,5;19,5					3,65	2,70	3,00	5,50				
5,5;18,5				7,08	3,24	2,52	2,75	4,50				
6,5;17,5				5,10	2,75	2,21	2,39	3,61				
7,5;16,5				3,74	2,24	1,84	1,98	2,82	6,97			
8,5;15,5			8,91	2,70	1,73	1,45	1,54	2,12	4,42			
9,5;14,5			4,78	1,83	1,22	1,04	1,10	1,48	2,79			
10,5;13,5			2,48	1,07	0,73	0,62	0,66	0,87	1,56			
Северная ориентация												
3,5					3,23	2,32	2,60	5,36				
4,5					1,76	1,36	1,48	2,54				

Таблица Г.22 – Кгв для 80º с.ш.

Мес. / Вр., ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южная ориентация												
7,5				1,48	0,79	0,62	0,68	1,05	3,07			
8,5				2,08	1,23	0,99	1,07	1,57	3,71			
9,5			7,89	2,46	1,53	1,26	1,35	1,91	4,04			
10,5			7,48	2,68	1,72	1,43	1,53	2,11	4,21			
11,5			7,32	2,78	1,81	1,51	1,61	2,21	4,29			
12,5			7,32	2,78	1,81	1,51	1,61	2,21	4,29			
13,5			7,48	2,68	1,72	1,43	1,53	2,11	4,21			
14,5			7,89	2,46	1,53	1,26	1,35	1,91	4,04			
15,5				2,08	1,23	0,99	1,07	1,57	3,71			
16,5				1,48	0,79	0,62	0,68	1,05	3,07			
Восточная (3,5-11,5ч) и западная (12,5-18,5ч) ориентация												
3,5;20,5					3,46	2,49	2,79	5,53				
4,5;19,5				9,07	3,44	2,58	2,86	5,06				
5,5;18,5				6,81	3,17	2,47	2,70	4,38				
6,5;17,5				5,19	2,77	2,22	2,40	3,65				
7,5;16,5				3,93	2,30	1,88	2,02	2,93	7,71			
8,5;15,5				2,89	1,80	1,50	1,60	2,24	4,99			
9,5;14,5			6,09	1,99	1,29	1,08	1,15	1,57	3,19			
10,5;13,5			3,12	1,16	0,77	0,65	0,70	0,93	1,79			
Северная ориентация												
3,5					2,87	2,12	2,35	4,48				
4,5				3,99	1,62	1,26	1,38	2,30				

Г.2 Расчет по разработанному графическому методу затенения прямой радиации противостоящим зданием и верификация с расчетом по солнечным картам

В качестве методического примера рассматривается односекционное здание серии 111М, расположенное в г. Москве. Напротив южного фасада расположено двухсекционное здание серии 111М, расположение которого относительно исследуемого показано на схеме застройки в плане на рисунке Г.1. Высота каждого здания 48 м. Необходимо определить период затенения и период облучения геометрической середины южного фасада исследуемого здания, пользуясь графиками рисунока 3.3, и провести расчёт поступающей прямой солнечной радиации по формуле (3.1). Расчёт проводится для отопительного периода по следующему алгоритму.

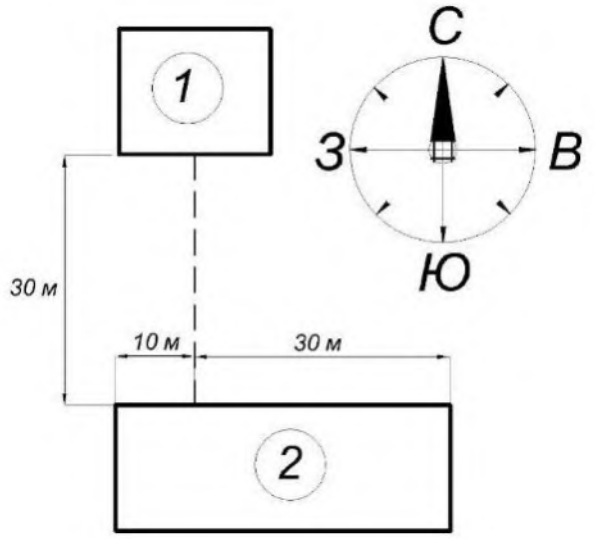


Рисунок Г.1 – Схема расположения зданий в плане: 1 – исследуемое здание; 2 – противостоящее здание

Алгоритм проведения расчётов на примере южного фасада исследуемого здания при наличии противостоящего здания.

Определение периода облучения участка фасада

1. *Расчёт параметров застройки.*

Параметры застройки рассчитываются по формулам (3.14) и (3.18):

$H_L = (48:2)/30 = 0{,}8$; $L_{1L} = 30/30 = 1$; $L_{2L} = 10/30 = 0{,}33$

2. *Нанесение параметров застройки на графики и определение времени затенения.*

Для определения времени затенения участка фасада необходимо графически проверить выполнение условий (3.15) и (3.19). Для этого на каждом из графиков на рисунке Г.2 проводятся горизонтальные линии, соответствующие параметрам застройки: H_L и L_{1L}, L_{2L}. Области графиков, на которых значения $\mathrm{tg}(h_{\oplus})$ и $\mathrm{tg}(\psi_{\oplus} - \psi_n)$ меньше соответствующего параметра застройки H_L и L_{1L}, или L_{2L}, являются областью затенения фасада, что отмечено затеняющими прямоугольниками на рисунке Г.2.

Участок фасада затеняется в течение временного периода, на котором одновременно выполняются условия затенения (3.15) и (3.19), что графически означает совпадение верхнего и нижнего затеняющего прямоугольников и отмечено черной полосой и бордовым прямоугольником на оси времени (рисунок Г.2). Графики на рисунке Г.2 построены на 22-ое число каждого месяца отопительного периода, так как именно на это число построены солнечные карты [169] (рисунок Г.5), с расчетом по которому сравнивается разработанный метод. Таким образом, период затенения для апреля длится с 9ч 36 мин до 9ч 5мин. Аналогично он определяется для остальных месяцев. При этом для всех остальных месяцев происходит полное затенение по условию угловой высоты Солнца, поэтому следует определять период затенения только по условию азимутов (см. рисунки Г.3-Г.4).

3. *Определение периодов облучения.*

Период облучения участка фасада с учётом противостоящего здания определяется из соотношений (3.23) и (3.24) при известном из периоде затенения. Тогда для апреля определено два периода облучения – с 7ч до 9ч 36 мин и с 9ч 48 мин до 17 ч.

Периоды облучения для всех месяцев отопительного периода представлены в таблице Г.23 при определении по разработанному методу (рисунки Г.2-Г4) и в таблице Г.24 при определении по солнечной карте (рисунок Г.5). Из данных таблиц

следует, что максимальное расхождение составляет 12 минут, что объясняется округлением до получаса при проводимых расчётах. Наименьшее расхождение 0 мин. Таким образом, разработанный метод является достаточно точным для определения длительности облучения и затенения участка фасада.

Таблица Г.23 – Периоды облучения участка южного фасада с учётом влияния противостоящего здания по разработанному методу, на 22-ое число каждого месяца, г. Москва (рисунок Г.5)

Месяц	Первый период облучения	Второй период облучения
Октябрь	7:30 – 9:00	13:00 – 16:30
Ноябрь	8:30 – 8:45	13:06 – 15:30
Декабрь	–	13:12 – 15:00
Январь	8:30 – 8:45	13:06 – 15:30
Февраль	7:30 – 9:00	13:00 – 16:30
Март	7:00 – 9:24	12:52 – 17:00
Апрель	7:00 – 9:36	9:48 – 17:00

Таблица Г.24 – Периоды облучения участка южного фасада с учётом влияния противостоящего здания по солнечной карте, на 22-ое число каждого месяца, г. Москва

Месяц	Первый период облучения	Второй период облучения
Октябрь	7:20-9:00	13:08-16:42
Ноябрь	8:30-8:45	13:15-15:30
Декабрь	-	13:20-15:00
Январь	8:30-8:45	13:15-15:30
Февраль	7:20-9:00	13:08-16:42
Март	7:00-9:20	13:00-17:00
Апрель	7:00 – 9:36	9:50 – 17:00

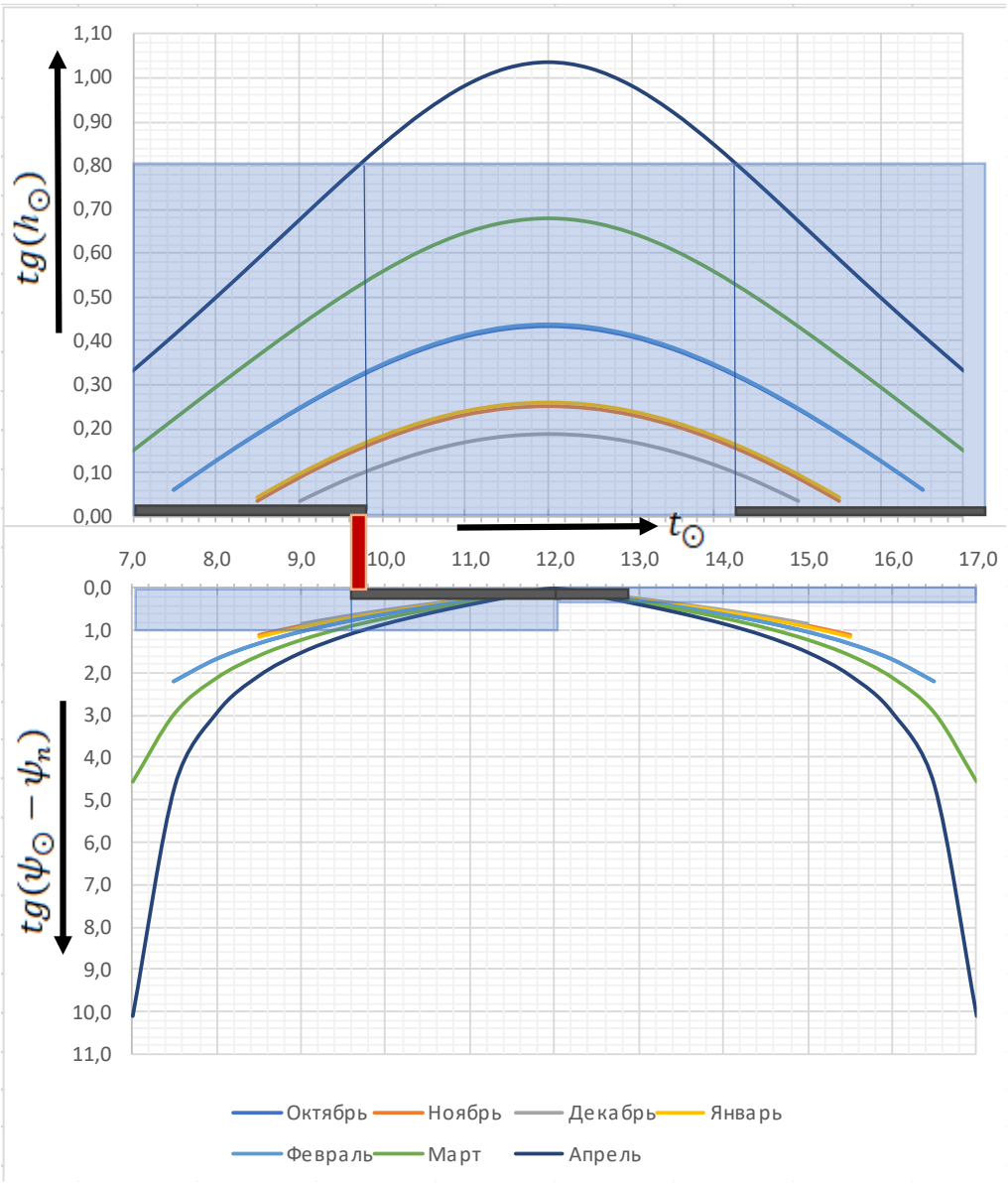


Рисунок Г.2 – Тангенсы угловой высоты Солнца и разности азимутов Солнца и нормали к поверхности фасада, ориентированного на юг с нанесенными параметрами застройки, 22ое число каждого месяца (г. Москва)

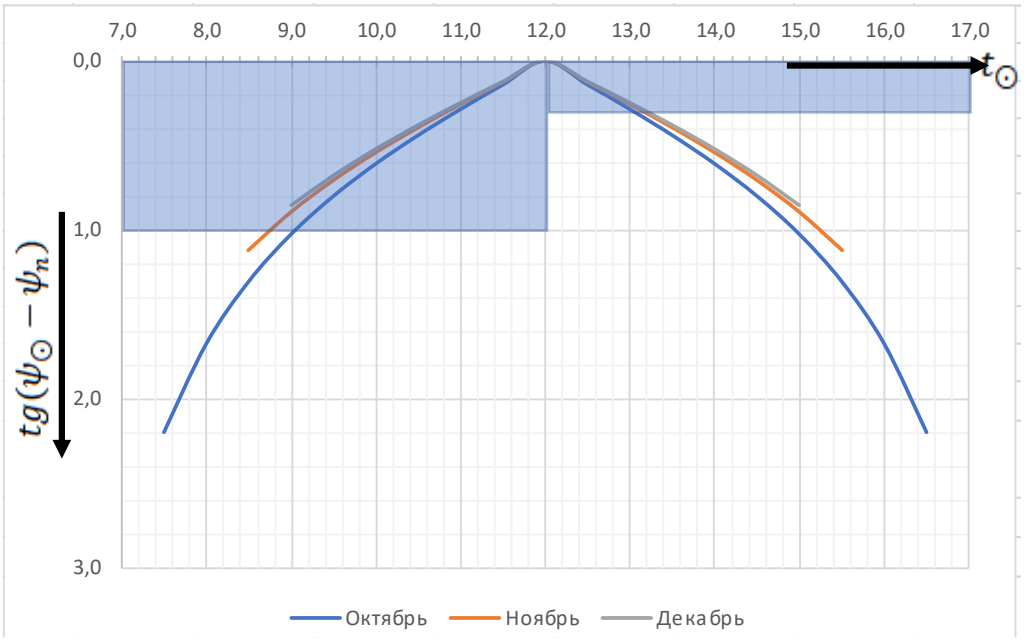


Рисунок Г.3 – Тангенсы разности азимутов Солнца и нормали к поверхности фасада, ориентированного на юг с нанесенными параметрами застройки, 22ое число каждого месяца (г. Москва)

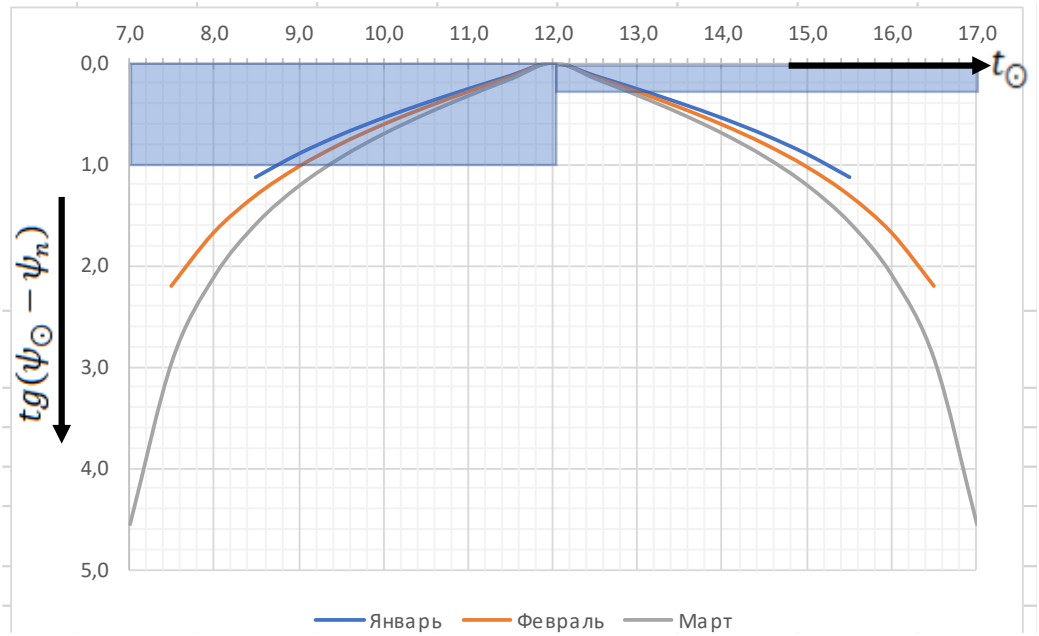


Рисунок Г.4 – Тангенсы разности азимутов Солнца и нормали к поверхности фасада, ориентированного на юг с нанесенными параметрами застройки, 22ое число каждого месяца (г. Москва)

На рисунке Г.5 показано определение периодов затенения исследуемого фасада противостоящим зданием с использованием солнечной карты. Зелеными линиями показано ограничение расчетов в пределах от 7 до 17ч.

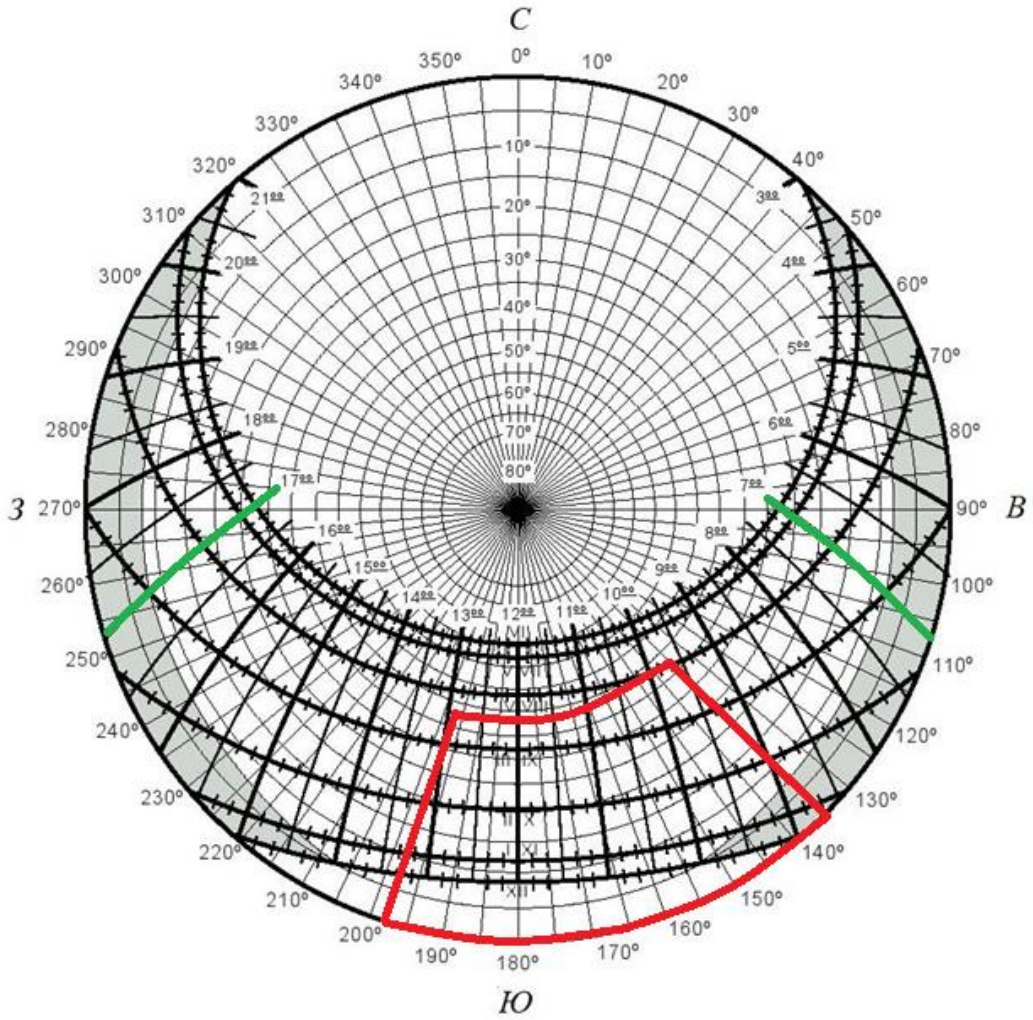


Рисунок Г.5 – Солнечная карта для 56 с.ш. [167]

Расчёт поступающей прямой солнечной радиации

В таблице Г.24 в столбцах II-X представлены значения солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность за период облучения южного фасада (по исходным данным из таблицы 1.8 [140]). В соответствии с определённым графически временем облучения фасада заполняется столбец XII таблицы Г.24 по формуле (3.4), в том числе с учётом неполных часов облучения, но с исключением углов падения солнечной радиации, больших 75 градусов. Также приведены

расчёты по формуле (3.4) в столбце XIII и по методике [168] без учёта застройки, столбец XIV.

Таблица Г.25 – Поступление прямой солнечной радиации на участок южного фасада здания №1 за отопительный период с учётом противостоящего здания (облучение за доли часа в скобках), $\hat{S}^{\text{вер}}_{\text{Ю}-\text{ЗД№1}}(x,y)$, без учета противостоящего здания (затемненные значения в столбцах II - XI), $S^{\text{вер}}_{\text{Ю}}$, и по методике [168], $S^{\text{вер}}$

Месяц	Прямая солнечная радиация на гор. поверхность, МДж/м^2, по часам (по долям часа по таблице Г.23) по таблице 1.8 [140]										$\hat{S}^{\text{вер}}_{\text{Ю}-\text{ЗД№1}}$ МДж/м^2	$S^{\text{вер}}_{\text{Ю}}$ МДж/м^2	$S^{\text{вер}}$ МДж/м^2
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17			
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIII
Октябрь	2,7 (1,4)	5,8	10,7	14,0	16,2	15,5	5,3	0,7	6,7	2,7	13	100	97
Ноябрь			7,5	9,5	11,9	11,9	9,5	6,0			16	56	59
Декабрь			0,0	3,9	6,7	8,3	5,9	0,0			6	25	31
Январь			4,4	10,9	13,8	15,2	12,5	2,2			15	59	62
Февраль		4,6	12,0	17,5	21,8	22,5	19,0	13,8	8,1		46	119	120
Март	5,2	11,7	19,4 (9,7)	24,6	27,5	27,0	24,6	19,9	12,7	5,8	90	178	169
Апрель	5,4	11,7	17,9 (8,9)	21,7	24,0	23,7	22,0	17,3	11,0	4,7	150	159	158
Сумма, МДж/м^2											335	697	696

Из данных таблицы Г.25 следует, что суммарное за отопительный период значение поступающей прямой радиации на середину участка исследуемого фасада при учёте наличия противостоящего здания составляет 335 МДж/м^2, без учёта наличия противостоящего здания по методике [168] – 696 МДж/м^2, т.е. расчётное значение прямой солнечной радиации снизилось на 52%. При расчёте по формуле (3.4), значение поступающей прямой радиации без учёта противостоящего здания составляет 697 МДж/м^2, что совпадает с расчётом по методике [168] и объяснено в разделе 3.1.1 настоящей работы. Однако, в настоящем разделе расчеты проведены для облачных дней, а при учёте ясных дней следует ожидать большего расхождения результатов разработанного метода с методикой [168].

Г.3 Расчет по разработанному аналитическому методу определения рассеянной радиации с учётом противостоящего здания и верификация с расчетом по графикам Данилюка

Как известно, для расчёта геометрического коэффициента естественной освещенности (КЕО) используются графики А.М. Данилюка [48]. Эти графики разработаны для определения отношения площади проекции на горизонтальную плоскую поверхность участка небосвода, видимого из незаполненого светопроема, к общей площади проекции небосвода на ту же поверхность. При этом небосвод разделяется на 10000 равноосвещённых участков, которые образуются пересечением небесных меридианов и параллелей. В разрезе и плане схемы расположения зданий с наложением графиков А.М. Данилюка подсчитывается количество лучей, проходящих через световой проем от небосвода и от противостоящего здания, затем количество лучей, определяемых на разрезе и на плане, перемножаются и определяется отношение площади проекции видимого участка небосвода к площади проекции всего небосвода на горизонтальную плоскость.

Тогда, накладывая графики А.М. Данилюка на центр рассматриваемой горизонтальной площадки, имеющей координаты по центру *(x,y),* можно определить долю площади проекции видимого и затенённого участков небосвода от проекции всего небосвода.

Участки небосвода на графиках А.М. Данилюка имеют равную освещённость, а значит и равномерно распределённое значение рассеянной радиации при условии ее изотропности. На вертикальный фасад здания поступает половина от рассеянной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность $D^{\text{гор}}$, при этом доля рассеянной радаиции, равная $\varepsilon_1'(x,y) = n_1' \cdot n_2'/10000$, соответствует перекрыванию противостоящим зданием. n_1', n_2' - количество лучей, определённое по графикам А.М. Данилюка, в разрезе (график Данилюка I) и в плане (график Данилюка II) схемы расположения зданий, соответсвенно.

Графики I и II следует накладывать с учётом правил пользования [48], адаптированными для данного расчёта. А именно, при наложении графика I на точку с координатой *y* на разрез схемы расположения зданий, фиксируется номер полуокружности, проходящей через середину участка фасада противостоящего здания, определяемого горизонтальной осью графика I и верхнй границей противостоящего здания. Затем график II накладывается на точку с координатой *x* на план схемы расположения зданий с совмещением горизонтали, соответствующей зафиксированному номеру полуокружности на графике I, с линией фасада противостоящего здания. В каждом случае подсчитывается количество лучей n_1', n_2', соответственно.

Тогда $\varepsilon_{\text{ЗД}}^{\text{Д}}(x,y)$- коэффициент перекрытия небосвода противостоящим зданием в исследуемой точке фасада *(x, y)*, определянмый по графикам Данилюка:

$$\varepsilon_{\text{ЗД}}(x,y) = 2\varepsilon_{\text{ЗД}}^{'}(x,y)) = \frac{2\cdot n_1^{'}\cdot n_2^{'}}{10000} = \frac{n_1^{'}\cdot n_2^{'}}{5000}, \text{(отн.ед.)} \qquad (5)$$

Для верификации разрабтанного в главе 3 метода с применением графиков Данилюка разрез и план расположения зданий, выполненные в одном масштабе. Ниже приведены схемы расположения зданий и результаты расчёта по разработанному методу в главе 3 и по методу Данилюка.

Схема № 1 представлена на рисунке Г.6.

По графикам Данилюка:

$n_1' = 11$, $n_2' = 41 + 20 = 61$, $\varepsilon_{\text{зд}}^{\text{Д}} = \frac{61\cdot 11}{5000} = 0{,}13$

По аналитическому методу главы 3:

$H_L = 0{,}8$, $\psi_1 = arctg(1) = 0{,}79$ рад., $\psi_2 = arctg(0{,}33) = 0{,}32$,

$\varepsilon_{\text{ЗД}}(x,y) = 0{,}1 + 0{,}019 = 0{,}12$

Относительная разница: $\delta = \frac{\varepsilon_{\text{зд}}^{\text{Д}} - \varepsilon_{\text{ЗД}}(x,y)}{\varepsilon_{\text{зд}}^{\text{Д}}} 100\% = 7{,}8\%$

Схема № 2 представлена на рисунке Г.7.

По графикам Данилюка:

$n_1' = 17{,}6$, $n_2' = 45{,}9 + 28 = 72{,}9$, $\varepsilon_{\text{зд}}^{\text{Д}} = \frac{72{,}9\cdot 17{,}6}{5000} = 0{,}26$

По аналитическому методу главы 3:

$H_L = 1{,}2$, $\psi_1 = arctg(30/20) = 0{,}983$ рад., $\psi_2 = arctg(10/20) = 0{,}464$,

$\varepsilon_{ЗД}(x, y) = 0{,}175 + 0{,}045 = 0{,}22$

Относительная разница: $\delta = \frac{\varepsilon_{зд}^{Д} - \varepsilon_{ЗД}(x,y)}{\varepsilon_{зд}^{Д}} 100\% = 15\%$.

Схема № 3 представлена на рисунке Г.8.

По графикам Данилюка:

$n_1' = 4{,}7$, $n_2' = 31{,}3 + 11{,}5 = 42{,}8$, $\varepsilon_{зд}^{Д} = \frac{42{,}8 \cdot 4{,}7}{5000} = 0{,}040$.

По аналитическому методу главы 3:

$H_L = 0{,}48$, $\psi_1 = arctg(30/50) = 0{,}54$ рад., $\psi_2 = arctg(10/50) = 0{,}197$,

$\varepsilon_{ЗД}(x, y) = 0{,}036 + 0{,}005 = 0{,}041$

Относительная разница: $\delta = \frac{\varepsilon_{зд}^{Д} - \varepsilon_{ЗД}(x,y)}{\varepsilon_{зд}^{Д}} 100\% = -0{,}03\%$.

Схема № 4 представлена на рисунке Г.9.

По графикам Данилюка:

$n_1' = 23$, $n_2' = 41 + 46{,}8 = 87{,}8$, $\varepsilon_{зд}^{Д} = \frac{87{,}8 \cdot 23}{5000} = 0{,}40$

По аналитическому методу главы 3:

$H_L = 1{,}6$, $\psi_1 = arctg(50/30) = 1{,}03$ рад., $\psi_2 = arctg(30/30) = 0{,}79$,

$\varepsilon_{ЗД}(x, y) = 0{,}209 + 0{,}133 = 0{,}34$

Относительная разница: $\delta = \frac{\varepsilon_{зд}^{Д} - \varepsilon_{ЗД}(x,y)}{\varepsilon_{зд}^{Д}} 100\% = 7{,}8\%$.

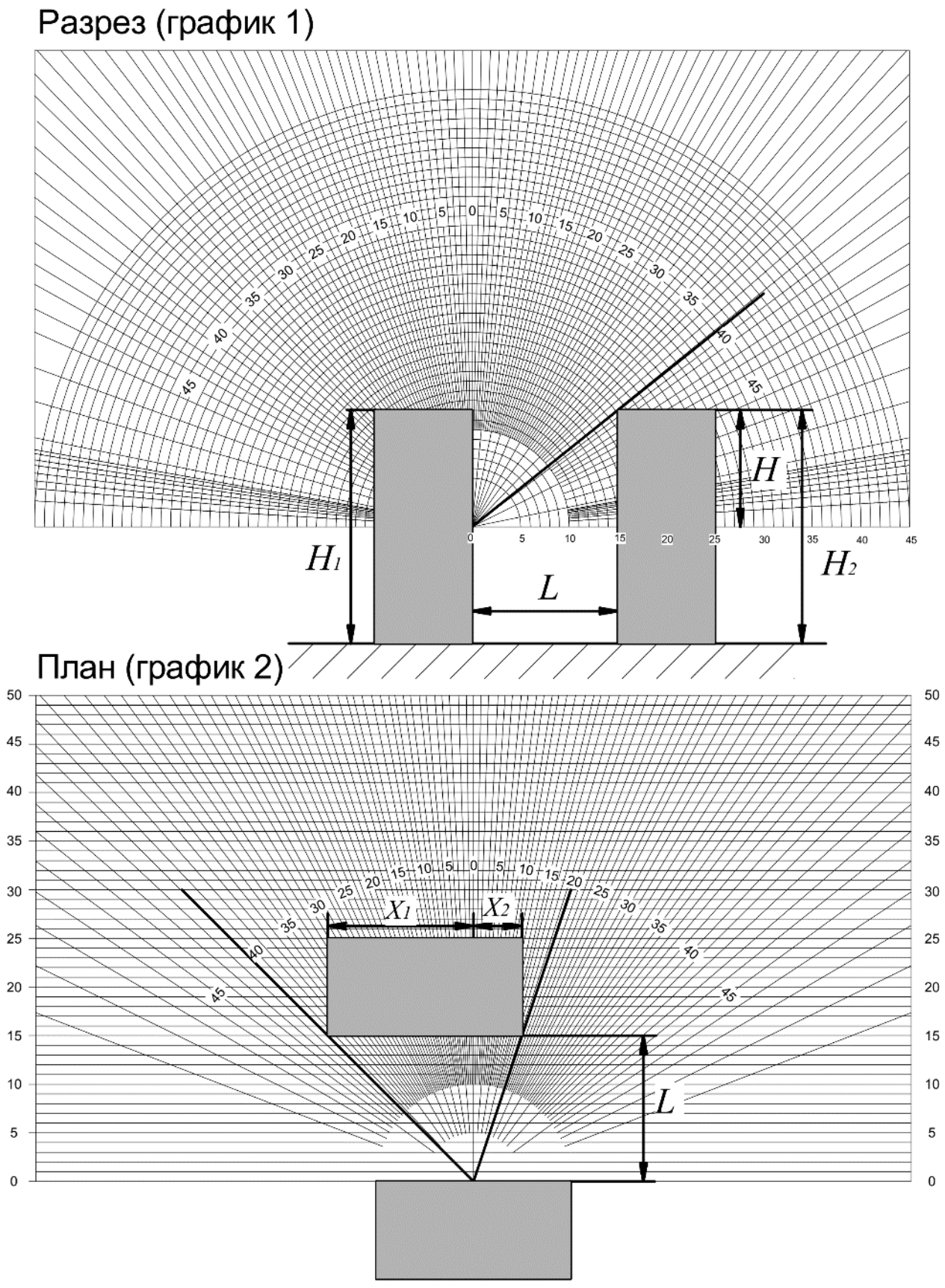


Рисунок Г.6 – Схема №1 расположения зданий: H=30, L=30, x_1=30, x_2=10

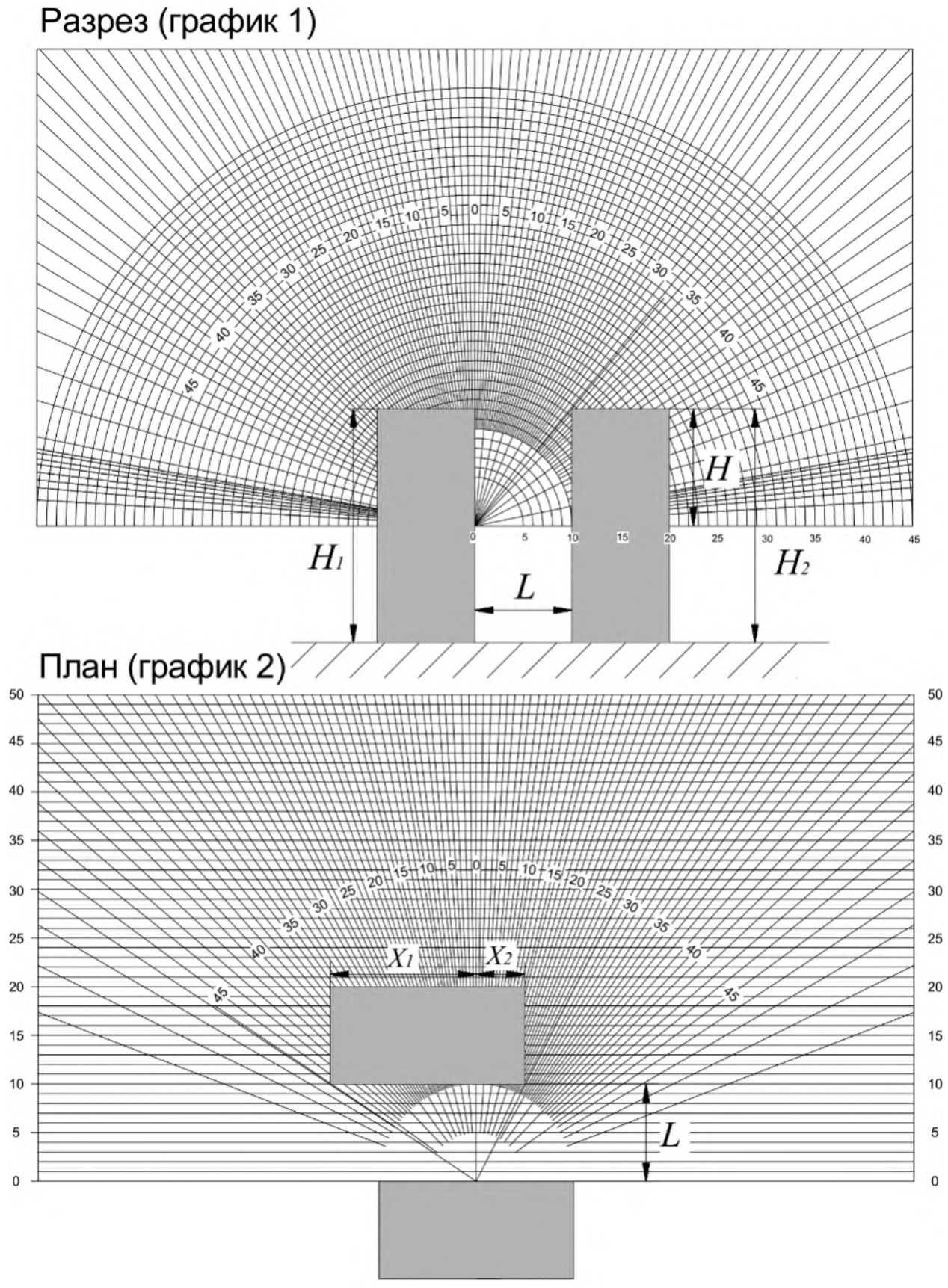


Рисунок Г.7 – Схема №2 расположения зданий: H=30, L=20, x_1=30, x_2=10

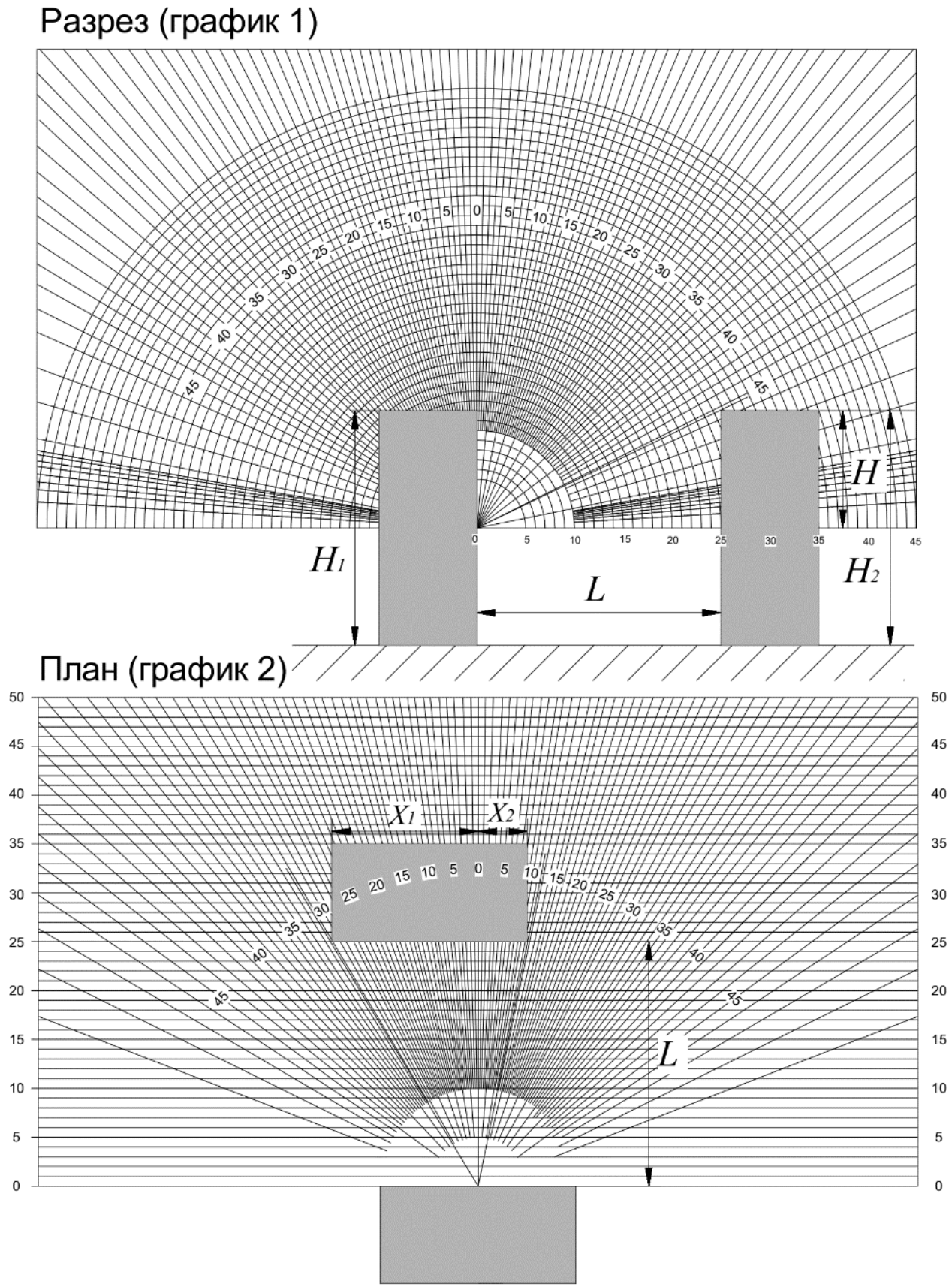


Рисунок Г.8 – Схема №3 расположения зданий: H=30, L=50, x_1=30, x_2=10

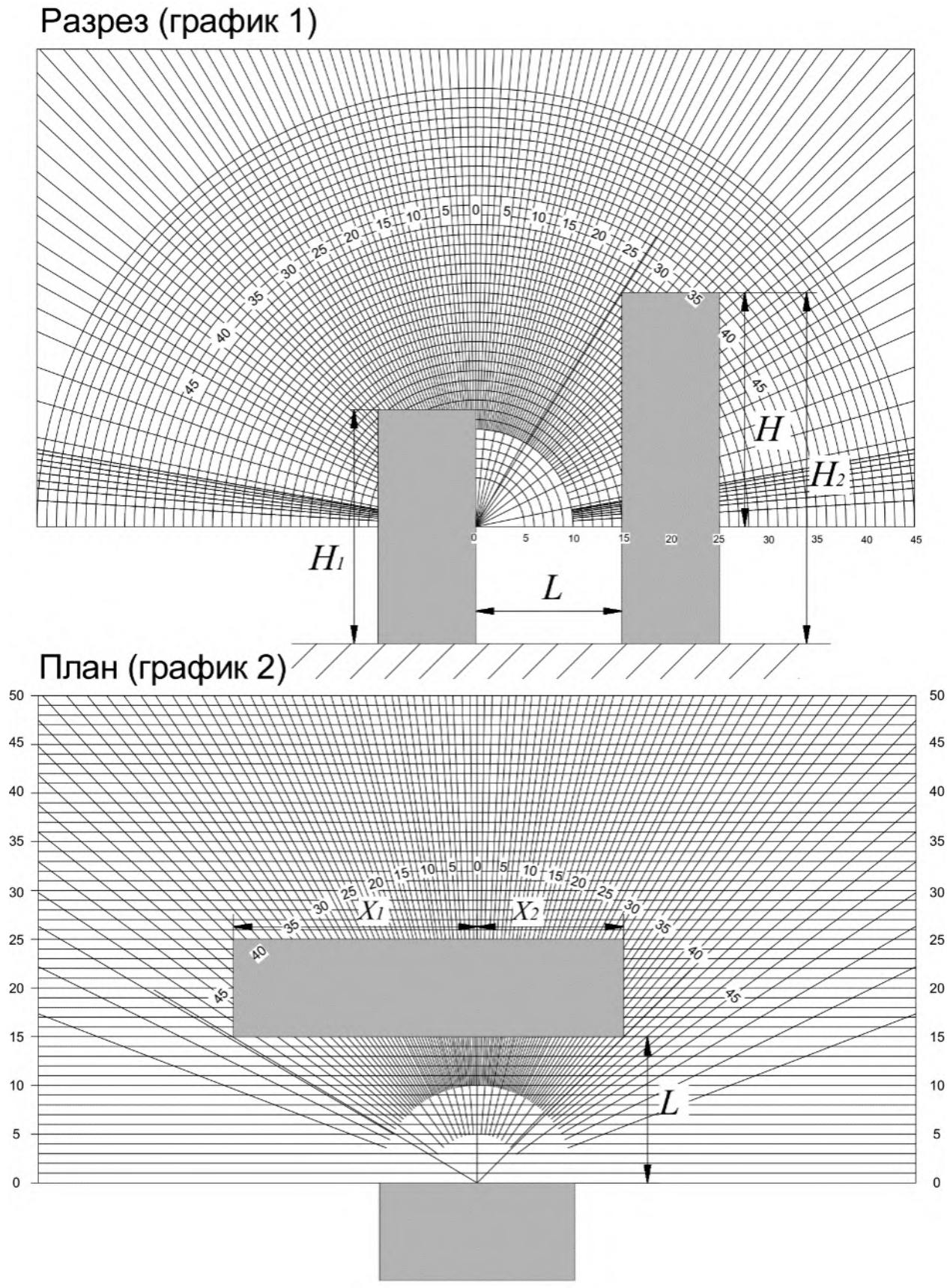


Рисунок Г.9 – Схема №4 расположения зданий: H=48, L=30, x_1=50, x_2=30

Г.4 Распределение поступающей солнечной радиации при изменении расположения зданий

Распределение поступающей солнечной радиации при изменении расположения зданий представлено на рисунках Г.10 – Г.18.

Для оценки вклада каждого вида солнечной радиации в расчёт суммарной радиации проведено следующее исследование:

- определены отношения прямой, рассеянной, отраженной от подстилающей поверхности и суммарной солнечной радиации к таковым без учёта влияния противостоящего здания;
- определено отношение отраженной от противостоящего здания солнечной радиации (при различном расстоянии и значении альбедо) к сумме прямой и рассеянной солнечной радиации при учёте противостоящего здания.

По полученным отношениям приняты отклонения, которые пренебрежимо малы, и в этом случае не следует учитывать влияние противостоящего здания:

- для прямой, рассеянной, отраженной от подстилающей поверхности солнечной радиации – менее 5% от значения без затенения;
- для отраженной от противостоящего здания солнечной радиации –менее 5% от суммы прямой и рассеянной радиации;
- для суммарной солнечной радиации – +/-5% от значения без затенения.

Для суммарной радиации: для каждого из фасадов: южного, восточного и западного, противостоящее здание оказывает практически одинаковое влияние при рассмотренных средневзвешенных альбедо для всех рассмотренных вариантов k_{HB} и $L_{S,j}^{\text{ОП}}$. Для северного фасада наблюдается более выраженное влияние конфигурации застройки (k_{HB}) при различных средневзвешенных альбедо на изменение расстояния, при котором противостоящее здание оказывает влияние.

Для Сочи наблюдается самое малое расстояние, при котором влияние застройки становится не значительно, особенно для южного фасада даже при низком ср. альбедо противостоящего фасада (30%), что объясняется солнечным климатом с большим поступлением солнечной радиации, низкой географической

широтой города, когда солнечным лучам легче проникать в, так называемые, городские каньоны, затем отражаясь и увеличивая поступающую солнечную радиацию.

Для прямой радиации: чем большее затенение оказывает здание, т.е. чем больше k_{HB}, тем больше расстояние, начиная с которого влияние противостоящего здания незначимо при принятых погрешностях.

Для рассеянной радиации: наблюдаются схожие значения в расстоянии, начиная с которого влияние застройки не значимо, для рассеянной радиации вне зависимости от климата объясняются тем, что значения коэффициента затенения рассеянной радиации, $\varepsilon_{\text{ЗД}}(\text{x}, y)$, одинаковые для каждого рассмотренного варианта застройки, тогда, рассеянная радиация снижается на одну и ту же величину, что также показано в работах автора [86, 268].

Для отраженной от противостоящего здания солнечной радиации: при низких значениях ср. альбедо отражение с южного на северный фасад значимо даже при больших расстояниях. Отражение с восточного и западного фасада значимо при расстоянии до 60-140 м в зависимости от значений k_{HB} и $L_{S,j}^{\text{ОП}}$. С северного фасада на южный значимо при расстоянии до 20 - 40м, что является редким случаем застройки. При ср. альбедо 50% и 80 %, отражение от южного на северный фасад значимо при расстояниях, больших 400м. Отражение от восточного и западного фасадов значимо при расстояниях до 80-250 м. С северного фасада на южный значимо в основном при расстоянии до 60 - 80м.

В целом, исходя из данных таблицы 3.9, влияние противостоящего здания в основном существенно для поступающей суммарной солнечной радиации.

Таким образом, при подборе остекления с энергосберегающими покрытиями с учётом характеристик климата, согласно главе 1, необходимо учитывать изменения в поступлении солнечной радиации вследствие влияния противостоящего здания.

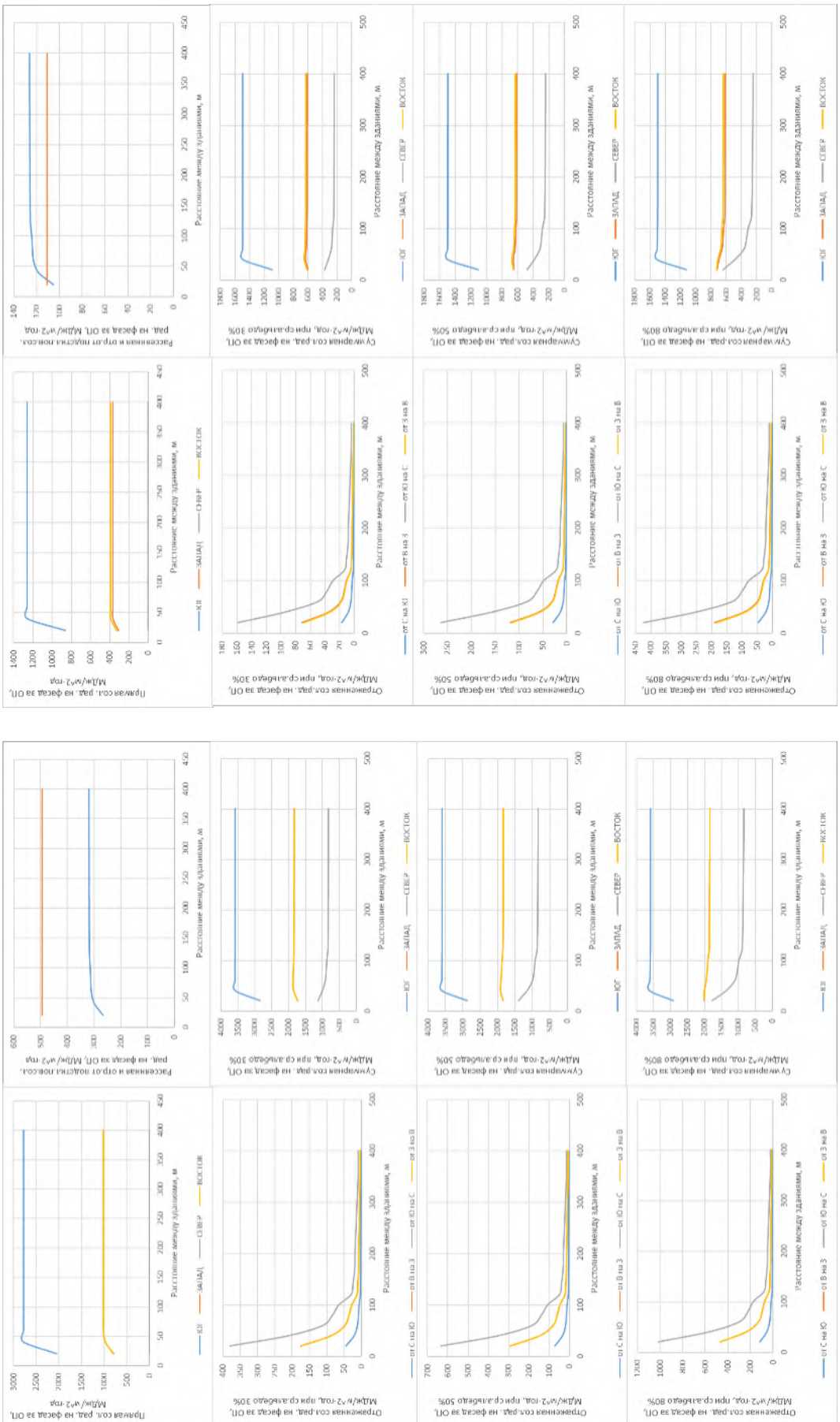


Рисунок Г.10 – Поступ. солн. рад. при наличии прот.зд., г. Владивосток (слева) и г. Сочи (справа), $k_{НВ}$ = 2,03

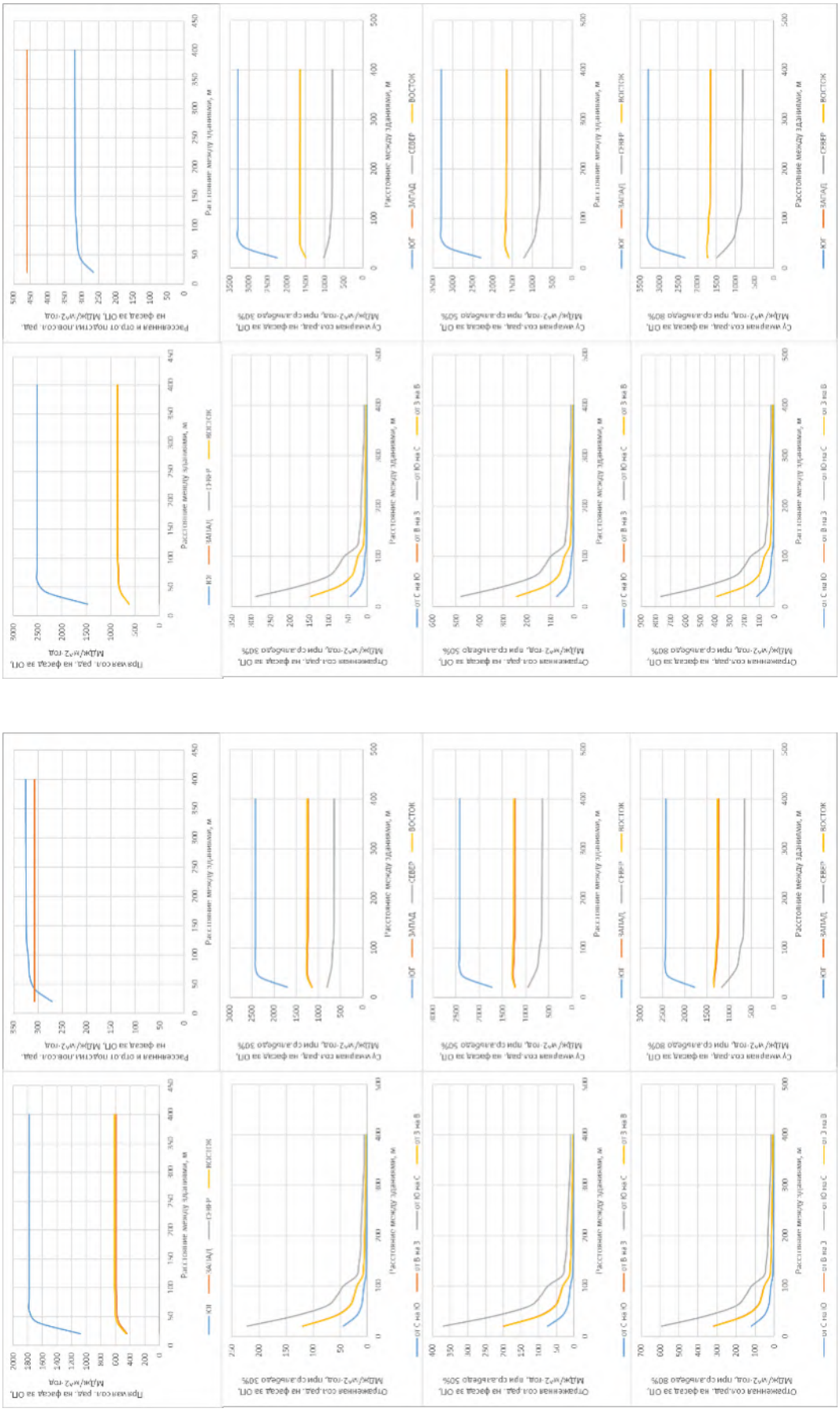


Рисунок Г.11 – Поступ. солн. рад. при наличии прот.зд., г. Новосибирск (слева) и г. Москва (справа), $k_{НВ}$ = 2,03

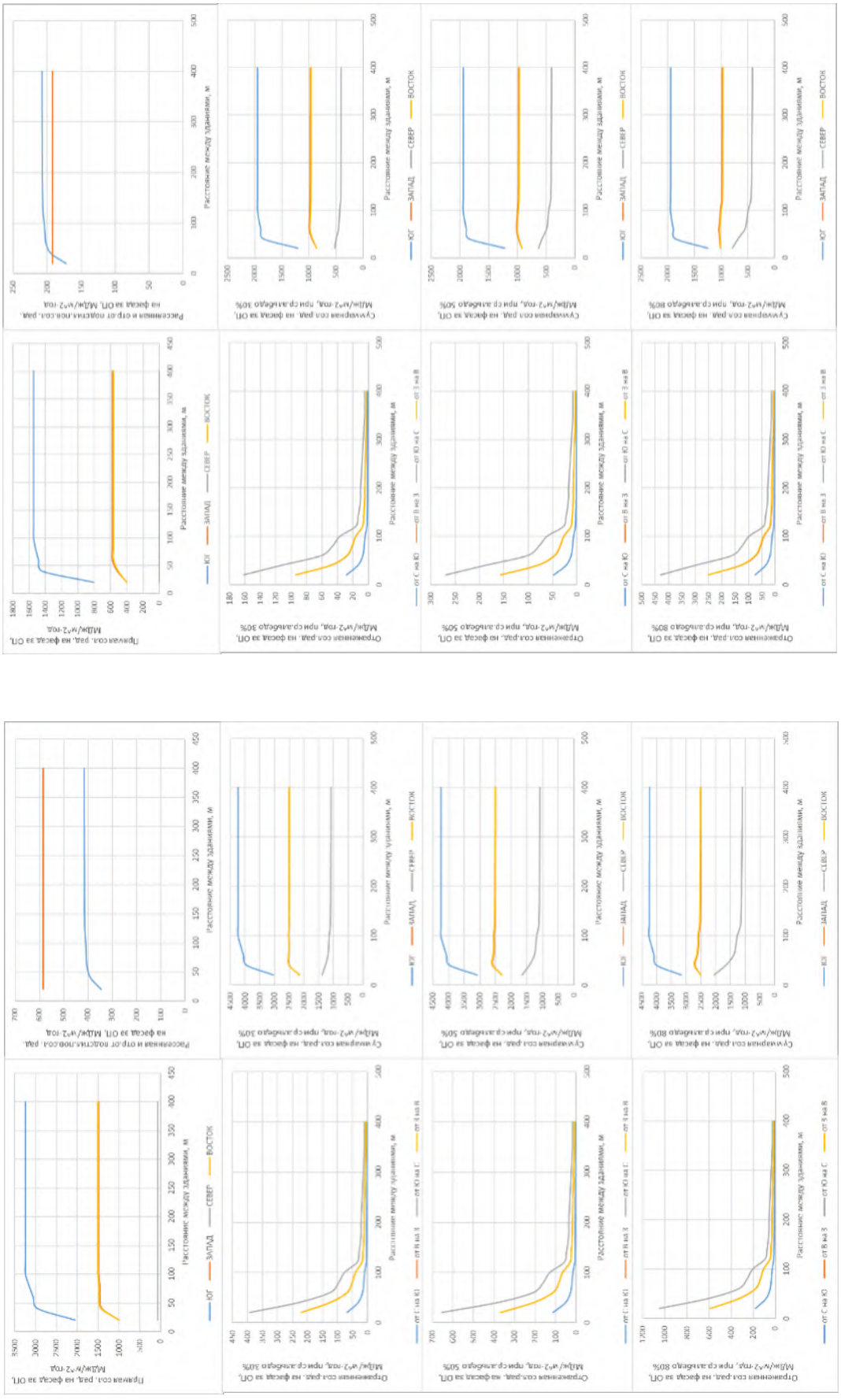


Рисунок Г.12 – Поступ. солн. рад. при наличии прот.зд., г. Магадан (слева) и г. С-Петербург (справа), $k_{НВ}$ = 2,03

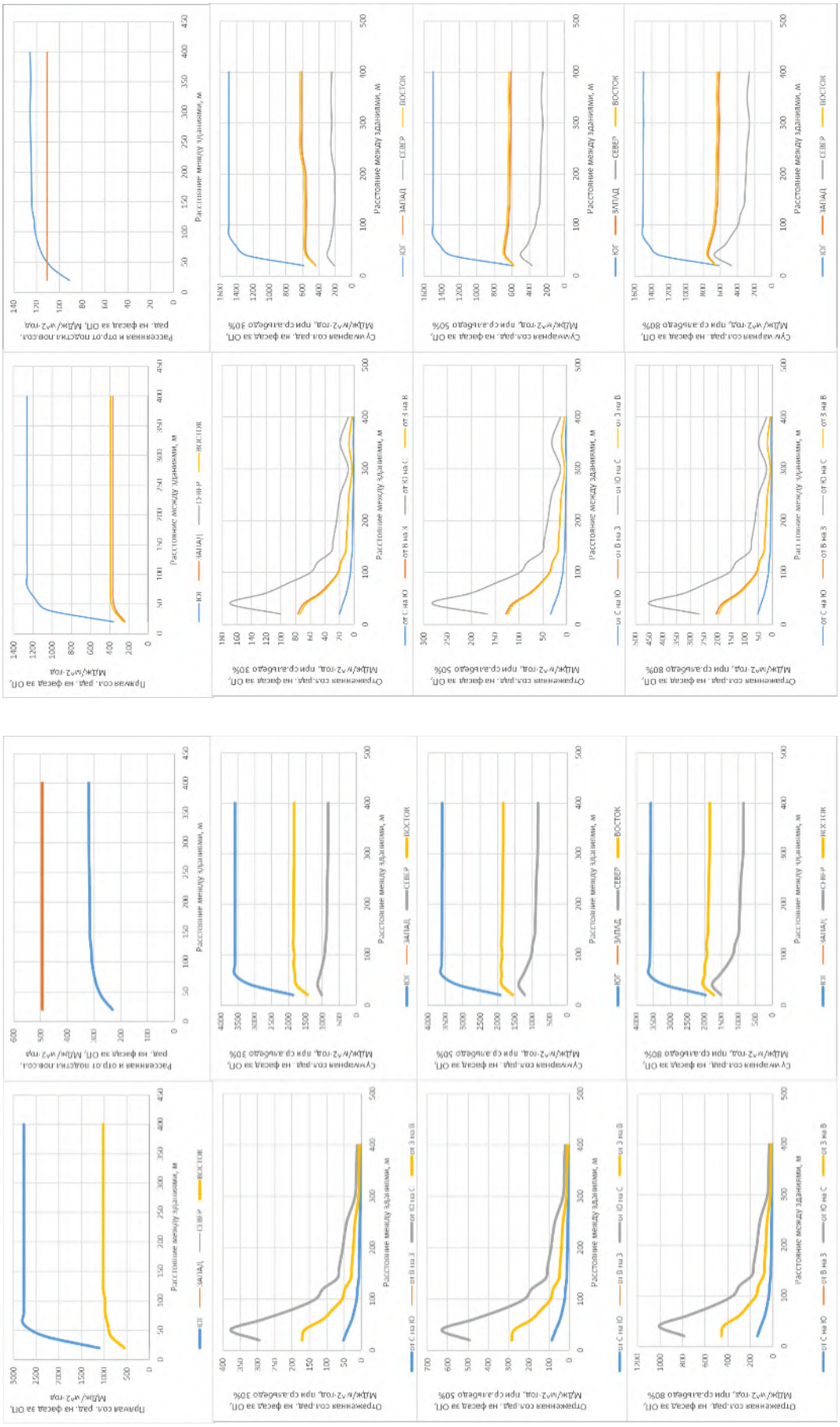


Рисунок Г.13 – Поступ. солн. рад. при наличии прот.зд., г. Владивосток (слева) и г. Сочи (справа), $k_{НВ}$ = 1,70

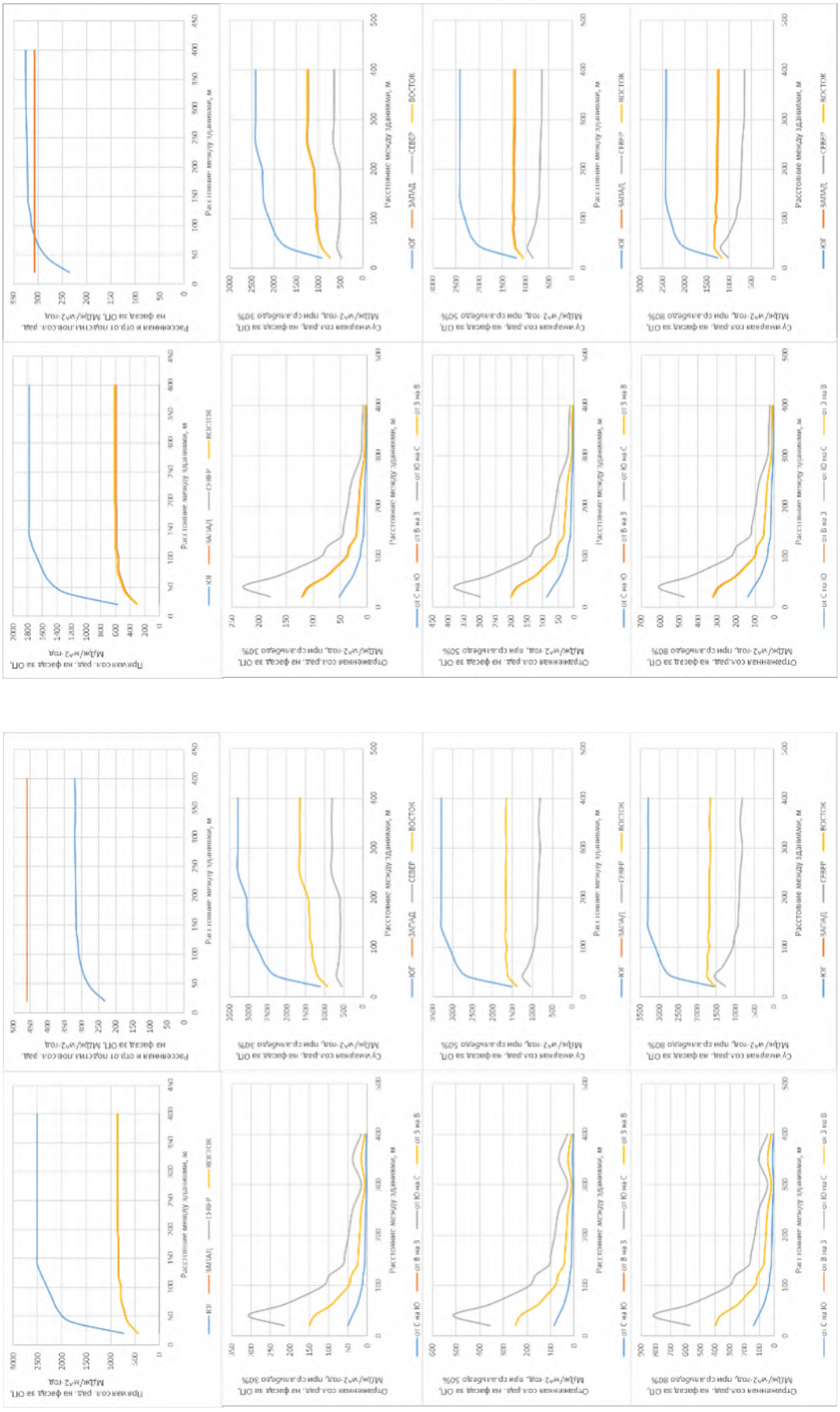


Рисунок Г.14 – Поступ. солн. рад. при наличии прот.зд., г. Новосибирск (слева) и г. Москва (справа), $k_{НВ}$ = 1,70

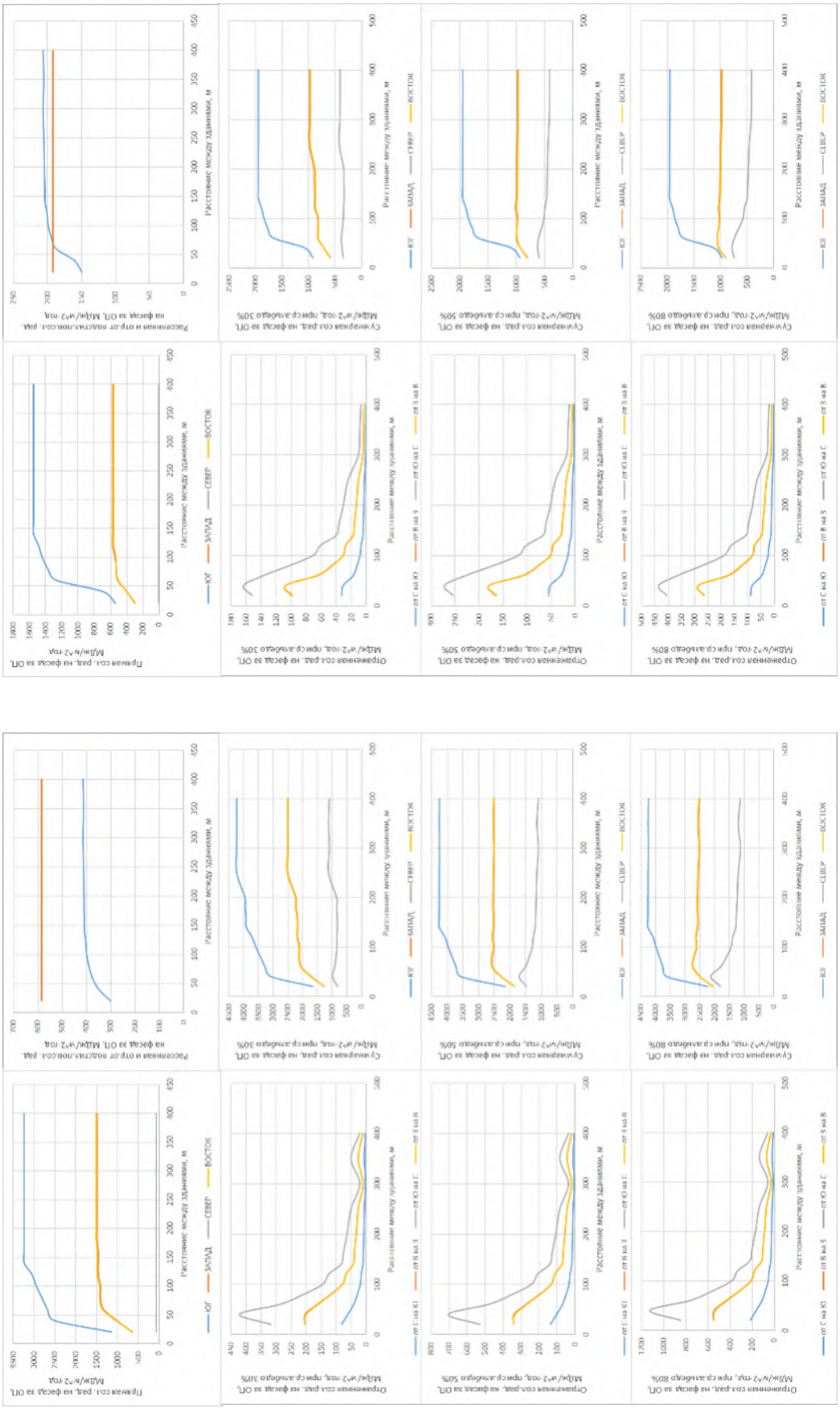


Рисунок Г.15 – Поступ. солн. рад. при наличии прот.зд., г. Магадан (слева) и г. С-Петербург (справа), $k_{НВ} = 1{,}70$

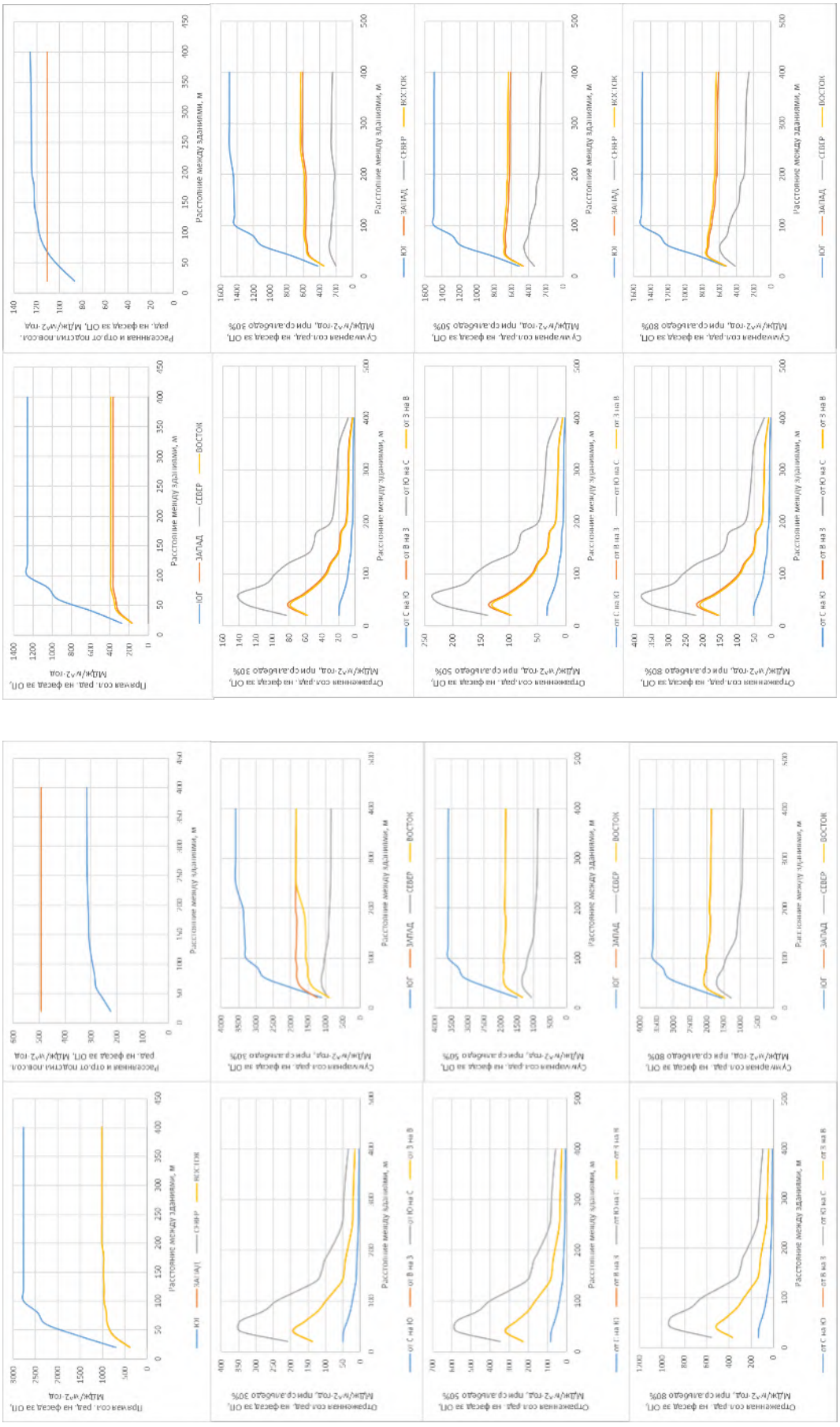


Рисунок Г.16 - Поступ. солн. рад. при наличии прот.зд., г. Владивосток (слева) и г. Сочи (справа), $k_{НВ}$ = 1,05.

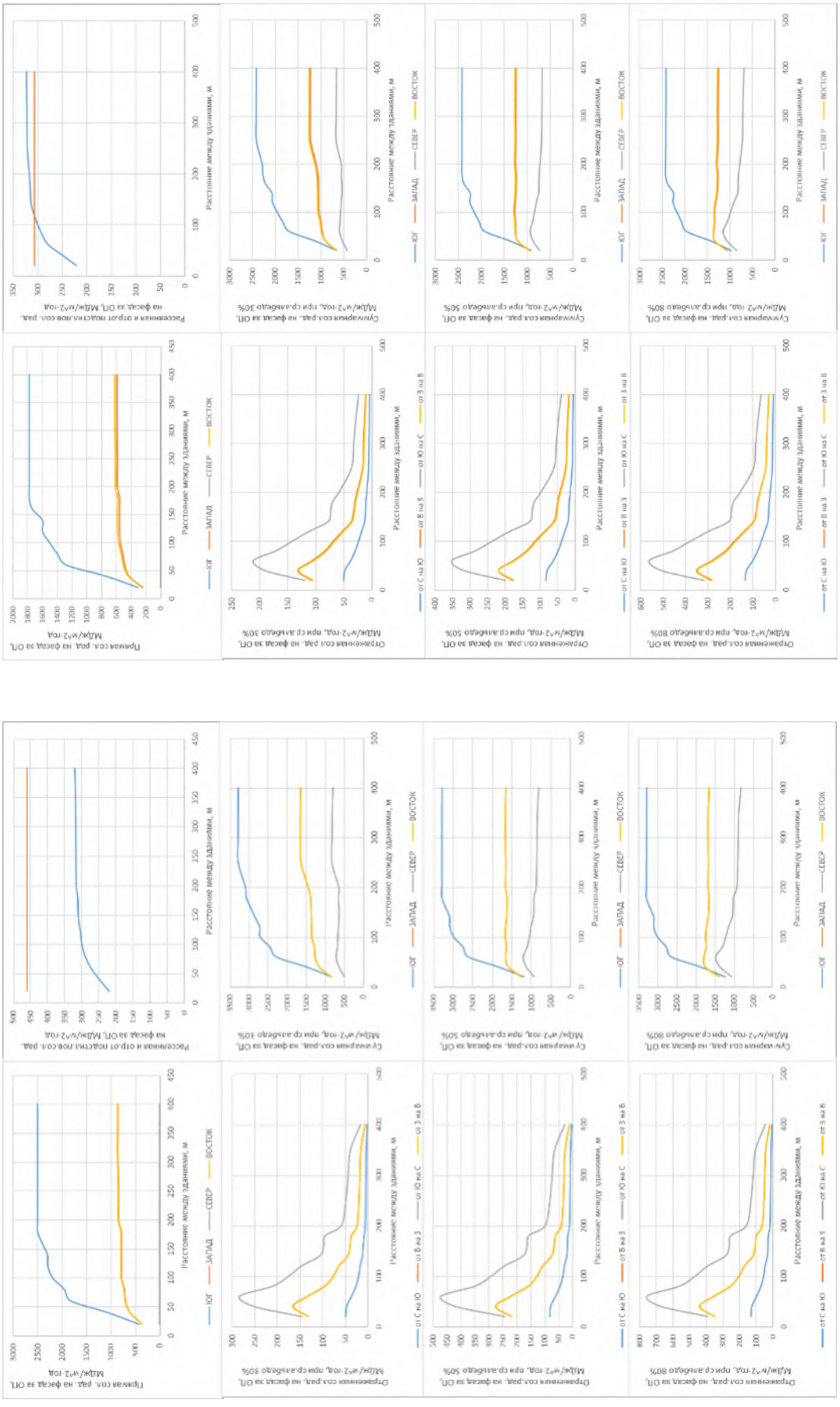


Рисунок Г.17 – Поступ. солн. рад. при наличии прот.зд., г. Новосибирск (слева) и г. Москва (справа), $k_{НВ}$ = 1,05

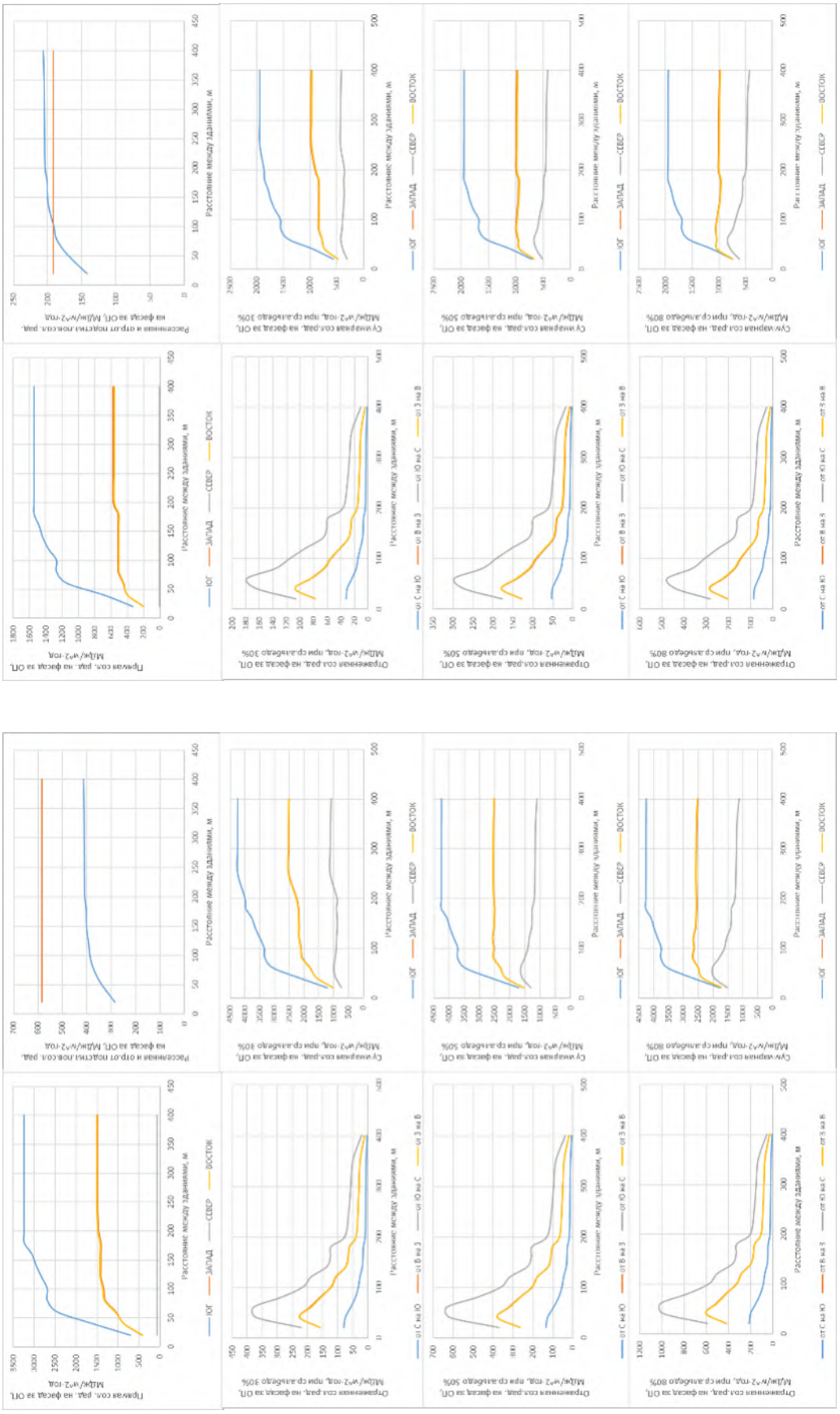
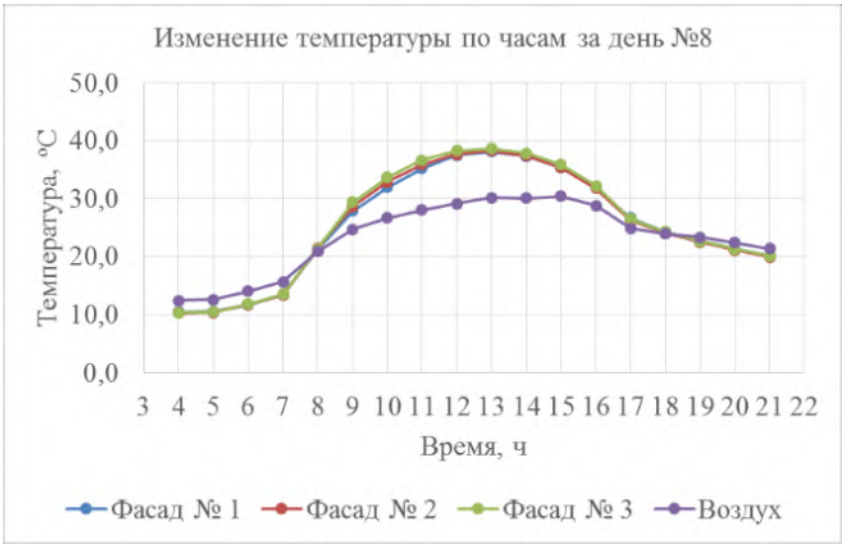


Рисунок Г.18 – Поступ. солн. рад. при наличии прот.зд., г. Магадан (слева) и г. С-Петербург (справа), $k_{НВ}$ = 1,05

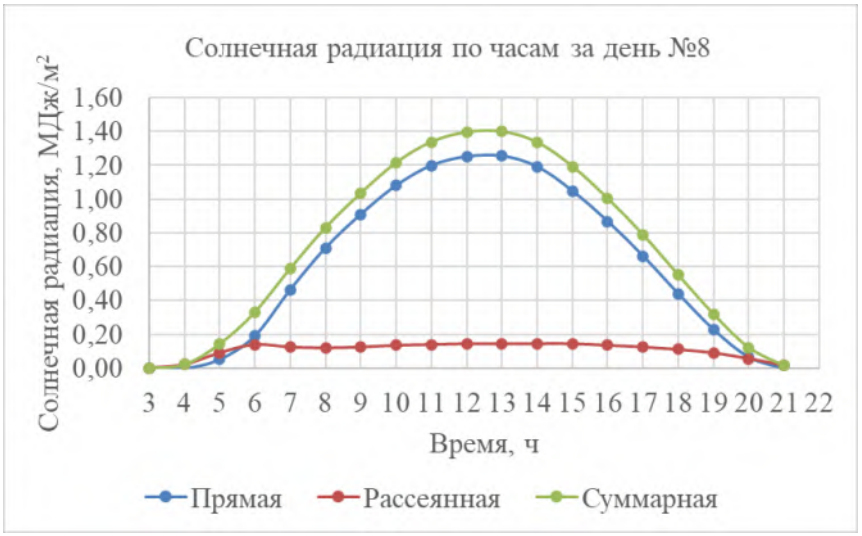
Г.5 Зависимости изменения температуры нагрева поверхности стены, температуры воздуха и солнечной радиации от времени для дней наблюдения

Зависимости представлены на рисунках Г.18 -Г.45. Нумерация дней: 1-4 день соответствуют 6-9 мая 2019 года; 5-28 день соответствуют 1-30 июня 2019 года.

ГРУППА №1. В данную группу входят дни с безоблачным небом и незначительной облачностью.

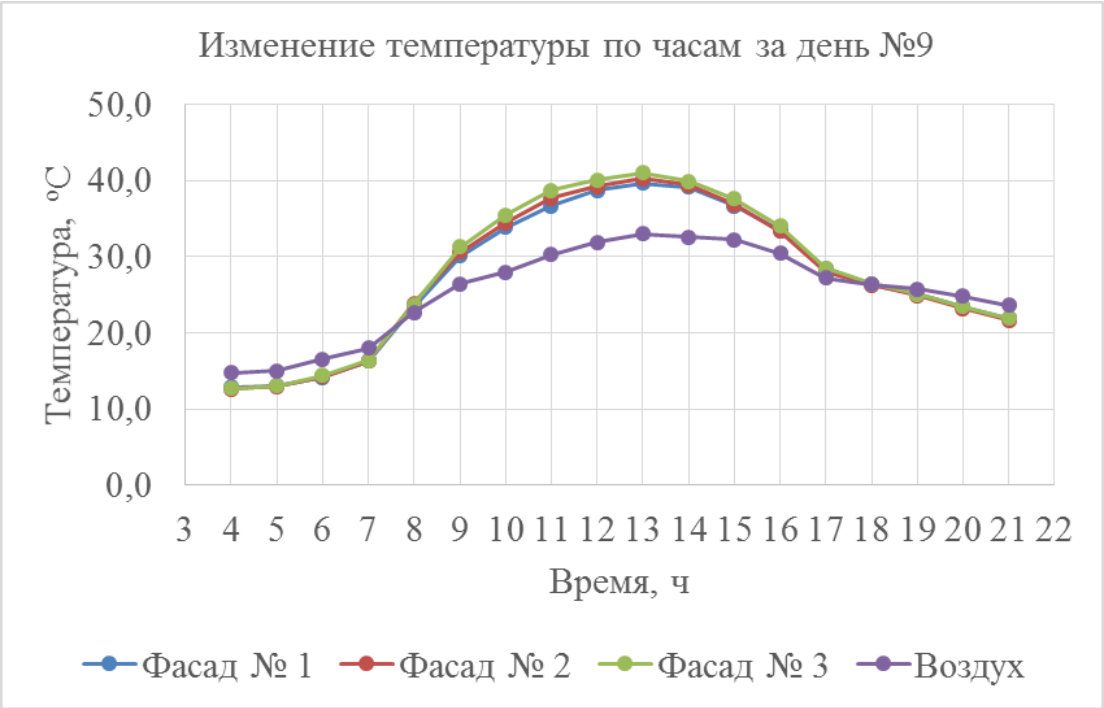


а)



б)

Рисунок Г.18 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 8-ой день

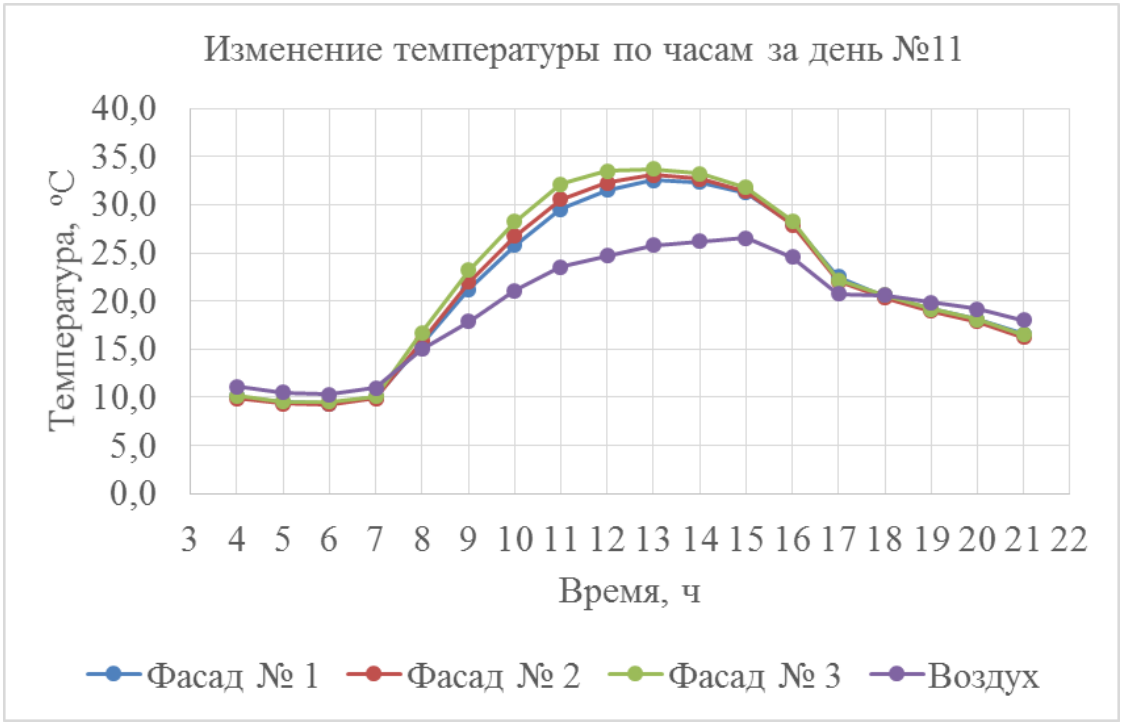


а)



б)

Рисунок Г.19 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 9-ой день

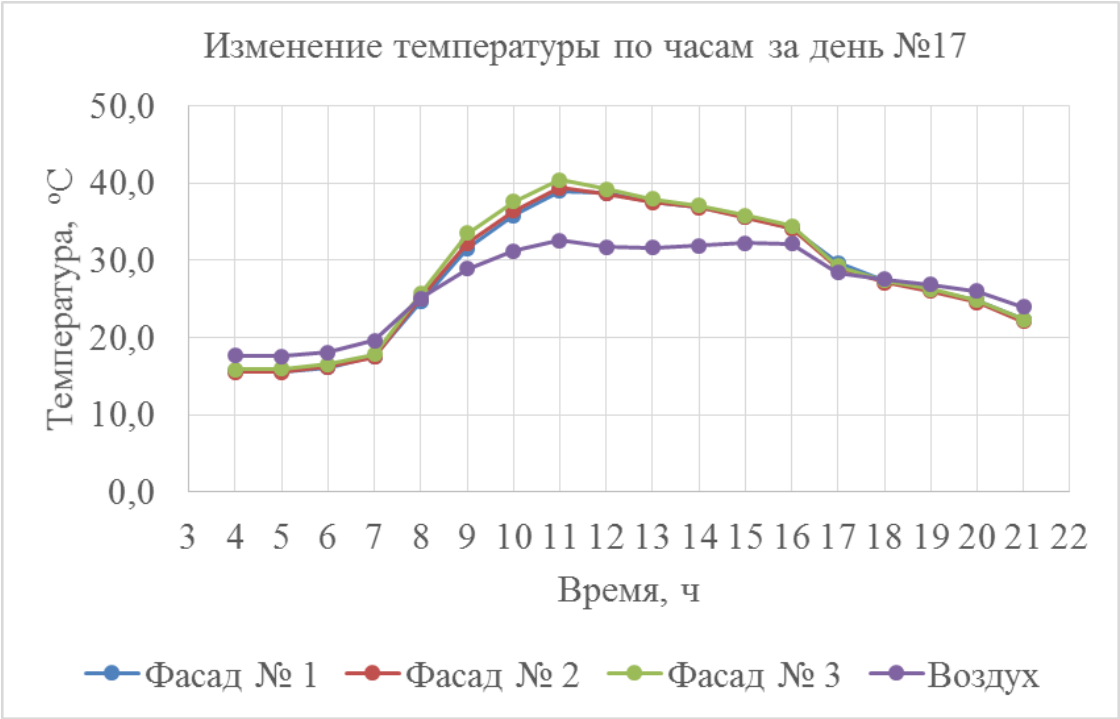


а)

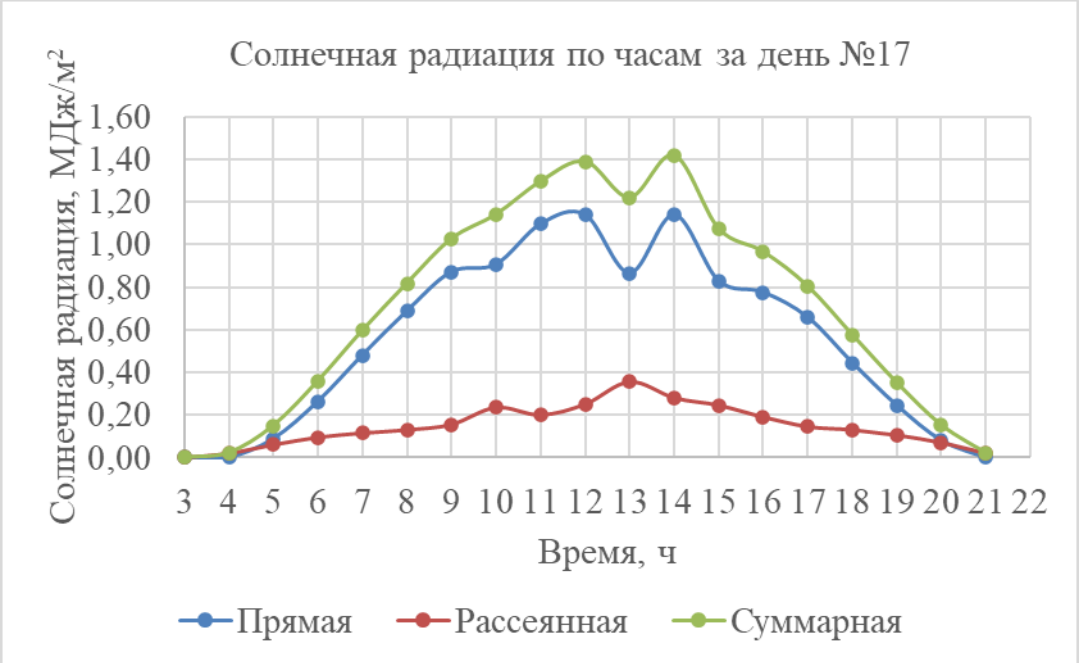


б)

Рисунок Г.20 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 11-ый день

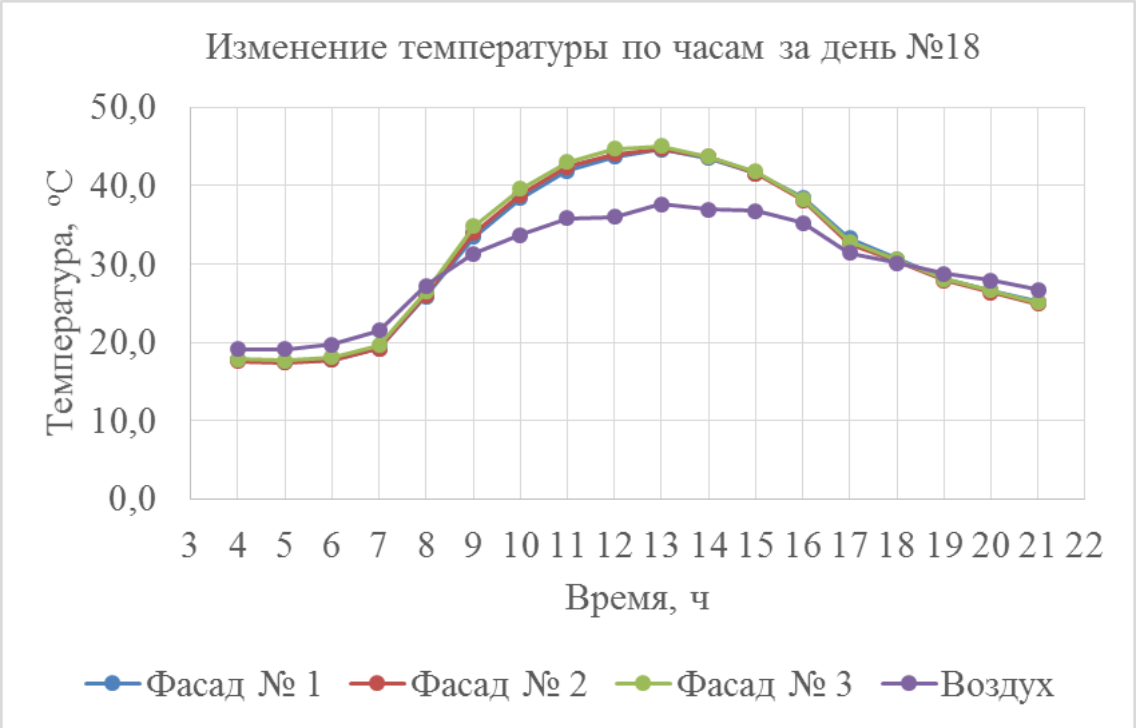


а)

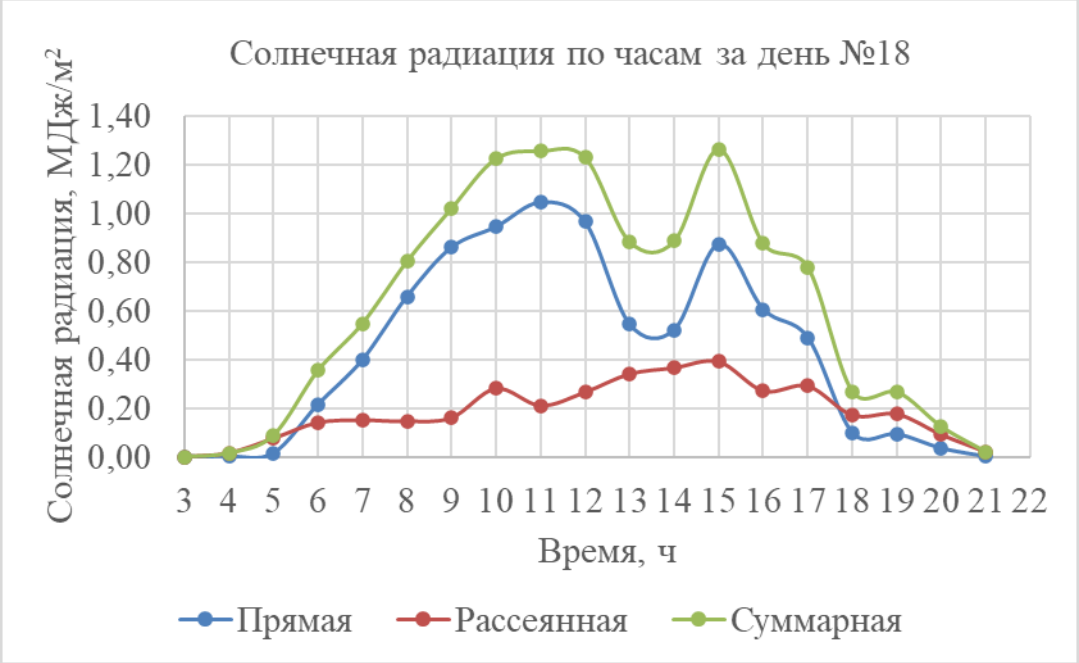


б)

Рисунок Г.21 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 17-ый день



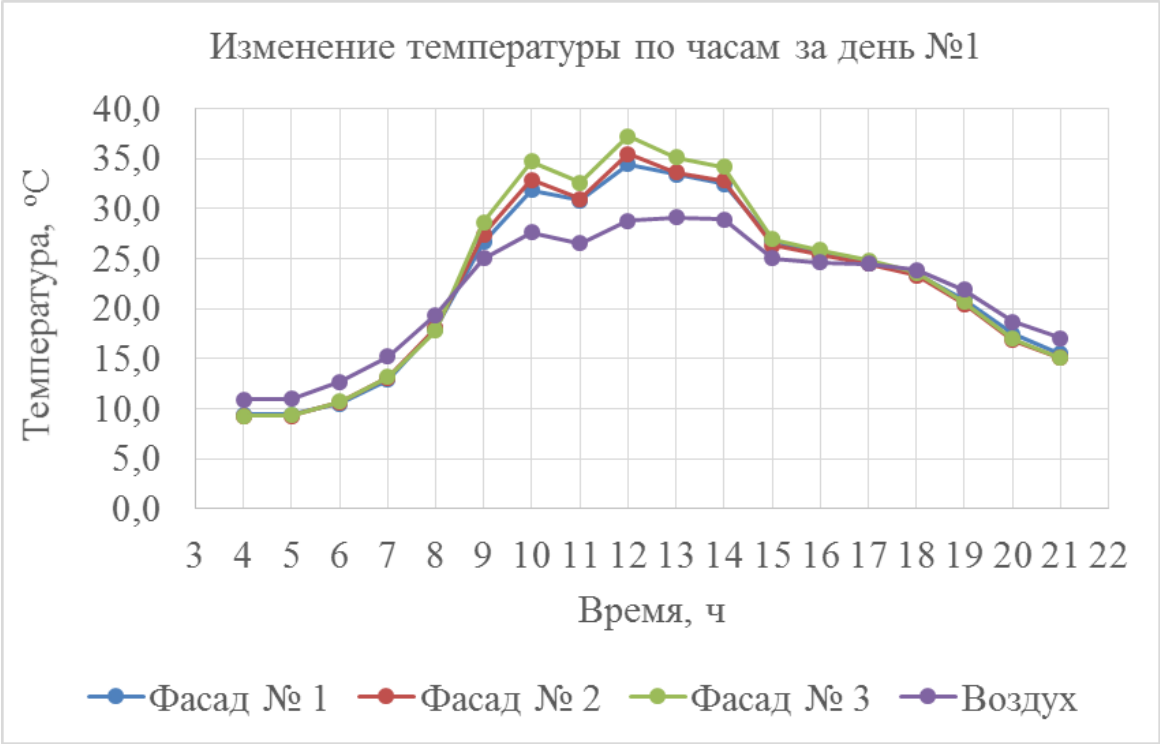
а)



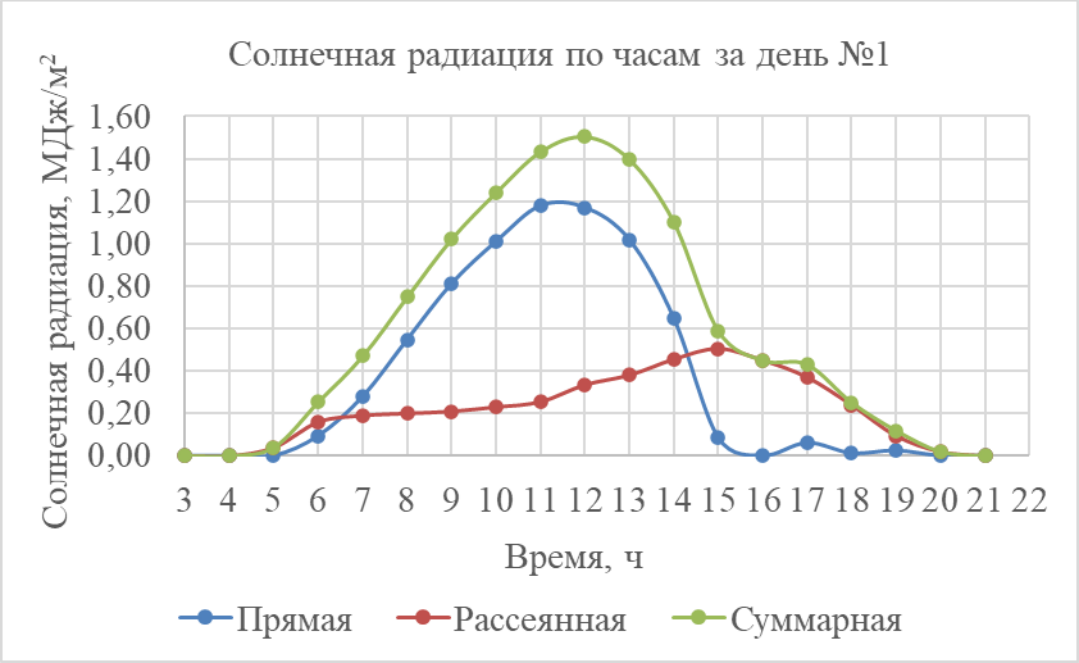
б)

Рисунок Г.22 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 18-ый день

ГРУППА №2. В данную группу входят дни со «средней облачностью» и «облачно с просветами».

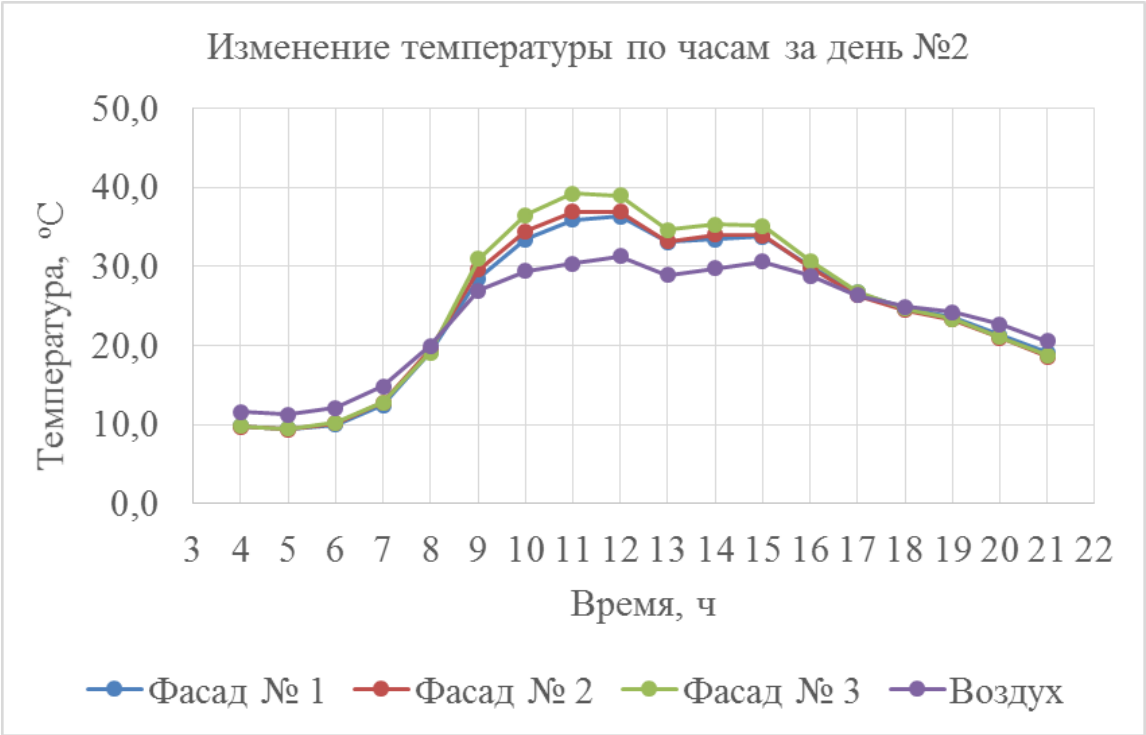


а)

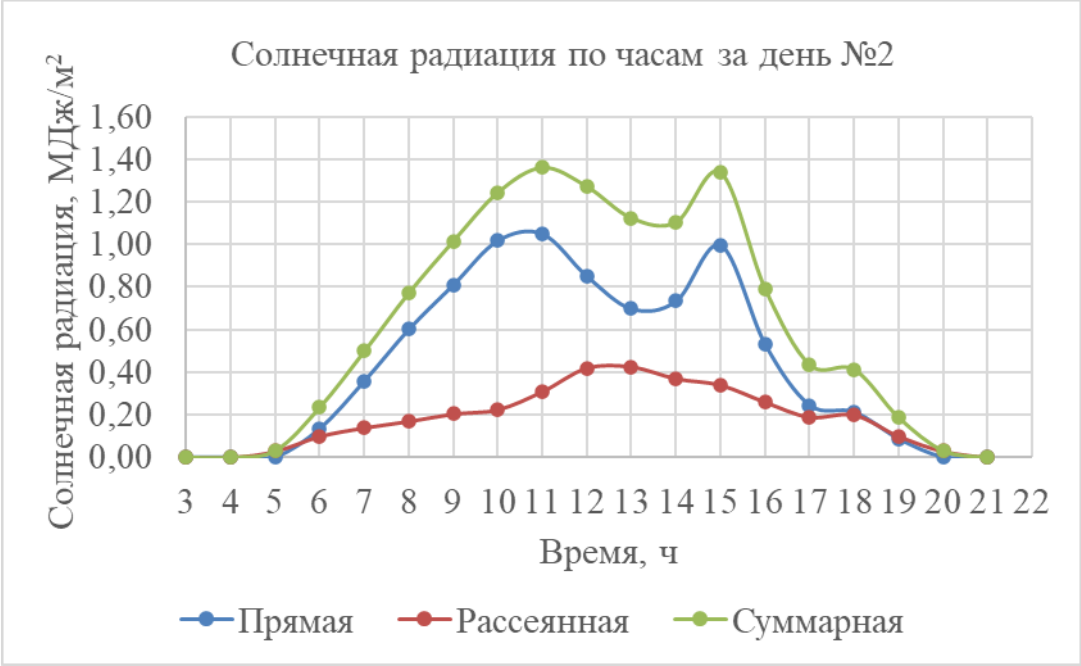


б)

Рисунок Г.23 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 1 - ый день

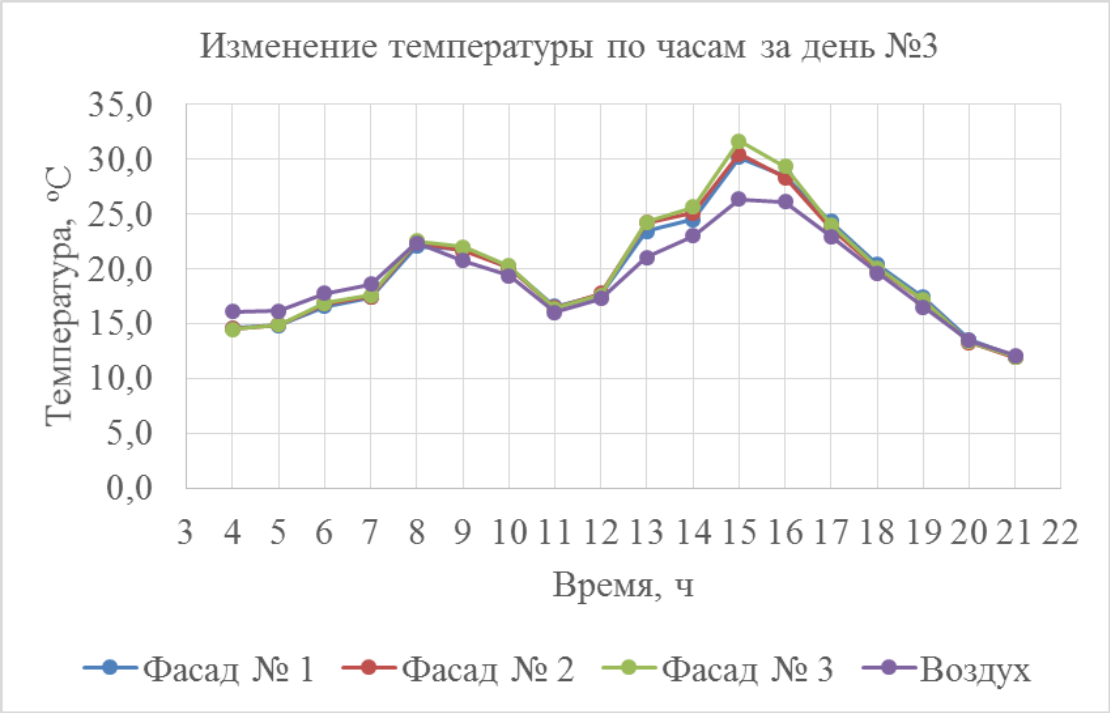


а)



б)

Рисунок Г.24 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 2 - ой день

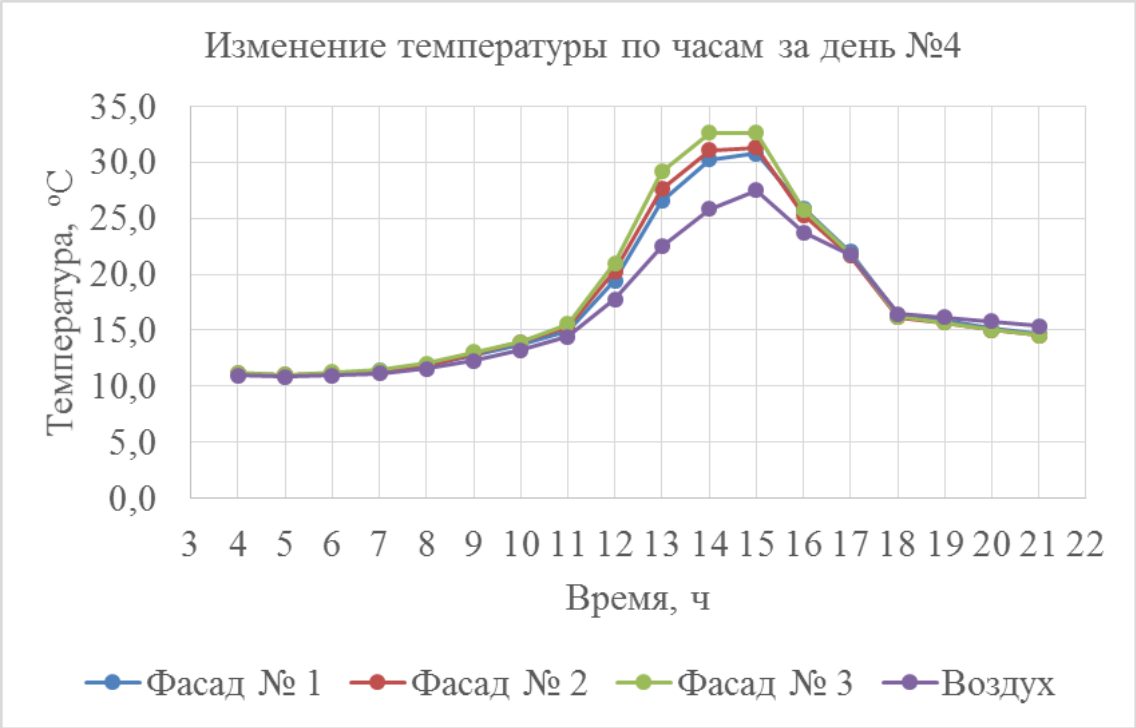


а)



б)

Рисунок Г.25 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 3 - ий день

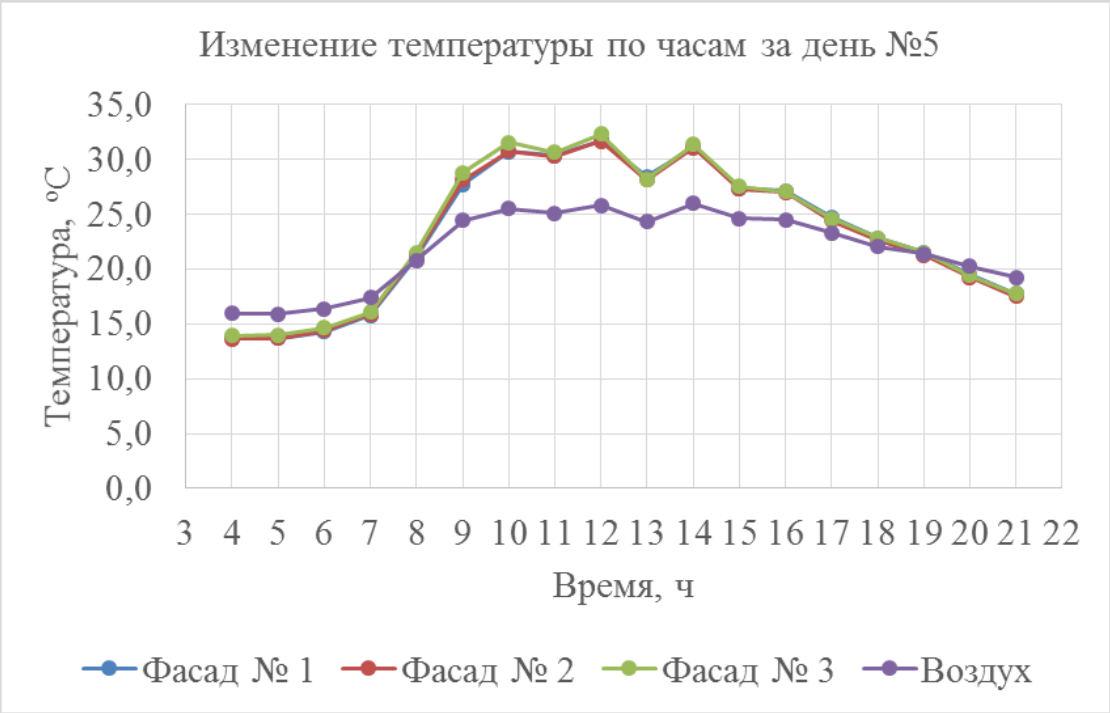


а)

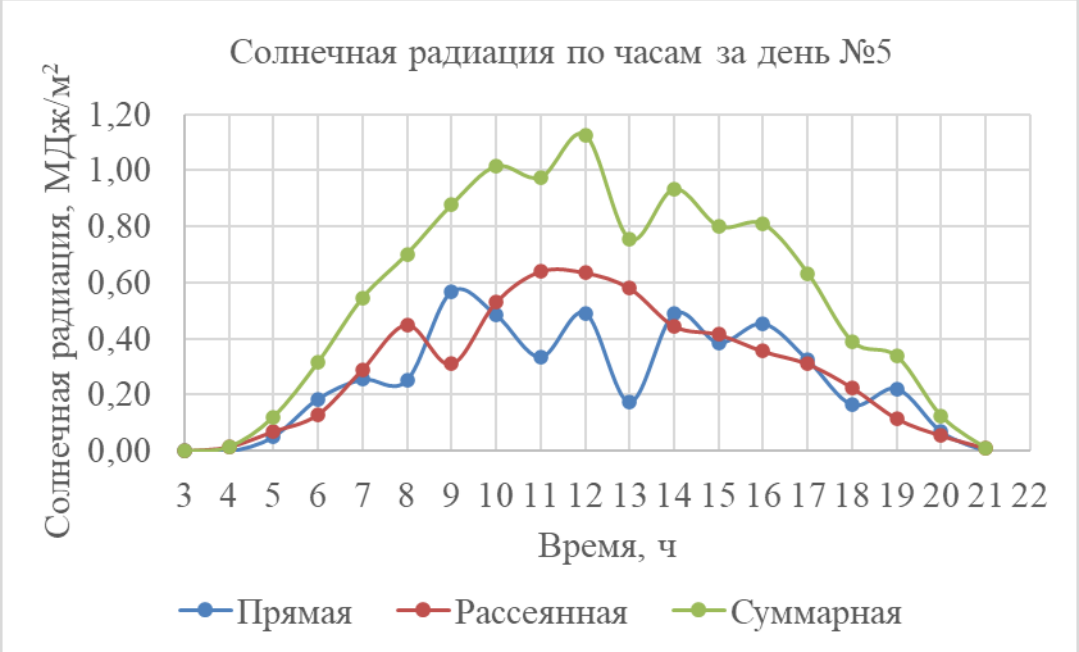


б)

Рисунок Г.26 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 4 - ый день

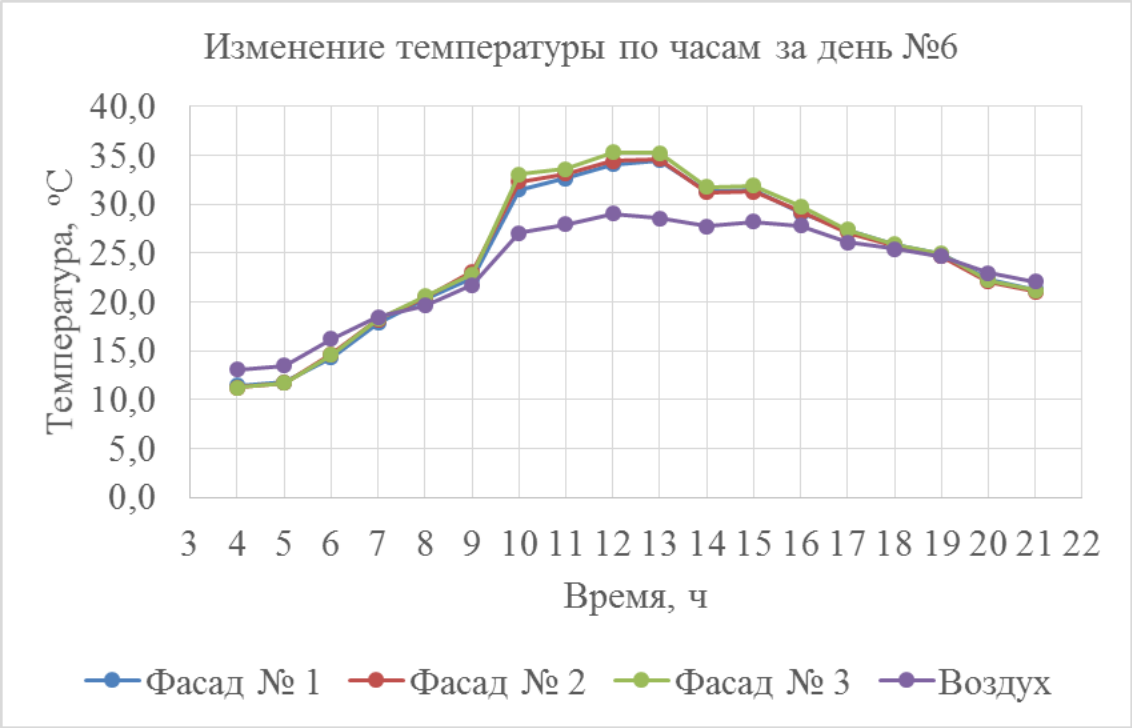


а)

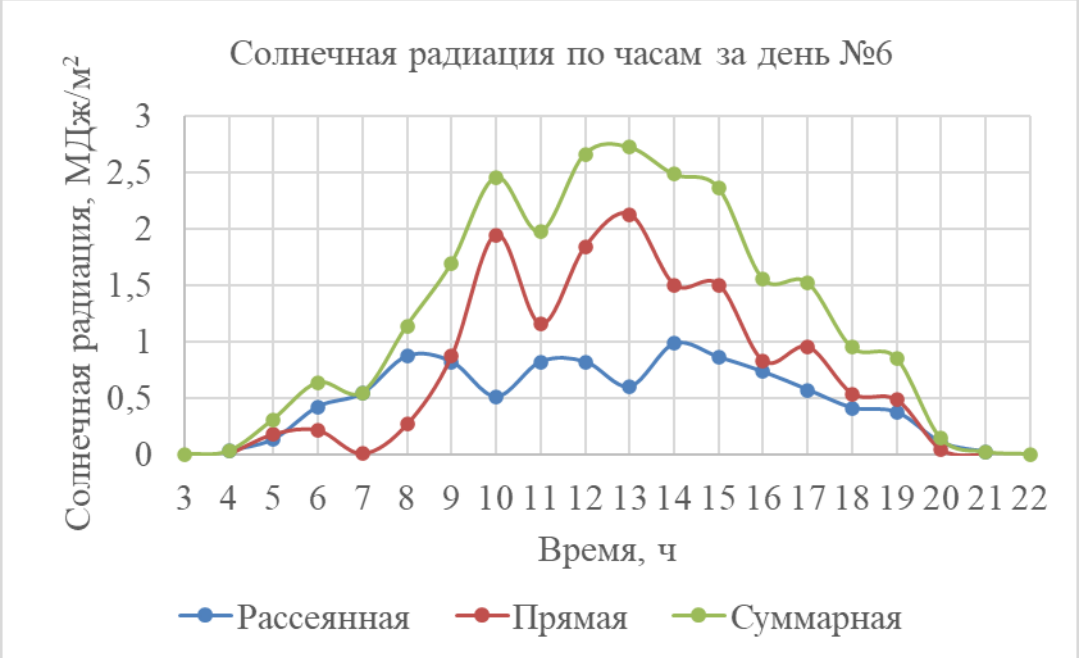


б)

Рисунок Г.27 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 5 - ый день

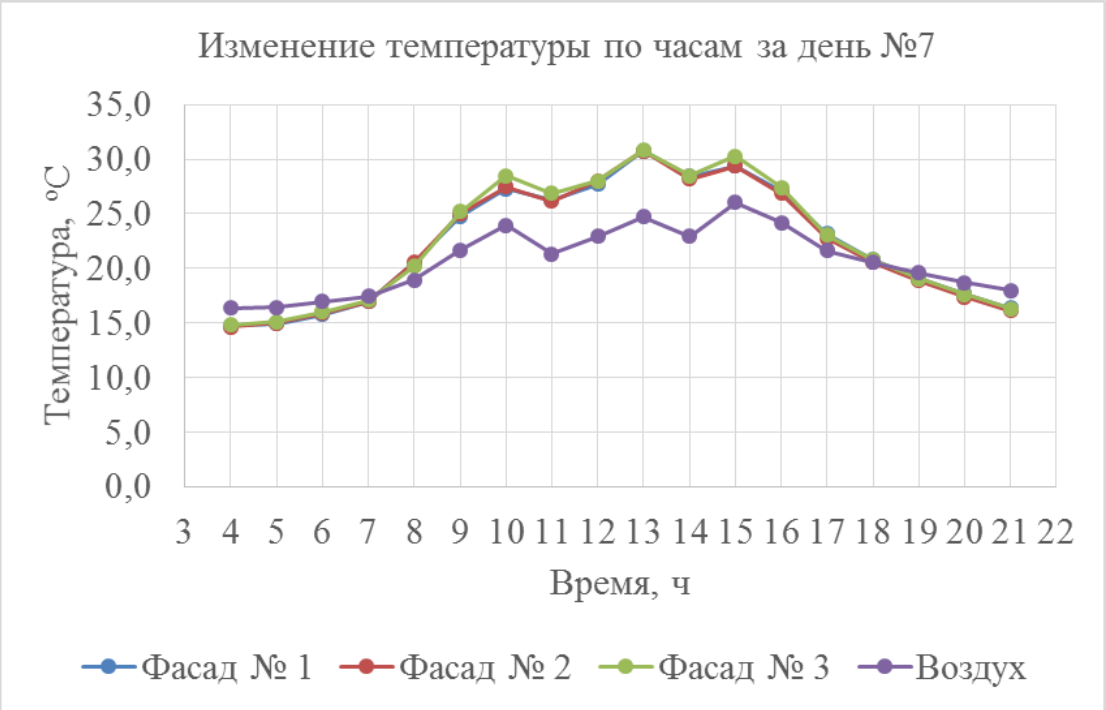


а)

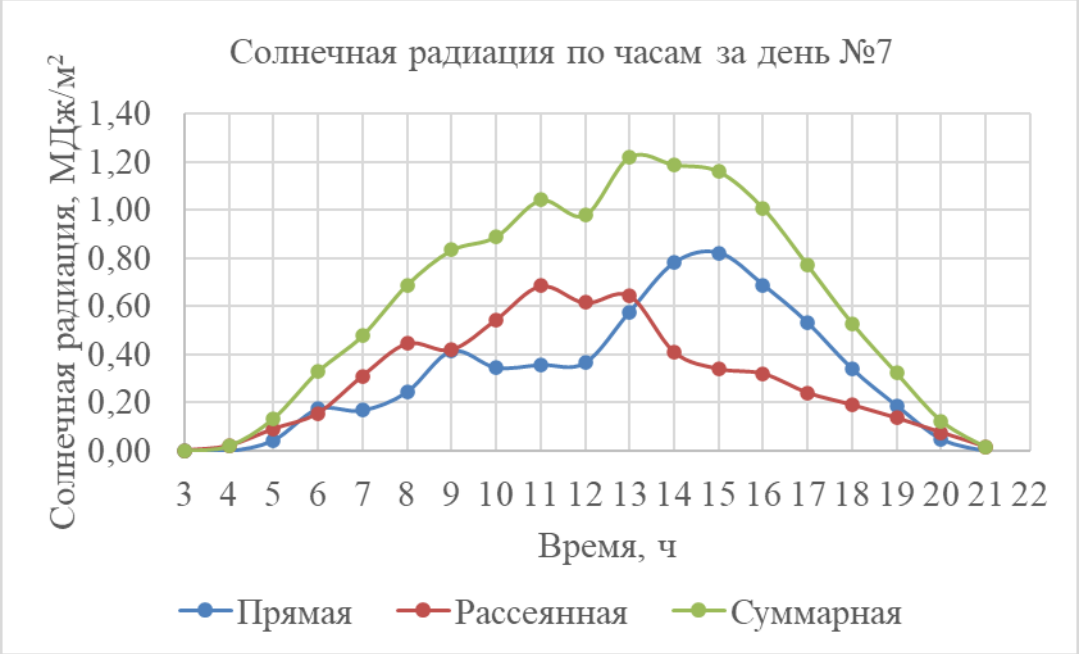


б)

Рисунок Г.28 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 6 - ой день

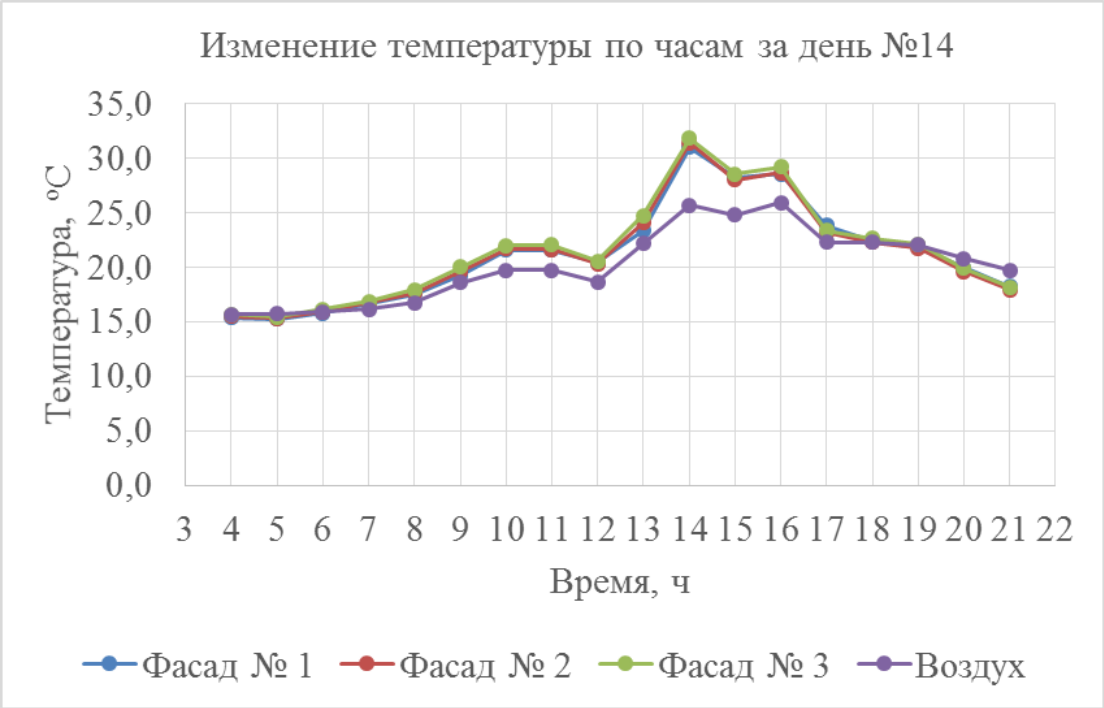


а)

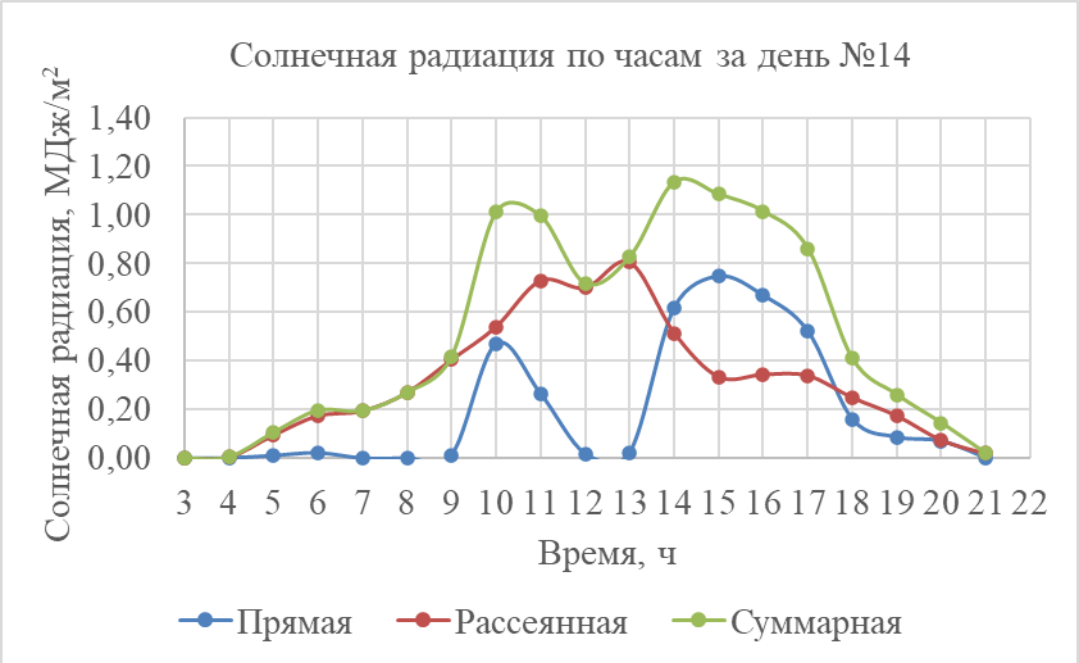


б)

Рисунок Г.29 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 7 - ой день

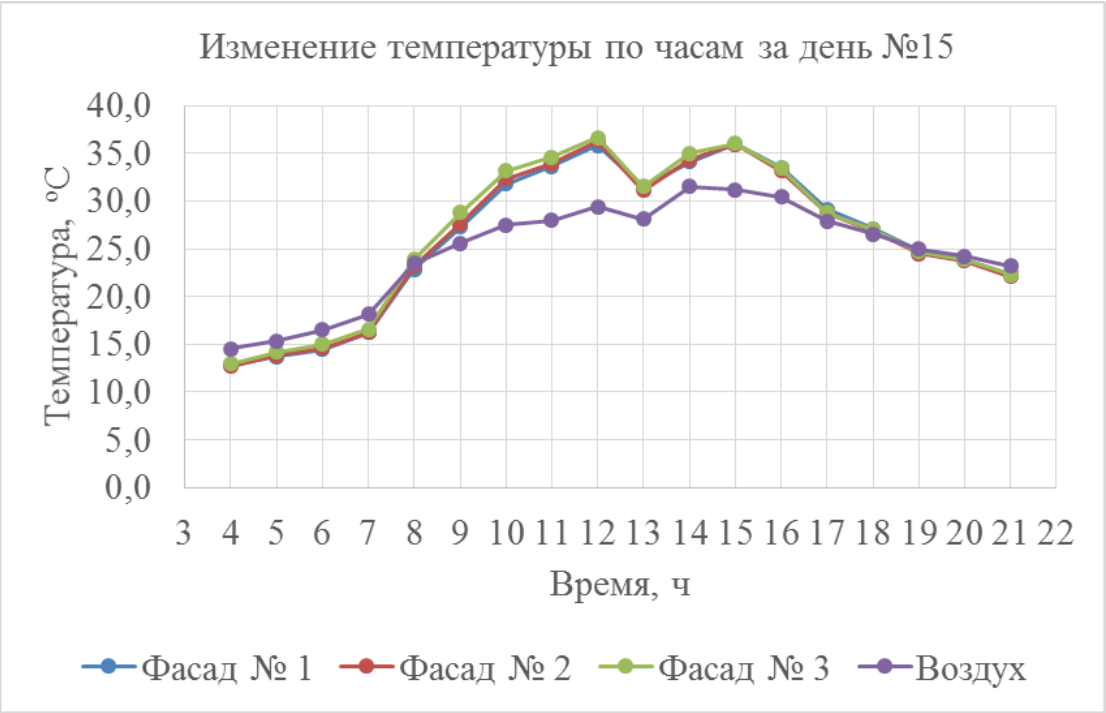


а)



б)

Рисунок Г.30 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 14 - ый день

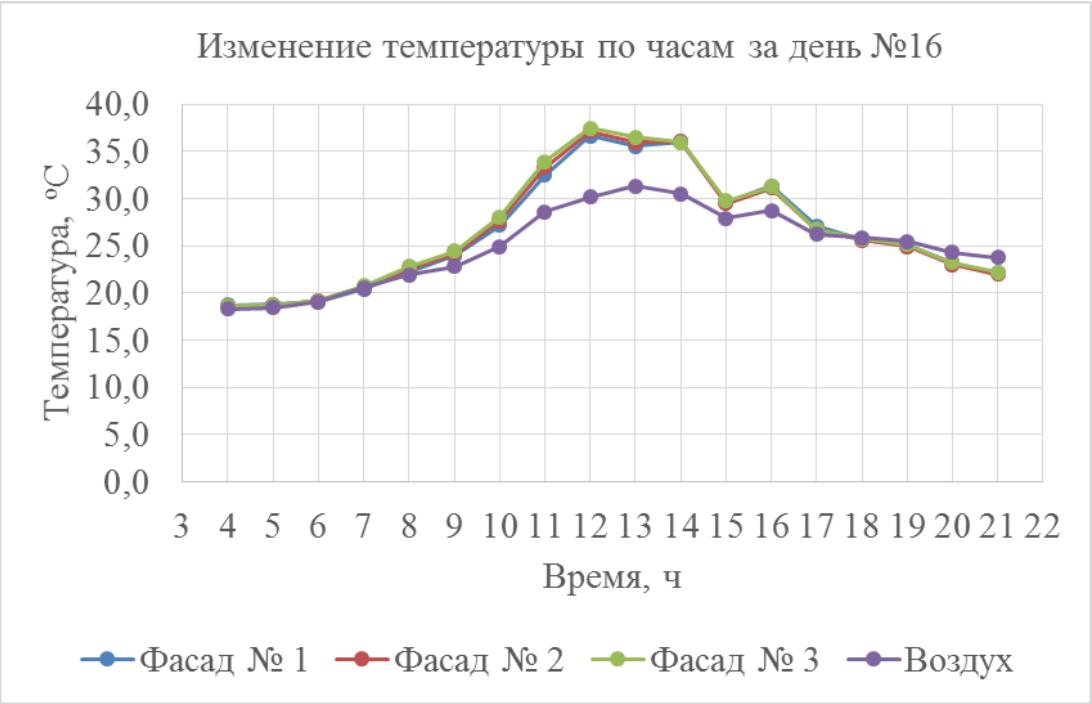


а)

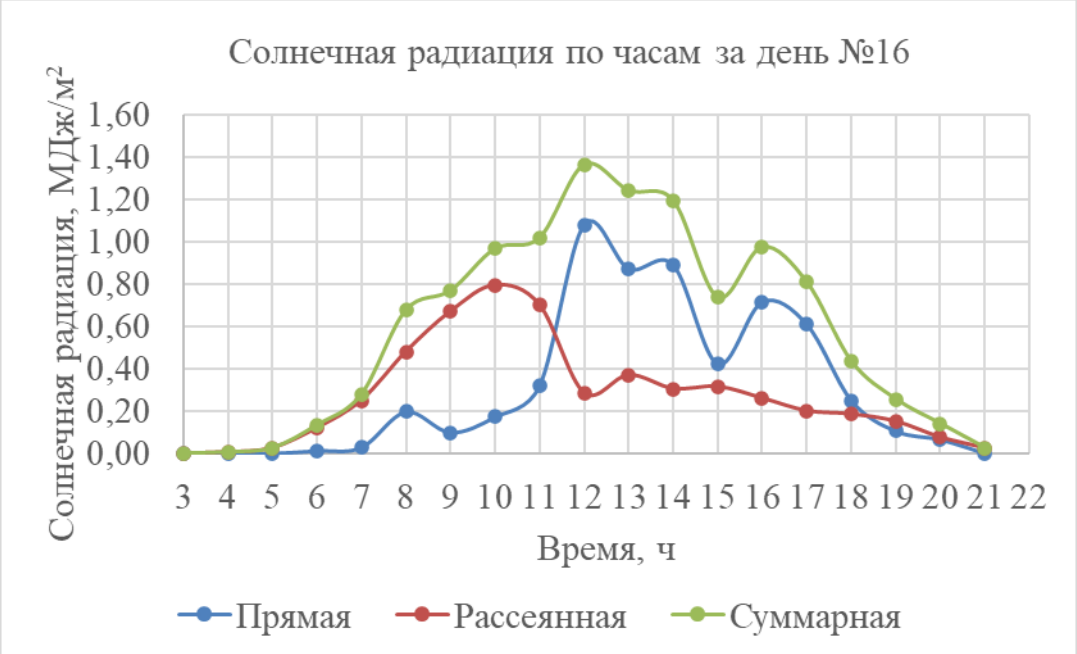


б)

Рисунок Г.31 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 15 - ый день

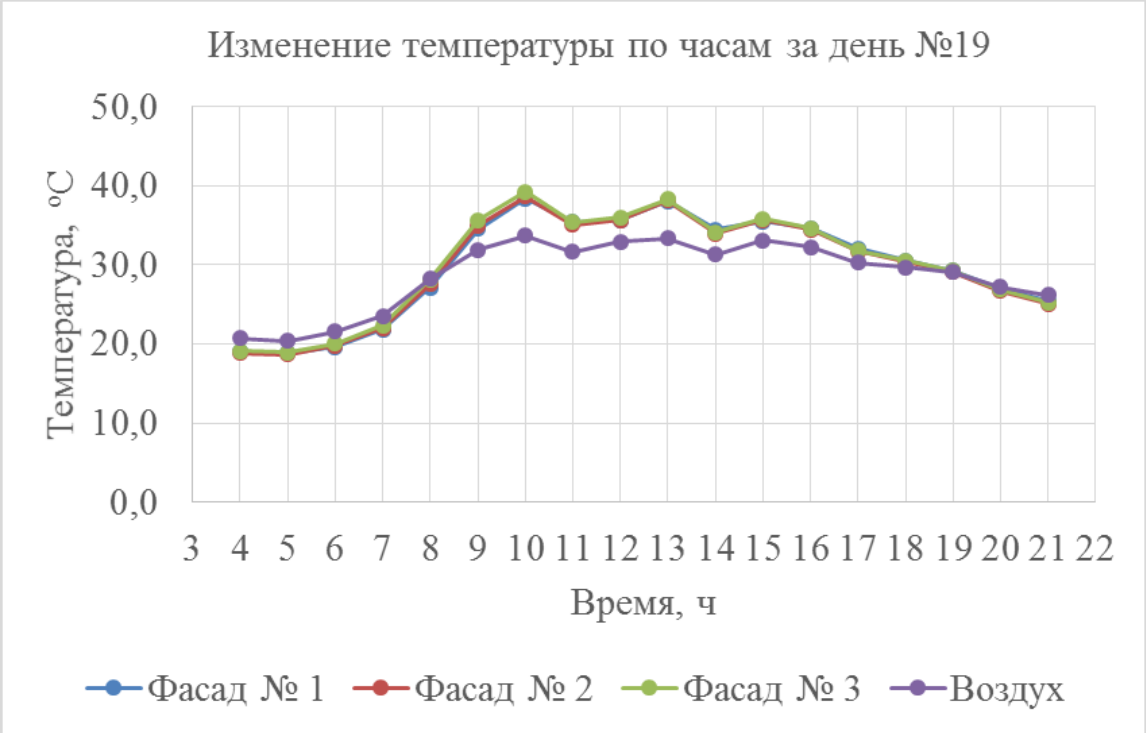


а)

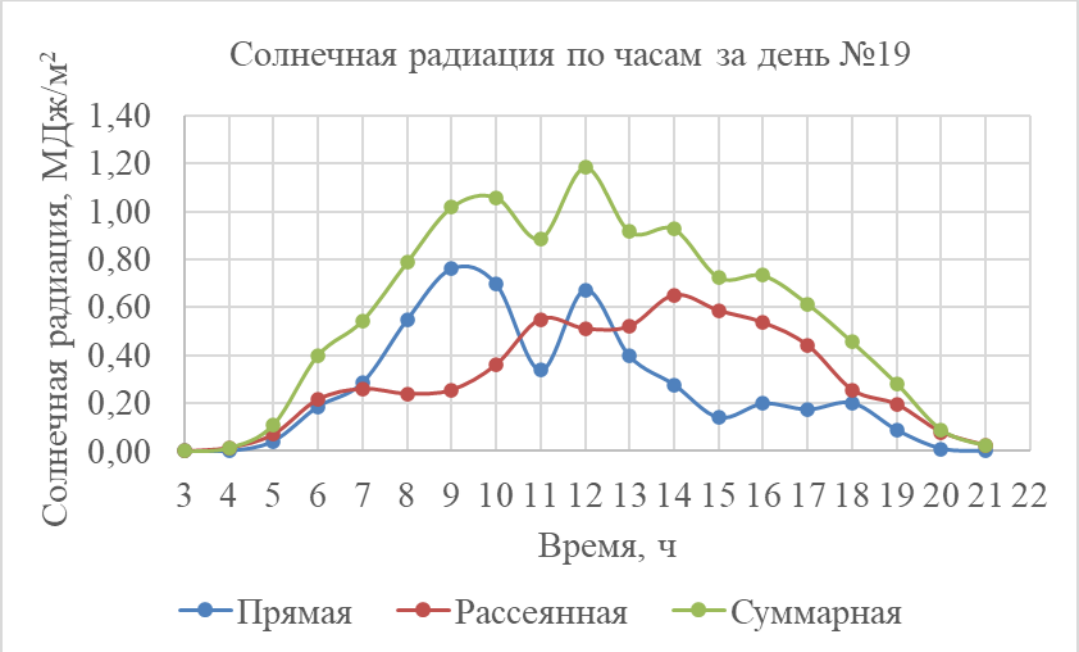


б)

Рисунок Г.32 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 16 - ый день

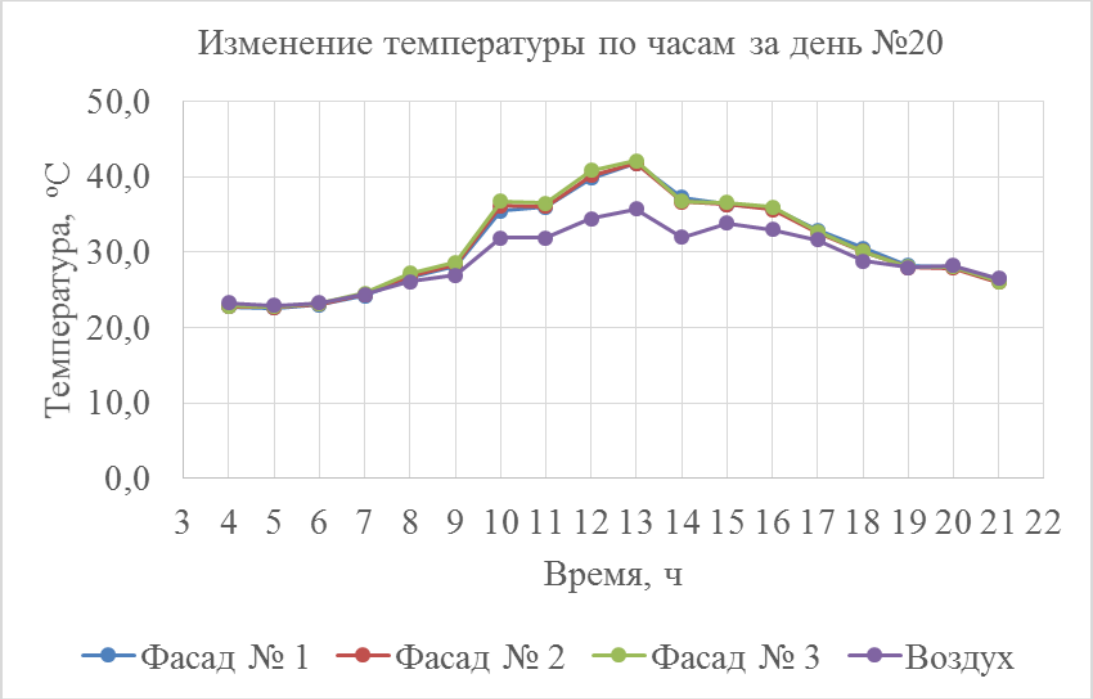


а)



б)

Рисунок Г.33 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 19 - ый день

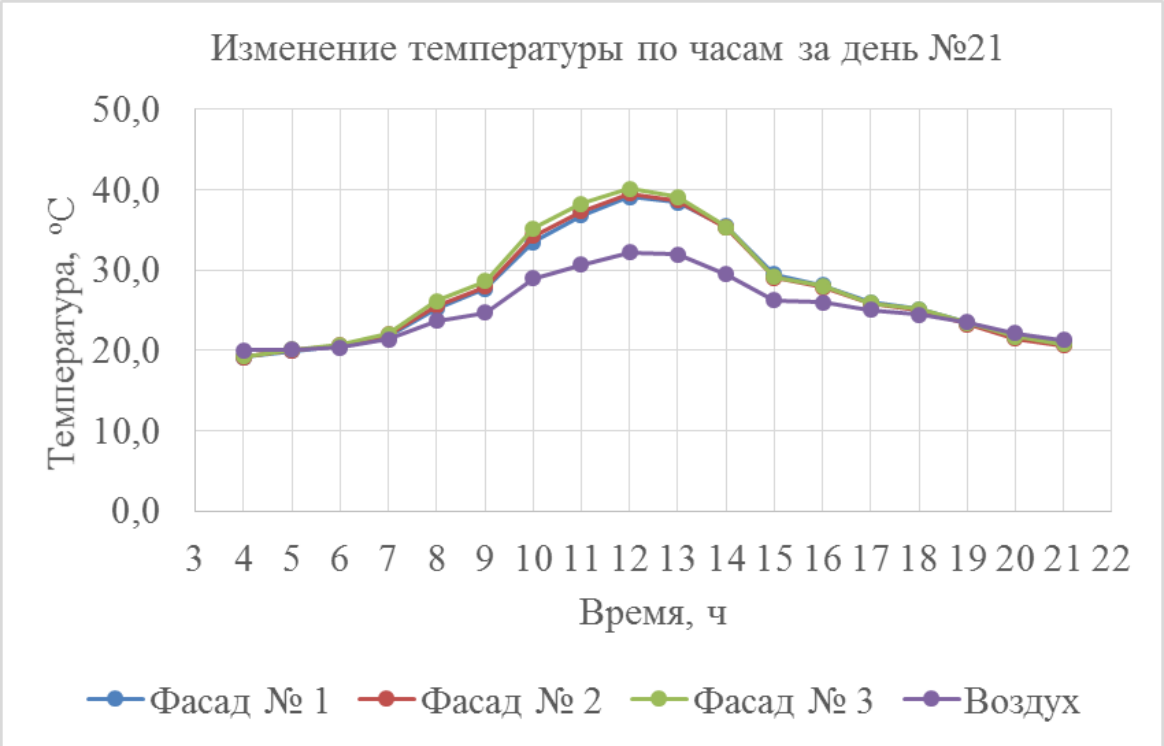


а)



б)

Рисунок Г.34 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 20 - ый день

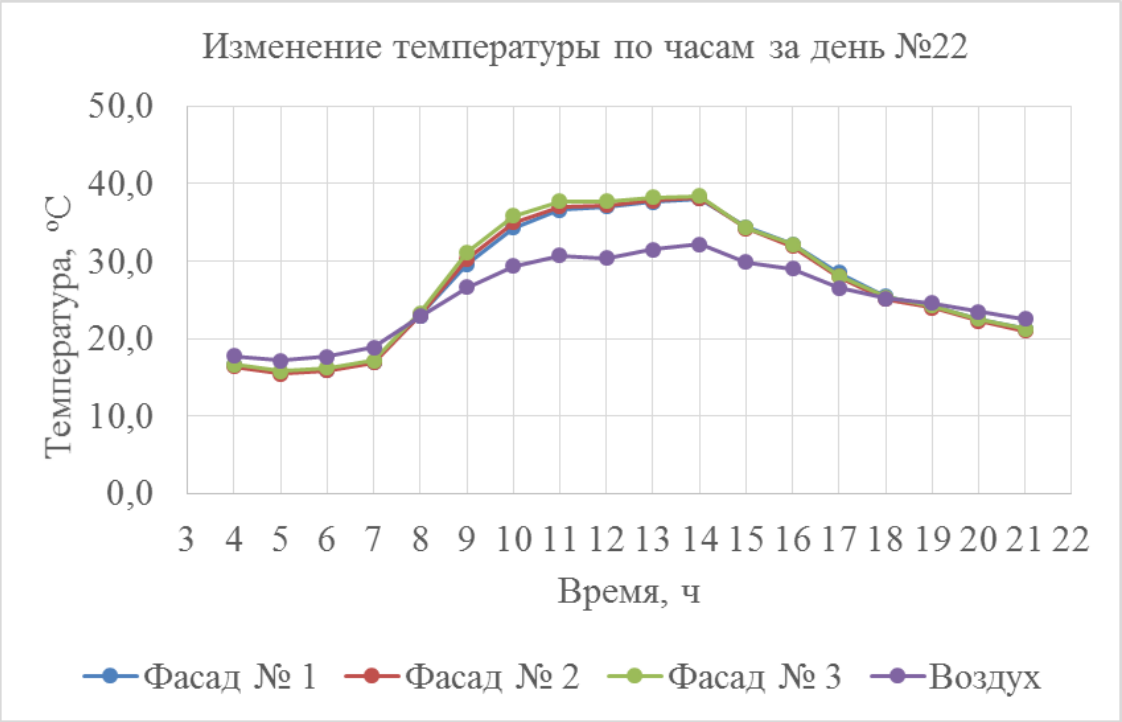


а)

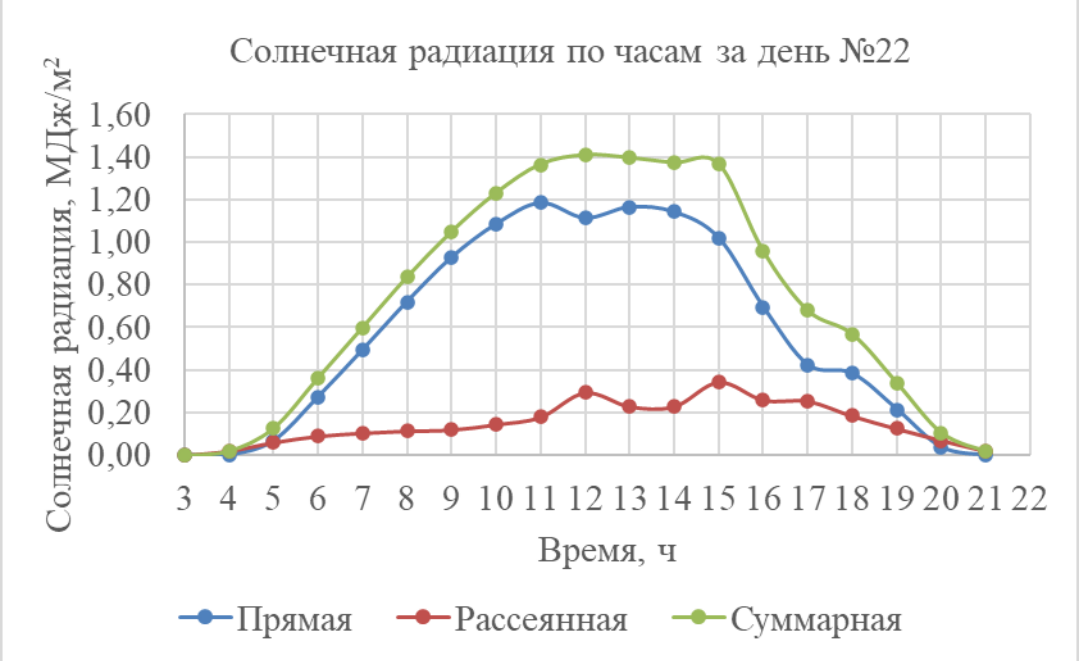


б)

Рисунок Г.35 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступ. солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 21 - ый день

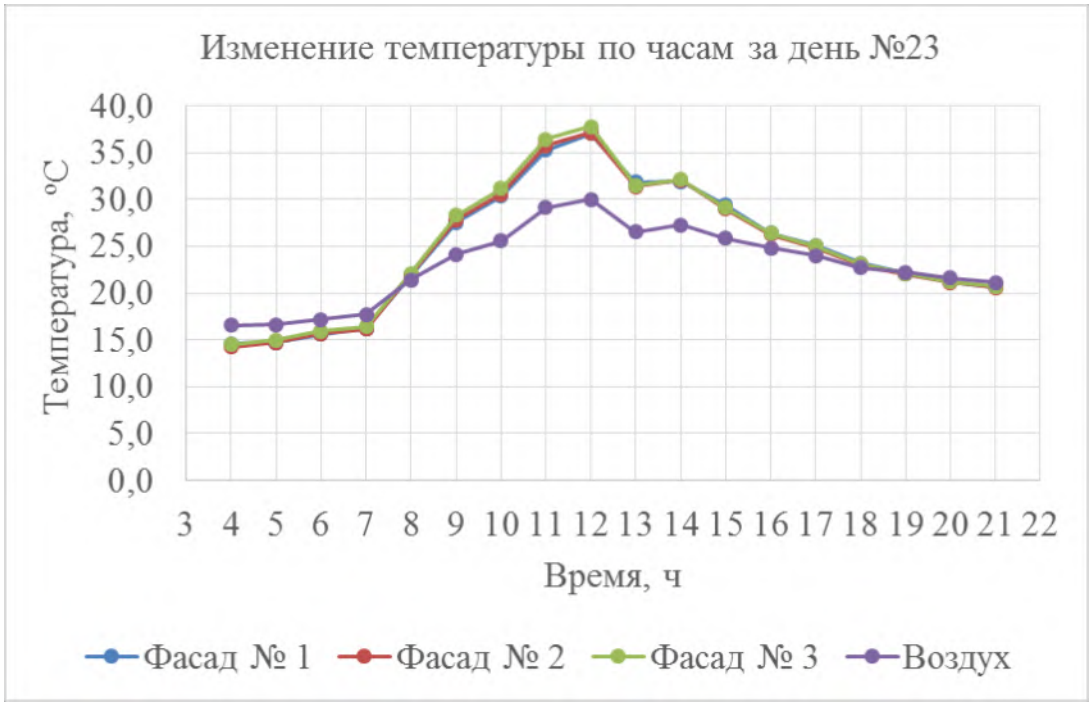


а)

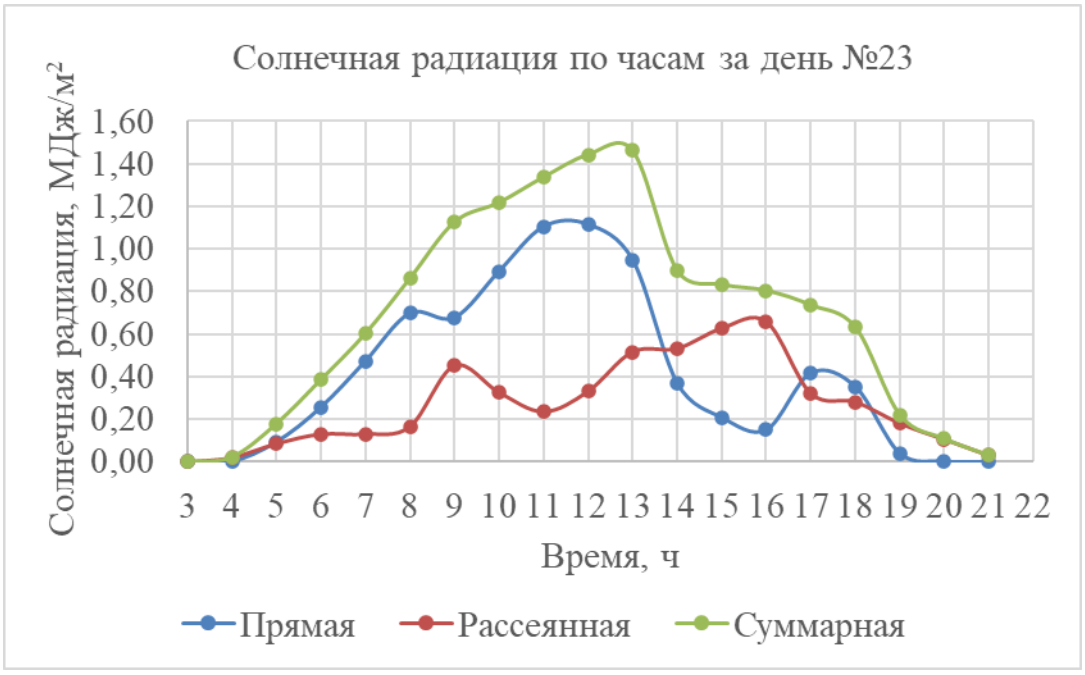


б)

Рисунок Г.36 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступ. солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 22 - ый день

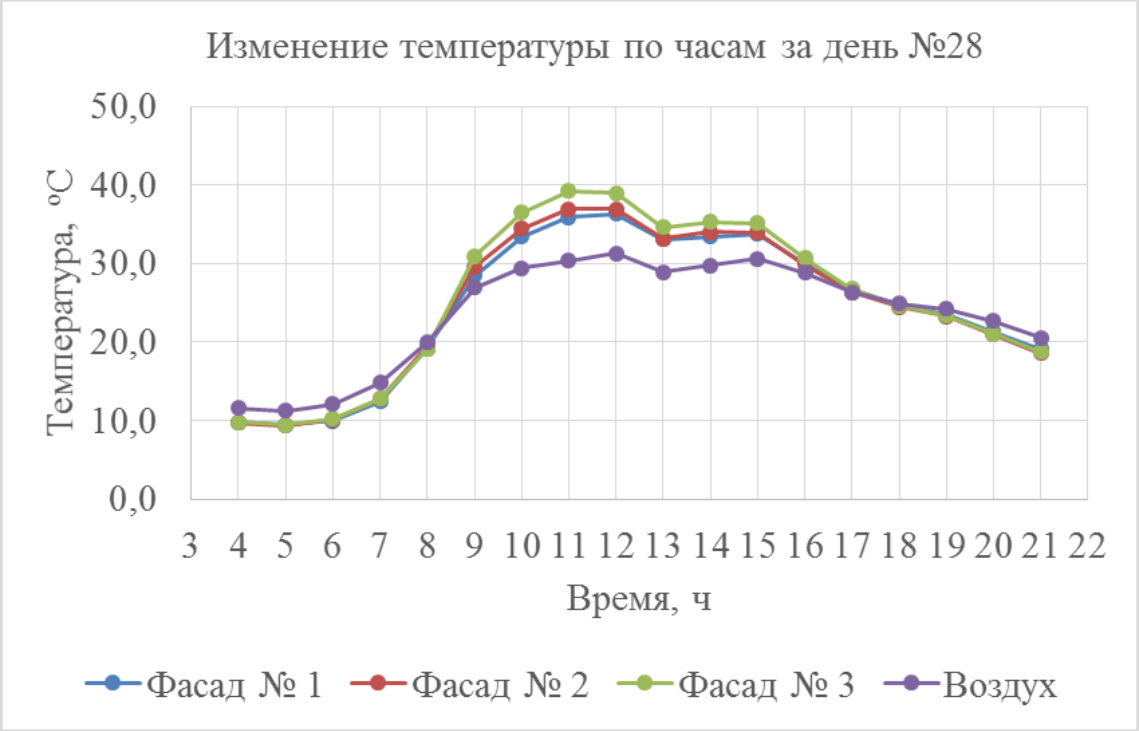


а)

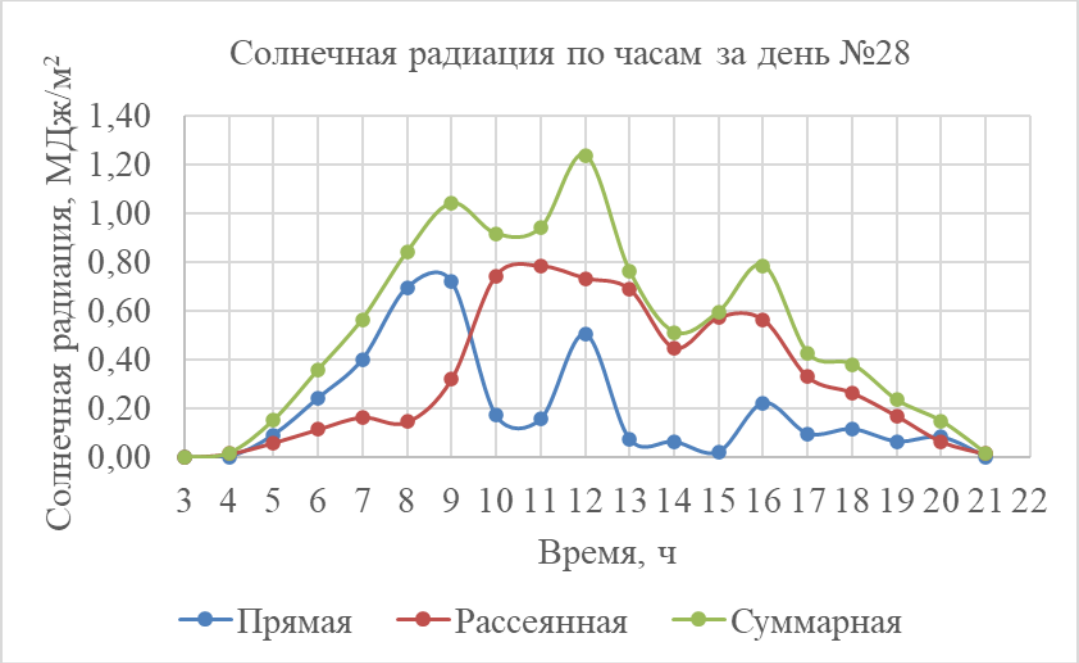


б)

Рисунок Г.37 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 23 - ий день



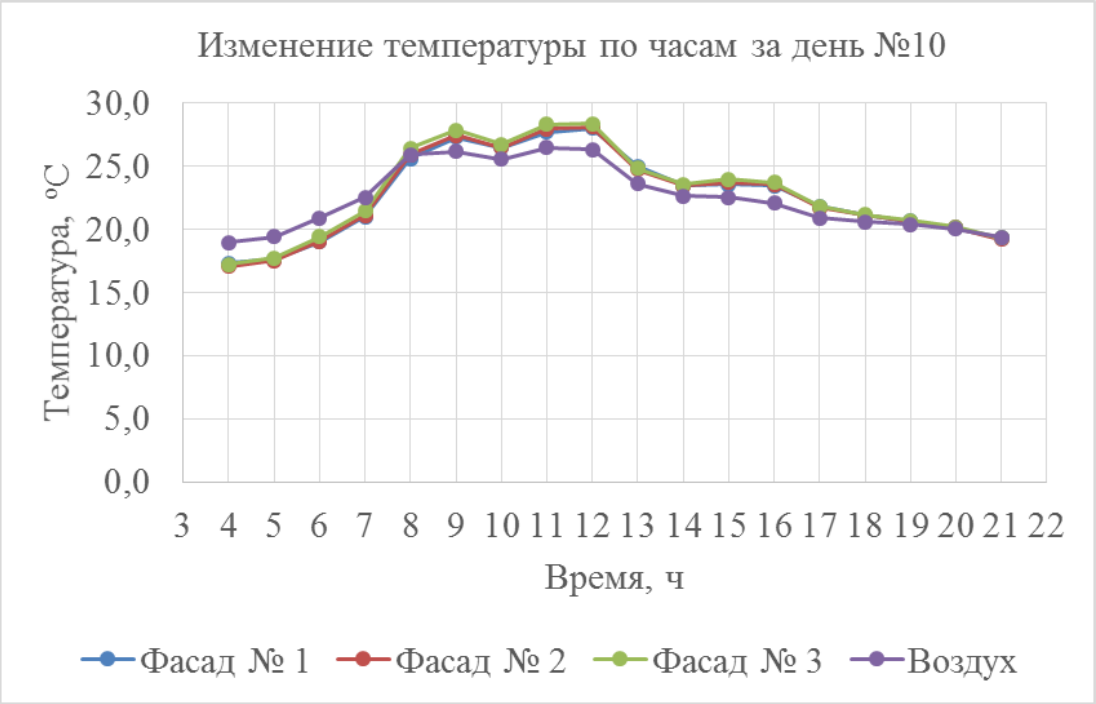
а)



б)

Рисунок Г.38 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 28 - ой день

ГРУППА №3. В данную группу входят дни со «сплошной облачностью».

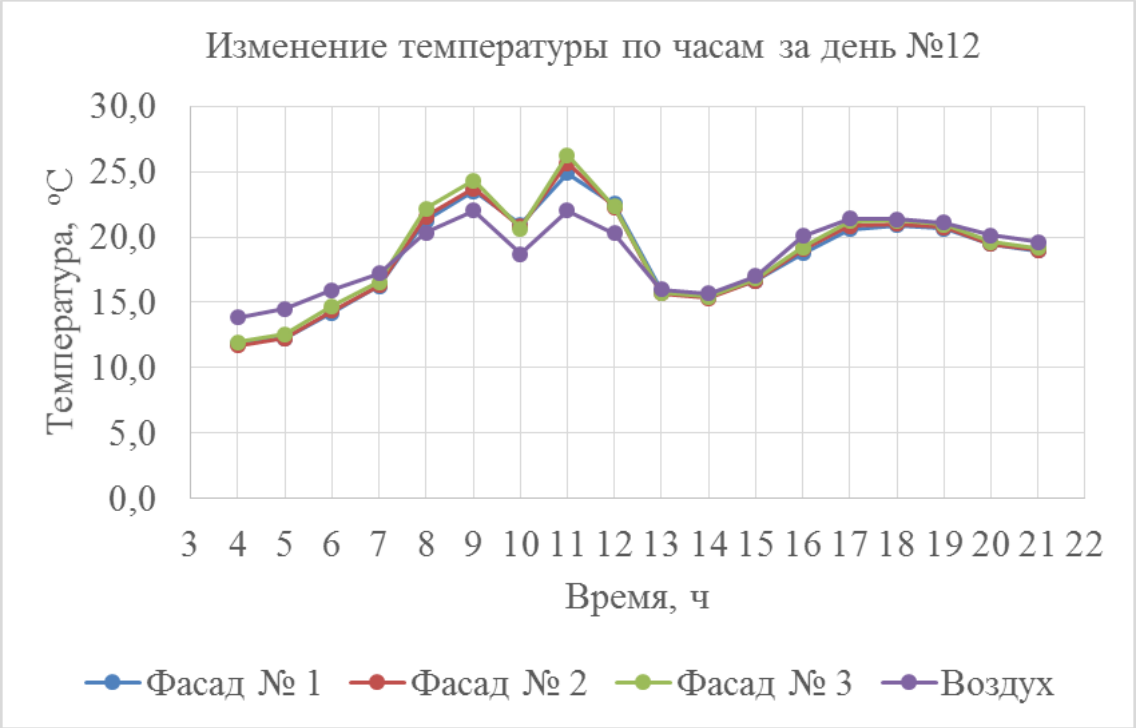


а)



б)

Рисунок Г.39 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 10 - ый день

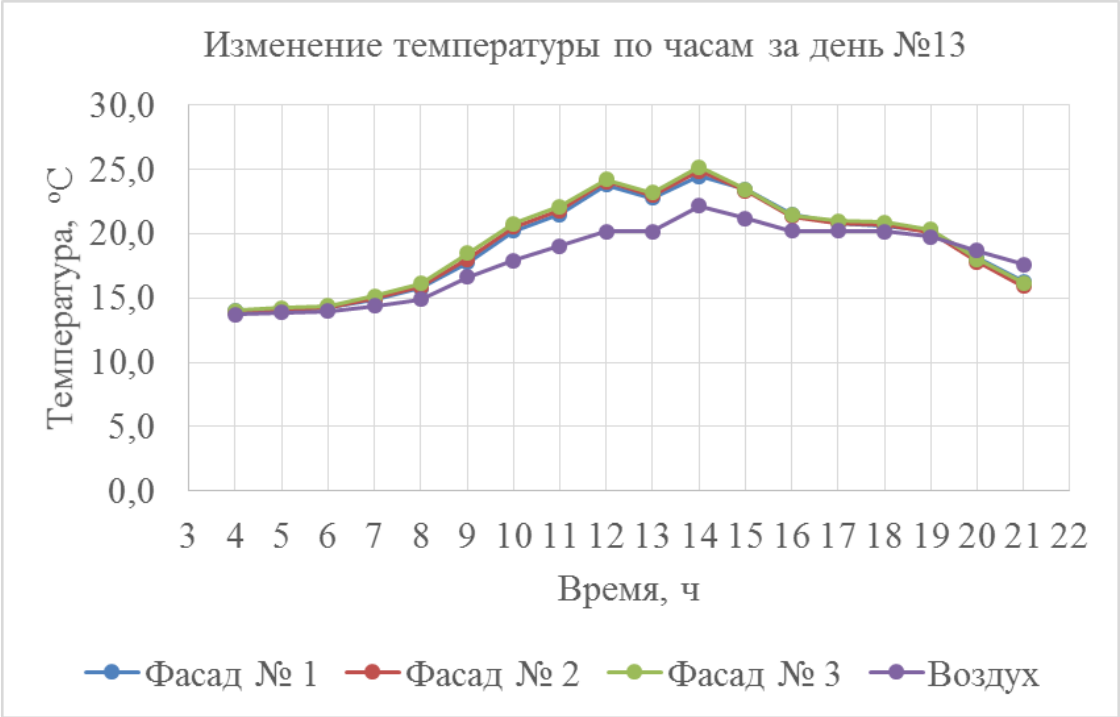


а)

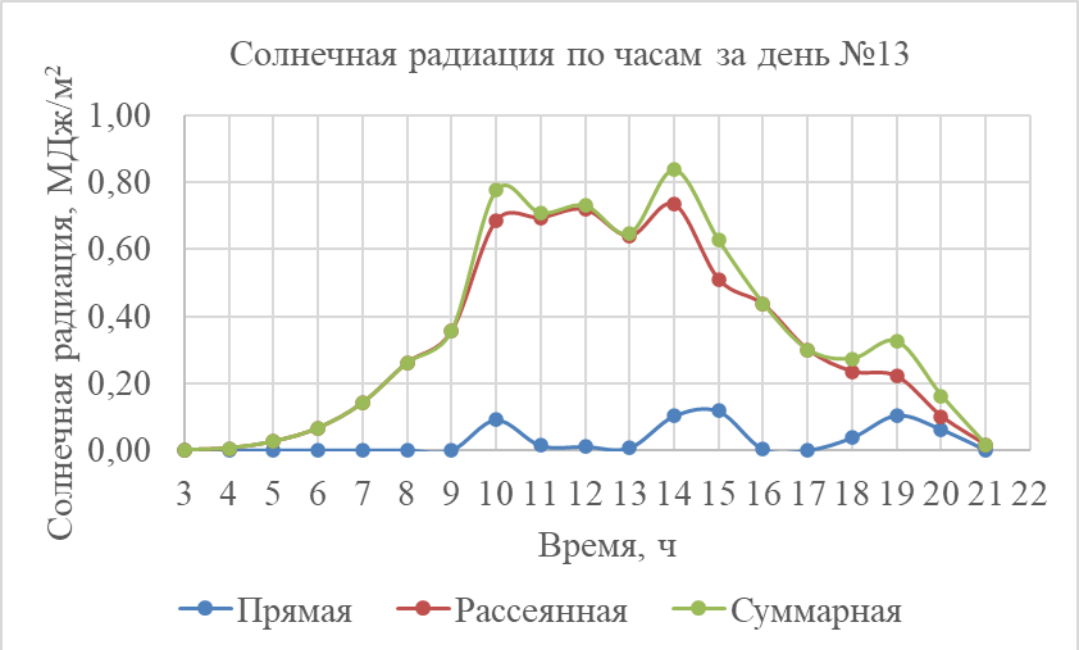


б)

Рисунок Г.40 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 12 - ый день

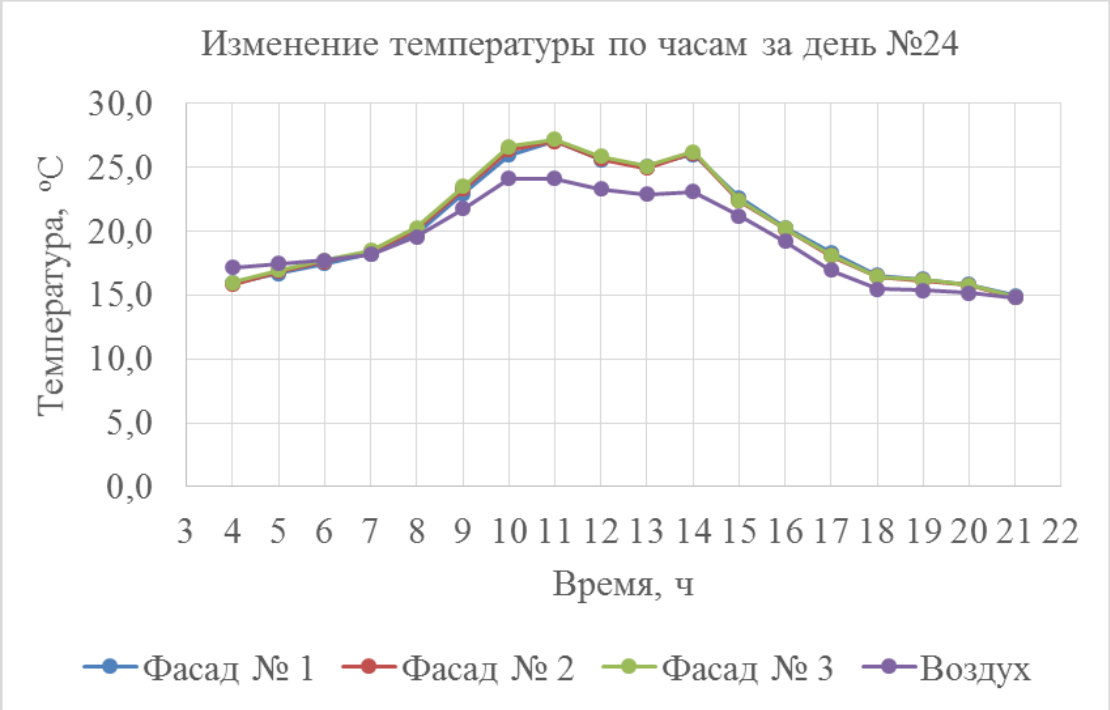


а)

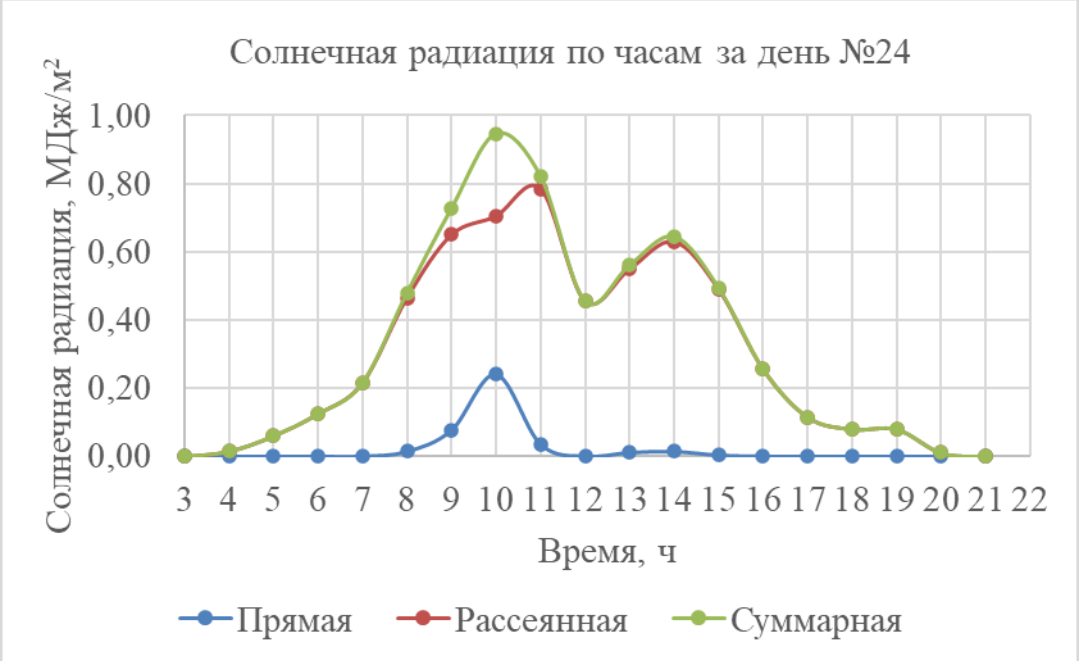


б)

Рисунок Г.41 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 13 - ый день.

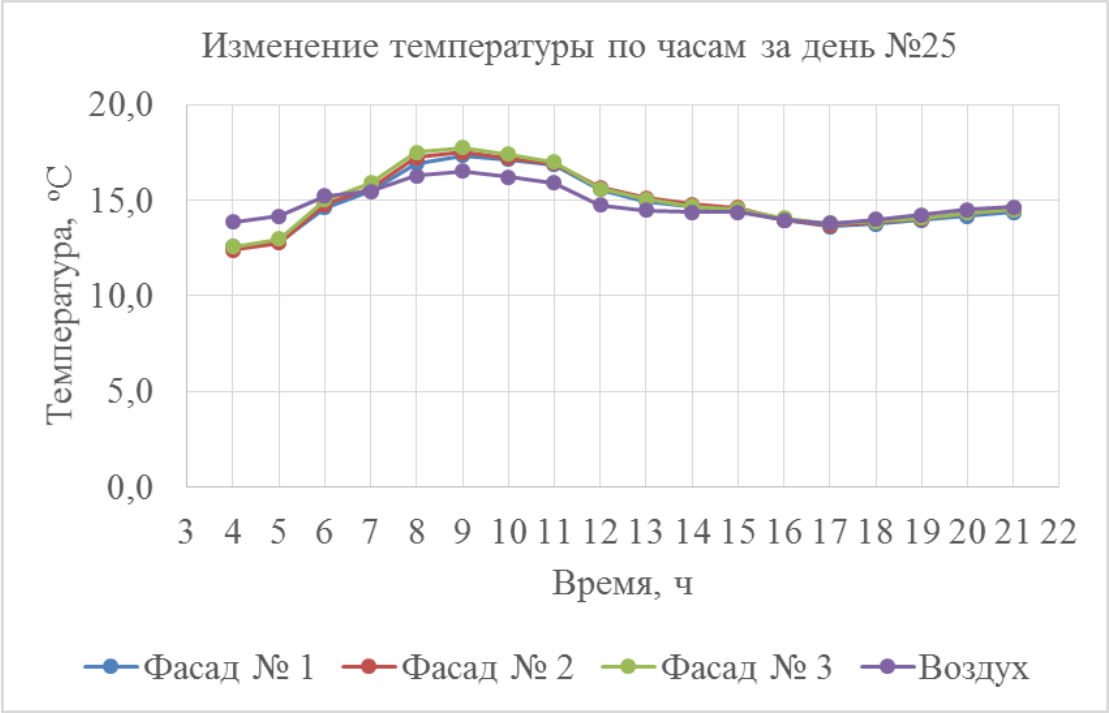


а)

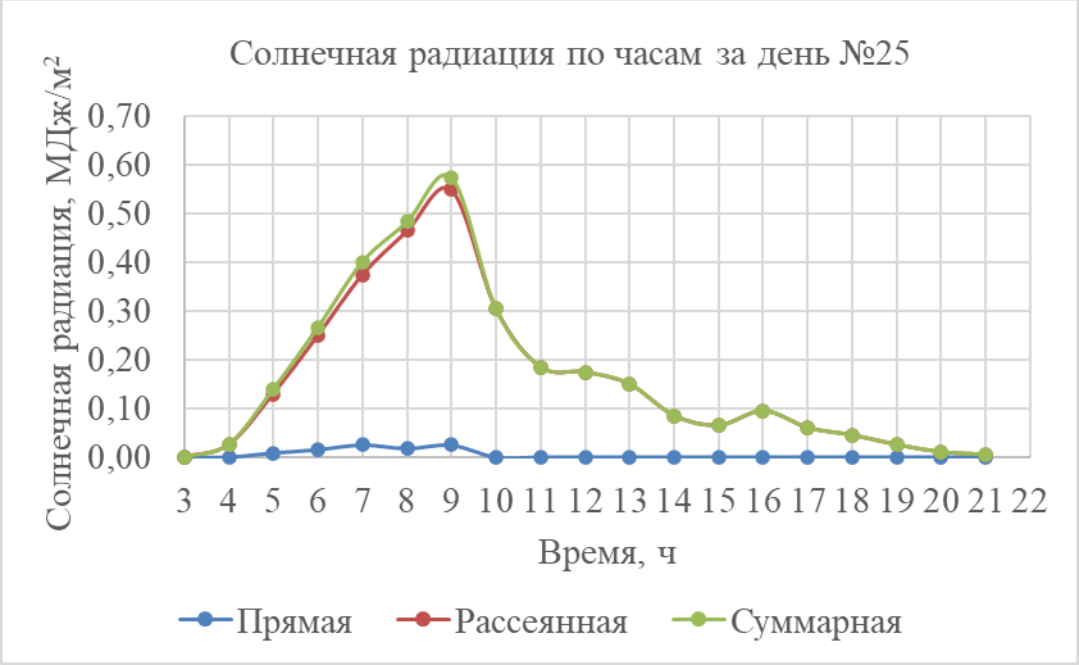


б)

Рисунок Г.42 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 24 - ый день

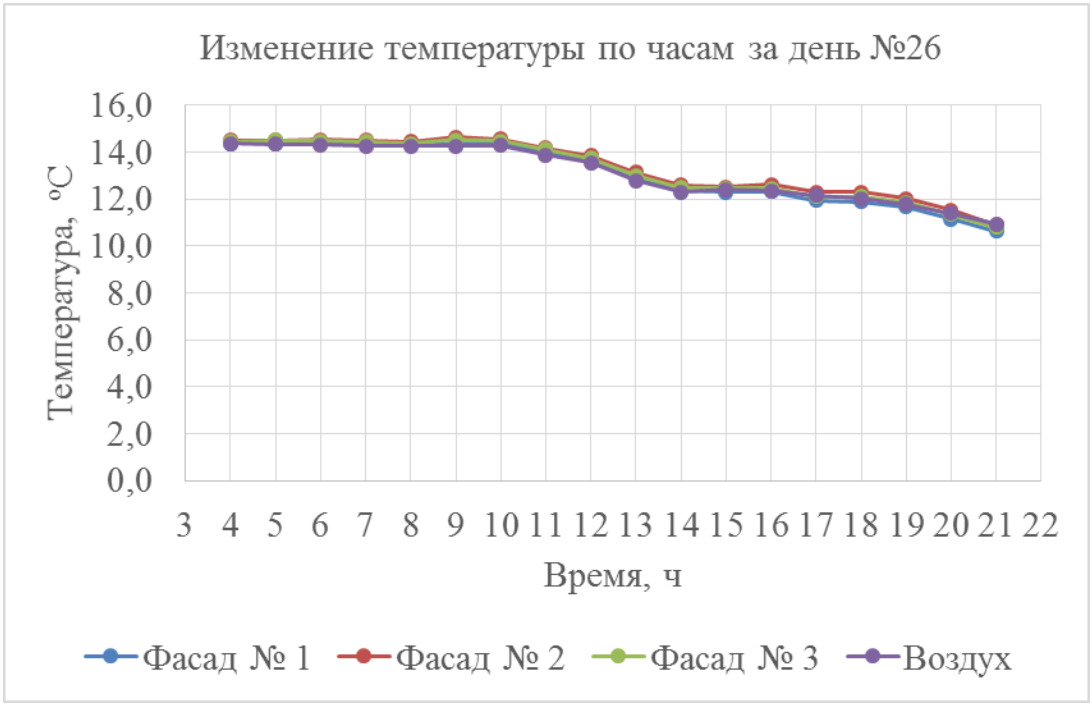


а)



б)

Рисунок Г.43 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 25 - ый день.

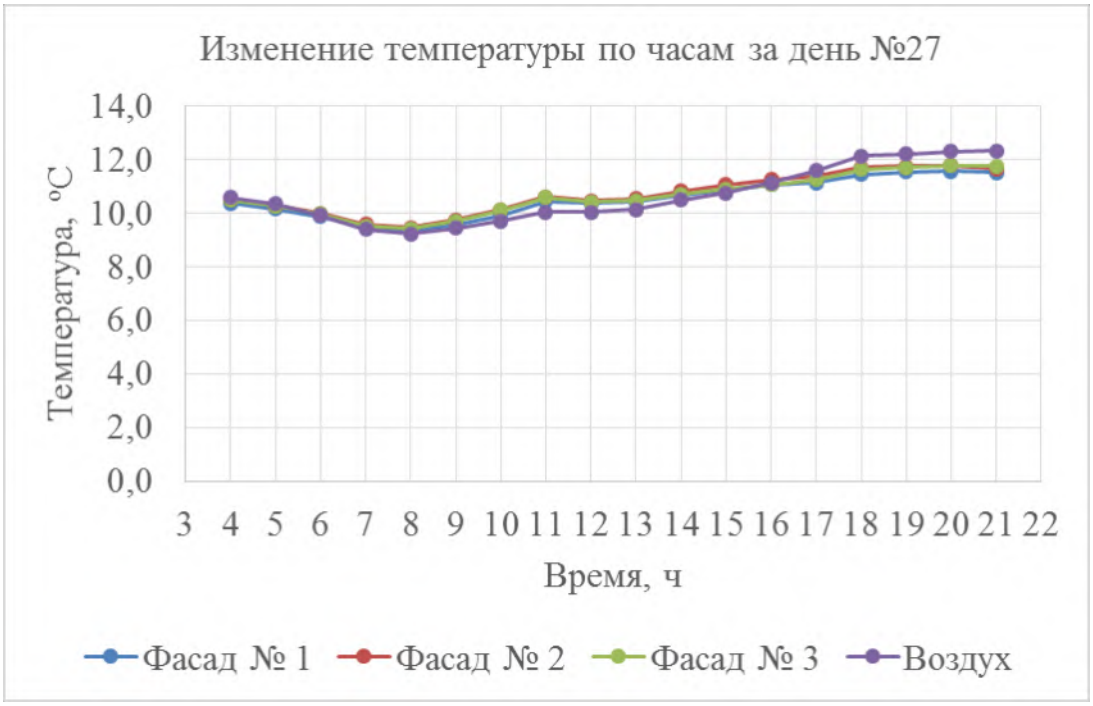


а)



б)

Рисунок Г.44 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 26 - ой день





б)

Рисунок Г.45 – а) изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха; б) поступающая солнечная радиация на фасад (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за 27 - ой день

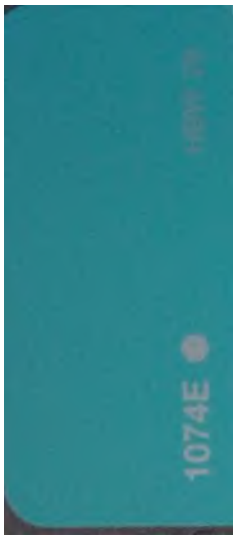
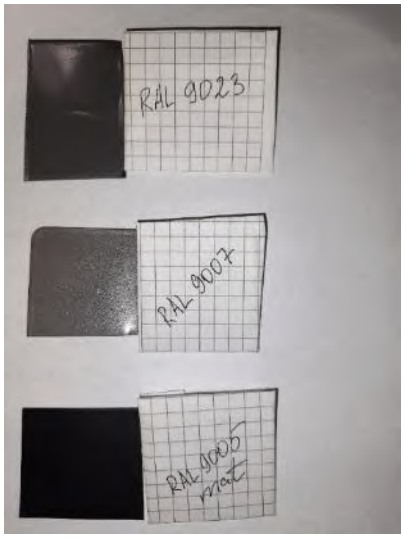
Приложение Д – Дополнительные материалы к главе 4

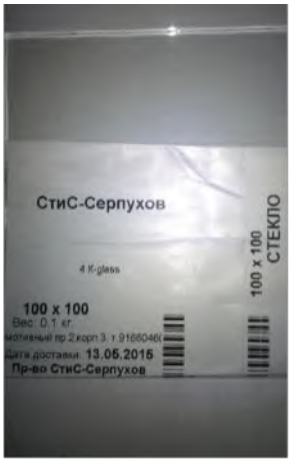
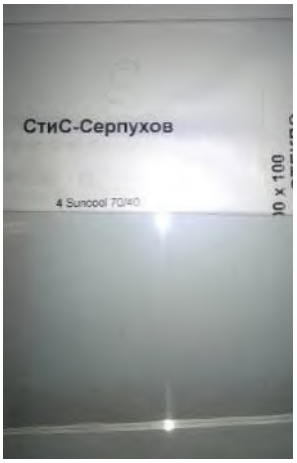
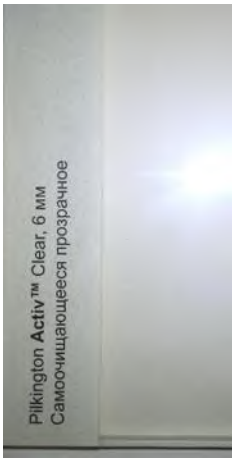
Д.1. Фотографии исследуемых образцов непрозрачных и прозрачных фасадных материалов и покрытий

Таблица Д.1. Фотографии образцов непрозрачных фасадных материалов

Марка, наименование		
7059E	7006E	8111E
		
7070E	8032E	6046E
		

Марка, наименование		
9001E	4002E	1005E
		
4005E	1019E	4019E
		
1032E	1044E	4044E
		

Марка, наименование		
1051E	1074E	1105E
		
4105E	RAL 7032, 5000, 9016	RAL 5005, 9001
		
RAL 9023, 9007, 9005	RAL 8025, 8024	RAL 8019
		

Марка, наименование		
Pilkington Float толщиной 4 мм	K - glass толщиной 4 мм	Suncool 70/40 толщиной 4 мм
		
Eclipse Advantage толщиной 6 мм	Eclipse Advantage Active Clear толщиной 6 мм	ClimaGuard Solar толщиной 4 мм
		
StopRay Neo толщиной 4 мм	SunGuard Solar Silver 35/26 толщиной 4 мм	SunGuard Solar Silver 20 толщиной 4 мм
		

Марка, наименование		
StopSol Supersilver Clear толщиной 4 мм	Stopsol Classic Clear толщиной 4 мм	StopSol Phoenix clear толщиной 4 мм
		
Комфорт нейтральный 0,65 толщиной 6 мм	Комфорт зеленый 0,35 толщиной 6 мм	Комфорт серебристый 0,07 толщиной 6 мм
		

Д.2 Спектрофотометрические исследования коэффициентов пропускания и отражения солнечной радиации однокамерных стеклопакетов

В настоящем разделе рассматриваются расчеты спектральных и интегральных коэффициентов пропускания и отражения стеклопакетов, сформированных из комбинаций рассмотренных в п. 4.1 стекол.

Расчет спектрального коэффициента пропускания для однокамерного стеклопакета определялся по формуле [35, 36]:

$$\tau(\lambda) = \frac{\tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)}{1-\rho'_1(\lambda)\rho_2(\lambda)}. \quad (Д.1)$$

Затем определялся интегральный коэффициент пропускания по формуле (4.3).

Расчет спектрального коэффициента отражения для однокамерного стеклопакета определялся по формуле:

$$\rho(\lambda) = \rho_1(\lambda) + \frac{\tau_1(\lambda)\rho_2(\lambda)}{1-\rho'_1(\lambda)\rho_2(\lambda)}. \quad (Д.2)$$

Затем определялся интегральный коэффициент отражения по формуле (4.4).

Типы исследуемых стеклопакетов по [31] представлены в виде таблицы Д.2.

Таблица Д.2 – Однокамерные стеклопакеты и их значения рассчитанных коэффициентов пропускания и отражения солнечной радиации

Изображение стеклопакета	Формула СП	Стекло 1	Стекло 2	τ_e	ρ_e
Стеклопакет со стеклами без покрытий					
	4М1–16–4М1	Float 4 мм	Float 4 мм	0,73	0,23
	6М1–16–6М1	Float 6 мм	Float 6 мм	0,67	0,28
	6S–16–4М1	Active clear 6 мм	Float 4 мм	0,73	0,23
	6S–16–6М1	Active clear 6 мм	Float 6 мм	0,70	0,26
Стеклопакет с внутренним стеклом с низкоэмиссионным покрытием					
	4М1–16–4К	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,62	0,26
	4М1–16–4И	Float 4 мм	Optitherm s3	0,55	0,35
		Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,56	0,35
		Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,51	0,30
	6М1–16–4К	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,60	0,29
	6М1–16–4И	Float 6 мм	OptithermOptitherm s3	0,53	0,36
		Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,55	0,36
		Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,50	0,32
	6S–16–4К	Active clear 6 мм	K glass 4 мм	0,62	0,27
	6S–16–4И	Active clear 6 мм	OptithermOptitherm s3	0,54	0,36
		Active clear 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,54	0,36
		Active clear 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,50	0,31
Стеклопакет со стеклами с низкоэмиссионными покрытиями					
	4К–16–4К	K glass 4 мм	K glass 4 мм	0,55	0,30
	4И–16–4И	OptithermOptitherm s3	OptithermOptitherm s3	0,48	0,23
		Clima guard n 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,49	0,35
		Clima guard titan 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,40	0,27

Продолжение таблицы Д.2

Изображение стеклопакета	Формула СП	Стекло 1	Стекло 2	τ_e	ρ_e
Стеклопакет с наружным стеклом с мультифункциональным или солнцезащитным покрытием					
	6СК–16–4М1	Eclipse Advantage clear 6 мм	Float 4 мм	0,52	0,36
	4СК–16–4М1	Suncool 70/40 4 мм	Float 4 мм	0,43	0,39
		Stop Ray Neo 4 мм	Float 4 мм	0,39	0,35
		Clima Guard Solar 4 мм	Float 4 мм	0,42	0,44
	4СИ–16–4М1	SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Float 4 мм	0,14	0,31
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Float 4 мм	0,27	0,36
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Float 4 мм	0,59	0,37
		StopSol Classic Clear 4 мм	Float 4 мм	0,43	0,34
		StopSol phoenix clear 4 мм	Float 4 мм	0,56	0,35
	6СИ–16–4М1	Салстек Комфорт 6 мм	Float 4 мм	0,55	0,29
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Float 4 мм	0,29	0,18
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Float 4 мм	0,07	0,33
	6СК–16–6М1	Eclipse Advantage clear 6 мм	Float 6 мм	0,50	0,37
	4СК –16–6М1	Suncool 70/40 4 мм	Float 6 мм	0,43	0,39
		Stop Ray Neo 4 мм	Float 6 мм	0,39	0,35
		Clima Guard Solar 4 мм	Float 6 мм	0,41	0,44
	4СИ–16–6М1	SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Float 6 мм	0,14	0,31
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Float 6 мм	0,26	0,36
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Float 6 мм	0,57	0,39
		StopSol Classic Clear 4 мм	Float 6 мм	0,41	0,35
		StopSol phoenix clear 4 мм	Float 6 мм	0,54	0,37
	6СИ–16–6М1	Салстек Комфорт 6 мм	Float 6 мм	0,53	0,31
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Float 6 мм	0,28	0,18
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Float 6 мм	0,07	0,33

Продолжение таблицы Д.2

Изображение стеклопакета	Формула СП	Стекло 1	Стекло 2	τ_e	ρ_e
Стеклопакет с наружным стеклом с мультифункциональным или солнцезащитным покрытием и внутренним стеклом с низкоэмиссионным покрытием					
	6СК –16–4К	Eclipse Advantage clear 6 мм	K glass 4 мм	0,45	0,19
	6СК –16–4И	Eclipse Advantage clear 6 мм	Optitherm s3	0,40	0,23
		Eclipse Advantage clear 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,41	0,23
		Eclipse Advantage clear 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,37	0,20
	4СИ–16–4К	Suncool 70/40 4 мм	K glass 4 мм	0,40	0,40
		Stop Ray Neo 4 мм	K glass 4 мм	0,36	0,36
		Clima Guard Solar 4 мм	K glass 4 мм	0,39	0,45
	4СИ–16–4И	Suncool 70/40 4 мм	Optitherm s3	0,40	0,40
		Suncool 70/40 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,40	0,39
		Suncool 70/40 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,36	0,38
		Stop Ray Neo 4 мм	Optitherm s3	0,35	0,36
		Stop Ray Neo 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,35	0,36
		Stop Ray Neo 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,31	0,35
		Clima Guard Solar 4 мм	Optitherm s3	0,38	0,46
		Clima Guard Solar 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,38	0,45
		Clima Guard Solar 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,34	0,44
	4СИ–16–6К	SunGuard Solar Silver 20 4 мм	K glass 4 мм	0,13	0,31
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	K glass 4 мм	0,24	0,36
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	K glass 4 мм	0,50	0,39
	4СИ–16–4И	SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Optitherm s3	0,12	0,32
		SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,12	0,31
		SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,11	0,31
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Optitherm s3	0,23	0,36
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,23	0,34
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,21	0,36

Продолжение таблицы Д.2

Изображение стеклопакета	Формула СП	Стекло 1	Стекло 2	τ_e	ρ_e
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Optitherm s3	0,43	0,47
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,44	0,47
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,41	0,43
		StopSol Classic Clear 4 мм	Optitherm s3	0,29	0,42
		StopSol Classic Clear 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,30	0,43
		StopSol Classic Clear 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,28	0,39
		StopSol phoenix clear 4 мм	Optitherm s3	0,42	0,44
		StopSol phoenix clear 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,42	0,45
		StopSol phoenix clear 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,39	0,41
	6СИ–16–4И	Салстек Комфорт 6 мм	K glass 4 мм	0,47	0,31
		Салстек Комфорт 6 мм	Optitherm s3	0,41	0,36
		Салстек Комфорт 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,42	0,37
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Optitherm s3	0,23	0,20
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,23	0,19
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,21	0,19
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Optitherm s3	0,06	0,33
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,06	0,33
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,05	0,33

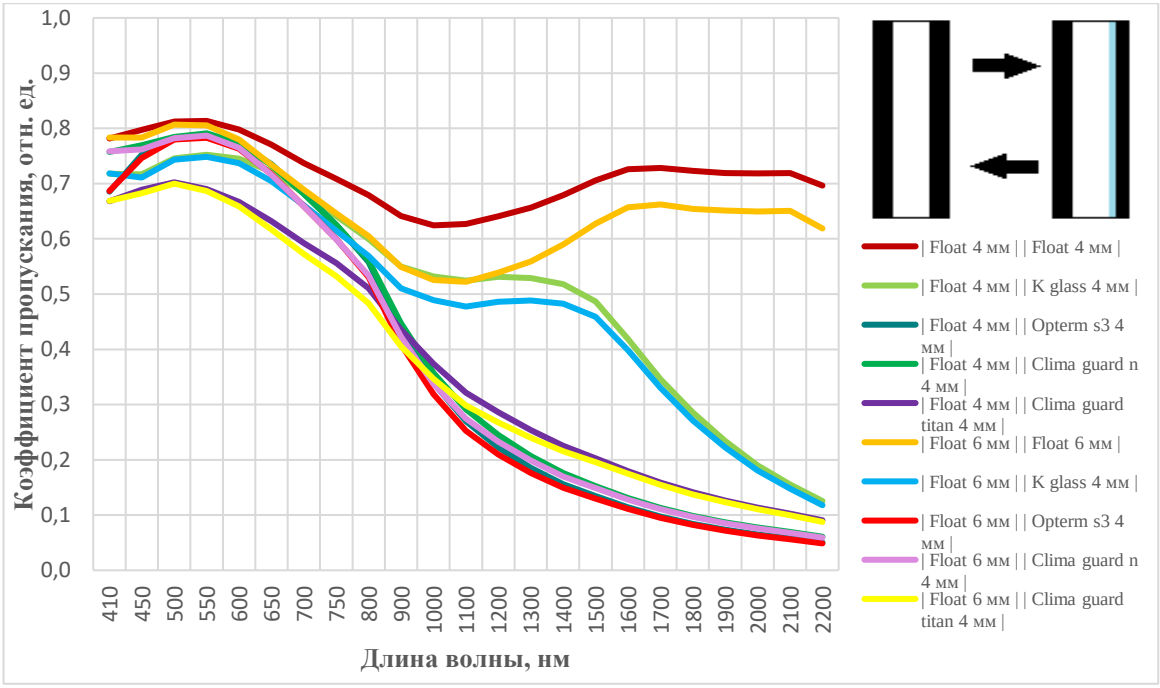


Рисунок Д.1 – Результаты расчетов спектрального пропускания солнечного излучения однокамерными стеклопакетами (внутреннее стекло с низкоэмиссионным покрытием)

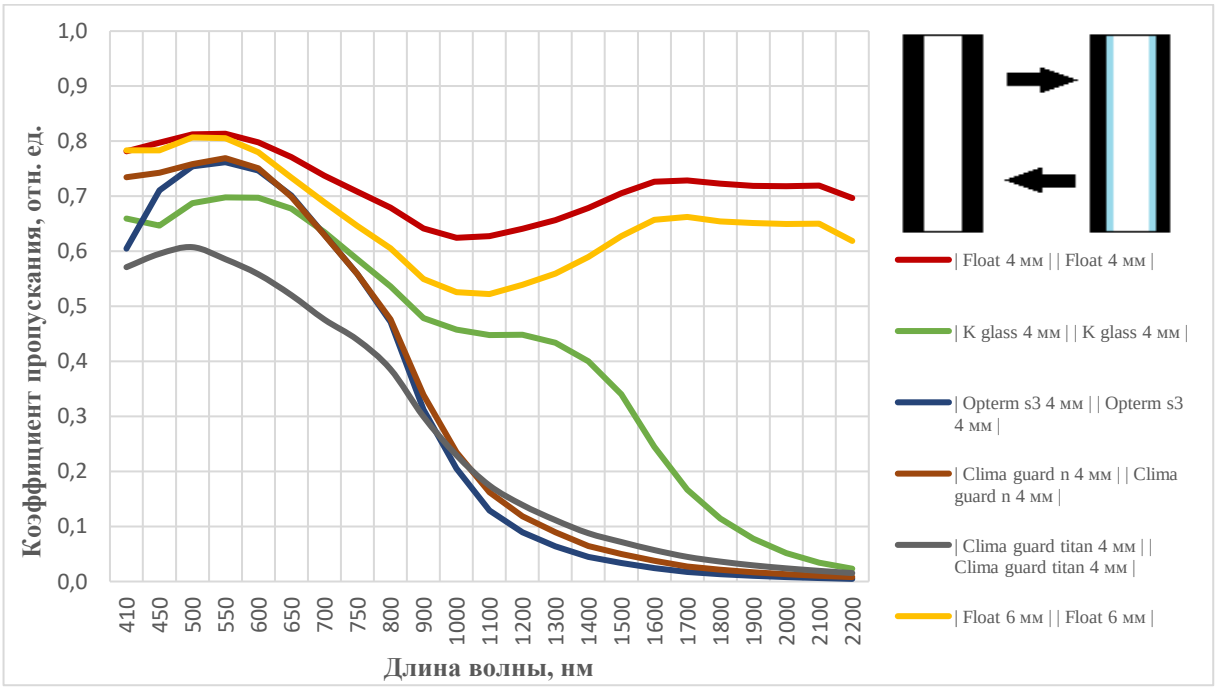


Рисунок Д.2 – Результаты расчетов спектрального пропускания солнечного излучения однокамерными стеклопакетами (наружное и внутреннее стекло с низкоэмиссионным покрытием)

Д.3 Спектрофотометрические исследования коэффициентов пропускания и отражения солнечной радиации двухкамерных стеклопакетов.

Расчет спектрального коэффициента пропускания для двухкамерного стеклопакета определялся по ГОСТ EN 410-2014 [35] по формуле:

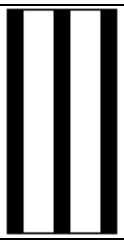
$$\tau(\lambda) = \frac{\tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)\tau_3(\lambda)}{[1-\rho'_1(\lambda)\rho_2(\lambda)]\cdot[1-\rho'_2(\lambda)\rho_3(\lambda)]-\tau_2^2(\lambda)\rho'_1(\lambda)\rho_3(\lambda)}. \quad (Д.3)$$

Расчет спектрального коэффициента отражения для двухкамерного стеклопакета определялся по формуле:

$$\rho(\lambda) = \rho_1(\lambda) + \frac{\tau_1^2(\lambda)\rho_2(\lambda)[1-\rho'_2(\lambda)\rho_3(\lambda)]+\tau_1^2(\lambda)\tau_2^2(\lambda)\rho_3(\lambda)}{[1-\rho'_1(\lambda)\rho_2(\lambda)]\cdot[1-\rho'_2(\lambda)\rho_3(\lambda)]-\tau_2^2(\lambda)\rho'_1(\lambda)\rho_3(\lambda)}. \quad (Д.4)$$

Типы исследуемых стеклопакетов, изображение, в виде таблицы Д.3.

Таблица Д.3 – Двухкамерные стеклопакеты и их интегральные коэффициенты пропускания и отражения солнечной радиации

Изображение стеклопакета	Формула СП	Стекло 1	Стекло 2	Стекло 3	τ_e	ρ_e
	4М1–12–4М1–12–4М1	Float 4 мм	Float 4 мм	Float 4 мм	0,64	0,31
	6М1–12–6М1–12–6М1	Float 6 мм	Float 6 мм	Float 6 мм	0,58	0,36
	4М1–12–4М1–12–4К	Float 4 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,55	0,33
	4М1–12–4М1–12–4И	Float 4 мм	Float 4 мм	Optitherm s3	0,49	0,39
		Float 4 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,50	0,39
		Float 4 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,46	0,35
	6М1–12–6М1–12–4К	Float 6 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,52	0,36
	6М1–12–6М1–12–4И	Float 6 мм	Float 6 мм	Optitherm s3	0,47	0,42
		Float 6 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,48	0,42
		Float 6 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,43	0,38
	4К–12–4М1–12–4К	K glass 4 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,49	0,35
	4И–12–4М1–12–4И	Optitherm s3	Float 4 мм	Optitherm s3	0,43	0,27
		Clima guard n 4 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,44	0,39

Продолжение таблицы Д.3

Изображение стеклопакета	Формула СП	Стекло 1	Стекло 2	Стекло 3	τ_e	ρ_e
	4И–12–4М1–12–4И	Clima guard titan 4 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,35	0,30
	4К–12–6М1–12–4К	K glass 4 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,47	0,36
	4И–12–6М1–12–4И	Optitherm s3	Float 6 мм	Optitherm s3	0,42	0,27
		Clima guard n 4 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,43	0,39
		Clima guard titan 4 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,35	0,31
	6СК–12–4М1–12–4К	Eclipse Advantage clear 6 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,40	0,41
	6СК–12–4М1–12–4И	Eclipse Advantage clear 6 мм	Float 4 мм	Optitherm s3	0,36	0,43
		Eclipse Advantage clear 6 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,37	0,43
		Eclipse Advantage clear 6 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,33	0,41
	4СИ–12–4М1–12–4К	Suncool 70/40 4 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,36	0,43
		Stop Ray Neo 4 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,32	0,38
		Clima Guard Solar 4 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,35	0,47
	4СИ–12–4М1–12–4И	Suncool 70/40 4 мм	Float 4 мм	Optitherm s3	0,36	0,43
		Suncool 70/40 4 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,36	0,42
		Suncool 70/40 4 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,32	0,41
		Stop Ray Neo 4 мм	Float 4 мм	Optitherm s3	0,32	0,38
		Stop Ray Neo 4 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,32	0,38
		Stop Ray Neo 4 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,28	0,37
		Clima Guard Solar 4 мм	Float 4 мм	Optitherm s3	0,34	0,48
		Clima Guard Solar 4 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,34	0,47
		Clima Guard Solar 4 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,30	0,46

Продолжение таблицы Д.3

Изображение стеклопакета	Формула СП	Стекло 1	Стекло 2	Стекло 3	τ_e	ρ_e
	4СИ–12–4М1–12–4К	SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,11	0,32
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,22	0,37
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,45	0,44
		StopSol Classic Clear 4 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,32	0,38
		StopSol phoenix clear 4 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,43	0,41
	4СИ–12–4М1–12–4И	SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Float 4 мм	Optitherm s3	0,11	0,32
		SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,11	0,32
		SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,10	0,32
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Float 4 мм	Optitherm s3	0,21	0,37
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,21	0,37
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,19	0,37
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Float 4 мм	Optitherm s3	0,39	0,49
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,40	0,50
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,36	0,47
		StopSol Classic Clear 4 мм	Float 4 мм	Optitherm s3	0,26	0,43
		StopSol Classic Clear 4 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,27	0,44
		StopSol Classic Clear 4 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,25	0,41
		StopSol phoenix clear 4 мм	Float 4 мм	Optitherm s3	0,38	0,47
		StopSol phoenix clear 4 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,38	0,47

Продолжение таблицы Д.3

Изображение стеклопакета	Формула СП	Стекло 1	Стекло 2	Стекло 3	τ_e	ρ_e
	4СИ–12–4М1–12–4И	StopSol phoenix clear 4 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,35	0,44
	6СИ–12–4М1–12–4К	Салстек Комфорт 6 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,42	0,35
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,22	0,20
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Float 4 мм	K glass 4 мм	0,06	0,33
	6СИ–12–4М1–12–4И	Салстек Комфорт 6 мм	Float 4 мм	Optitherm s3	0,37	0,39
		Салстек Комфорт 6 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,38	0,39
		Салстек Комфорт 6 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,35	0,37
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Float 4 мм	Optitherm s3	0,20	0,20
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,21	0,20
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,19	0,20
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Float 4 мм	Optitherm s3	0,05	0,33
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Float 4 мм	Clima guard n 4 мм	0,05	0,33
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Float 4 мм	Clima guard titan 4 мм	0,05	0,33
	6СК–12–4М1–12–4К	Eclipse Advantage clear 6 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,39	0,42
	6СК–12–6М1–12–4И	Eclipse Advantage clear 6 мм	Float 6 мм	Optitherm s3	0,36	0,44
		Eclipse Advantage clear 6 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,36	0,44
		Eclipse Advantage clear 6 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,33	0,42
	4СИ–12–6М1–12–4К	Suncool 70/40 4 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,35	0,43
		Stop Ray Neo 4 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,32	0,38
		Clima Guard Solar 4 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,34	0,48

Продолжение таблицы Д.3

Изображение стеклопакета	Формула СП	Стекло 1	Стекло 2	Стекло 3	τ_e	ρ_e
	4СИ–12–6М1–12–4И	Suncool 70/40 4 мм	Float 6 мм	Optitherm s3	0,35	0,43
		Suncool 70/40 4 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,36	0,42
		Suncool 70/40 4 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,31	0,41
		Stop Ray Neo 4 мм	Float 6 мм	Optitherm s3	0,31	0,39
		Stop Ray Neo 4 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,31	0,38
		Stop Ray Neo 4 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,28	0,37
		Clima Guard Solar 4 мм	Float 6 мм	Optitherm s3	0,34	0,48
		Clima Guard Solar 4 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,34	0,48
		Clima Guard Solar 4 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,30	0,47
	4СИ–12–6М1–12–4К	SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,11	0,32
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,22	0,37
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,44	0,45
		StopSol Classic Clear 4 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,31	0,39
		StopSol phoenix clear 4 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,42	0,43
	4СИ–12–6М1–12–4И	SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Float 6 мм	Optitherm s3	0,11	0,32
		SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,11	0,32
		SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,10	0,32
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Float 6 мм	Optitherm s3	0,21	0,37
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,21	0,37
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,19	0,37
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Float 6 мм	Optitherm s3	0,38	0,50
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,39	0,51

Продолжение таблицы Д.3

Изображение стеклопакета	Формула СП	Стекло 1	Стекло 2	Стекло 3	τ_e	ρ_e
	4СИ–12–6М1–12–4И	StopSol Supersilver Clear 4 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,36	0,48
		StopSol Classic Clear 4 мм	Float 6 мм	Optitherm s3	0,26	0,44
		StopSol Classic Clear 4 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,27	0,45
		StopSol Classic Clear 4 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,24	0,42
		StopSol phoenix clear 4 мм	Float 6 мм	Optitherm s3	0,37	0,47
		StopSol phoenix clear 4 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,38	0,48
		StopSol phoenix clear 4 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,34	0,45
	6СИ–12–6М1–12–4К	Салстек Комфорт 6 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,41	0,36
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,22	0,20
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Float 6 мм	K glass 4 мм	0,06	0,33
	6СИ–12–6М1–12–4И	Салстек Комфорт 6 мм	Float 6 мм	Optitherm s3	0,37	0,40
		Салстек Комфорт 6 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,37	0,40
		Салстек Комфорт 6 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,34	0,37
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Float 6 мм	Optitherm s3	0,20	0,20
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,20	0,20
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,18	0,20
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Float 6 мм	Optitherm s3	0,05	0,33
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Float 6 мм	Clima guard n 4 мм	0,05	0,33
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Float 6 мм	Clima guard titan 4 мм	0,05	0,33

Продолжение таблицы Д.3

Изображение стеклопакета	Формула СП	Стекло 1	Стекло 2	Стекло 3	τ_e	ρ_e
	6Mf–12–4M1–12–4M1	Ae clear 6 мм	Float 4 мм	Float 4 мм	0,46	0,40
	4Mf–12–4M1–12–4M1	Suncool 70/40 4 мм	Float 4 мм	Float 4 мм	0,39	0,42
		Stop Ray Neo 4 мм	Float 4 мм	Float 4 мм	0,36	0,37
		Clima Guard Solar 4 мм	Float 4 мм	Float 4 мм	0,38	0,46
	4СИ–12–4M1–12–4M1	SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Float 4 мм	Float 4 мм	0,13	0,31
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Float 4 мм	Float 4 мм	0,24	0,37
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Float 4 мм	Float 4 мм	0,52	0,42
		StopSol Classic Clear 4 мм	Float 4 мм	Float 4 мм	0,38	0,37
		StopSol phoenix clear 4 мм	Float 4 мм	Float 4 мм	0,50	0,40
	6СИ–12–4M1–12–4M1	Салстек Комфорт 6 мм	Float 4 мм	Float 4 мм	0,50	0,33
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Float 4 мм	Float 4 мм	0,49	0,19
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Float 4 мм	Float 4 мм	0,26	0,33
	6СК–12–6M1–12–6M1	Eclipse Advantage clear 6 мм	Float 6 мм	Float 6 мм	0,43	0,41
	4Mf–12–6M1–12–6M1	Suncool 70/40 4 мм	Float 6 мм	Float 6 мм	0,38	0,42
		Stop Ray Neo 4 мм	Float 6 мм	Float 6 мм	0,34	0,38
		Clima Guard Solar 4 мм	Float 6 мм	Float 6 мм	0,37	0,47
	4СИ–12–6M1–12–6M1	SunGuard Solar Silver 20 4 мм	Float 6 мм	Float 6 мм	0,12	0,32
		SunGuard Solar 35/26 4 мм	Float 6 мм	Float 6 мм	0,23	0,37
		StopSol Supersilver Clear 4 мм	Float 6 мм	Float 6 мм	0,49	0,45
		StopSol Classic Clear 4 мм	Float 6 мм	Float 6 мм	0,35	0,39
		StopSol phoenix clear 4 мм	Float 6 мм	Float 6 мм	0,47	0,43
	6СИ–12–6M1–12–6M1	Салстек Комфорт 6 мм	Float 6 мм	Float 6 мм	0,46	0,36
		Салстек Зеленый 0,35 6 мм	Float 6 мм	Float 6 мм	0,24	0,20
		Салстек Серебристый 0,07 6 мм	Float 6 мм	Float 6 мм	0,06	0,33

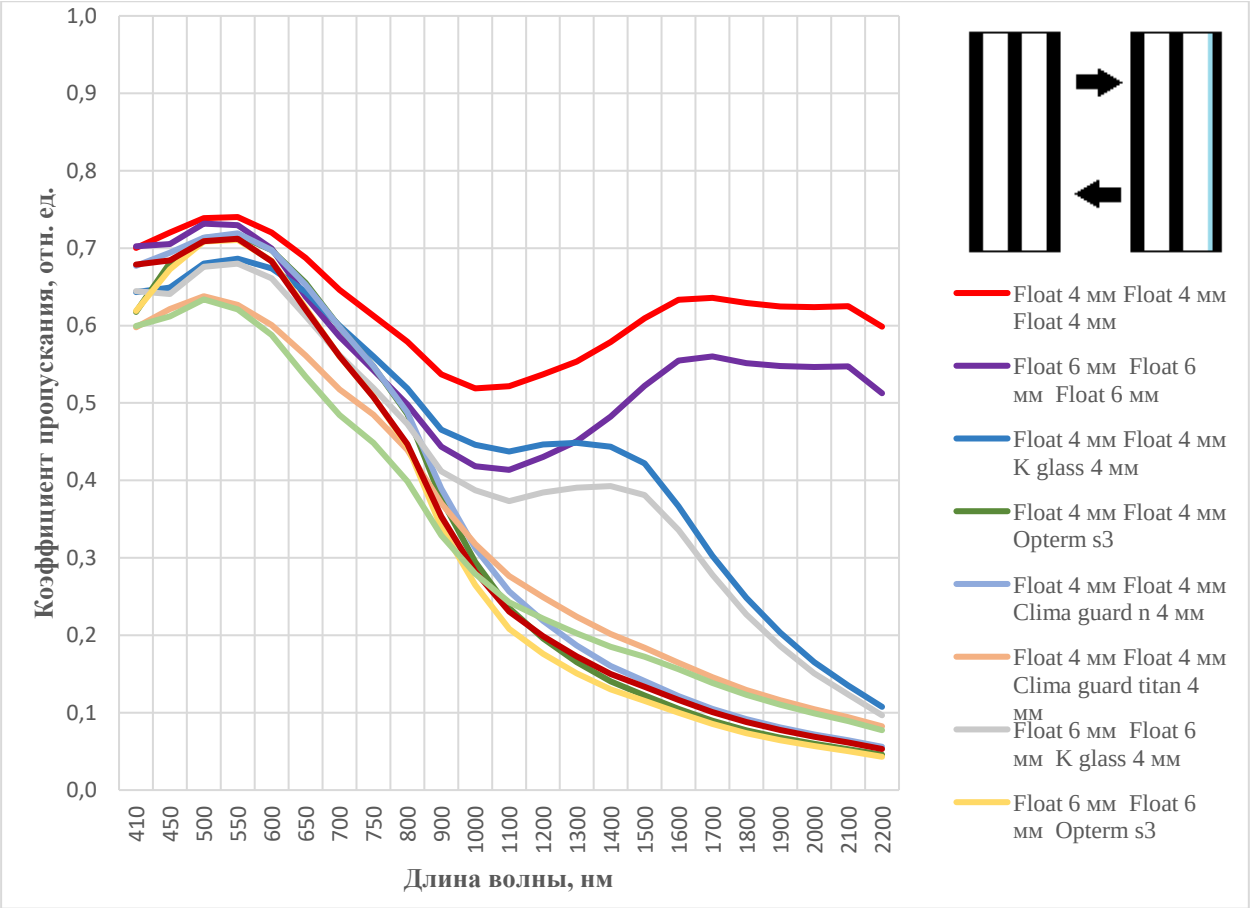


Рисунок Д.3 – Результаты расчетов спектрального пропускания солнечного излучения двухкамерными стеклопакетами (внутреннее стекло с низкоэмиссионным покрытием)

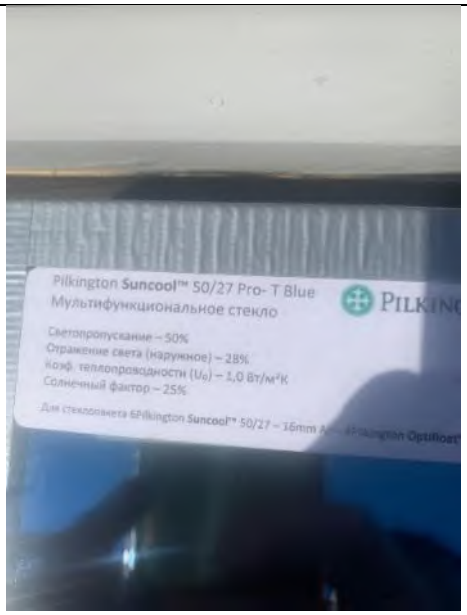
Д.4 Натурные измерения определения пропускания солнечной радиации остеклением под углом

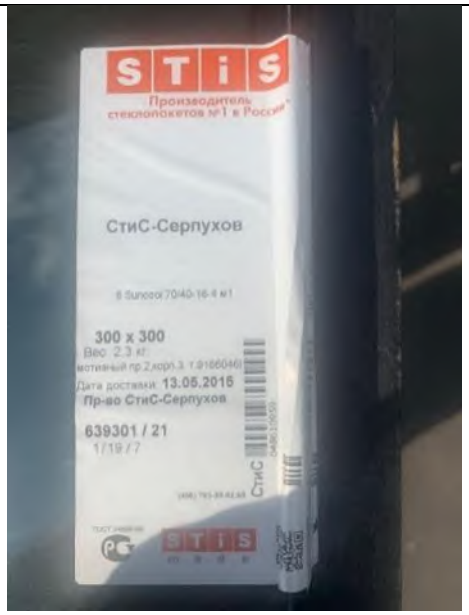
Фотография люксметра приведена на рисунке Д.5. Фотографии стеклопакетов приведены в таблице Д.4. Результаты измерений освещённости на за стеклопакетами и рядом с ними приведены в таблицах Д.5-Д.22.

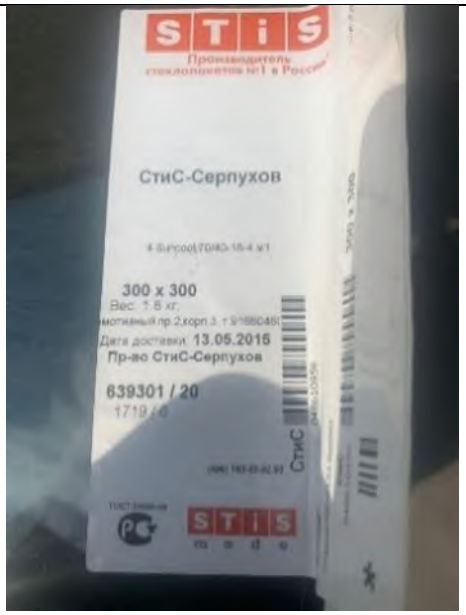


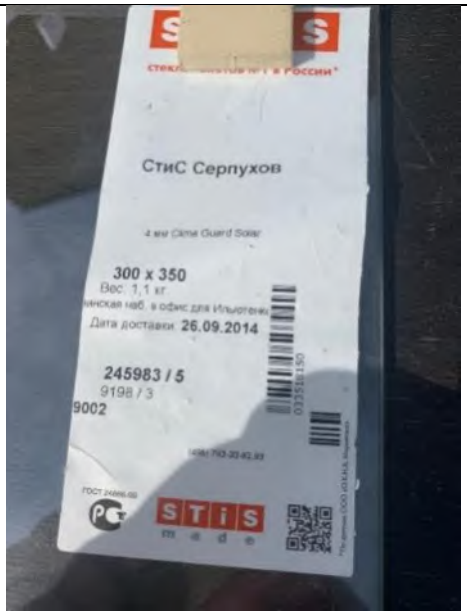
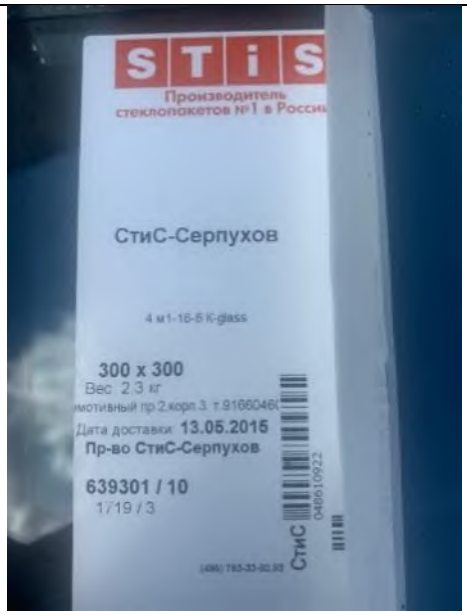
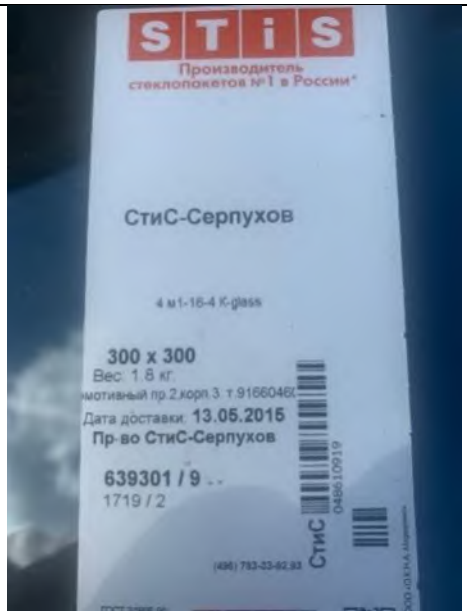
Рисунок Д.4 – Средство измерений: еЛайт

Таблица Д.4 – Фотографии образцов стеклопакетов

	
Фотография образца стеклопакета 6 Suncool 66/33-16-4 Optifloat Clear	Фотография образца стеклопакета 6 Pilkington Suncool 50/27-16-4 Pilkington Optitherm.

 Фотография образца стеклопакета 6 Pilkington Suncool 50/25-16-4 Pilkington Optitherm	 Фотография образца стеклопакета 6 Suncool 70/40-16-4 M1
 Фотография образца стеклопакета 4 Pilkington Suncool 70/40-16-4 Pilkington Optifloat Clear	 Фотография образца стеклопакета 6 Pilkington Suncool 70/40-16-6 M1

	
Фотография образца стеклопакета 6 Suncool 70/40-16-6 И	Фотография образца стеклопакета 4 Suncool 70/40-16-4 М1
	
Фотография образца стеклопакета 4 Suncool 70/40-16-4 М1	Фотография образца стеклопакета 4мм Suncool 70/40

	
Фотография образца стеклопакета 4мм Clima Guard Solar	Фотография образца стеклопакета 4мм Stopray Neo
	
Фотография образца стеклопакета 4M1-16-6 K glass	Фотография образца стеклопакета 4M1-16-4 K glass

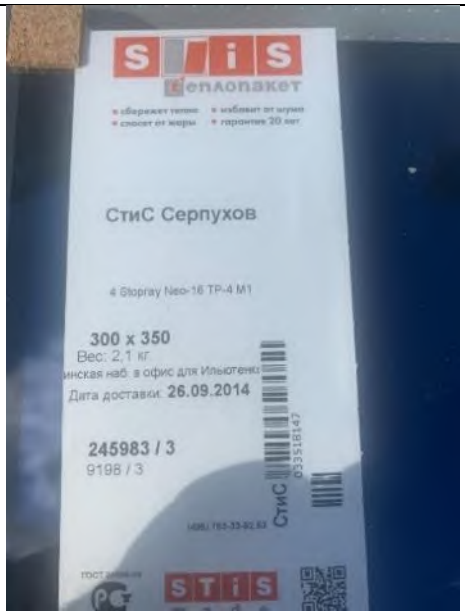
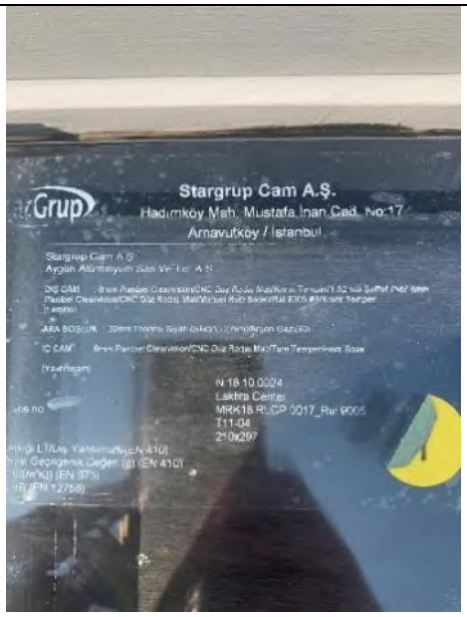
	
Фотография образца стеклопакета 4 Stopray Neo-16-4 M1	Фотография образца стеклопакета 8 Planibel Clearvision Rodaj Mat – 12 - 8 Planibel Clearvision Rodaj Mat
	
Фотография образца стеклопакета 8 Planibel Clearvision CNC Duz – 12 - 8 Planibel Clearvision CNC Duz	Фотография образца остекления 4М1

Таблица Д.5 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом 6 Suncool 66/33-16-4 Optifloat Clear

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
9,47	8935	33473	7,90	13130	42289	14,10	14430	46473
9,59	10031	35894	8,10	16906	51968	14,30	14750	45342
9,92	12400	42355	8,26	17406	53359	14,70	15118	46344
10,33	15398	49095	8,56	21716	64543	14,80	16639	49456
10,59	17210	53223	9,02	21756	62922	15,33	17406	50342
11,11	20046	60227	9,36	21982	64123	15,44	18622	54322
11,75	22849	66260	9,67	23042	66371	15,54	19560	56342
12,24	23871	68498	10,07	23523	67498	16,12	19980	57332
12,59	23737	68371	10,35	23608	68460	16,23	20119	58342
13,25	23354	68123	10,77	20711	62227	16,48	19782	59434
13,62	22793	65922	11,17	19797	61223	17,05	19606	60633
14,03	21043	62543	11,45	18534	59095			
14,46	19037	58359	11,90	14742	50355			
14,80	17556	53968	12,26	13664	48894			
15,34	14372	46289						

Таблица Д.6 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом 6 Pilkington Suncool 50/27-16-4 Pilkington Optitherm

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
9,47	9685	33473	7,90	11948	42289	14,10	13130	46473
9,59	10610	35894	8,10	16812	51968	14,30	14668	45342
9,92	13063	42355	8,26	17929	53359	14,70	15572	46344
10,33	16243	49095	8,56	22254	64543	14,80	17052	49456
10,59	18116	53223	9,02	21945	62922	15,33	17558	50342
11,11	20998	60227	9,36	22618	64123	15,44	19161	54322
11,75	23457	66260	9,67	23676	66371	15,54	20098	56342
12,24	24368	68498	10,07	24013	67498	16,12	20396	57332
12,59	24389	68371	10,35	24235	68460	16,23	20654	58342
13,25	24028	68123	10,77	21695	62227	16,48	20721	59434
13,62	22992	65922	11,17	20839	61223	17,05	20638	60633
14,03	21564	62543	11,45	19552	59095			
14,46	19609	58359	11,90	15531	50355			
14,80	17459	53968	12,26	14452	48894			
15,34	13078	46289						

Таблица Д.7 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
9,47	7805	33473	7,90	13341	42289	14,10	10836	46473
9,59	9352	35894	8,10	18132	51968	14,30	14304	45342
9,92	12015	42355	8,26	19314	53359	14,70	16170	46344
10,33	15455	49095	8,56	24118	64543	14,80	17901	49456
10,59	17489	53223	9,02	23646	62922	15,33	18811	50342
11,11	21169	60227	9,36	24172	64123	15,44	20414	54322
11,75	24334	66260	9,67	25019	66371	15,54	21239	56342
12,24	25587	68498	10,07	25214	67498	16,12	21612	57332
12,59	25773	68371	10,35	25142	68460	16,23	21793	58342
13,25	25680	68123	10,77	21872	62227	16,48	21827	59434
13,62	24773	65922	11,17	20117	61223	17,05	21312	60633
14,03	23370	62543	11,45	18603	59095			
14,46	21124	58359	11,90	14285	50355			
14,80	18830	53968	12,26	12739	48894			
15,34	14603	46289						

Таблица Д.8 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,74	5953	20579	8,30	54439	101580	12,68	11543	12582
9,19	6845	29794	8,41	54699	102118	12,98	10795	13520
9,66	7214	38150	8,63	54629	102707	13,16	4792	9075
10,14	14963	46520	9,24	52025	98341	13,80	11342	22321
10,63	18282	53481	9,57	48981	92397	13,85	11593	28334
11,29	21774	60321	9,93	45292	85809	14,00	13790	32464
11,87	23907	66115	10,13	42667	81611	14,03	13887	43971
12,19	25118	68270	10,60	37640	72520	15,16	39895	72570
12,50	25682	69362	10,95	34124	67975	15,27	42000	75866
12,91	25531	69070	11,75	20406	38890	15,37	42949	75215
13,45	25192	67123	12,17	13272	29534	15,38	28769	41352
13,91	24238	65221				15,72	46064	82238
14,42	21979	59921				15,87	48768	85673
14,81	20904	57595				16,06	48889	86267
15,15	18149	51587				16,23	50130	88566
15,49	14930	45649				16,39	52877	95142
						16,55	54417	98205
						16,70	54666	98080
						16,86	53044	94745
						16,96	43137	75743

Таблица Д.9 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,74	7254	20579	8,30	59909	101580	12,68	10772	12582
9,19	10390	29794	8,41	60189	102118	12,98	9890	13520
9,66	16390	38150	8,63	59982	102707	13,16	4469	9075
10,14	21171	46520	9,24	56389	98341	13,80	14697	22321
10,63	25209	53481	9,57	52076	92397	13,85	15717	28334
11,29	29979	60321	9,93	47317	85809	14,00	20158	32464
11,87	33884	66115	10,13	44180	81611	14,03	20818	43971
12,19	35392	68270	10,60	38086	72520	15,16	40159	72570
12,50	35494	69362	10,95	33935	67975	15,27	41953	75866
12,91	35034	69070	11,75	18432	38890	15,37	41974	75215
13,45	34489	67123	12,17	11836	29534	15,38	28325	41352
13,91	34114	65221				15,72	48077	82238
14,42	30973	59921				15,87	49999	85673
14,81	29355	57595				16,06	51194	86267
15,15	25701	51587				16,23	52919	88566
15,49	22715	45649				16,39	56631	95142
						16,55	58340	98205
						16,70	59431	98080
						16,86	57687	94745
						16,96	50340	75743

Таблица Д.10 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,74	7496	20579	8,30	39978	101580	12,68	8261	12582
9,19	8612	29794	8,41	40037	102118	12,98	7580	13520
9,66	14012	38150	8,63	40066	102707	13,16	3938	9075
10,14	21380	46520	9,24	38068	98341	13,80	8051	22321
10,63	26433	53481	9,57	35457	92397	13,85	8449	28334
11,29	31851	60321	9,93	32713	85809	14,00	13128	32464
11,87	35534	66115	10,13	30791	81611	14,03	13565	43971
12,19	36899	68270	10,60	26482	72520	15,16	26049	72570
12,50	37822	69362	10,95	22826	67975	15,27	27946	75866
12,91	38117	69070	11,75	14108	38890	15,37	28568	75215
13,45	37554	67123	12,17	9786	29534	15,38	21556	41352
13,91	36029	65221						
14,42	33391	59921						
14,81	31508	57595						
15,15	26799	51587						
15,49	22829	45649						

Таблица Д.11 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,55	7893	16009	7,98	18194	46518	14,24	20449	51121
8,67	8069	19783	8,18	22640	57165	14,44	20211	49876
9,04	8431	26548	8,34	23478	58695	14,85	20587	50978
9,52	12025	36322	8,65	28771	70998	14,95	21764	54402
10,24	16811	51559	9,11	27952	69214	15,48	22056	55376
11,18	26498	69196	9,45	28218	70535	15,59	23967	59754
11,58	25928	65496	9,76	29079	73009	15,70	24534	61976
11,98	27357	68206	10,17	29780	74248	16,28	24150	63065
12,50	27920	70097	10,45	29811	75306	16,39	20926	64176
12,53	28046	70104	10,88	26212	68450	16,64	21643	65377
12,91	28628	70888	11,28	21959	67345	17,22	21181	66696
13,63	28648	70694	11,56	21520	65004			
14,23	25838	64595	12,02	17591	55390			
15,01	20916	52812	12,39	21936	53783			
15,40	17916	45808						

Таблица Д.12 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,55	9209	16009	7,98	22654	46518	14,24	25010	51121
8,67	9543	19783	8,18	27967	57165	14,44	25766	49876
9,04	8958	26548	8,34	30321	58695	14,85	25675	50978
9,52	14204	36322	8,65	35758	70998	14,95	27225	54402
10,24	20984	51559	9,11	34638	69214	15,48	27327	55376
11,18	32224	69196	9,45	34808	70535	15,59	29330	59754
11,58	31747	65496	9,76	35836	73009	15,70	30683	61976
11,98	33768	68206	10,17	36759	74248	16,28	30569	63065
12,50	34407	70097	10,45	36502	75306	16,39	29886	64176
12,53	34595	70104	10,88	31876	68450	16,64	26608	65377
12,91	35475	70888	11,28	27409	67345	17,22	26081	66696
13,63	35605	70694	11,56	25419	65004			
14,23	33369	64595	12,02	18689	55390			
15,01	25838	52812	12,39	25943	53783			
15,40	22308	45808						

Таблица Д.13 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,55	10402	16009	7,98	26717	46518	14,24	30340	51121
8,67	10187	19783	8,18	32891	57165	14,44	29719	49876
9,04	9325	26548	8,34	34835	58695	14,85	30391	50978
9,52	16185	36322	8,65	42305	70998	14,95	32635	54402
10,24	25096	51559	9,11	41262	69214	15,48	32421	55376
11,18	39113	69196	9,45	42313	70535	15,59	35259	59754
11,58	38188	65496	9,76	42744	73009	15,70	36136	61976
11,98	40246	68206	10,17	43812	74248	16,28	35647	63065
12,50	41040	70097	10,45	43908	75306	16,39	31238	64176
12,53	42055	70104	10,88	38691	68450	16,64	29131	65377
12,91	42260	70888	11,28	32780	67345	17,22	23427	66696
13,63	42124	70694	11,56	28965	65004			
14,23	38336	64595	12,02	19455	55390			
15,01	30387	52812	12,39	27694	53783			
15,40	26309	45808						

Таблица Д.14 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,22	5495	7697	8,06	21731	47448	14,38	23881	52143
8,57	6267	9163	8,26	30464	58308	14,59	26580	50874
8,99	7652	18147	8,43	31906	59869	15,00	27711	51998
9,42	11034	28382	8,73	34102	72418	15,10	26131	55490
9,65	13056	32739	9,20	33697	70598	15,64	26960	56484
10,44	19595	45308	9,55	34056	71946	15,75	28851	60949
10,87	23130	51948	9,86	34623	74469	15,85	29391	63216
11,12	24959	55522	10,27	33844	75733	16,44	28747	64327
11,35	26242	57844	10,56	34943	76812	16,56	29779	65460
11,60	27607	60685	10,99	31675	69819	16,81	30253	66685
11,90	28996	64883	11,39	30879	68692	17,39	30582	68030
12,43	30026	64581	11,68	29522	66304			
12,83	30989	65466	12,14	24434	56498			
13,48	30824	64579	12,51	21877	54859			
14,12	28646	60831						
14,83	20501	38469						
15,20	18909	36192						
15,57	21251	46401						

Таблица Д.15 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,22	7132	7697	8,06	27882	47448	14,38	30839	52143
8,57	7484	9163	8,26	38304	58308	14,59	29815	50874
8,99	10107	18147	8,43	40599	59869	15,00	29331	51998
9,42	15611	28382	8,73	42583	72418	15,10	32008	55490
9,65	18169	32739	9,20	41838	70598	15,64	32665	56484
10,44	25927	45308	9,55	42550	71946	15,75	35092	60949
10,87	30096	51948	9,86	43642	74469	15,85	36625	63216
11,12	31967	55522	10,27	42719	75733	16,44	36810	64327
11,35	33451	57844	10,56	44308	76812	16,56	36328	65460
11,60	35005	60685	10,99	40377	69819	16,81	36679	66685
11,90	36599	64883	11,39	39550	68692	17,39	37889	68030
12,43	37848	64581	11,68	38414	66304			
12,83	38718	65466	12,14	32330	56498			
13,48	38271	64579	12,51	30445	54859			
14,12	35770	60831						
14,83	26087	38469						
15,20	23776	36192						
15,57	27267	46401						

Таблица Д.16 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,22	6130	7697	8,06	26099	47448	14,38	24745	52143
8,57	9091	9163	8,26	35333	58308	14,59	25178	50874
8,99	8981	18147	8,43	37253	59869	15,00	31510	51998
9,42	13469	28382	8,73	42191	72418	15,10	34528	55490
9,65	15882	32739	9,20	41593	70598	15,64	32908	56484
10,44	24493	45308	9,55	42368	71946	15,75	35908	60949
10,87	29157	51948	9,86	43520	74469	15,85	37227	63216
11,12	31552	55522	10,27	42494	75733	16,44	37593	64327
11,35	33193	57844	10,56	44009	76812	16,56	36730	65460
11,60	34769	60685	10,99	40064	69819	16,81	38207	66685
11,90	36406	64883	11,39	39037	68692	17,39	38978	68030
12,43	37742	64581	11,68	37215	66304	8		
12,83	38552	65466	12,14	30542	56498			
13,48	38046	64579	12,51	26613	54859			
14,12	35441	60831						
14,83	23937	38469						
15,20	21932	36192						
15,57	25523	46401						

Таблица Д.17 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,16	7176	10660	8,32	41489	94633	12,99	8324	11349
8,50	7431	11330	8,38	41672	95395	13,28	6094	8905
8,86	7322	16610	8,43	41821	95737	13,35	9884	13115
9,34	7614	28223	8,49	41788	95532	13,53	8497	18759
10,05	14249	41737	8,56	41912	96091	13,69	8744	24098
10,74	21985	55228	8,63	41476	94376	13,86	9382	32823
11,05	24390	60423	8,71	41062	93442	14,04	8887	16112
11,68	27162	65383	8,88	40801	92024	14,29	18804	47913
12,10	28892	69529	9,06	39648	89652	14,43	20763	50630
12,49	29633	73478	9,25	39853	90058	14,81	24263	43562
13,00	30808	75736	9,42	38086	86086	14,98	26254	61284
13,66	29482	73703	9,61	37440	83952	15,15	8993	14607
14,75	26670	64308	9,80	36048	80644	15,35	30181	68320
15,28	23845	59715	9,97	35012	78343	15,72	33777	76321
15,65	20020	51045	10,15	33262	74230	15,96	33402	73888
16,02	16711	37195	10,34	31594	70629	16,12	36434	82029
			10,50	28728	65105	16,40	32155	68891
			10,67	27382	64034	16,42	35758	79086
			10,85	12234	15321	16,62	37628	83597
			11,06	22145	53628	16,79	37819	83912
			11,22	15779	38592	16,96	38543	85156
			11,42	17243	44567			
			11,61	13775	38652			
			11,81	9068	34338			
			11,96	9511	31707			
			12,12	9452	26580			
			12,49	7830	10642			
			12,65	8385	11263			
			12,94	9399	13284			

Таблица Д.18 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом.

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,16	9587	10660	8,32	54229	94633	12,99	11694	11349
8,50	9877	11330	8,38	54372	95395	13,28	7711	8905
8,86	9689	16610	8,43	54645	95737	13,35	12382	13115
9,34	10696	28223	8,49	54601	95532	13,53	12306	18759
10,05	21122	41737	8,56	54870	96091	13,69	12767	24098
10,74	29431	55228	8,63	54236	94376	13,86	13946	32823
11,05	32690	60423	8,71	53660	93442	14,04	12100	16112
11,68	34737	65383	8,88	53060	92024	14,29	26879	47913
12,10	37278	69529	9,06	51741	89652	14,43	29528	50630
12,49	39439	73478	9,25	51678	90058	14,81	34231	43562
13,00	42011	75736	9,42	49616	86086	14,98	37292	61284
13,66	41368	73703	9,61	48443	83952	15,15	12116	14607
14,75	36223	64308	9,80	46694	80644	15,35	41930	68320
15,28	32617	59715	9,97	45345	78343	15,72	46341	76321
15,65	27560	51045	10,15	43055	74230	15,96	45504	73888
16,02	22385	37195	10,34	41298	70629	16,12	49270	82029
			10,50	37899	65105	16,40	42807	68891
			10,67	36684	64034	16,42	47696	79086
			10,85	13572	15321	16,62	49819	83597
			11,06	29905	53628	16,79	50089	83912
			11,22	21094	38592	16,96	50982	85156
			11,42	23507	44567			
			11,61	19783	38652			
			11,81	11789	34338			
			11,96	12359	31707			
			12,12	12368	26580			
			12,49	9607	10642			
			12,65	10758	11263			
			12,94	12383	13284			

Таблица Д.19 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,16	8853	10660	8,32	47625	94633	12,99	9391	11349
8,50	9629	11330	8,38	48139	95395	13,28	7412	8905
8,86	9253	16610	8,43	48486	95737	13,35	11059	13115
9,34	9136	28223	8,49	48399	95532	13,53	11312	18759
10,05	12687	41737	8,56	48694	96091	13,69	9588	24098
10,74	24444	55228	8,63	48121	94376	13,86	10379	32823
11,05	27933	60423	8,71	47730	93442	14,04	9197	16112
11,68	30404	65383	8,88	46922	92024	14,29	21726	47913
12,10	33177	69529	9,06	45639	89652	14,43	23768	50630
12,49	34357	73478	9,25	45597	90058	14,81	23619	43562
13,00	36139	75736	9,42	43610	86086	14,98	31040	61284
13,66	34953	73703	9,61	42507	83952	15,15	9354	14607
14,75	29372	64308	9,80	41068	80644	15,35	35205	68320
15,28	24961	59715	9,97	39648	78343	15,72	39740	76321
15,65	20366	51045	10,15	37316	74230	15,96	39096	73888
16,02	10240	37195	10,34	35226	70629	16,12	42605	82029
			10,50	32117	65105	16,40	38036	68891
			10,67	30789	64034	16,42	41709	79086
			10,85	8558	15321	16,62	43609	83597
			11,06	23991	53628	16,79	43898	83912
			11,22	17535	38592	16,96	44393	85156
			11,42	17990	44567			
			11,61	11019	38652			
			11,81	8743	34338			
			11,96	9448	31707			
			12,12	9270	26580			
			12,49	9013	10642			
			12,65	8945	11263			
			12,94	8421	13284			

Таблица Д.20 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,69	9222	15421	7,96	46816	100396	14,03	23473	58375
8,96	7753	21226	8,01	46988	100615	14,23	25456	61468
9,20	8418	25674	8,25	47552	101613	14,63	27245	66806
9,55	9389	34060	8,50	47128	100610	14,74	30577	75781
9,97	12755	42278	9,02	44936	96236	15,49	39263	87604
10,26	18079	43329	9,36	43177	92768	15,54	39253	87403
10,71	23384	53710	9,67	41344	88493	15,58	39303	87427
11,25	26381	58702	10,07	38506	83030	16,15	41741	89352
11,69	29021	64549	10,35	36881	80951	16,23	39134	87421
12,15	30166	66739	10,77	32588	72012	16,45	34467	85213
12,51	31121	68324	11,12	28256	68949	17,01	32562	71527
12,87	32109	69698	11,45	22935	59641	17,24	30739	74362
13,26	31731	69348	11,71	15886	55953	17,32	25737	61843
13,47	31317	68411	12,26	14107	35266	17,45	23642	57853
13,80	30469	65588						
14,24	25672	54729						
14,77	19329	38168						
15,18	21459	51922						
15,54	18530	46904						
15,78	16683	42635						
16,05	11114	38423						

Таблица Д.21 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,69	10122	15421	7,96	7,96	100396	14,03	48633	58375
8,96	11079	21226	8,01	8,01	100615	14,23	50783	61468
9,20	12212	25674	8,25	8,25	101613	14,63	54508	66806
9,55	14122	34060	8,50	8,50	100610	14,74	56844	75781
9,97	19879	42278	9,02	9,02	96236	15,49	54696	87604
10,26	25844	43329	9,36	9,36	92768	15,54	54688	87403
10,71	33728	53710	9,67	9,67	88493	15,58	54900	87427
11,25	38108	58702	10,07	10,07	83030	16,15	45036	89352
11,69	41583	64549	10,35	10,35	80951	16,23	40127	87421
12,15	42897	66739	10,77	10,77	72012	16,45	38456	85213
12,51	44351	68324	11,12	11,12	68949	17,01	35969	71527
12,87	45251	69698	11,45	11,45	59641	17,24	36858	74362
13,26	44752	69348	11,71	11,71	55953	17,32	33857	61843
13,47	44138	68411	12,26	12,26	35266	17,45	30747	57853
13,80	42712	65588						
14,24	36577	54729						
14,77	27629	38168						
15,18	32189	51922						
15,54	26035	46904						
15,78	23315	42635						
16,05	15893	38423						

Таблица Д.22 – Значения освещенности, лк, для южной, восточной и западной ориентации: открыто и за стеклопакетом

Время, ч	$E_{ю}^{зак}$, лк	$E_{ю}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{в}^{зак}$, лк	$E_{в}^{отк}$, лк	Время, ч	$E_{з}^{зак}$, лк	$E_{з}^{отк}$, лк
8,69	12230	15421	7,96	76184	100396	14,03	54383	58375
8,96	16578	21226	8,01	76109	100615	14,23	57811	61468
9,20	13362	25674	8,25	77689	101613	14,63	62655	66806
9,55	16872	34060	8,50	77110	100610	14,74	67346	75781
9,97	29403	42278	9,02	74593	96236	15,49	64943	87604
10,26	31008	43329	9,36	71844	92768	15,54	64954	87403
10,71	38405	53710	9,67	68836	88493	15,58	63990	87427
11,25	42523	58702	10,07	64002	83030	16,15	84261	89352
11,69	46824	64549	10,35	62030	80951	16,23	84627	87421
12,15	48964	66739	10,77	48229	72012	16,45	80372	85213
12,51	50947	68324	11,12	51147	68949	17,01	67273	71527
12,87	51816	69698	11,45	44041	59641	17,24	69321	74362
13,26	51776	69348	11,71	40582	55953	17,32	57262	61843
13,47	51155	68411	12,26	22924	35266	17,45	52952	57853
13,80	49560	65588						
14,24	42137	54729						
14,77	31355	38168						
15,18	39607	51922						
15,54	36443	46904						
15,78	33501	42635						
16,05	30216	38423						

Приложение Е – Дополнительные материалы к главе 5

Е.1. Пример расчёта критерия энергосбережения при увеличении площади светового проема

Для примера рассматриваются три варианта помещений: жилое, офисное, школьный класс. Выбор светильников для этих помещений для обеспечения совмещенного освещения проводится согласно СП 52.13330.2016 [169]. Размеры помещений и светопроёмов в них указаны в таблице Е.1. Ориентация светопроемов - южная.

В жилом помещении имеется искусственный источник света - люстра с 6 лампами накаливания мощностью по 60 Вт. В настоящее время лампы накаливания используются редко, так как не являются энергосберегающими. В данном расчете они взяты для примера, так как имеют большую мощность. Суммарная мощность ламп люстры составляет:

$$\sum_j P_{n_j}=5\cdot 60=300 \text{ Вт.}$$

В офисном помещении применены 6 светильников PRB/S 418 с четырьмя люминесцентными лампами общей мощностью 4х18 = 72 Вт, их суммарная мощность составляет:

$$\sum_j P_{n_j}= 6\cdot 72= 432 \text{ Вт.}$$

Для освещения школьного класса использованы 12 светильников со светодиодными модулями EL-ДВО-01-040-7464-40Н мощностью 40 Вт, их суммарная мощность составляет:

$$\sum_j P_{n_j}= 40\text{x}12=480 \text{ Вт.}$$

Выбор стеклопакетов в оконных блоках рассматриваемых помещений обусловлен нормированием КЕО [169] и приведенного сопротивления теплопередаче оконных блоков [168].

Сокращение времени использования искусственного освещения, Δz_D, определяется по методам главы 2 и [96] исходя из увеличения площади светопроёмов.

По данным интернет-источников [243] для 2023 года в г. Москве установлена следующая стоимость:

– тепловой энергии для потребителей, подключенных к тепловой сети до тепловых пунктов – 2,00 руб/кВт·ч;

– электрической энергии при однотарифном учёте для домов с газовыми плитами 6,43 руб/кВт·ч.

Таблица Е.1 – Параметры для вычисления выражений (5.20), (5.22) для жилого, офисного и школьного помещений

Параметр	Жилая комната	Офисное помещение	Школьный класс
Освещенность, лк	150	300	400
Размер помещения, ШхГхВ, м	3х6х3	6х6х3	6,4х8х3,6
Суммарная мощность ламп $\sum_j P_{n_j}$, Вт	300	432	480
Количество окон	1	2	3
Площадь одного окна S_1, м^2	4,2	3,78	2,61
Площадь одного окна S_2, м^2	5,3	5,04	2,88
ΔS, м^2	1,1	1,26	0,27
Формула стеклопакета	4М1-12-4М1-12-4И	4И-16Ar-4М1-16Ar -4И	4М1-12-4М1-12-4М1
g-фактор	0,63	0,5	0,68
$R_{\text{ок2}}$, (м^2·°С)/Вт	0,92	1,45	0,66
$\tau_{2(2)}$, д.ед.	0,78	0,67	0,75

Расчёт других параметров проводится согласно методикам и нормативным документам, что рассмотрено в автора работе [96].

Таблица Е.2 – Проверка условий (5.20), (5.22) выгоды увеличения площади светопроема по энергетическим, $V_{эн}$, и экономическим, $V_{эк}$, показателям для жилого, офисного и школьного помещений

Сутки месяца	Жилая комната		Офисное помещение		Школьный класс	
	$V_{эн}$	$V_{эк}$	$V_{эн}$	$V_{эк}$	$V_{эн}$	$V_{эк}$
Октябрь	2,97	1,19	2,93	1,08	2,87	1,33
Ноябрь	2,35	1,13	2,53	1,07	2,02	1,15
Декабрь	1,48	**0,84**	1,72	**0,85**	1,16	**0,78**
Январь	1,73	**0,91**	1,94	**0,88**	1,41	**0,88**
Февраль	2,39	1,12	2,56	1,06	2,07	1,16
Март	2,72	1,12	2,72	1,02	2,57	1,23
Апрель	2,09	**0,77**	1,96	**0,68**	2,17	**0,89**

Исходя из данных таблицы Е.2 по энергетическим показателям увеличение площади оконного блока для всех рассматриваемых помещений является выгодным ($V_{эн} > 1$). По экономическим показателям наблюдаются различия в расчётах по месяцам для рассматриваемых помещений. Так, во всех рассматриваемых помещениях увеличение площади светопроема является невыгодным для декабря, января и апреля. Кроме того, в офисном помещении увеличение площади светопроема является маловыгодным также и для октября, ноября, февраля, марта, так как значение критерия $V_{эк}$ близко к критическому значению (превышает его всего на 2-8%). Такой результат объясняется повышенными ценами на тепловую и электрическую энергию для заданного климата, а также тем, что для зимних месяцев наблюдается понижение интенсивности солнечной радиации и повышение трансмиссионных теплопотерь. Для апреля значение $V_{эк} < 1$ объяснятся особенностями поступления солнечной радиации – Солнце находится выше над горизонтом, и солнечная радиация на вертикальную поверхность поступает под большим углом, что в сочетании с еще не слишком увеличенной ее интенсивностью приводит к снижению ее поступления и, следовательно к уменьшению значения критерия $V_{эк}$. В марте, когда наблюдается

наибольшее поступление солнечной радиации на южный фасад в г.Москве, для офисного помещения оказывается маловыгодным увеличение площади оконных блоков вследствие использования двухкамерного стеклопакета с двумя низкоэмиссионными стеклами, которые существенно ограничивают поступление солнечной радиации (солнечный фактор низкий: g=0,5), что уменьшает значение критерия $V_{эк}$. Таким образом, показана возможность оценки по энергетическим и экономическим показателям целесообразности увеличения площади светового проема в проектируемом помещении с применением рассмотренных критериев.

Приложение Ж – Дополнительные материалы к главе 6

Ж.1 Порядок определения требуемых солнцезащитных свойств стеклопакетов в зависимости от региона

1. Расчеты проводят для июля на 12 часов дня, кроме оговоренных ниже случаев.

2. Выбирают типовое помещение здания:

- для жилых зданий и общежитий – комната с наибольшей площадью остекления, обращенная светопроемом на юг;

- для дошкольных образовательных организаций – игровая, обращенная большей площадью окон на юг или на запад (в этом случае расчет делается для 15 часов дня);

- для общеобразовательных организаций – один из кабинетов: математики, черчения, рисования, музыки, для изучения языков, обращенных светопроемом на юг;

- для образовательных (кроме общеобразовательных дошкольных образовательных организаций) и офисных зданий – помещение, наибольшее по площади остекления, обращенное светопроемом на юг или на запад (в этом случае расчет делается для 15 часов дня).

3. Определяют среднюю наружную температуру воздуха для июля на 12 ч (15 ч) дня $t_{\text{н}}^{12,15}$, °С, по таблице 2.6 справочника [140].

4. Если $t_{\text{н}}^{12,15}$>26 °С, то переходить к п.8 при $g_{\max}$=0,6.

5. Вычисляют тепловой поток прямой и рассеянной солнечной радиации, Вт·ч, через световой проем без влияния остекления по формуле:

$$q_{\text{общ}i} = q_{\text{св},i} \cdot a_{\text{п}}, \qquad \text{(Ж.1)}$$

где $q_{\text{ос},i}$ – тепловой поток от солнечной радиации, поступающий на световой проем, определяемый по формуле (Ж.2), Вт;

$a_{\text{п}}$ – показатель поглощения теплового потока солнечной радиации, определяемый по приложению П [167], как доля теплового потока, поглощаемого поверхностями помещения в течение часа за период облучения.

Тепловой поток от солнечной радиации, поступающий на световой проем, Вт, рассчитывают по формуле:

$$q_{\text{св},i} = (q_{\text{п}} K_1 + q_{\text{р}} K_2) \beta_{\text{СЗ}}^{\text{н}} A_{\text{ос}}, \quad \text{(Ж.2)}$$

где $q_{\text{п}}$, $q_{\text{р}}$ – поверхностная плотность теплового потока, Вт/м^2, от прямой ($q_{\text{п}}$) и рассеянной ($q_{\text{р}}$) солнечной радиации определяется по приложению П [167];

K_1, K_2 – коэффициенты облученности прямой и рассеянной солнечной радиацией соответственно, определяются по приложению П [167];

$\beta_{\text{СЗ}}^{\text{н}}$ – коэффициенты теплопропускания солнцезащитных устройств (шторы, карнизы, жалюзи и другие изделия заводского изготовления), принимаемые по таблице 9 СП 50.13330.2024 [168];

$A_{\text{ос}}$ – площадь светового проема (остекления), м^2.

6. Рассчитывают температурную добавку нагрева помещения от солнечной радиации без учёта остекления по формуле, $^{\text{o}}$C:

$$t_{\text{рад}} = \frac{3600 \cdot q_{\text{общ}i}}{V \cdot \rho \cdot C}, \quad \text{(Ж.3)}$$

где $q_{\text{общ}i}$ – определяется по формуле (Ж.1), Вт·ч;

V – объем помещения, м^3;

ρ – плотность воздуха, кг/м^3;

C – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·$^{\text{o}}$C);

7. Рассчитывают максимально возможное значение общего коэффициента пропускания солнечной радиации остеклением по формуле:

$$g_{\max} = k_{\text{румб}} \frac{26 - \cdot t_{\text{н}}^{12,15}}{t_{\text{рад}}}. \quad \text{(Ж.4)}$$

8. Подбирают стеклопакет со значением общего коэффициента пропускания солнечной радиации, удовлетворяющим неравенству:

$$g \leq g_{\max}, \quad \text{(Ж.5)}$$

9. Допускается отклонение g в бóльшую сторону не более чем на $0{,}1 g_{\max}$.

10. Минимальное значение $g_{\max}$=0,3.

11. Если $t_{\text{н}}^{12,15}$>26, то $g_{\max} = 0{,}5$.

Ж.2 Пример расчёта требуемых солнцезащитных свойств стеклопакетов в зависимости от региона

Согласно методике, выбирается помещение с ориентацией светопроема на юг, либо на запад. Проведем расчеты для южной и западной ориентации светопроёма с одним и тем же помещением, г. Москва. Размеры помещения: высота 3м, глубина 4м (отсчитывается от светопроёма до противоположной стены), ширина 3,5м (измеряется по стене со светопроёмом). Оконный блок имеет размеры 2,17х2,17м.

1. Определение температуры наружного воздуха.

Определяется по Научно-прикладному справочнику по климату СССР, вып.8 (для Москвы), стр. 86 [140].

Средние значения по таблице 2.6 [140, вып.8] $t_{\text{н}}^{12} = 20{,}6$ °С, $t_{\text{н}}^{15} = 21{,}4$ °С.

2. Определение $q_{\text{п}}$ и $q_{\text{р}}$ по таблице П.1 [167], Москва 56° с.ш., 12ч и на 15ч.

Для западной ориентации принимается симметричное время для восточной ориентации, так составлена таблица П.1 [167].

Таблица Ж.1 – Определение тепловых потоков, поступающих на светопроем в горизонтальной и вертикальной плоскостях, при южной и западной ориентации.

Ориентация	Южная на 12ч	Западная на 15ч
$q_{\text{п}}$, Вт/м²	398	504
$q_{\text{р}}$,Вт/м²	92	114

3. Вычисление K_1.

$K_1 = K_{\text{п,г}} \cdot K_{\text{п,в}}$

$$K_{\text{п,г}} = 1 - H^{-1}\left(\frac{l_1 \text{tg}(h_s)}{\cos(A_{s,\text{ос}})} - r\right); \quad \text{(Ж.6)}$$

$$K_{\text{п,в}} = 1 - B^{-1}\left(l_2 \left|\text{tg}(A_{s,\text{ос}})\right| - s\right), \quad \text{(Ж.7)}$$

где H=2,17м, B=2,17м, l_1=0,2м, l_2=0,2м, $h_s = 54^{\circ}$ и A_s =0° на 12ч, $h_s = 37^{\circ}$ и A_s =69° на 15ч.

$$A_{s,\text{ос}} = |A_s - A_{\text{ос}}|$$

$A_{\text{ос,север}} = 180^{\circ}$, $A_{\text{ос,восток}} = 90^{\circ}$, $A_{\text{ос,юг}} = 0^{\circ}$, $A_{\text{ос,запад}} = 90^{\circ}$

$A_{s,\text{ос,сев}} = 180^{\circ}$, $A_{s,\text{ос,вост}} = 90^{\circ}$, $A_{s,\text{ос,юг}} = 0^{\circ}$, $A_{s,\text{ос,зап}} = 90^{\circ}$

r = 0,1 м (принимается по конфигурации окна на рисунке П.1 [167]),

s = 0,1 м (принимается по конфигурации окна на рисунке П.1 [167]).

Таблица Ж.2 – Определение коэффициентов облученности прямой солнечной радиацией для учета площади светового проема, незатененной горизонтальной и вертикальной плоскостями в строительном исполнении.

Коэффициент	Южная ориен.	Западная ориен.
$K_{\text{п,г}}$	1,33 принимается 1	0,57
$K_{\text{п,в}}$	1,05 принимается 1	0,94
K_1	1	0,54

4. Вычисление K_2.

$$K_2 = K_{\text{г}} \cdot K_{\text{в}}$$

$$\beta = \text{arctg}\left[\frac{l_1}{H + r}\right] = 5{,}4^{\circ}, \quad \text{(Ж.8)}$$

$$\gamma = \text{arctg}[\frac{l_2}{B + s}] = 5{,}4^{\circ}, \quad \text{(Ж.9)}$$

Далее, по таблице П.3 [167]:

При $\beta = 0^{\circ}$ коэффициент $K_{\text{в}}$=1 и при $\beta = 10^{\circ}$ коэффициент $K_{\text{в}}$=0,92.

При γ=0° коэффициент $K_{\text{г}}$=1 и при γ=10° коэффициент $K_{\text{г}}$=0,84.

С использованием интерполяции при углах $\beta = 5{,}04^{\circ}$ и $\gamma = 5{,}04^{\circ}$.

Определяем $K_{\text{в}}$=0,92, $K_{\text{г}}$=0,96.

Тогда вычисляем K_2= 0,88.

5. Определение КЗ: КЗ=0,2.

6. Определение $A_{\text{ос}}$: $A_{\text{ос}} = 4{,}7\text{м}^2$.

7. Вычисление $q_{\text{св},i}$ по (Ж.2)

$q_{\text{св}-\text{ю},i}$ =450 Вт, $q_{\text{ос}-\text{з},i}$ =348 Вт

8. Вычисление $a_{\text{п}}$.

$$\sum Y = Y_1 A_1 + Y_2 A_2 + \cdots + Y_n A_n, \quad \text{(Ж.10)}$$

$$\Delta = 2{,}55(A_1 + A_2 + \cdots + A_n), \quad \text{(Ж.11)}$$

По таблице 4 СП 50.13300 $\alpha_{\text{в}}$= 8,7 Вт/м^{2}°С. Расчетная теплопроводность материала *i*-го слоя конструкции λ, Вт/м°С и расчетное теплоусвоение материала слоев *s*, Вт/м°С -по таблице М.1 СП 50.13330.2024, условия Б. Теплоусвоение наружной поверхности слоя вычисляется по формулам (6.7)-(6.8) СП 50.13330 [168], *Y*, Вт/(м^{2}·°С). Тепловая инерция *D*= *R*·*s*. Номер материала определяется по таблице М.1 СП 50.13330 [168]. Определение теплоусвоения межкомнатных перегородок, стены из кирпичной кладки, пола и потолка приведены в таблицах Ж.3-Ж.6.

Площадь трех перегородок из гипса: 12 м^{2}, 12м^{2}, 10,5м^{2}. Суммарная площадь перегородок из гипса: 34,5 м^{2}.

Таблица Ж.3 – Определение теплоусвоения межкомнатных перегородок

Материал	Номер	δ,м	λ, Вт/м°С	*R*, м^{2}°С/ Вт	*s*, Вт/м°С	*D*	$Y_{\text{стены}}$ Вт/(м^{2}·°С)
Гипс	53	0,2	0,36	0,56	5,48	3,04	5,48

$D_{\text{гипса}} \geq 1$, тогда $Y_{\text{гипс}} = s_{\text{гипс}}$.

Стена из кирпичной кладки (два кирпича) и штукатурный слой. Площадь стены без светопроема минус площадь светопроема: 10,5-4,7=5,8 м^{2}.

Таблица Ж.4 – Определение теплоусвоения стены из кирпичной кладки

Материал	Номер	δ,м	λ, Вт/м°С	*R*, м^{2}°С/Вт	*s*, Вт/м°С	*D*	$Y_{\text{стены}}$ Вт/(м^{2}·°С)
Кирпич	197	0,51	0,81	0,63	10,12	6,4	10,12
Штукатурка	218	0,02	0,93	0,02	11,09	0,22	9,51
Сумма							19,63

$D_{\text{кирпич}} \geq 1$, тогда $Y_{\text{кирпич}} = s_{\text{кирпич.}}$

Пол: площадь 14 м^{2}.

Таблица Ж.5 – Определение теплоусвоения пола

Материал	Номер	δ,м	λ, Вт/м°С	*R*, м²°С/Вт	*s*, Вт/м²°С	*D*	*Y* Вт/(м²·°С)
Фанера	196	0,012	0,18	0,067	4,73	0,315	6,44
Линолеум	240	0,002	0,38	0,005	8,56	0,043	8,69
Сумма							15,13

$D_{линолеума}<1$, тогда $Y_{пола}$ считается по формулам (6.7)-(6.8) СП 50.13330.2024 [168].

Потолок: площадь 14 м².

Таблица Ж.6 – Определение теплоусвоения потолка

Материал	Номер	δ,м	λ, Вт/м°С	*R*, м²°С/Вт	*s*, Вт/м°С	*D*	*Y* Вт/(м²·°С)
Железобетон	216	0,12	2,04	0,059	18,95	1,11	18,95

$D_{железобетона}\geq 1$, тогда $Y_{железобетона} = s_{железобетона}$.

Показатель суммарного усвоения теплоты ограждениями помещения по формуле (П.13) [168] (перегородки из гипса, стена из кирпича и штукатурки, потолок, пол):

$\sum Y = Y_1A_1 + Y_2A_2 + \cdots + Y_nA_n = 34{,}5 \cdot 5{,}48 + 5{,}8 \cdot 19{,}63 + 14 \cdot 15{,}13 + 14 \cdot 18{,}95 = 780$ Вт/°С.

$\Delta = 2{,}55(34{,}5 + 5{,}8 + 14 + 14) = 174$м².

Показатель: $\sum Y/\Delta = 4$ Вт/м² °С.

Таблица Ж.7 – Определение продолжительности облучения светопроема

Показатель/ориентация	Ю	З
Начало прямой радиации	7ч утра, т.е. до 12ч 5 часов Z+5	12ч дня, т.е. до 16ч 4 часа (интервал с 15 до 16ч) $\Delta Z_ч = 4$ч)
Продолжительность $\Delta Z_ч$, ч	5	4
$a_п$, доля в час	0,21	0,20

9. Вычисление $q_{\text{общ}i}$ по формуле (Ж.1):

$$q_{\text{общ}i-\text{ю}} = 94{,}6 \text{ Вт·ч}, \; q_{\text{общ}i-\text{з}} = 69{,}7 \text{ Вт·ч}.$$

10. Вычисление $t_{\text{рад}}$ по формуле (Ж.3).

$V = 3{,}5 \cdot 3 \cdot 4 = 42$ м^3, ρ=1,2255 кг/м^3, C=1005 Дж/(м^3·°С).

$$t_{\text{рад}-\text{ю}} = 6{,}58 \text{ °C}, \; t_{\text{рад}-\text{з}} = 4{,}85 \text{ °C}.$$

11. Максимальный g- фактор по формуле (Ж.4).

Для южной ориентации: $g_{\text{ю}-\max} = \frac{26 - 20{,}6 \cdot}{6{,}58} = 0{,}82$.

Для западной ориентации: $g_{\text{з}-\max} = \frac{26 - 21{,}4 \cdot}{7{,}91} = 0{,}95$.

12. Для стеклопакета 4С-16-4М1-16-4М1

$$k_{\text{румб}-\text{юж}} = 0{,}78,$$

$$k_{\text{румб}-\text{зап}} = 0{,}82.$$

13. Условие на выбор остекления (Ж.5).

Стеклопакет, устанавливаемый в рассматриваемом помещении, должен иметь следующий общий коэффициент пропускания солнечной радиации:

$$g_{\text{юж}} \leq 0{,}64$$

$$g_{\text{зап}} \leq 0{,}78$$

Таким образом, представлен пример расчёта по методике п. 11 СП 370.1325800.2024 [167]. Получено условие на подбор остекления с солнцезащитными свойствами, согласно которому общий коэффициент пропускания солнечной радиации должен удовлетворять условию п.13.

Ж.3 Расчет показателя энергетической оценки энергосбережения при замене остекления на низкоэмиссионное

С целью оценки эффективности замены стеклопакетов на энергосберегающие рассматривается односекционное здание, находящееся в г. Москве, ГСОП=4551 ºС·сут/год. Фасады рассматриваемого здания ориентированы на юг, запад, север и восток. Расчётная величина τ_2 вычислена согласно формуле (4.36) и составляет $\tau_2 = 0{,}62$ отн.ед., площадь окна составляет A=2 м^2. Предполагается, что на каждом фасаде установлены одинаковые по теплотехническим характеристикам и конфигурации оконные блоки в количестве по 100 шт.

В таблице Ж.8 представлены значения солнечного фактора, g, и коэффициента теплопередачи по центру для стеклопакетов, U_0, без энергосберегающих покрытий и с ними, принятые в расчётах и определённые по данным производителя.

Таблица Ж.8 – Характеристики стеклопакетов, используемые для расчётов

Формула стеклопакета	g, отн.ед	U_0, Вт/м$^{2\cdot0}$С
4М$_1$-16Ar-4М$_1$-16Ar- 4М$_1$	0,68	1,7
4И-16Ar-4М$_1$-16Ar-4И	0,63	0,7

По результатам расчётов приведенные сопротивления теплопередаче данных окон при установке стеклопакетов со стеклами без покрытий и с энергосберегающими покрытиями составляют $R_{\text{прив}}$ = 0,64 и 1,1 м$^{2\cdot0}$С/Вт, соответственно. При вычислении приведенного сопротивления теплопередаче оконных блоков было взято сопротивление теплопередаче переплетов по данным производителя, равное 0,78 м$^{2\cdot0}$С/Вт.

При вычислении теплопоступлений и теплопотерь для рассматриваемой секции здания были получены следующие значения, представленные в таблице Ж.9 для г. Москвы.

Таблица Ж.9 – Теплопоступления и теплопотери за отопительный период через оконные блоки для рассматриваемой секции здания, расположенного в г. Москве

Характеристики стёкол в стеклопакете	Теплопоступления, МДж/год (индекс “рад”)	Теплопотери, МДж/год (индекс “тр”)	Разница, МДж/год
без покрытий (индекс “бп”)	295000	478000	183000
с покрытиями (индекс “эп”)	274000	280000	6000

При вычислении по формуле (6.40) с использованием данных таблицы Ж.9 получено, что при замене стеклопакетов снижение теплопотерь при снижении теплопоступлений от исходных значений составляет:

$$E_Q = \frac{(Q_{\text{тр}}^{\text{бп}} - Q_{\text{рад}}^{\text{бп}}) - (Q_{\text{тр}}^{\text{эп}} - Q_{\text{рад}}^{\text{эп}})}{Q_{\text{тр}}^{\text{бп}} - Q_{\text{рад}}^{\text{бп}}} \cdot 100\% = \frac{183000 - 6000}{183000} \cdot 100\% = 97\%$$

Как можно вычислить из данных таблицы 2, оценка энергосберегающего эффекта без учёта сокращения теплопоступлений составляет:

$$\frac{Q_{\text{тр}}^{\text{бп}} - Q_{\text{тр}}^{\text{эп}}}{Q_{\text{тр}}^{\text{бп}}} \cdot 100\% = \frac{478000 - 280000}{478000} \cdot 100\% = 41\%.$$

Т.е. выгода от замены стеклопакетов на энергосберегающие с учётом теплопоступлений от солнечной радиации оказалась выше, чем без их учёта. Следовательно, применение таких стекол в данном случае почти полностью исключает теплопотери через окна в здании.

Ж.4 Расчет показателя экономической оценки энергосбережения при замене остекления на низкоэмиссионное

В настоящем разделе проводится экономическая оценка эффективности применения энергосберегающего остекления. Исходные данные для расчёта (на 2021 год):

1. Ставка рефинансирования, *p*, (она же ключевая ставка) ЦБ РФ, на 2021 год составляла 10,9% годовых, что соответствует 0,109 д. ед.

2. Стоимость на тепловой энергии, ГСОП и поступающая солнечная радиация представлены в таблице Ж.10.

Таблица Ж.10 – Стоимость на тепловой энергии, ГСОП и поступающая солнечная радиация

Город	$C_т$	ГСОП	$I^{вер}$, МДж/м^2·год			
	руб/кВт ч	^{0}С·сут/год	С	В	Ю	З
Москва	2,10	4551	587	840	1280	847
Краснодар	1,76	2537	359	529	984	562
Благовещенск	2,63	6447	1726	953	3293	1757
Красноярск	2,83	6221	747	1024	1600	1026

3. Единовременные затраты:

Вариант 1:

Переплеты деревянные, стоимость – 4396 р /м^2.

Стеклопакет 4М1-10-4М1-10-4М1, стоимость - 5690 руб/м^2.

Вариант 2:

Переплеты ПВХ, стоимость – 6520 р/м^2.

Стеклопакет 4М1-10-4М1-10-4И, стоимость - 6047 руб/м^2.

4. Коэффициент $\tau_2 = 0,57$ для обоих вариантов.

5. Приведенное сопротивление теплопередаче по [168]:

$$R_{ок}^{БП} = 0{,}55 \text{ м}^{2\cdot0}\text{С/Вт}, R_{ок}^{ЭП} = 0{,}9 \text{ м}^{2\cdot0}\text{С/Вт}.$$

Проведение расчётов.

1. Определяем единовременные затраты:

$$K^{БП}=(4396+5690) = 10086 \text{ руб/м}^2,$$

$$K^{ЭП}= (6520+6047) = 12567 \text{ руб/м}^2,$$

$$\Delta K = K^{ЭП} - K^{БП} = 2481 \text{ руб/м}^2.$$

2. Определяем ΔQтр, ΔQрад и ΔЭ, см. таблицы Ж.11-Ж.13.
3. Определяем $E_{эк}$.
4. Проверяем условие окупаемости: $E_{эк} < 1/p$, а также определяем p* - процентную ставку, при которой условие окупаемости соблюдалось бы. В таблицах Ж.11-Ж.13 приведены процентные результаты вычислений для различных ориентации светопроёмов.

Таблица Ж.11 – Проверка условия окупаемости для южной ориентации светопроемов

Юг	ΔQтр, кВт·ч/ м²год	ΔQрад, кВт·ч/ м²год	$e_{эн}$, кВт·ч/ м²год	ΔЭ, руб/ м²год	$E_{эк}$	$1/p$	p*=1/$E_{эк}$
Москва	77	21	56	119,13	20,83	9,17	0,048
Краснодар	43	16	27	48,03	51,65	9,17	0,019
Благовещенск	109	53	56	148,99	16,65	9,17	0,060
Красноярск	106	26	80	226,24	10,97	9,17	0,091

Таблица Ж.12 – Проверка условия окупаемости для северной ориентации светопроемов

Север	ΔQтр, кВт·ч/ м²год	ΔQрад, кВт·ч/ м²год	$e_{эн}$, кВт·ч/ м²год	ΔЭ, руб/ м²год	$E_{эк}$	$1/p$	p*=1/$E_{эк}$
Москва	77	9	68	142,44	17,42	9,17	0,057
Краснодар	43	6	37	65,65	37,79	9,17	0,026
Благовещенск	109	15	94	247,58	10,02	9,17	0,099
Красноярск	106	12	94	264,90	9,37	9,17	0,106

Таблица Ж.13 – Проверка условия окупаемости для восточной ориентации светопроемов

Восток	ΔQтр, кВт·ч/ м^{2}год	ΔQрад, кВт·ч/ м^{2}год	$e_{эн}$, кВт·ч/ м^{2}год	ΔЭ, руб/ м^{2}год	$E_{эк}$	$1/p$	p*=1/$E_{эк}$
Москва	77	13	64	133,93	18,52	9,17	0,053
Краснодар	43	8	35	60,86	40,77	9,17	0,024
Благовещенск	109	28	81	213,71	11,61	9,17	0,086
Красноярск	106	16	90	252,35	9,83	9,17	0,102

Как видно из таблиц Ж.11-Ж.13 условие окупаемости не выполняется, так как слишком большая ставка рефинансирования. Однако есть города, для которых условие окупаемости не выполняется на грани, т.е. близко к выполнению. Например, г. Красноярск, в котором длительный отопительный период, следовательно большие теплопотери, а также невысокие, сравнимые с Москвой, теплопоступления от солнечной радиации за счет малого количества ясных дней за отопительный период. Несмотря на самую высокую стоимость тепловой энергии, в г. Красноярске мероприятия по установке энергосберегающих оконных блоков, могут быть выгодными при небольшом (относительно 2021 г.) снижения ставки рефинансирования. Для других городов ставка рефинансирования должна быть снижена значительно для выполнения экономического условия окупаемости энергосберегающих мероприятий.

Ж.5 Расчет критерия подбора остекления по светотехническим и теплофизическим параметрам и критерия подбора светопрозрачных ограждающих конструкций для всего здания

Для проведения расчётов рассматривается односекционное здание, предположительно расположенное в г. Москве ГСОП=4551 °С·сут/год, в г. Краснодаре ГСОП=2537 °С·сут/год и в г. Благовещенске ГСОП=6447 °С·сут/год, при условии отопления жилого дома со среднесуточной температурой наружного воздуха, равной и ниже 8 °С. Фасады здания ориентированы по четырём основным румбам. Оконные блоки имеют одинаковые теплотехнические характеристики и конфигурацию, их количество на каждом фасаде 100 шт. Значение коэффициентов, учитывающих затенение светового проема непрозрачными элементами заполнения, составляет τ_2=0,62, площадь окна составляет A=2 м^2. Схема оконного блока приведена на рисунке Д.4. Характеристики стеклопакетов приведены в таблице Ж.14.

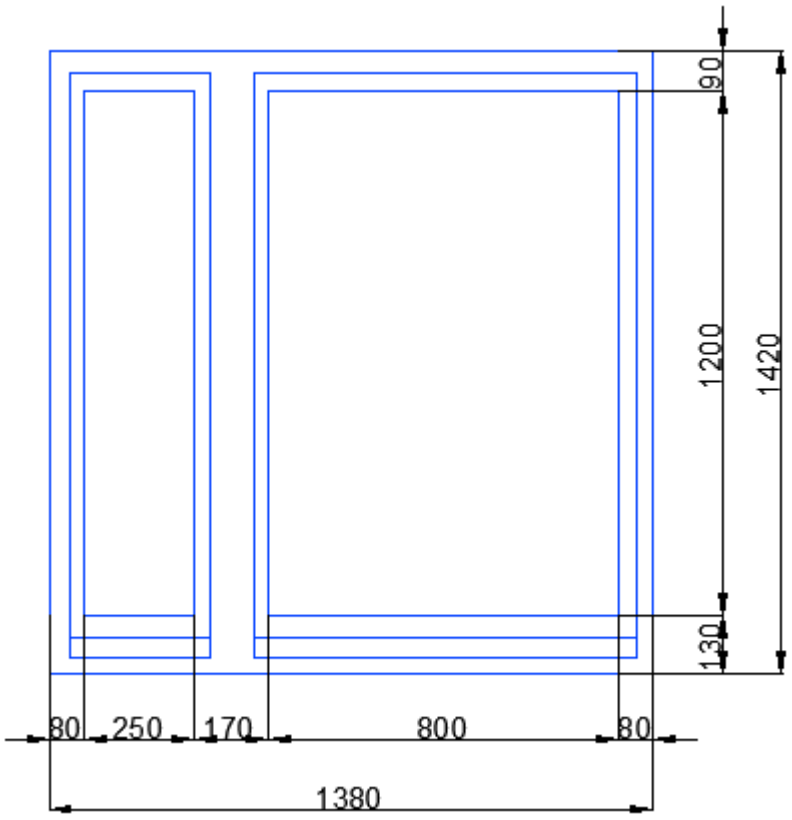


Рисунок Д.4 – Оконный блок рассматриваемого здания

Таблица Ж.14 – Характеристики стеклопакетов

№	Формула стеклопакета	τ_1, отн.ед.	g, отн.ед	U_0, Вт/м^2 ^{o}C	$R_{ок}$, м^2 ^{o}C/Вт
1	4М1-16Ar-4М1-16Ar-4М1	0,74	0,68	1,7	0,64
2	4И-16Ar-4М1-16Ar-И4	0,71	0,63	0,6	1,19
3	4СИ -16Ar-4М1	0,67	0,45	1,0	0,91

По результатам расчёта согласно методике СП 50.13330.2024 [168] значение приведенного сопротивления теплопередаче оконного блока составило $R_{пр}$ = 0,64 (стеклопакет №1) и 1,19 (стеклопакет №2); 0,91 (стеклопакет №3) м^2·^{o}C/Вт, соответственно, при установке стеклопакетов без покрытий и с покрытиями; сопротивление теплопередаче переплетов по данным производителя принято равным 0,78 м^2·^{o}C/Вт (Veka Softline), см. таблицу Ж.14.

Результаты расчёта критерия подбора остекления по светотехническим и теплофизическим параметрам представлены в таблице Ж.15, а критерия подбора светопрозрачных ограждающих конструкций для всего здания – в таблице Ж.16.

Таблица Ж.15 – Расчет критерия подбора остекления по светотехническим и теплофизическим параметрам

№	Формула стеклопакета	$P_{бп,эп}$, отн.ед	P
1	4М1-16Ar-4М1-16Ar-4М1	0,15	-
2	4И-16Ar-4М1-16Ar-И4	0,37	2,5
3	4СИ -16Ar-4М1	0,22	1,5

Таблица Ж.16 – Расчет критерия подбора светопрозрачных ограждающих конструкций для всего здания

Значения	Замена стеклопакета „бп“ на „эп“	М
г. Москва	Стеклопакет 1(„бп“)->2(„эп“)	9,4
	Стеклопакет 1(„бп“)->3(„эп“)	**1,4**
г. Краснодар	Стеклопакет 1(„бп“)->2(„эп“)	7,3
	Стеклопакет 1(„бп“)->3(„эп“)	**1,2**
г. Благовещенск	Стеклопакет 1(„бп“)->2(„эп“)	6,6
	Стеклопакет 1(„бп“)->3(„эп“)	**0,9**

Исходя из одновременного выполнения условий $P_0 \geq 1$ и $M > 1$, составленных на основании оптимального соотношения светотехнических, теплофизических характеристик и характеристик климата, стеклопакет №3 не подходит для Благовещенска ($M = 0{,}9$), а также пограничено подходит для Краснодара ($M = 1{,}2$) и Москвы ($M = 1{,}4$) в сравнении со стеклопакетом №2.

Таким образом, на рассматриваемом примере показан подбор энергосберегающего остекления в заданном климате на основе разработанных критериев.