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

На правах рукописи



КОРКИНА ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ ОКОННЫХ БЛОКОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ

Специальность
05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
ЗЕМЦОВ ВИКТОР АНДРЕЕВИЧ



Москва – 2015

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 6
ГЛАВА 1 ИССЛЕДОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЙ. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА 14
1.1 Краткая история развития исследований естественного освещения зданий 14
1.2 Значение естественного освещения помещений в современных зданиях и его воздействие на здоровье человека 16
1.3 Методы моделирования и расчета естественного освещения помещений 22
1.4 Исследования светопропускания светопрозрачных конструкций 29
1.4.1 Исследования светопропускания стекол 30
1.4.2 Исследования потерь света в переплетах светопроема 36
1.5 Выводы по главе 1 39
ГЛАВА 2 РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ ОКОННЫХ БЛОКОВ 40
2.1 Экспериментальные исследования светопропускания стекол, применяемых в современных оконных блоках 40
2.1.1 Определение светопропускания стекол без низкоэмиссионных покрытий 42
2.1.2 Определение светопропускания стекол с низкоэмиссионными покрытиями 44
2.1.3 Определение светопропускания образцов стеклопакетов со стеклами, имеющими низкоэмиссионные покрытия 46
2.1.4 Анализ влияния типа покрытия на спектральное пропускание электромагнитного излучения стеклопакетами 47
2.1.5 Анализ светопропускания низкоэмиссионных покрытий 49
2.1.6 Анализ спектральных коэффициентов светопропускания стёкол, входящих в состав стеклопакета 51

2.2 Определение светотехнических характеристик остекления с низкоэмиссионными покрытиями по программам и каталогу продуктов завода-изготовителя 53
2.2.1 Исследование влияния количества стекол с покрытиями в остеклении на светотехнические характеристики 53
2.2.2 Анализ светотехнических и теплотехнических характеристик современных стеклопакетов со стеклами с низкоэмиссионными покрытиями с различными комбинациями и типами стекол 57
2.3 Расчет коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконных блоков 60
2.4 Расчетно-экспериментальный метод определения светопропускания оконных блоков 65
2.5 Выводы по главе 2 66
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ ОКОННЫХ БЛОКОВ 69
3.1 Суть метода и основные принципы работы установки для исследования светопропускания заполнений светопроемов в натурных условиях 69
3.2 Теоретическое обоснование метода исследования светопропускания заполнений светопроемов 70
3.3 Конструкция установки для исследования светопропускания заполнений светопроемов в натурных условиях 72
3.4 Методика исследования светопропускания заполнений светопроемов в натурных условиях 74
3.4.1 Подготовительные работы 74
3.4.2 Порядок проведения измерений 76
3.5 Натурные исследования светопропускания заполнений светопроемов 78

3.5.1 Описание исследуемых заполнений светопроемов и условий проведения измерений 78
3.5.2 Результаты натурных исследований светопропускания заполнений светопроемов 82
3.5.3 Оценка влияния удаленности от окна точек измерения 84
3.6 Сравнение результатов натурных исследований с другими методами 91
3.6.1 Сравнение значений общего коэффициента светопропускания по данным СП 23-102-2003 «Естественное освещение жилых и общественных зданий» со значениями, полученными при натурных измерениях 91
3.6.2 Сравнение значений общего коэффициента светопропускания при определении расчетно-экспериментальным методом со значениями, полученными при натурных измерениях 92
3.7 Достоинства и недостатки метода натурного экспериментального исследования светопропускания заполнений светопроемов 94
3.8 Выводы по главе 3 95
ГЛАВА 4 УЧЕТ СВЕТОПРОПУСКАЮЩИХ СВОЙСТВ ОКОННЫХ БЛОКОВ ДЛЯ КОМФОРТНЫХ РЕШЕНИЙ ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ 97
4.1 Метод комплексного сравнения оконных блоков 97
4.1.1 Принцип сравнения оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам 97
4.1.2 Соотношение, полученное из равенства освещенностей 98
4.1.3 Соотношение, полученное из равенства трансмиссионных теплопотерь 100
4.1.4 Критерий равноэффективности оконных блоков 101
4.1.5 Определение теплотехнических параметров, входящих в критерий равноэффективности оконных блоков 102
4.1.6 Сравнение современных оконных блоков по критерию равноэффективности 103

4.2 Метод оценки пригодности оконных блоков для замены в существующих зданиях в застройке с учетом их светопропускающих свойств 108
4.2.1 Расчеты КЕО для контрольного помещения здания 114
4.2.2 Анализ влияния толщины стены на расчетное значение КЕО 115
4.2.3 Анализ влияния расстояния до противостоящего здания на расчетные значения КЕО 116
4.2.4 Определение минимального расстояния до противостоящего здания, при котором выполняются нормы по естественному освещению в контрольном помещении после проведения ремонта 117
4.2.5 Рекомендации по повышению светового комфорта в зданиях, реконструируемых с целью энергосбережения 118
4.3 Выводы по главе 4 119
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 120
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 122
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 128
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА 140
ПРИЛОЖЕНИЕ А СВИДЕТЕЛЬСТВА О ПОВЕРКЕ ЛЮКСМЕТРОВ 142
ПРИЛОЖЕНИЕ Б АКТЫ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ 146
ПРИЛОЖЕНИЕ В ЗАЯВКИ НА ПАТЕНТЫ 148
ПРИЛОЖЕНИЕ Г РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА СВЕТОПРОПУСКАНИЯ ОБРАЗЦОВ СТЕКОЛ С ПОКРЫТИЕМ 151
ПРИЛОЖЕНИЕ Д РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОСВЕЩЕННОСТЕЙ ПРИ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ 165

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации.

Строительство современных зданий с повышенной комфортностью и требованиями к энергосбережению соответствует приоритетам научно-технической политики Российской Федерации. Важным направлением при этом является обеспечение помещений зданий естественным освещением при снижении теплопотерь через заполнения светопроемов. Для современных оконных блоков характерны разнообразные конструктивные решения. С целью снижения теплопотерь применяются оконные блоки с одно- и двухкамерными стеклопакетами, с применением в них стекол с низкоэмиссионными и мультифункциональными покрытиями. Такие конструкции окон обладают значительно большим сопротивлением теплопередаче, однако их коэффициент светопропускания может быть ниже, чем у применявшихся ранее, что влияет на уровень естественного освещения помещений. Вместе с тем при расчетах естественного освещения в соответствии с нормативными документами используются данные о светопропускании элементов заполнений светопроемов, предложенные около 50 лет назад и не отражающие существующего многообразия в конструкциях окон. Методы определения светопропускания современных оконных блоков нуждаются в совершенствовании, также и потому, что экспериментальные определения в установках «искусственный небосвод» сейчас стали значительно менее доступными. В связи с этим актуальным является развитие научных методов исследования и последующее их применение для определения светопропускания оконных блоков различных конструкций.

Степень разработанности темы диссертации.

Исследования естественного освещения помещений и светопропускания оконных блоков выполнили: А.А. Гершун [16-18], Н.А. Рынин [62, 63], А.М. Данилюк [25], Н.М. Гусев [22-24], Н.В. Оболенский [54], Н.Н. Киреев [42, 44], В.А. Земцов [31, 32], А.К. Соловьев [71, 72], R.G. Hopkinson [98, 99], R. Kittler [48, 102] и др. В настоящее время степень разработанности проблемы,

изложенной в диссертации, оказалась недостаточной в связи с появлением различных конструкций оконных блоков, таких как блоки с ПВХ-переплетами со стеклами с низкоэмиссионными покрытиями. Использование подобных оконных блоков в массовом строительстве не достаточно обеспечено методами научного исследования и наличием систематизированных данных по светопропусканию их конструктивных элементов: остекления, различных форм оконных блоков и конфигураций ячеек переплетов.

Цель и задачи.

Цель диссертационной работы – совершенствование расчетных и экспериментальных методов определения светопропускания конструкций оконных блоков, в том числе энергосберегающих, для повышения точности расчетов естественного освещения, обеспечивающих световой комфорт в помещениях зданий.

Задачи диссертационной работы:

1. Экспериментальные исследования светопропускания различного вида стекол, в т.ч. с покрытиями с низкоэмиссионными свойствами, и стеклопакетов с их применением.
2. Разработка метода расчета общего коэффициента светопропускания оконных блоков с различной формой, конструктивными решениями переплетов и светопропускающими свойствами стекол.
3. Разработка метода и установки для экспериментальных исследований в натурных условиях светопропускания оконных блоков.
4. Проведение натурных исследований светопропускания оконных блоков.
5. Разработка метода комплексного сравнения оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам.
6. Разработка метода оценки пригодности оконных блоков для замены в существующих зданиях в застройке с учетом их светопропускающих свойств.
7. Разработка рекомендаций по определению светопропускания оконных блоков для включения в нормативные документы.

Научная новизна.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложен расчетно-экспериментальный метод определения светопропускания оконных блоков, наиболее полно учитывающий форму, конфигурацию ячеек переплетов и светопропускающие свойства стекол, в т.ч. с низкоэмиссионными покрытиями.
2. Разработан метод и создана установка для экспериментальных исследований в натурных условиях светопропускания оконных блоков различных конструктивных решений.
3. Разработан метод комплексного сравнения оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам с помощью предложенного критерия равноэффективности для рационального решения естественного освещения помещений при обеспечении энергосбережения.
4. Предложен метод оценки пригодности оконных блоков для замены в существующих зданиях в застройке с учетом их светопропускающих свойств.

Теоретическая и практическая значимость работы следующая:

1. На основе проведенных экспериментальных исследований, а также на основании данных фирм-производителей стекол, систематизированы данные по светопропусканию выпускаемых видов стекол и стеклопакетов, что может быть использовано в нормативных документах.
2. Разработан расчетно-экспериментальный метод определения светопропускания оконных блоков любой формы и конфигурации ячеек переплетов, что значительно расширит возможности расчетов естественной освещенности при проектировании зданий в застройке.
3. Исходя из теоретических светотехнических методов разработана методика и установка для экспериментального определения общего коэффициента светопропускания оконных блоков в натурных условиях, что позволяет проводить сопоставление измерений с результатами теоретических расчетов.

4. Разработан расчетный метод комплексного сравнения оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам, позволяющий оптимально подбирать оконный блок при проектировании.

5. Предложен теоретический метод оценки пригодности оконных блоков для замены в существующих зданиях в застройке с учетом их светопропускающих свойств, что для практических целей позволит определять рациональность такой замены до ремонта здания.

6. На основе разработанных методов предложены практические рекомендации по определению светопропускания оконных блоков для включения в нормативные документы для проектирования.

Методология и методы диссертационного исследования.

В диссертационной работе все экспериментальные исследования выполнены в лаборатории строительной светотехники ФГБУ НИИСФ РААСН. Определение спектрального коэффициента светопропускания проводилось с использованием спектрофотометра СФ-256 УВИ согласно с ГОСТ Р 54164-2010. Измерение освещенности проводились с использованием поверенных люксметров (см. приложение А). Расчет КЕО проводился в соответствии с СП 23-102-2003. Расчет общего коэффициента светопропускания оконного блока проводился в соответствии с СП 23-102-2003 и с ГОСТ 26602.4-2012. Определение осредненного коэффициента светопропускания стекол проводилось в соответствии с ГОСТ Р 54164-2010. Определение общего коэффициента светопропускания пяти вариантов оконных блоков в натурных условиях проводилось с использованием специально созданной установки по разработанной методике. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче оконного блока проводился в соответствии с СП 50.13330.2012. Автоматизированная обработка полученных результатов была осуществлена с применением программного пакета Microsoft office Excel. В качестве теоретической базы для исследования использованы фундаментальные светотехнические законы (закон проекции телесного угла и закон

светотехнического подобия) и научные труды по расчету естественного освещения и теплопередаче в ограждающих конструкциях.

Положения, выносимые на защиту, следующие:

- расчетно-экспериментальный метод определения общего коэффициента светопропускания оконных блоков любой формы и конфигурации переплетов;
- методика и установка для экспериментальных исследований в натурных условиях светопропускания оконных блоков различной конструкции;
- результаты натурных исследований светопропускания оконных блоков;
- метод комплексного сопоставления оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам;
- метод оценки пригодности оконных блоков для замены в существующих зданиях в застройке с учетом их светопропускающих свойств.

Степень достоверности результатов оценена с помощью современных математических методов обработки экспериментов и обусловливается удовлетворительной сходимостью результатов расчетов и экспериментальных измерений. При постановке экспериментов использованы общепринятые методики, оборудование и приборы. Результаты исследования воспроизводимы при многократных измерениях. Теоретические методики основаны: на принципах теоретической фотометрии; на классических светотехнических законах (о проекции телесного угла и светотехнического подобия); на методе расчета геометрического КЕО; на теории расчета приведенного сопротивления теплопередаче; на теории естественного освещения помещений зданий (геометрический КЕО, распределение относительной яркости по небосводу, распределение отраженного света в помещении).

Апробация результатов.

Основные положения работы докладывались на научных конференциях:

– «Актуальные вопросы строительной физики - энергосбережение и экологическая безопасность», научная конференция - Академические чтения, посвященные памяти академика Г.Л. Осипова, Москва, НИИСФ РААСН 2010 г, 2011 г.

– «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании», Международная научная конференция, Москва, МГСУ, 2014 г.

– «Проблемы экологической безопасности и энергосбережения в строительстве и ЖКХ» Международная научно-практическая конференция, Кавала (Греция), 2014г.

– «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды» XIII Международная научная конференция Сиань (Китай), 15 – 28 апреля 2015 г.

– «Актуальные вопросы строительной физики. Энергосбережение. Надежность строительных конструкций и экологическая безопасность» VI Международная научная конференция посвященная памяти академика РААСН Г.Л. Осипова, Москва, НИИСФ РААСН, МГСУ, 7-9 июля 2015 г.

Область исследования.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения, а именно п.3 «Создание и развитие эффективных методов расчета и экспериментальных исследований вновь возводимых, восстанавливаемых и усиливаемых строительных конструкций наиболее полно учитывающих специфику воздействий на них, свойства материалов, специфику конструктивных решений и другие особенности», п. 6 «Поиск рациональных форм, размеров зданий, помещений и их ограждений исходя из условий их размещения в застройке, деятельности людей и движения людских потоков, технологических процессов, протекающих в здании, санитарно-гигиенических условий, экологической безопасности», п. 7 «Развитие теоретических основ строительно-акустических методов и средств, поиск рациональных решений освещения зданий и отдельных помещений, рациональных объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений, направленных на повышение эффективности капиталовложений, энерго- и ресурсосбережение, создание комфортных условий для людей и оптимальных для технологических процессов».

Внедрение результатов работы.

Результаты работы использованы при разработке ГОСТ 26602.4-2012 «Блоки оконные и дверные. Метод определения общего коэффициента пропускания света» (см. приложение Б). Результаты диссертации использованы при выполнении работы по теме 7.3.6 по плану фундаментальных научных исследований РААСН на 2013-2020 гг (см. приложение Б).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, из которых 6 статей – в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией РФ. Поданы заявки на патенты: 2015122501 от 11.06.2015, 2015122502 от 11.06.2015, 2015122795 от 15.06.2015 (см. приложение В).

Структура и объем работы. Диссертационная работа включает в себя: введение, четыре главы, заключение, список литературы (117 наименований, в том числе 25 на иностранных языках), 45 рисунков, 33 таблицы, 68 формул. Общий объем диссертации – 141 страница. Количество приложений – 5 на 28 страницах.

Краткое изложение содержания диссертации.

В первой главе диссертации изложено состояние вопроса по исследованиям и расчетам естественного освещения с целью создания рациональных и комфортных планировочных решений помещений зданий.

Вторая глава посвящена исследованиям светопропускания стекол, стеклопакетов со стеклами с низкоэмиссионными покрытиями, а также оконных блоков и их применением. Предложена для использования таблица коэффициентов светопропускания двойного и тройного остекления со стеклами без покрытий и с низкоэмиссионными покрытиями. Предложен расчетно-экспериментальный метод определения общего коэффициента пропускания света оконным блоком различной формы и конфигурации ячеек переплетов, рекомендованный для внесения в СП 23-102-2003.

В третьей главе представлен разработанный метод и установка для исследований светопропускания оконных блоков в натурных условиях. Дано теоретическое обоснование метода, описаны устройство установки и порядок

проведения измерений. Представлены результаты измерений коэффициентов светопропускания пяти оконных блоков: с двумя деревянными переплетами и тремя переплетами из поливинилхлорида (ПВХ). Проведено сравнение полученных коэффициентов светопропускания оконных блоков с расчетными значениями по главе 2 и значениями, полученными по СП 23-102-2003. Рекомендован для использования в СП 23-102-2003 поправочный коэффициент к расчету общего коэффициента светопропускания по методу главы 2.

В четвертой главе разработан метод комплексного сравнения оконных блоков с помощью предложенного критерия равноэффективности для рационального решения естественного освещения помещений при обеспечении энергосбережения. Проведено сравнение различных вариантов остекления по критерию и выбран наилучший в световом и теплотехническом отношениях. Во второй части главы. Предложен метод оценки влияния светопропускающих свойств оконных блоков, используемых для замены в существующих зданиях в застройке, на световой режим помещений.

В заключении приведены итоги выполненного исследования, рекомендации по использованию результатов диссертации и перспективы дальнейшей разработки темы.

ГЛАВА 1 ИССЛЕДОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЙ. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Краткая история развития исследований естественного освещения зданий

В Советском Союзе и России большие исследования в области естественного освещения провели: А.А. Гершун [16-18], А.М. Данилюк [25], Н.М. Гусев [22-24], Н.В.Оболенский [54], Н.Н. Киреев [42, 44], Ю.Б. Айзенберг [3, 80], В.А. Земцов [31, 32], А.К. Соловьев [71, 72], Д.В. Бахарев [6] и др. Их трудами созданы методы расчета и нормирования естественного освещения помещений зданий, написаны учебники, разработаны учебные курсы для вузов, нормы и правила проектирования, пособия для расчетов и т.д. Основные сведения о методах расчета и нормирования естественного освещения представлены в [80].

Основоположником изучения естественного освещения зданий в России является Николай Алексеевич Рынин [62]. При строительстве здания Московского вокзала в Санкт-Петербурге он применил методы расчета размеров светопроемов, обеспечивающие естественным светом помещение здания. В своих расчетах он опирался на работы немецких инженеров Фрюлинга [87], Mohrmann K. [108] и др.

В качестве характеристики естественного освещения помещений, в связи с непрерывным изменением наружной освещенности, стало использоваться отношение освещенности в какой-либо точке помещения к освещенности под полностью открытым небосводом. Это отношение было названо коэффициентом естественной освещенности (КЕО). Развитие методов расчета естественного освещения осуществлялось на основе использования основных светотехнических законов: закона проекции телесного угла и закона светотехнического подобия [23]. Инженер А.М. Данилюк [25] предложил в 1940 году знаменитые графики Данилюка, позволяющие рассчитывать значение геометрического КЕО, т.е. значение КЕО при равноярком небосводе.

Работы по расчету КЕО были обобщены в книгах Н.М. Гусева [22, 23, 24]. В 1950-м году, при строительстве нового здания ЦНИИПС, была создана исследовательская установка «искусственный небосвод» диаметром 9 м. Этот небосвод являлся крупнейшим в мире и наиболее совершенным средством исследования естественного освещения помещений. Использование небосвода позволило разработать систему эмпирических коэффициентов, необходимых для расчета КЕО и значительно усовершенствовать метод расчета. Эту работу проводил Н.М. Гусев [23], Н.Н. Киреев [44, 45, 46] и многочисленные ученики Н.М. Гусева и Н.Н. Киреева.

Другой метод расчета, который был разработан раньше, заключался в определении необходимой площади светопроемов, определяемой в виде отношения площади светопроемов к площади пола. Этот метод восходит к Урочному положению 1914 г. [85], он изложен в книгах Гусева [23]. В дальнейшем метод был усовершенствован Н.Н. Киреевым и В.А. Земцовым [60] и полностью изложен в Своде правил [77].

Большое влияние на естественное освещение в помещениях оказывает распределение яркости по небосводу. На эту тему был выполнен ряд работ [44, 114, 115]. Решающее значение имела работа Moon P. и Spencer D.E. [109], в которой было обращено специальное внимание на задачи строительной светотехники. В [109] была предложена формула для распределения яркости в зависимости от угла над горизонтом. Влиянием распределения яркости небосвода на естественное освещение помещений занимались также Р. Киттлер [48, 102], А.К. Соловьев [71, 72, 75] и др. Международная комиссия по освещению (МКО) на основе работ Moon P. и Spencer D.E. [109], Р. Киттлера [102] с целью унификации расчетов естественного освещения установила стандартное распределение яркости для облачного и ясного неба.

В настоящее время развиваются методы расчета естественного освещения помещений с применением теории светового поля. Основоположником этой теории был А.А. Гершун [18]. Работы в данном направлении проводятся А.К.Соловьевым [71, 73, 74] и его учениками.

1.2 Значение естественного освещения помещений в современных зданиях и его воздействие на здоровье человека

Обзор исследовательских работ с 1800 до 2000 г.г. о воздействии оптического излучения на здоровье человека выполнил Иоахим Фиш (Joachim Fisch) [86]. Человек получает до 85% всей смысловой информации через зрительный аппарат. И до 25% своего энергетического бюджета человек расходует на зрительный процесс. Оптическое излучение требуется не только для обеспечения зрительного процесса, но и для функционирования ряда органов человеческого организма. Известны методы лечения болезней при помощи фототерапии [4]. Исследованиями остроты зрения установлено, что люди с возрастом для выполнения зрительной работы нуждаются в более высоком уровне освещения (см. рисунок 1.1) [86]. Это объясняется тем, что прозрачность хрусталика снижается с возрастом. Повышение освещенности как бы увеличивает физические и духовные силы организма, а недостаток освещенности может вызвать заболевания. Известно, что производительность труда зависит от уровня освещенности на рабочем месте [86].

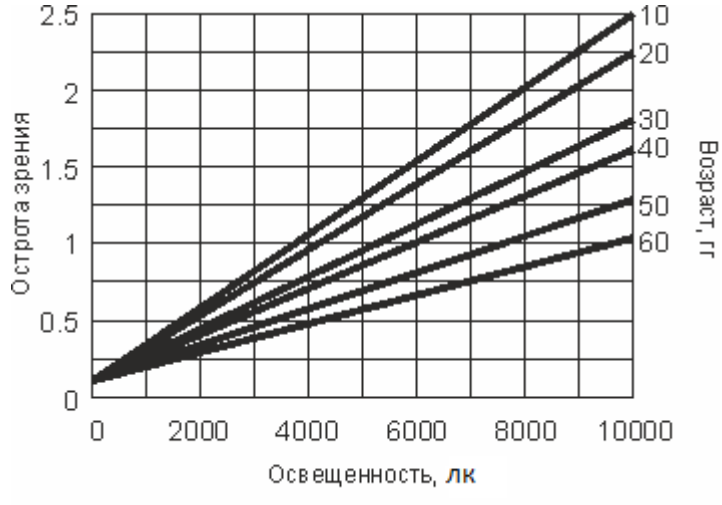


Рисунок 1.1 – Схематическое представление зависимости остроты зрения от освещенности при различном возрасте наблюдателя [86]

Кроме колбочек и палочек в сетчатке располагаются световоспринимающие элементы, которые служат не для зрительного

восприятия, а для восприятия сигналов и их дальнейшей передачи шишковидным железам и гипофизу [9, 86]. Обзор исследований по незрительному восприятию света содержится в [9]. Было выявлено, что свет влияет на выработку гормона – мелатонина, который является «гормоном сна». При недостатке мелатонина нарушается сон и циркадные ритмы человека, его избыток способствует развитию депрессии и других заболеваний человека. Был установлен участок спектра с сильно выраженным подавлением секреции мелатонина [2, 94, 116]. Анализ двух спектров действия подавления секреции мелатонина для здоровых людей, показывает на диапазон длин волн 446-477 нм (рисунок 1.2). Т.е. именно в этом диапазоне длин волн может происходить интенсивное подавление секреции мелатонина. Эти данные позволили предположить, что за регуляцию секреции мелатонина в организме человека главным образом отвечает новая фоторецепторная система, отличная от «зрительных» рецепторов - палочек и колбочек (рисунок 1.3). Таким образом, условия восприятие света человеком влияют на формирование циркадных ритмов человека.

Естественное освещение помещений имеет большие преимущества перед искусственным освещением благодаря тому, что организм человека сформировался под воздействием именно естественного освещения. Глаз человека является сложным «прибором», отрегулированным именно на восприятие солнечного спектра. Попытки замены естественного освещения на искусственное [61] безусловно, выгодны, однако с медицинской точки зрения могут оказаться неудачными. Так, имеются сведения, что использование светодиодного освещения оказалось опасным для детей и подростков [28].

Недооценка роли естественного света в свое время явилась одной из причин массового строительства бесфонарных и безоконных зданий, которые отличались неудовлетворительной внутренней средой и повышенными затратами электроэнергии на искусственное освещение и вентиляцию [71].

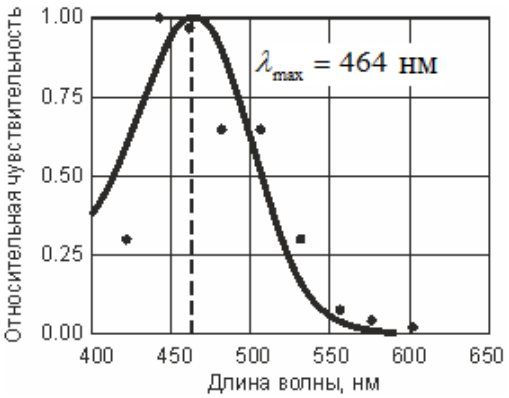


Рисунок 1.2 – Спектр подавления секреции мелатонина, полученный на 72-х здоровых людях [94]

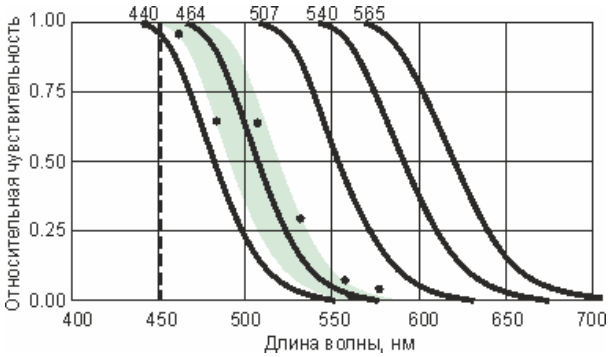


Рисунок 1.3 – Спектр подавления секреции мелатонина и спектров зрительных датчиков глаза [94]

В соответствии с этой концепцией в первый период применения постоянного дополнительного искусственного освещения считалось, что естественное освещение в зданиях можно решать совершенно свободно, руководствуясь соображениями общего характера.

Однако опыт эксплуатации таких зданий и результаты исследований в области инженерной психологии [101, 104, 105, 117] показали, что одним из важных факторов, обеспечивающих положительную оценку условий труда работающими в помещениях с боковым естественным освещением является возможность бросить хотя бы беглый взгляд сквозь световые проемы и получить самую краткую информацию о наружном пространстве, например, о состоянии погоды.

Английским ученым Р. Гопкинсоном [99] 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.

Следовательно, положительное психологическое воздействие естественного света в этой системе освещения выражается прежде всего в ощущении непосредственной связи с окружающим миром, осуществляемой визуально через световые проемы в наружных ограждениях здания. Солнечный свет или пасмурное небо, сумерки или пробивающиеся сквозь облака лучи солнца являются факторами, определяющими не только уровень освещенности и условия видимости в помещении: они оказывают положительное психофизиологическое воздействие на человека, определяют его настроение, самочувствие и работоспособность.

Важность визуальной связи человека, находящегося в помещении с наружным пространством подтверждается также положительным воздействием суточных изменений освещенности на биологические ритмы жизнедеятельности человеческого организма [1, 49]. Полное исключение естественного света в здании приводило к ощущению изолированности от внешнего мира, статичности и моногенности световой среды, которые отрицательно влияли на работающий персонал.

Наличие в помещениях с естественным освещением визуальной связи с окружающей природой и внешним пространством через световые проемы, а также динамика естественного света, несущие информацию о состоянии погоды и времени суток, положительно действует на самочувствие, настроение и работоспособность людей.

Действие естественного освещения на человека Н.М. Гусев разделял на три составляющие [24]:

1. Психофизиологическое, определяется возникновением зрительных образов, зрительного восприятия, а также использованием света как эстетического фактора.

2. Морфофункциональное, обусловленное витаминообразующим действием под действием естественного света (его ультрафиолетовой, видимой

и инфракрасной составляющей), улучшением обмена веществ, влияние на циркадные ритмы.

3. Бактерицидное обусловлено умерщвлением инфекционных микроорганизмов.

В Урочном положении [85] от 1914 г. установлено нормирование площади окон для школ. Там указано, что площадь окон должна составлять около 0,2 площади пола. Также указано, что окна больницы в помещении для больных должны быть ориентированы на юго-запад, юго-восток.

Оптимальное значение площади световых проемов в здании зависит от его архитектурно-конструктивного решения, технологических особенностей производства и пр. Оно во многом определяется также климатическими особенностями района строительства.

В связи с этим важно было определить, при каких значениях площади световых проемов, их расположении и форме визуальная связь с наружным пространством обеспечивается, а при каких нарушается или практически утрачивается полностью.

Исследования, проведенные Гопкинсоном и Ниманом в 1970г по этому вопросу [111] показали, что для обеспечения нормальной визуальной связи с наружным пространством площадь окон должна составлять не менее 1:16 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.

Исследования субъективной оценки визуальной связи с наружным пространством через окна были проведены в [111] по четырехбальной системе среди большой группы студентов и административных служащих. Основные результаты исследований приведены на рисунок 1.4, которые показывают, когда относительная площадь окон составляет меньше 30%, субъективная оценка визуальной связи с наружным пространством резко ухудшается. Отсюда делается вывод, что в небольших помещениях (кабинетах, рабочих и учебных

комнатах), имеющих глубину не более 6 м, площадь окон должна составлять не менее 30% площади наружной стены помещения.

Было также установлено [44], 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 должна быть, как правило, не менее 0,5.

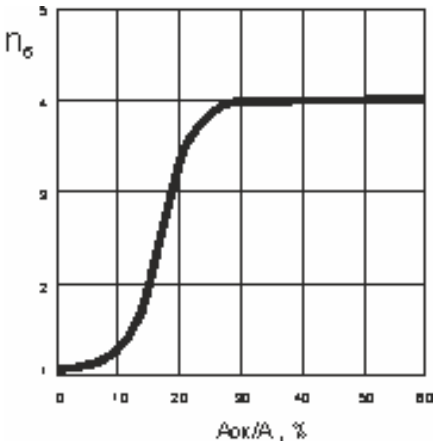


Рисунок. 1.4 – Результаты субъективной оценки освещения в баллах ($n_Б$) в зависимости от отношения площади световых проемов ($A_{ок}$) к площади наружной стены (А), % [44]

Вопрос о минимальных размерах световых проемов в помещениях с боковым освещением, обеспечивающих удовлетворительную визуальную связь с наружным пространством, нашел отражение в работах [3, 54, 93, 96, 102, 107, 110, 112], 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.

Известно, что выбор площади световых проемов в помещениях с дополнительным искусственным освещением должен осуществляться не на основе требования обеспечения зрительной связи с наружным пространством,

но также учитывать объемно-планировочное решение здания, характер зрительной работы, ориентацию световых проемов по сторонам горизонта.

1.3 Методы моделирования и расчета естественного освещения помещений

В качестве основной величины, характеризующей освещенность помещения в России, принят коэффициент естественной освещенности – КЕО. Метод расчета КЕО содержится в СП 23-102-2003 [77], его разработка начиналась в 30-х годах 20-го века и основывалось на работах, А.А. Гершуна, А.М. Данилюка [25] , Н.М.Гусева [22, 23, 24], Н.Н. Киреева [44], В.А. Земцова [32], А.К. Соловьева [71, 75] и др.

Международная комиссия по освещению (МКО) рекомендовала положения для расчетов и оценки естественного освещения помещений следующие положения:

1. Облачность 10 баллов.
2. Яркость на небосводе не зависит от азимута, а зависит от угловой высоты участка небосвода.
3. Коэффициент, учитывающий неравномерную яркость неба зависит от угловой высоты этого участка небосвода и определяется, согласно исследованиям Муна и Спенсер [109] по формуле:

$$q_\theta = \frac{B_\theta}{B_{ср}} = \frac{3}{7}(1 + 2\sin\theta), \qquad (1.1)$$

где $B_{ср}$ - средняя яркость небосвода (яркость, которая будучи равномерной на всем небосводе обеспечивает ту же освещенность на открытой площадке, что и реально распределенная яркость на небосводе); B_θ – яркость неба на угловой высоте θ; θ – угол, под которым видна середина оконного проема.

Коэффициент естественной освещенности (КЕО) [23], представляет собой отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба $E_м$, к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности под открытым полностью небосводом $E_н$, выраженное в процентах:

$$e_M = \left(E_M / E_H\right) \cdot 100\% \qquad (1.2)$$

В расчетах естественного освещения наряду с КЕО применяется геометрический коэффициент естественной освещенности ε, представляющий отношение освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом, прошедшим через незастекленный светопроем, от *равномерно яркого неба* $E_м$ к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности под открытым полностью небосводом $E_н$ [23]:

$$\varepsilon_M = E_M / E_H \cdot 100\% \qquad (1.3)$$

Если точка *N* расположена на открытой поверхности и освещается всем небосводом одинаковой яркости, *B*, то проекция телесного угла (см. рисунок 1.5), составляющего полусферу, на горизонтальную плоскость равна πr^2, при r=1, проекция равна π. Тогда $E_N = B \cdot \pi$.

Если светящаяся поверхность достаточно велика, и яркость ее одинакова, то для точки М в помещении освещенность определяется по формуле: $E_M = B \cdot \sigma$, где σ – площадь проекции телесного угла на освещаемую поверхность, в котором из данной точки виден участок неба.

Тогда значение геометрического КЕО в точке М будет равно:

$$\varepsilon = \frac{E_M}{E_N} = \frac{B \cdot \sigma}{B \cdot \pi} = \frac{\sigma}{\pi} \qquad (1.4)$$

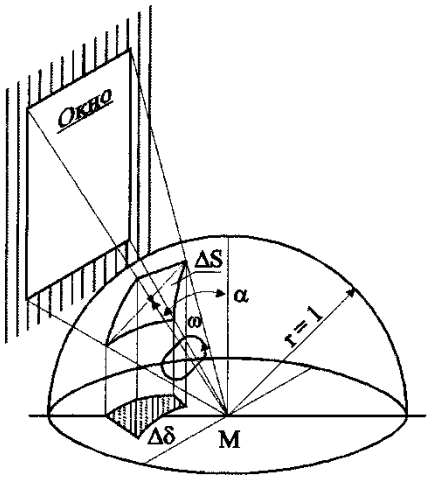


Рисунок 1.5 – Схема к закону проекции телесного угла [60]

Это значение КЕО называется геометрическим, поскольку оно определяется только размерами светопроема и не зависит от распределения яркости по небосводу.

Геометрический КЕО рассчитывают по графикам А.М. Данилюка, которые были разработаны в СССР в 30-х годах XX века. А.М. Данилюк [25] произвел разделение полусферы небосвода на 10000 элементарных участков, которые дают одинаковые площади проекции на горизонтальную поверхность. Затем А.М. Данилюк спроектировал систему радиусов на вертикальную и горизонтальную плоскости, получив, таким образом, два графика (см. рисунок 1.6).

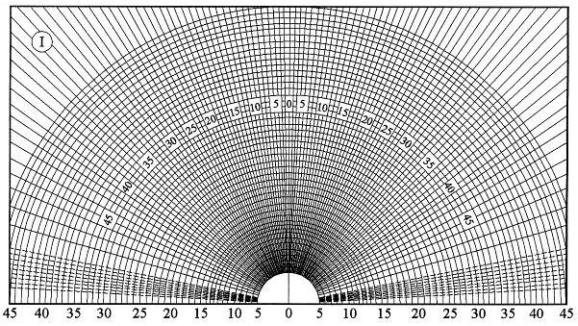


График I для подсчета количества лучей n_1 и n_1' проходящих через световой проем на характерном поперечном разрезе помещения в расчетную точку от неба и от противостоящего здания [77]

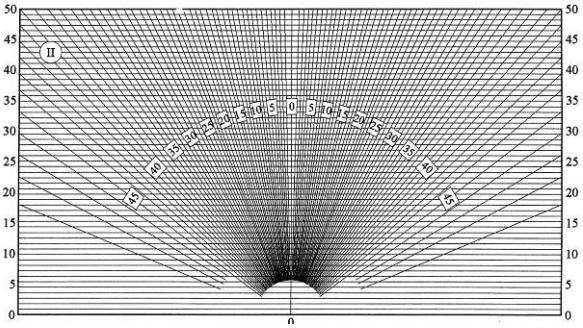


График II для подсчета количества лучей n_2 и n_2', проходящих через световой проем на плане (при боковом освещении) или на продольном разрезе (при верхнем освещении) [77]

Рисунок 1.6 – Графики А.М. Данилюка [25]

После определения по графикам А.М. Данилюка значений n_1 и n_2. Расчет геометрического КЕО проводится по формуле:

$$\varepsilon = n_1 \cdot n_2 \cdot 0{,}01\%, \qquad (1.5)$$

где n_1 – количество лучей, прошедших через окно в расчетную точку на первом графике А.М. Данилюка (см. рисунок 1.7), n_2 – количество лучей, прошедших через окно в расчетную точку на втором графике А.М. Данилюка.

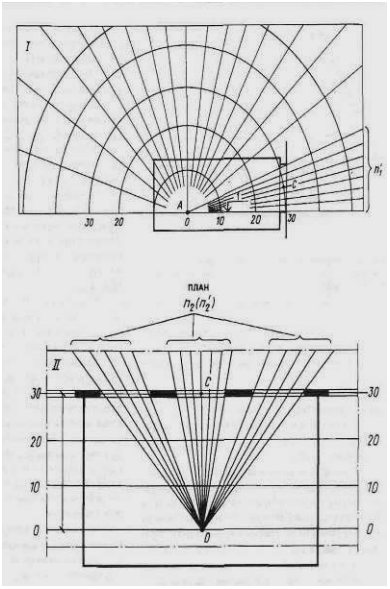


Рисунок 1.7 – Использование графиков А.М. Данилюка
для расчета количества лучей n_1 и n_2 [77]

Аналитические выражения для расчета количества лучей n_1 и n_2 усовершенствованы А.К.Соловьевым [71, 75]:

$$n_1 = \frac{\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2}{2} \cdot 100 \qquad (1.6)$$

$$n_2 = \frac{1}{\pi}\left(\frac{\overline{\beta}_2 - \overline{\beta}_1}{180^0} \cdot \pi + \sin\overline{\beta}_2 \cdot \cos\overline{\beta}_2 - \sin\overline{\beta}_1 \cdot \cos\overline{\beta}_1\right) \cdot 100 \qquad (1.7)$$

Схема помещения с обозначениями углов представлена на рисунке 1.8.

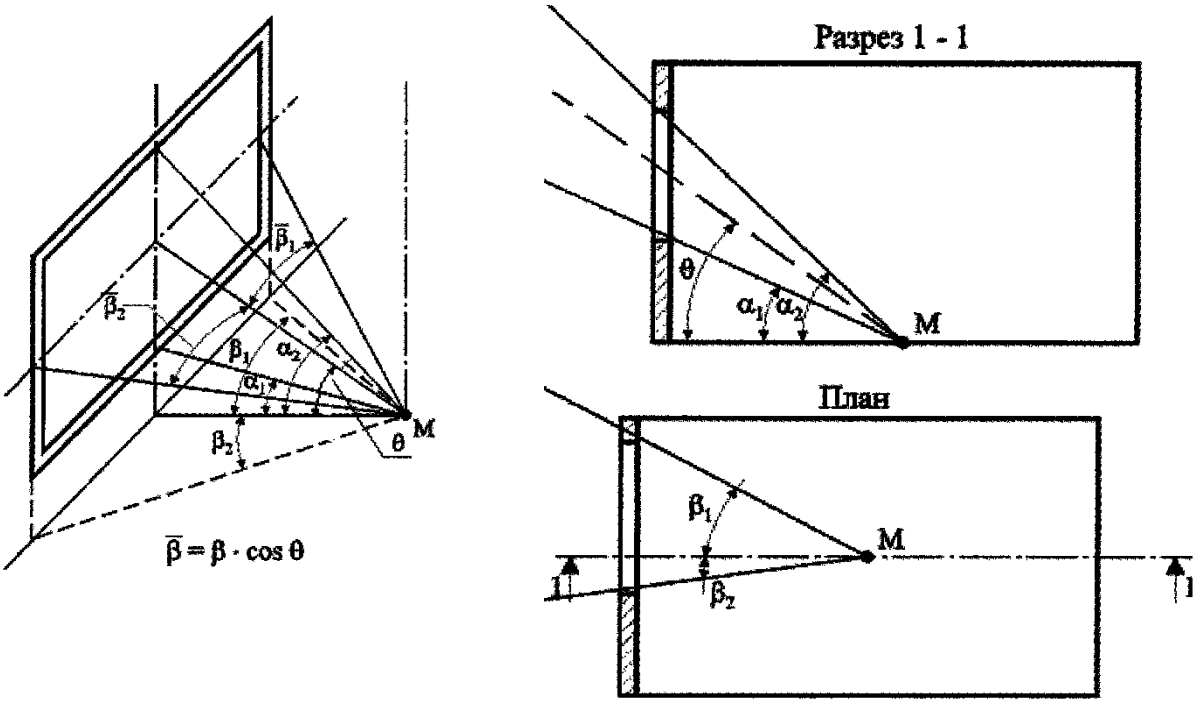


Рисунок 1.8 – Схема углов к расчету геометрического КЕО [75]

Учет яркости небосвода в расчете КЕО, с учетом формулы Муна и Спенсер [109] производится по формуле:

$$e = \frac{E_M}{E_N} = \frac{B_\theta \cdot \sigma}{B_{cp} \cdot \pi} = \frac{B_\theta}{B_{cp}} \cdot \frac{\sigma}{\pi} = \varepsilon \cdot q_\theta = \varepsilon \cdot \frac{3}{7}(1 + 2\sin\theta) \qquad (1.8)$$

Значение КЕО в глубине помещения на 70-90% создается за счет многократных отражений естественного света от поверхностей пола, стен и потолка. В связи с этим установление закономерностей распределения отраженного света в глубоких помещениях и усовершенствование методов его расчета приобрели для совмещенного освещения решающее значение. Натурные и лабораторные исследования, проведенные разными авторами, показали очень сложную функциональную зависимость отраженной составляющей естественного освещения от большого количества факторов, которую в общем виде можно записать [44]:

$$e_o = f(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7, \alpha_8), \qquad \ldots\ldots(1.9)$$

где α_1- отделка внутренних поверхностей; α_2- геометрические пропорции помещения; α_3- расположение расчетной точки в помещении; α_4- неравномерность распределения освещенности по поверхностям помещения; α_5- размеры и расположение световых проемов; α_6- отражающие характеристики земной поверхности перед зданием; α_7- распределение яркости по небосводу; α_8- форма, расположение, размеры и отделка фасадов противостоящих зданий.

Опубликованные разными авторами методы расчета отраженной составляющей естественного света можно условно разделить на две группы:

а) приближенные формулы;

б) математические модели.

Расчетом отраженной составляющей естественного освещения по приближенным формулам занимались: K. Hannauer [97], Р. Киттлер [48], В.Б.Вейнберг [11], R.G. Hopkinson [99], Н.М. Гусев [23], А.А. Гершун и Н.Г.Болдырев [16] и др.

Построением математических моделей занимались: Л.Н. Миронова [57, 58], Х.Н. Нуретдинов [59] и др. Разработанные математические модели и приближенные формулы не обладали точностью, достаточной для их практического применения.

Поэтому учет отраженной составляющей КЕО проводится по методике, основанной на выполненных измерениях на установке искусственный небосвод [23]. Для точки *М* в помещении значение КЕО определяется по формуле:

$$E_{M} = E_{прямая} + E_{отраженная} \tag{1.10}$$

$$e_{M} = e_{прямой} + e_{отраженный} \tag{1.11}$$

$$e_{M} = e_{прямой} \cdot \left(1 + \frac{e_{отраженный}}{e_{прямой}}\right) = e_{прямой} \cdot r_{o} \ , \tag{1.12}$$

где r_o – коэффициент, учитывающий повышение КЕО в помещении за счет света, отраженного от внутренних поверхностей. Значения r_o были найдены в серии многочисленных экспериментов, проведенных на установке «Искусственный небосвод» в НИИСФ в зависимости от геометрических размеров помещения и их отношений. Эти значения сведены в таблицы, представленные в [77].

Тогда, формула для расчета КЕО через геометрический КЕО, принимает вид:

$$e = \varepsilon \cdot q_{\theta} \cdot r_{o} \tag{1.13}$$

Как отмечал Н.Н. Киреев [44]:

«При боковом освещении распределение световых потоков, по глубине помещения характеризуется большой неравномерностью и в связи с этим трудностью расчетного определения многократных отражений света». Длительное время коэффициент r_o определялся только на основе результатов экспериментальных исследований на моделях помещений под искусственным небосводом.

Анализ большого массива экспериментальных данных показал, что модельные испытания имеют серьезные погрешности, а в некоторых случаях приводят к грубым ошибкам в определении коэффициента r_o .

Погрешности являются следствием ряда факторов, органически присущих методам физического моделирования. Например, вследствие относительной близости

горизонта в установке «искусственное небо» на верхнюю часть стен и потолка частично попадает прямой свет от неба, тогда как в реальных условиях это исключено.»

Более точное решение задачи может быть найдено на основе построения и исследования математической модели бокового естественного освещения, как предложено Д.В. Бахаревым в [6, 54]. Хотя предложения Д.В. Бахарева не доведены до инженерного решения.

Уравнение (1.13) для расчета КЕО с учетом светопропускания заполнения светопроема имеет вид [80]:

$$e = \varepsilon \cdot q_\theta \cdot r_o \cdot \tau_0 / K_з, \qquad (1.14)$$

где τ_0 - общий коэффициент светопропускания светопроема, определяемый по формуле:

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

где τ_1 - коэффициент светопропускания стекла; τ_2 - коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема; τ_3 - коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях, при боковом освещении τ_3 = 1; τ_4 - коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах; $K_з$ – коэффициент запаса [77].

В условиях города открытый горизонт в нижних этажах зданий практически не наблюдается. Поэтому весьма важно при расчетах освещения помещений, имеющих световые проемы в наружных стенах, правильно учитывать влияние противостоящих зданий.

В нашей стране имеет место уплотненная городская застройка, обусловленная интенсивным развитием городов. Работы 1980-х годов [46, 60] решали задачу расчета освещенности помещений в условиях городской застройки лишь частично, так как исходили из двух допущений:

- противостоящее здание имеет бесконечную протяженность;
- противостоящее здание не влияет на перераспределение отраженных световых потоков внутри рассматриваемого помещения.

Современная городская застройка характеризуется большим разнообразием сочетаний зданий башенного и протяженного типов. Как показали исследования Н.Н. Киреева и В.А. Земцова [38] противостоящие здания сложным образом влияют на картину распределения световых потоков внутри затеняемых помещений. В нормативные документы был включен метод учета влияния противостоящего здания на рассчитанное значение КЕО помещения [77]. При этом пропорциональность значения КЕО коэффициенту пропускания света заполнения светопроема сохраняется:

$$e_p = \left(\varepsilon \cdot q_\theta + \varepsilon' \cdot b_\phi \cdot K_{зд}\right) \cdot r \cdot \tau_0 / K_з \qquad (1.16)$$

По этой формуле в настоящее время фактически производятся расчеты естественной освещенности при проектировании зданий [77, 79]. Одним из ключевых вопросов при использовании (1.16) является светопропускание заполнения светопроема τ_0. Формула (1.16) применяется при боковом освещении. Для верхнего естественного освещения методы расчета были предложены Н.Н. Киреевым [44], В.А. Земцовым [32, 38], С.В.Стецким [81, 82] и др.

1.4 Исследования светопропускания светопрозрачных конструкций

Передача естественного света через заполнение бокового светового проема зависит от ряда факторов: соотношения высоты и ширины светового проема, толщины стены, формы и окраски откосов, конструктивного решения оконного переплета, оптических свойств светопропускающего материала, а также от угла преимущественного падения световых потоков на плоскость светового проема. Современные окна обладают помимо функции обеспечения естественным светом помещений также функцией энергосбережения. Эта функция обеспечивается повышенным сопротивлением теплопередаче, вследствие чего сберегается энергия на отопление здания. Такие окна называются энергосберегающими, вследствие того, что согласно Федеральному закону РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации» энергосбережение определяется как «реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении

соответствующего полезного эффекта от их использования». Эффект энергосбережения таких окон обеспечивается в первую очередь использованием стекол с низкоэмиссионными покрытиями [95].

1.4.1 Исследования светопропускания стекол

Значительное увеличение потребления стекла произошло в XX веке в результате разработки различных способов вытягивания стекла, наиболее известным из которых является метод Э. Фурко, разработанный в 1902 г. [50]. Этот метод применяется до сих пор, стекло, полученное этим методом называется «тянутым стеклом» [50]. В 1952 г. начала исследования по получению «флоат-стекла» (float-glass) на расплаве металла английская фирма Pilkington. После 7 лет дорогостоящих экспериментальных работ в 1959 г. фирма получила патент на новый промышленный процесс получения высококачественного стекла [50]. Следует отметить, что основой разработок фирмы Pilkington, как и других фирм, была идея, изложенная в патентах американских изобретателей Х. Хила и Х. Хичкока в 1902 и 1905 гг. [50]. В 1969 году был разработан двухстадийный способ получения флоат–стекла Саратовским филиалом Государственного института стекла, который был запатентован в СССР и в США [50]: «В 1974 г. американская фирма "Пи-Пи-Джи Индастриз" запатентовала свой способ производства флоат-стекла (пат. США 3843346), отличный от способов Pilkington и Саратовского института. Он был реализован на ряде флоат-линий и также признан независимым». Таким образом было разработано и использовалось три метода получения флоат–стекла, в соответствии с которыми осуществлялся выпуск оконных стекол промышленными предприятиями. Флоат - стекла обладают рядом преимуществ перед тянутыми стеклами и получили большое распространение. К 2000 г. большинство предприятий, производивших тянутые стекла были закрыты [55]. В то время, как по данным Агентства новостей «Строительный бизнес», в России действуют 14 заводов по производству флоат-стекла [5]. Кроме того,

увеличиваются объемы выпуска флоат-стекла: в 2010 году было выпущено 190 млн. м^2, а к 2016 году в России ожидается выпуск 310 млн м^2 флоат-стекла [5].

В конце 1940-х годов с целью улучшения теплоизоляции на Западе велись разработки концепции двойного герметичного остекления. В современных окнах практически всегда применяются стеклопакеты. Стеклопакеты позволяют значительно повысить сопротивление теплопередаче заполнения светопроема. С одной стороны, многослойное остекление в стеклопакете способно обеспечить высокие значения сопротивления теплопередаче, с другой стороны, может приводить к снижению пропускания света светопрозрачной конструкцией и, как следствие - к уменьшению естественной освещенности [55]. Тем не менее, основное предназначение остекления – обеспечение помещений естественным светом. Существенное изменение технологии производства оконных стекол вызывает необходимость исследования их светотехнических показателей и внесение изменений в справочные и нормативные документы.

Прохождение света через светопропускающие строительные материалы (стекло) достаточно полно освещено в работах Н.А. Рынина [63], А.А. Гершуна и Н.Г.Болдырева [16, 17], Б.П. Вейнберга [10], В.Б. Вейнберга [11], Н.М. Гусева [23], В.И.Долгополова [26], С.П. Соловьева [76], В.А. Дроздова [27, 69], Е.А. Томилиной [84], В.Н. Куприянова и Ф.Р. Халиковой [52, 89], А.Г. Чеснокова [90] и др. В том числе получены данные о светопропускании различных стекол, применяемых в современных конструкциях окон. Однако эти данные не систематизированы и не используются в практических расчетах при применении современного остекления.

Данные о пропускании света оконным стеклом и стеклопакетами приведены в таблице Б.7 [77]. Эти данные полностью совпадают с приведенными в [70], когда в России стекла, полученные при помощи флоат–технологии, применялись мало, состав стекла в то время, вероятно, несколько отличался от современного. В связи с этим предстоит уточнение данных таблицы 1.1.

Для применявшихся до 1992 г. стекол были проведены исследования снижения их светопропускания при эксплуатации. Эриванцев И.Н. [91] исследовал влияние загрязнения на коэффициент пропускания света. Для производственных зданий получено, что «коэффициент светопропускания вертикального остекления даже в районах сильного загрязнения не бывает ниже 0,7». Для регулирования коэффициента светопропускания остекления в [91] предложены периоды очистки стекол, причем для разных производств эти периоды должны быть различными.

Позже И.Н. Эриванцев [92] предложил эмпирические зависимости для коэффициента светопропускания загрязненных поверхностей остекления при различном времени их очистки.

Таблица 1.1 – Значения коэффициента светопропускания материалами по данным [77]

Вид светопропускающего материала	Значения коэффициента пропускания света материала τ_1
Стекло оконное листовое:	
одинарное	0,9
двойное	0,8
тройное	0,75
Стекло витринное толщиной 6 - 8 мм	0,8
Стекло листовое армированное	0,6
Стекло листовое узорчатое	0,65
Стекло листовое со специальными свойствами:	
солнцезащитное	0,65
контрастное	0,75
Органическое стекло:	
прозрачное	0,9
молочное	0,6
Пустотелые стеклянные блоки:	
светорассеивающие	0,5
светопрозрачные	0,55
Стеклопакеты	0,8

Г.И. Хавалджи исследовал изменение фотометрических свойств пылевых осадков на стеклах [88]. Пылевой осадок на стеклах представляет собой

пленочное покрытие. Г.И. Хавалджи использовал характеристику запыления *G*, которая представляла собой концентрацию пыли на остеклении. Для запыления он получил уравнение концентрации:

$$G = P\,log 1/\tau \qquad (1.17)$$

А также уравнение накопления:

$$G = l \cdot t\,, \qquad (1.18)$$

где τ – коэффициент светопропускания пылевого осадка; t – время; P и l – коэффициенты пропорциональности.

В [88] использовалось также понятие оптической плотности *D*:

$$D = lg(1/\tau) \qquad (1.19)$$

Из (1.17) и (1.19) получилось:

$$D = (1/P)G \qquad (1.20)$$

Уравнение (1.20) позволило Г.И. Хавалджи обработать эксперименты и получить значения параметра P для различных пылевых осадков (копоти, обыкновенной уличной пыли, извести, цемента, глины, песка). Хавалджи Г.И. получил также эмпирические уравнения для спектрального светопропускания пылевых слоев [88]. Результаты этих исследований нашли свое отражение в методике расчета КЕО [77] в виде значений коэффициента запаса K_3.

Современные стеклопакеты, применяемые в энергосберегающих окнах, характеризуются использованием стекол с низкоэмиссионными покрытиями. Эти покрытия представляют собой электропроводящие слои, вследствие чего светопропускание и светоотражение через них, а также через границу раздела стекла с покрытиями описывается законами волновой оптики М Борна [8]. Низкоэмиссионные покрытия позволяют создавать стекла со спектральным коэффициентом пропускания электромагнитного излучения, резко различающимся для видимого света и для инфракрасного излучения [7] (рисунок 1.9). Такое свойство стекол с низкоэмиссионными покрытиями позволяет создавать стеклопакеты с высокими теплозащитными свойствами.

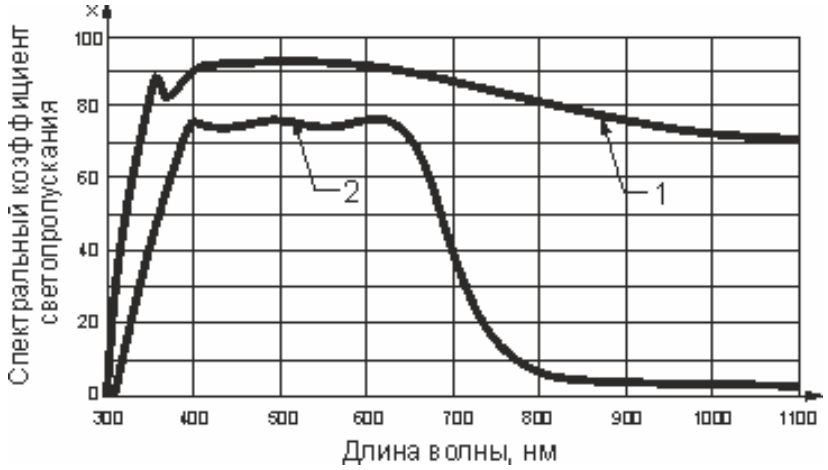


Рисунок 1.9 – Спектральная характеристика пропускания различных стекол [7]: 1 – обычное оконное стекло; 2 – стекло с низкоэмиссионным покрытием

При помощи покрытий осуществляются новые способы регулирования светопропускания стекол. В работе Р.С. Закируллина [29] рассмотрены современные способы селективного регулирования направленного светопропускания стекла и остекленных конструкций в зависимости от угла падения световых лучей. В Лондонском университетском колледже (University College London) создано «интеллектуальное» оконное термохромное стекло, меняющее свои оптические свойства в зависимости от температуры воздуха [30]. Стекло покрыто тончайшей пленкой из диоксида ванадия с добавками вольфрама, которая при температуре 29°С переходит из полупроводникового состояния в металлическое, за счет чего коэффициент отражения резко возрастает, а, значит, помещение защищается от перегрева. Предстоит разработать способы практического применения таких стекол.

В [103] получены коэффициенты светопропускания стекол с затеняющими пленками и исследовано влияние использования таких стекол на световой режим помещений. Эти исследования носят частный характер и не обобщены. Однако, интересно отметить, что измеренное значение коэффициента светопропускания чистого стекла толщиной 5 мм составило 0,94. Стекла с пониженным коэффициентом светопропускания часто применяются для экономии энергии в летний период [106].

Коэффициенты отражения, поглощения и пропускания излучения стекла зависят от длины волны падающего излучения [53], поэтому их значения различны в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах. Кроме того, при изменении угла падения светового луча на поверхность стекла при одинаковой интенсивности падающего излучения изменяются соотношения коэффициентов отражения, поглощения и пропускания [29], при изменении угла падения луча на поверхность стекла, исходя из правил геометрической оптики, изменяется и угол наклона, прошедшего через остекленную конструкцию луча.

В литературе приводятся сведения об определении и свойствах спектральных характеристик стекол [6, 20, 21, 99, 100]. Для современных стекол исследуются как оптические, так и теплофизические характеристики. К оптическим характеристикам относятся коэффициенты светопропускания, светоотражения, абсолютный показатель преломления стекла.

Спектральный коэффициент светопропускания стекол определяется по ГОСТ Р 54164-2010 [21]. Также по ГОСТ Р 54164-2010 [21] вычисляются коэффициенты отражения с наружной и внутренней стороны стекла, коэффициент общего пропускания солнечной энергии, коэффициент ультрафиолетового пропускания, коэффициент МКО вредного воздействия, коэффициент вредного воздействия на кожу, цветопередача и др. По значениям спектрального коэффициента светопропускания рассчитывается осредненный коэффициент светопропускания [21]. Коэффициент светопропускания остекления рассчитывается по формулам [21]. Для двойного остекления (однокамерного стеклопакета):

$$\tau(\lambda) = \frac{\tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)}{1-\rho_1'(\lambda)\rho_2(\lambda)} \tag{1.21}$$

Для тройного остекления (двухкамерного стеклопакета):

$$\tau(\lambda) = \frac{\tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)\tau_3(\lambda)}{\left[1-\rho_1'(\lambda)\rho_2(\lambda)\right]\cdot\left[1-\rho_1'(\lambda)\rho_3(\lambda)\right]-\tau_2^2(\lambda)\rho_1'(\lambda)\rho_3(\lambda)}, \tag{1.22}$$

где $\tau_1(\lambda)$ - спектральный коэффициент пропускания наружного листа; $\tau_2(\lambda)$ - спектральный коэффициент пропускания среднего листа; $\tau_3(\lambda)$ - спектральный коэффициент пропускания внутреннего листа; $\rho_1(\lambda)$ - спектральный коэффициент отражения наружного листа, замеренный в направлении падающего излучения; $\rho'_1(\lambda)$ - спектральный коэффициент отражения наружного листа, замеренный в направлении противоположном направлению падающего излучения; $\rho_2(\lambda)$ - спектральный коэффициент отражения среднего листа, замеренный в направлении падающего излучения; $\rho'_2(\lambda)$ - спектральный коэффициент отражения среднего листа, замеренный в направлении противоположном направлению падающего излучения; $\rho_3(\lambda)$ - спектральный коэффициент отражения внутреннего листа, замеренный в направлении падающего излучения.

Используя формулы (1.21), (1.22) для вычисления коэффициента пропускания многослойного остекления, следует подбирать комбинации стекол с известными оптическими характеристиками для достижения требуемых результатов по общему коэффициенту пропускания света и затем использовать эти значения при расчетах КЕО.

Однако до настоящего времени рекомендации по использованию характеристик стеклопакетов со стеклами с низкоэмиссионными покрытиями в расчетах КЕО не разработаны.

1.4.2 Исследования потерь света в переплетах светопроема

Прохождение и потери света в оконном переплете мало отражено в опубликованных работах. Световые характеристики оконных переплетов определялись на основе их экспериментальных исследований на лабораторных установках [19]. Помимо большой трудоемкости эти исследования могут проводиться только при наличии образцов переплетов, что не всегда выполнимо при разработке новых типов или сравнении различных серий переплетов. Аналитические зависимости для коэффициента светопропускания в оконных переплетах были получены в серии

статей Н.Н.Киреевым [42, 43, 47]. В общем виде Н.Н. Киреев предложил уравнение [42] для коэффициента светопропускания переплета:

$$\tau_2 = f(s)[w_1(\xi_1 + \eta_1) + w_2(\xi_2 + \eta_2)], \quad (1.23)$$

где $f(s)$ – параметр, учитывающий затенение света в направлении нормали к плоскости переплета, отн.ед.; $f(s) = (s_1 + s_2)/s_0$; s_1 s_2 –площади первой и второй ячеек в свету, м^2; s_0 – площадь светового проема (в свету) , м^2; w_1, w_2 – параметры, учитывающие удельный вес (по площади) ячеек переплета, отн.ед.; ξ_1 , ξ_2 - доли прямых световых потоков, упавших на первую s_1 и вторую s_2, которые пройдут непосредственно в помещение, отн.ед.; η_1 , η_2 – доли прямых световых потоков, которые, упав на внутренние грани первой и второй ячеек, пройдут после многократных отражений в помещение, отн.ед.

Вычисляя параметры, входящие в (1.14), тем или иным способом получаются конкретные формулы для расчета τ_2. В [42] Н.Н. Киреев использовал теоретические соображения Р.А. Сапожникова [68] и получил конкретный вид для формулы (1.14). Н.Н. Киреев провел сравнение рассчитанных значений τ_2 с полученными им на установке «Искусственный небосвод» экспериментальными данными [42]. Расхождения не превышали 10% , причем эти расхождения наблюдались в обе стороны.

В.А. Земцов предложил формулу для расчета значения τ_2 для фонарей [32]. Вопрос об экспериментальной корректировке расчетных данных по экспериментальным остается открытым.

Традиционно коэффициент светопропускания оконного блока определяется в установке искусственный небосвод. Установка состоит из двух частей. Верхняя часть - искусственный небосвод, окрашенный белой диффузно отражающей краской, является источником диффузного света. Нижняя часть представляет собой светомерную камеру, окрашенную матовой белой диффузно отражающей краской. Камера разделена горизонтальной перегородкой с опорной решеткой, на которую устанавливается оконный блок. С помощью внутренних фотоэлементов определяется коэффициент светопропускания оконного блока как отношение светового потока,

падающего на оконный блок, к световому потоку, попавшему в камеру. При такой методике коэффициент светопропускания оконного блока определяется в искусственных условиях.

Сложность расчета величины τ_2 обусловлена необходимостью учета размеров отдельных элементов оконного блока, их геометрии, взаимного расположения, коэффициентов отражения света внутренними гранями переплетов и др. Определение величины потерь света в переплетах оконного блока, до последнего времени, возможно было лишь на основании испытаний в светотехническом куполе [19].

При сертификации продукции оконных фирм проводятся испытания оконных блоков с целью определения коэффициента τ_0. Затем при разработке проекта здания с использованием оконных блоков определенных размеров, конфигурации, определенном заполнении светопрозрачной части возникает необходимость проверки достаточности площади оконных проемов для обеспечения величины КЕО, который нормируется по [77]. Между тем, не всегда возможно использовать результаты сертификационных испытаний по показателю τ_0, поскольку размеры оконного блока, его разрезка, профильная система, а зачастую и заполнение светопрозрачной части отличаются от того, что испытывалось. Кроме того, в разных помещениях даже одного проектируемого здания размеры и разрезка оконных блоков могут существенно отличаться.

Перед проектировщиками встает вопрос о том, какие показатели светопрозрачных заполнений закладывать при проектировании зданий. Результаты сертификационных испытаний сложно использовать в этих целях, поскольку цели сертификации продукции и цели проектирования разные, а принимать при расчете КЕО фиксированную величину светопропускания оконных блоков по частным результатам испытаний также неправомерно, т.к. значение τ_2 даже в рамках одной профильной системы может существенно изменяться [6].

1.5 Выводы по главе 1

Рассмотренные светотехнические особенности конструкций современных окон, их эксплуатационных свойств, а также методы их исследования позволили сформулировать *цель исследования*:

Совершенствование расчетных и экспериментальных методов определения светопропускания конструкций оконных блоков, в том числе энергосберегающих, для повышения точности расчетов естественного освещения, обеспечивающих световой комфорт в помещениях зданий.

ГЛАВА 2 РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ ОКОННЫХ БЛОКОВ

Общий коэффициент пропускания света оконного блока зависит от материала и площади светопрозрачного заполнения, общей площади оконных переплетов и коробки блока. Он определяется экспериментально в лабораторных установках на образцах оконных блоков в натуральную величину [19]. 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.

В связи с этим возникает необходимость в поиске альтернативного варианта определения общего коэффициента пропускания света с использованием расчетных методов.

2.1 Экспериментальные исследования светопропускания стекол, применяемых в современных оконных блоках

Экспериментальное определение светопропускания образцов стекол без покрытий, с покрытиями и стеклопакетов с их применением определялось в НИИСФ РААСН на спектрофотометре СФ-256 УВИ (рисунок 2.1), что описано в работах автора и соавторов [12, 13, 15]. Испытуемые образцы стекол

помещались в камеру спектрофотометра, после чего проводилось измерение спектрального коэффициента светопропускания в диапазоне длин волн от 190 нм до 1100 нм с шагом 10 нм. Результаты измерений представлялись в виде графика и таблицы со значениями спектрального коэффициента светопропускания при соответствующих значениях длин волн (рисунок 2.2). Вывод результатов измерений проводился в специализированном программном обеспечении (рисунок 2.2).

На основании полученных экспериментальных данных для каждого образца рассчитывался осредненный коэффициент светопропускания (далее коэффициент светопропускания) по формуле ГОСТ Р 54164-2010 [21]:

$$\tau_v = \frac{\sum_{\lambda=380нм}^{780нм} \tau(\lambda) \cdot D_\lambda \cdot V(\lambda)\Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380нм}^{780нм} D_\lambda \cdot V(\lambda)\Delta\lambda}, \quad (2.1)$$

где D_λ - относительное спектральное распределение мощности стандартного источника света D_{65}; $\tau(\lambda)$ - спектральный коэффициент пропускания остекления; $V(\lambda)$ - спектральная эффективность освещения для дневного зрения, характеризующая стандартного наблюдателя для фотометрии; величина $D_\lambda \cdot V(\lambda)$ принимается в соответствии с ГОСТ Р 54164-2010, при этом $\sum_{\lambda=380нм}^{780нм} D_\lambda \cdot V(\lambda)$; $\Delta\lambda$ -интервал длин волн.

Как видно из формулы (2.1), вычисление коэффициента светопропускания производится в видимом диапазоне спектра электромагнитного излучения.



а) б)

Рисунок 2.1 – Спектрофотометр СФ-256 УВИ:
а - общий вид ; б - размещение образца в измерительной камере

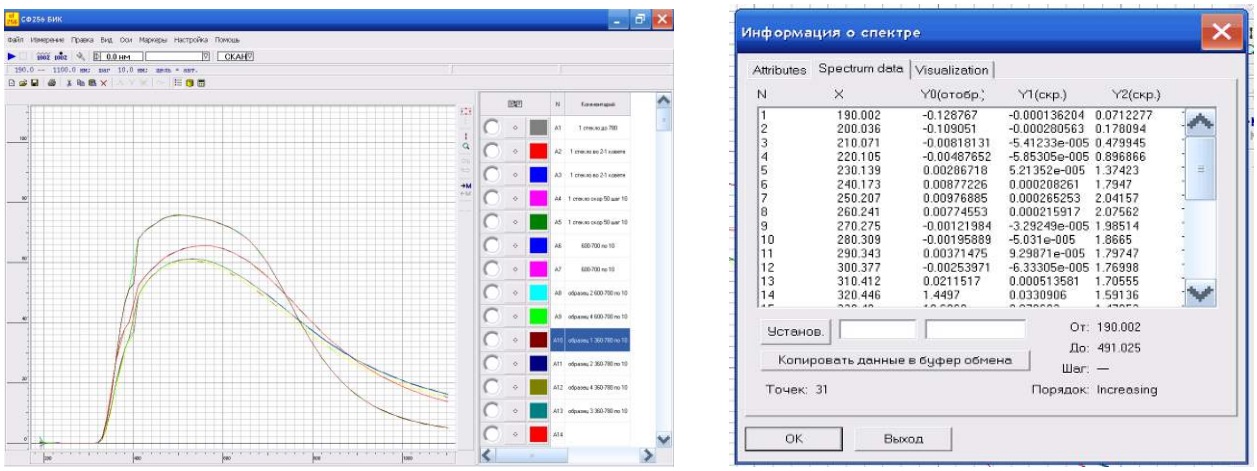


Рисунок 2.2 – Интерфейс программного обеспечения спектрофотометра СФ-256 УВИ

Для исследований были выбраны наиболее часто применяемые типы стекол: без покрытий толщиной 4 мм и 6 мм; с покрытиями толщиной 4 мм с наиболее часто используемыми покрытиями; а также образцы стеклопакетов с их комбинацией.

2.1.1 Определение светопропускания стекол без низкоэмиссионных покрытий

Значения светотехнических параметров приведены в СП 23-102-2003 [77], в частности, коэффициент светопропускания всех оконных стекол равен 0,9. Светотехнические характеристики современных флоат-стекол в настоящее время производимых стекольными заводами, отличаются от тех, что были ранее представлены в указанном СП 23-102-2003 [77]. В связи с этим задача

определения светотехнических параметров современных оконных стекол является актуальной.

Проводились измерения коэффициентов светопропускания образцов оконных стекол, производства Pilkington. Образцы представляют собой прямоугольные фрагменты стекол толщиной 4 мм (№1, 2, 3) и 6 мм (№4, 5, 6, 7), количество образцов равно 3 и 4, соответственно. Результаты измерений коэффициента светопропускания представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты измерений коэффициента светопропускания τ_1

№ образца	Измеренное значение коэффициента светопропускания (отн.ед) τ_1, № измерения			
	1	2	3	Среднее±СКО
1	0,896	0,896	0,896	0,896±0,00017
2	0,896	0,895	0,895	0,895±0,00043
3	0,896	0,896	0,896	0,896±0,00006
4	0,887	0,887	0,887	0,887±0,0002
5	0,882	0,888	0,888	0,886±0,003
6	0,887	0,884	0,888	0,886±0,002
7	0,888	0,887	0,887	0,887±0,0002

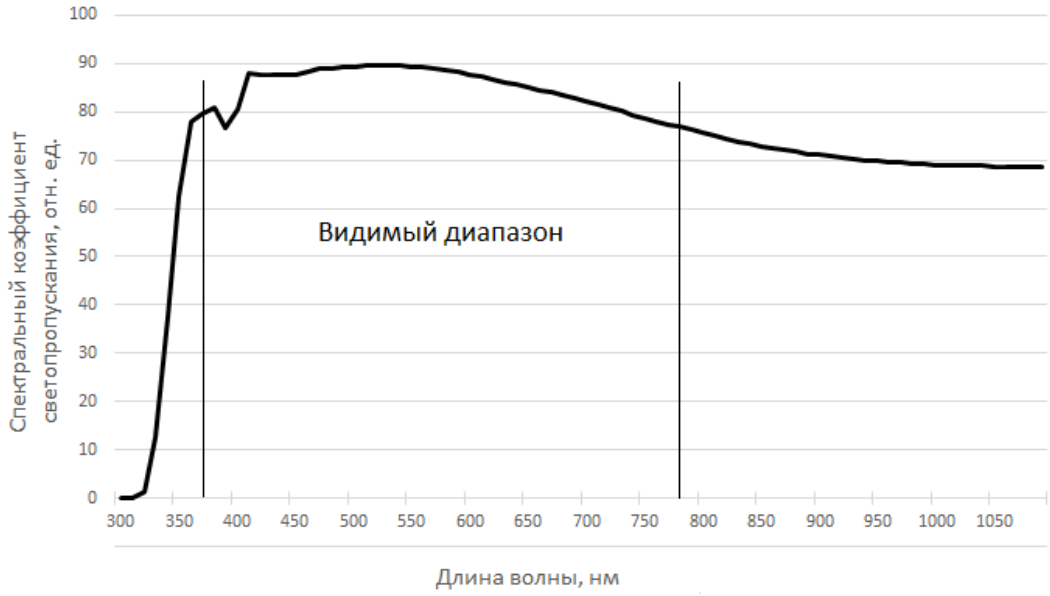


Рисунок 2.3 – Спектральный коэффициент светопропускания стекла без покрытия

Из рисунка 2.3 видно, что стекло пропускает ультрафиолетовый свет, это важно для обеспечения инсоляции жилых и общественных зданий, что описано в работах автора и соавторов [40, 41]. Кривая спектрального коэффициента

светопропускания имеет небольшой скачок при значениях около 400 нм (рисунок 2.3). Такой скачок также отмечался в [7, 95], его причины не были обнаружены в литературе.

Рассматриваемые образцы стекол толщиной 4 мм и образцы стекол толщиной 6 мм имеют одинаковые коэффициенты светопропускания, соответственно, согласно данным фирмы-производителя. Тогда можно рассчитать средние значения коэффициентов светопропускания для стекол толщиной 4 мм и толщиной 6 мм: $\tau = 0{,}896 \pm 0{,}0003 \approx 0{,}90$ и $\tau = 0{,}887 \pm 0{,}002 \approx 0{,}89$. Полученные значения согласуются с заявленными производителями: $\tau_з = 0{,}89$ и $\tau_з = 0{,}88$, соответственно, что показывает правильность проведения измерений и возможность использования данных производителя. Таким образом, при отсутствии измеренных значений, мы можем пользоваться данными производителей.

2.1.2 Определение светопропускания стекол с низкоэмиссионными покрытиями

В качестве примера экспериментальных исследований стекол со специальными покрытиями в НИИСФ РААСН были проведены измерения на спектрофотометре СФ-256 УВИ коэффициента светопропускания шести образцов стекол толщиной 4 мм трех заводов-изготовителей:

- образец SunCool 70/40- 2 шт, завод-изготовитель Pilkington;
- образец StopRay NEO- 2 шт, завод-изготовитель AGC;
- образец Clima Guard Solar- 2 шт, завод-изготовитель Guardian.

Данные образцы стекол являются мультифункциональными, т.е. низкоэмиссионными и солнцезащитными. Согласно ГОСТ Р 54164–2010 (ИСО 9050:2003) измерение коэффициента светоотражения должно проводиться со стороны покрытия. В таблице 2.2 и на рисунке 2.4 представлены результаты измерения коэффициента светопропускания со стороны покрытия, при этом рассчитаны средние значения для образцов стекол, имеющих одинаковую

маркировку. Исходные данные по результатам измерений одного из образцов стекол с низкоэмиссионным покрытием представлены в приложении Г.

Таблица 2.2 – Результаты измерения коэффициентов светопропускания τ образцов стекол с низкоэмиссионными покрытиями

№ образца	Обозначение	Измеренное значение τ, отн.ед.			Среднее±СКО, отн.ед.
		1	2	3	
1	SunCool 70/40	0,826	0,826	0,826	0,824±0,002
2	SunCool 70/40	0,823	0,823	0,821	
3	StopRay NEO	0,655	0,656	0,656	0,659±0,003
4	StopRay NEO	0,663	0,660	0,660	
5	ClimaGuardSolar	0,694	0,695	0,695	0,698±0,004
6	ClimaGuardSolar	0,701	0,702	0,703	

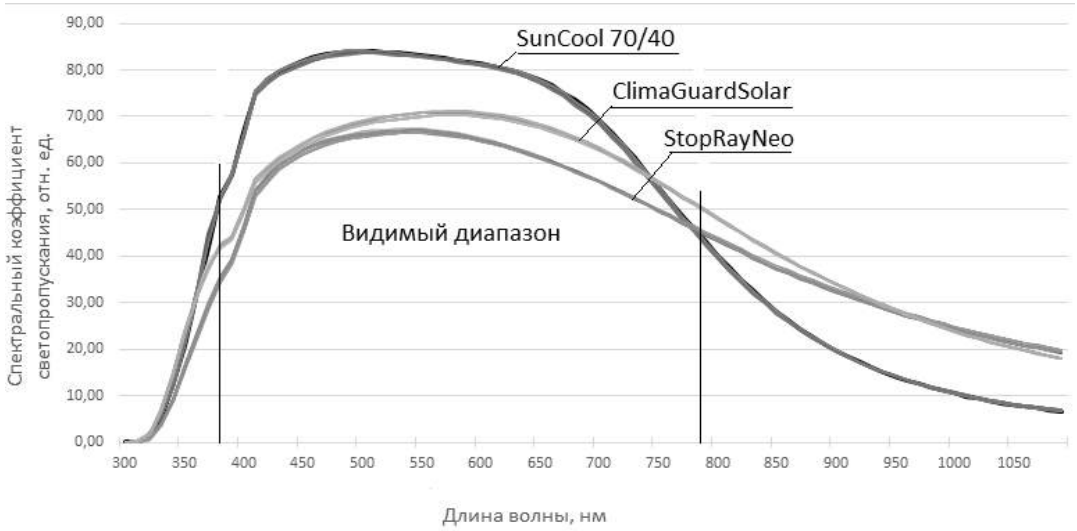


Рисунок 2.4 – Спектральные коэффициенты светопропускания стекол с покрытиями

Из полученных результатов видно, что стекло с покрытием имеет особые физические свойства по пропусканию света. В работе Е.А. Томилиной [84] приведены формулы расчета светопропускания стекол с покрытиями. Расчетный метод пропускания и отражения света в многослойных структурах описан также в [107]. Для их использования необходимо знать толщину и электропроводные свойства покрытия, мы таких данных о получаемых для испытаний образцах, как правило, не можем иметь. Следовательно, возможно

использование метода прямого измерения для определения светопропускания стекол с низкоэмиссионными покрытиями.

2.1.3 Определение светопропускания образцов стеклопакетов со стеклами, имеющими низкоэмиссионные покрытия

В качестве примеров экспериментального исследования светопропускания стеклопакетов, проводилось измерение коэффициентов светопропускания образцов стеклопакетов с мультифункциональными стеклами со стороны стекла с покрытием. Образцы стеклопакетов № 1, 2, 3 (см. таблицу 2.3) содержат мультифункциональные стекла, рассмотренные в п. 2.1.2. Образец стеклопакета № 6 также содержит мультифункциональное стекло Suncool 66/33, измерения которого отдельно не проводились. Образец стеклопакета № 4 содержит низкоэмиссионное стекло Optitherm S3. Образцы №1 и №5 со стеклами Suncool 70/40 изготовлены разными заводами одного производителя. Результаты измерений представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.3 – Маркировка образцов стеклопакетов

Номер	Маркировка образца стеклопакета	Завод-изготовитель стекла с покрытием
1	4 мм Suncool 70/40 – 16 мм воздух– 4 M1	Pilkington
2	4 мм StopRayNeo – 16 мм воздух – 4 M1	AGC
3	4 мм ClimaGuardSolar–16 мм воздух–4 M1	Guardian
4	4 мм M1 – 16 мм Ar – 4 мм Optitherm S3	Pilkington
5	4 мм Suncool 70/40 – 16 мм Ar – 4 мм M1	Pilkington
6	6 мм Suncool 66/33 – 15 мм Ar – 4 мм M1	Pilkington

Таблица 2.4 – Измеренные значения коэффициентов светопропускания образцов стеклопакетов на спектрофотометре СФ-256 УВИ

№ обр.	Измеренное значение $\tau_И$, отн.ед.			Среднее $\tau_И$±СКО, отн.ед.	Заявленное $\tau_З$ производителем	Относительная погрешность $\delta = \frac{\lvert\tau_З - \tau_И\rvert}{\tau_З} \cdot 100$, %
	1	2	3			
1	0,741	0,741	0,741	0,741±0,00	0,71	4,4
2	0,600	0,600	0,599	0,600±0,0001	0,60	0,0
3	0,648	0,648	0,647	0,648±0,0001	0,67	3,3
4	0,798	0,797	0,798	0,798±0,0001	0,80	0,3
5	0,735	0,734	0,734	0,734±0,0005	0,71	3,4
6	0,683	0,683	0,683	0,683±0,00	0,66	3,5

Измерения на спектрофотометре СФ-256 УВИ практически совпадают с заявляемыми заводом-изготовителем значениями с погрешностью, не превышающей 4,4%.

Следует обратить внимание, что значения коэффициента светопропускания для образца стеклопакета №3 при измерении ниже, чем заявленные производителем. Поэтому требуется проводить проверочные измерения коэффициентов светопропускания образцов стекол и стеклопакетов.

2.1.4 Анализ влияния типа покрытия на спектральное пропускание электромагнитного излучения стеклопакетами

Для оценки влияния типа покрытия на спектральное пропускания света были построены графики зависимостей спектральных коэффициентов образцов стеклопакетов с низкоэмиссионным покрытием №4, мультифункциональным покрытием №5 и №6 и двойного остекления со стеклами без покрытия (рисунок 2.5). Спектральная характеристика двойного остекления со стеклами без покрытий была получена путем перемножения спектральных коэффициентов двух стекол без покрытия, полученных в п. 2.1.1. Ниже будет показано, что такое перемножение допустимо.

Как видно из графиков рисунка 2.5 двойное остекление из стекол без покрытий имеет самый большой спектральный коэффициент светопропускания в инфракрасной (ИК) области спектра, далее идет остекление из одного стекла без покрытия и одного стекла с низкоэмиссионным покрытием и, наконец, самое низкое значение спектрального коэффициента светопропускания в ИК области имеют остекления из одного стекла без покрытия и одного стекла с мультифункциональным покрытием, что соответствует их назначению. Такое ограничение светопропускания в ИК области соответствует назначению низкоэмиссионных и мультифункциональных стекол, но сказывается на светопропускании последних в видимой области спектра в сторону снижения.

В таблице 2.5 приведено сравнение коэффициентов светопропускания для различных вариантов остекления, где эффективность в ИК области оценивается

путем деления спектральных коэффициентов одного образца на спектральные коэффициенты другого образца при одинаковых длинах волн падающего излучения.

По данным таблицы 2.5 можно сказать, что при высоком коэффициенте светопропускания остекления с низкоэмиссионным покрытием, его эффективность в ИК области ниже, чем у остекления с мультифункциональным покрытием, а светопропускание в видимой области выше.

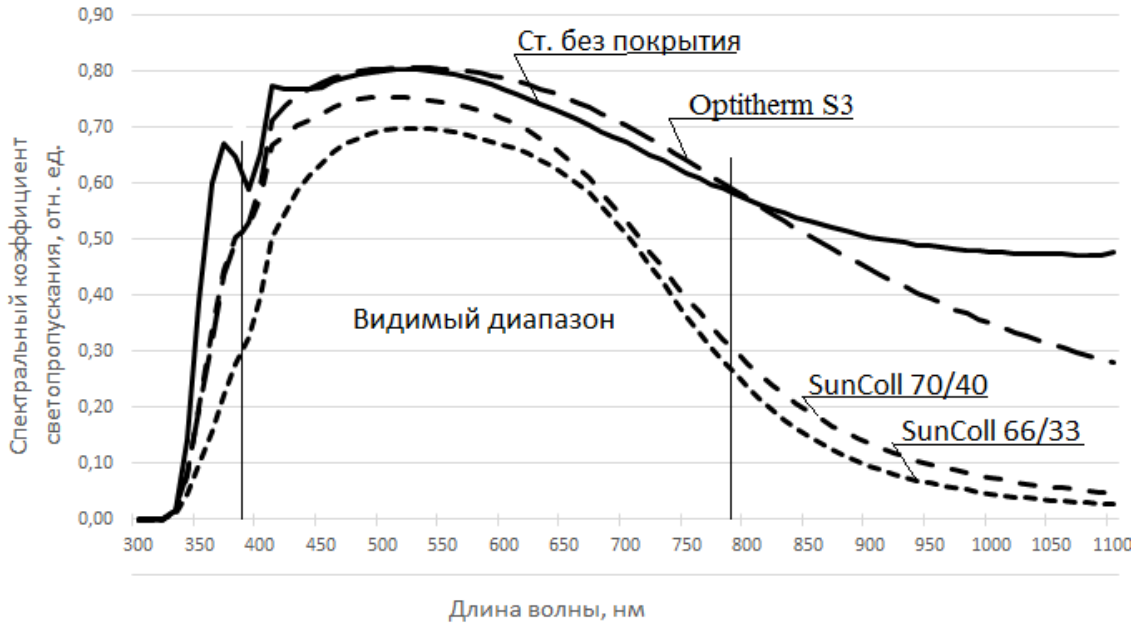


Рисунок 2.5 – Спектральные коэффициенты светопропускания образцов однокамерных стеклопакетов: стекла без покрытия (сплошная линия); стеклопакет №4 с низкоэмиссионным покрытием (длинный штрих); стеклопакет №5 с мультифункциональным покрытием (средний штрих); стеклопакет № 6 с мультифункциональным покрытием (мелкий штрих)

Таблица 2.5 – Сравнение коэффициентов светопропускания для различных вариантов остекления

Формула стеклопакета	Коэффициент светопропускания в видимой области спектра	Эффективность в ИК области спектра
6М1-6М1 и образец №4 с низкоэмиссионным покрытием	одинаковый	образец № 4 снижает ИК излучение до 1,7 раз
6М1-6М1 и образец №6 с низкоэмиссионным покрытием	У 6М1-6М1 выше на 14%	образец № 6 снижает ИК излучение в 2,2-17,2 раз

Продолжение таблицы 2.5

Формула стеклопакета	Коэффициент светопропускания в видимой области спектра	Эффективность в ИК области спектра
образец №4 с низкоэмиссионным покрытием и № 6 с мультифункциональным покрытием	У образца №4 выше на 14%	образец № 6 снижает ИК излучение в 2,2-10 раз

2.1.5 Анализ светопропускания низкоэмиссионных покрытий

Как было указано, низкоэмиссионное покрытие представляет собой электропроводные слои, светопропускание которых описывается методами нелинейной оптики [8]. Соответственно, принцип суперпозиции коэффициентов светопропускания для стекол с такими покрытиями не действует. Тем не менее, для практических целей, можно ввести величину условного коэффициента светопропускания покрытия $\tau_{Пусл}$. Данный коэффициент можно рассчитать:

- путем деления спектрального коэффициента светопропускания стекла с покрытием $\tau_{СП}(\lambda)$ на соответствующий спектральный коэффициент стекла без покрытия $\tau'_{Пусл}(\lambda) = \tau_{СП}(\lambda) / \tau_{БП}(\lambda)$, с последующей обработкой результата с целью получения условного осредненного коэффициента светопропускания покрытия по формуле 2.1. Полученный коэффициент обозначается $\tau'_{Пусл}$;
- путем деления осредненного коэффициента светопропускания стекла с покрытием на соответствующий осредненный коэффициент стекла без покрытия. Полученный коэффициент обозначается $\tau''_{Пусл} = \tau_{СП} / \tau_{БП}$.

Представим в виде таблицы 2.6 значения коэффициентов светопропускания покрытий $\tau'_{Пусл}$ и $\tau''_{Пусл}$ для образцов стекол, описанных в п. 2.1.2. В качестве коэффициента светопропускания стекла без покрытия возьмем данные п. 2.1.1 для стекол производства Pilkington толщиной 4 мм. Для

сравнения с одинарным мультифункциональным стеклом Suncool 70/40 рассматривается образец стеклопакета №1, т.к. этот образец и само одинарное стекло относятся к одной партии изготовления. Для одноименных образцов стекол с покрытиями взяты средние значения спектральных коэффициентов светопропускания из таблицы 2.2.

На графиках рисунка 2.6 представлены спектральные коэффициенты покрытий мультифункциональных стёкол $\tau'_{Пусл}(\lambda)$. Анализ спектральных значений коэффициента светопропускания показал, что покрытие стекла Suncool 70/40 имеет коэффициент светопропускания выше на 20% в видимой области спектра, а в ИК области снижает излучение электромагнитных волн в 1-3 раза.

Из таблицы 2.6 видно, что условные осредненные коэффициенты светопропускания покрытий, определенные по двум указанным способам близки между собой, значит, можно пользоваться осреднёнными коэффициентами светопропускания стекол с покрытием и без покрытий для определения условного коэффициента светопропускания покрытия. Исследованные покрытия значимо понижают коэффициент светопропускания стекол и их влиянием нельзя пренебрегать.

Таблица 2.6 – Условные коэффициенты светопропускания покрытий

№ образца стекла	Обозначение	$\tau'_{Пусл}$	$\tau''_{Пусл}$
1-2	SunCool 70/40	0,9198	0,9199
3-4	StopRay Neo	0,7351	0,7352
5-6	Clima Guard Solar	0,7796	0,7796

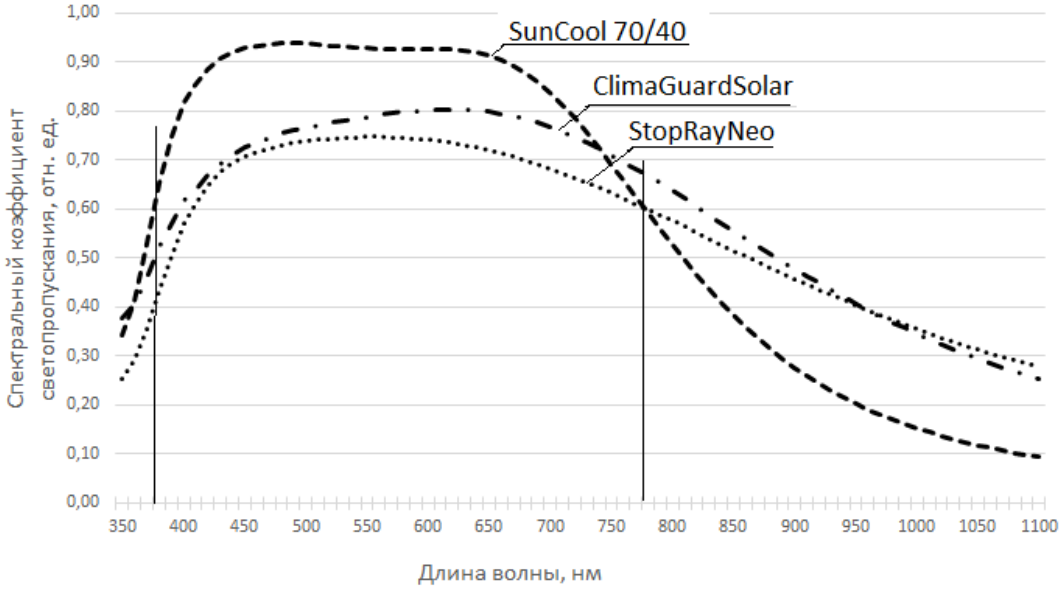


Рисунок 2.6 – Условные спектральные коэффициенты светопропускания покрытий мультифункциональных стёкол: Suncool 70/40 (штрих), StopRay Neo (пунктир), ClimaGuardSolar (штрих-пунктир)

2.1.6 Анализ спектральных коэффициентов светопропускания стёкол, входящих в состав стеклопакета

Спектральный коэффициент светопропускания $\tau(\lambda)$ многослойного остекления рассчитывается по спектральным коэффициентам светопропускания и светоотражения стекол, входящих в стеклопакет см формулы (1.21), (1.22) главы 1 [21]. Проверим, можно ли для светотехнических расчетов использовать перемножение только коэффициентов светопропускания стекол, входящих в остекление.

Результаты измерения спектральных коэффициентов светопропускания образцов стеклопакетов $\tau(\lambda)$ со стеклами с низкоэмиссионными покрытиями представлены на графиках (рисунок 2.7). Для сравнения построено спектральное распределение произведения спектрального коэффициента стекла без покрытия и стекла с низкоэмиссионным покрытием (т.е. условный спектральный коэффициент двойного остекления $\tau'_{усл}(\lambda) = \tau_{БП}(\lambda) \cdot \tau_{СП}(\lambda)$). Как видно из графиков рисунка 2.7 спектральный коэффициент светопропускания двойного остекления $\tau(\lambda)$ и условный спектральный коэффициент светопропускания двойного остекления $\tau'_{усл}(\lambda)$ достаточно близки. Результаты

расчета их осредненных значений τ и $\tau'_{усл}$ представлены в таблице 2.7. При расчете условных коэффициентов светопропускания двойного остекления $\tau'_{усл}(\lambda)$ в качестве $\tau_{БП}(\lambda)$ было взяты данные измерений п.2.1.1.

При расчете вторым способом коэффициента светопропускания: $\tau''_{усл} = \tau_{БП} \cdot \tau_{СП}$, в качестве $\tau_{БП}$ следует взять заявленные производителями значения коэффициентов светопропускания стекол без покрытий толщиной 4 мм (см. таблицу 2.15), а $\tau_{СП}$ - измеренные в п.2.2.2. коэффициенты светопропускания.

Таблица 2.7 – Сравнение коэффициентов светопропускания двойного остекления, полученного при измерении, и условный коэффициентов светопропускания двойного остекления

Название стеклопакета	$\tau_И$,	$\tau'_{усл}$	$\tau''_{усл}$	$\delta = \frac{\lvert\tau_И - \tau'_{усл}\rvert}{\tau_И} \cdot 100$,%	$\delta = \frac{\lvert\tau_И - \tau''_{усл}\rvert}{\tau_И} \cdot 100$, %
№1. 4мм Suncool70/40–16мм воздух–4 мм М1	0,741	0,738	0,742	0,4	0,1
№2. 4мм StopRayNeo–16мм воздух–4 мм М1	0,600	0,590	0,606	1,7	1,0
№3.4ммClimaGuardSolar –16мм воздух–4ммМ1	0,648	0,626	0,633	3,4	2,3

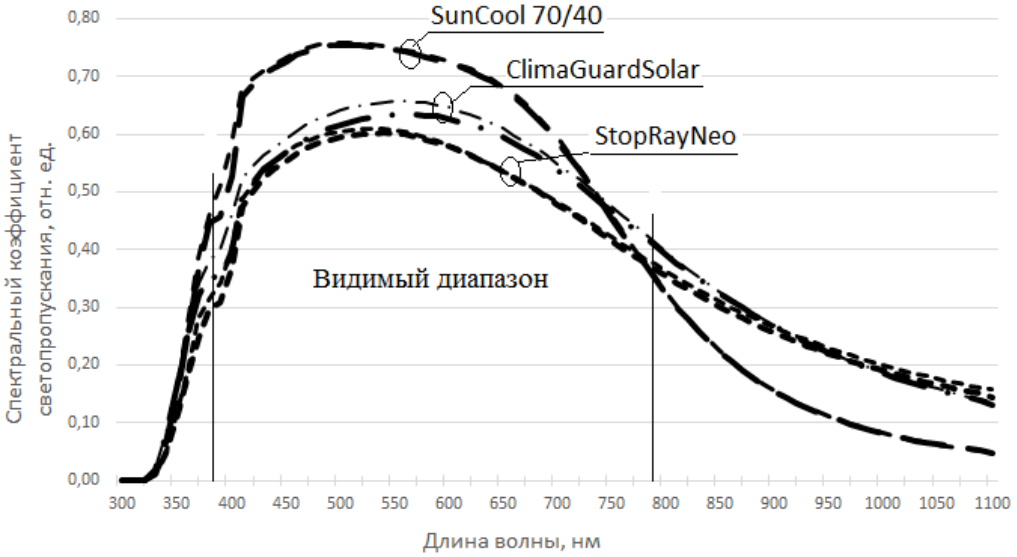


Рисунок 2.7 – Сравнение коэффициентов светопропускания стеклопакетов, полученных измерением (толстые линии) и расчетом (тонкие линии)

Из таблицы 2.7 видно, что значения условного коэффициента светопропускания двойного остекления $\tau''_{усл}$, рассчитанные с учетом данных фирм – производителей, практически совпадают с измеренными значениями (0-2,3%). В то время как условные коэффициенты $\tau'_{усл}$, найденные с использованием коэффициента светопропускания одного производителя, отличаются на 0,4-3,4% от измеренных. Учитывая, что погрешности небольшие, следует считать, что для определения коэффициента светопропускания остекления в светотехнических расчетах можно перемножать коэффициенты светопропускания отдельных стекол, в том числе с мультифункциональными покрытиями.

2.2 Определение светотехнических характеристик остекления с низкоэмиссионными покрытиями по программам и каталогу продуктов завода-изготовителя

2.2.1 Исследование влияния количества стекол с покрытиями в остеклении на светотехнические характеристики

Для определения влияния количества низкоэмиссионных стекол на коэффициент светопропускания остекления, использовалось программное обеспечение для расчета светотехнических характеристик для различных вариантов остекления. Для однокамерного стеклопакета коэффициент светопропускания рассчитывается по формуле (2.1). Заводы-изготовители представляют возможность рассчитать по этим формулам коэффициенты пропускания и отражения света с использованием специальных программ, которые имеют встроенные светотехнические характеристики производимых заводом стекол (см. таблицу 2.8). В качестве примера рассматриваются стеклопакеты из стекол производства фирмы Pilkington. При обозначении стекол и их позиций в стеклопакете используется общепринятая схема. На рисунке 2.8 приведена схема стеклопакета с нумерацией поверхностей стекол, входящих в его состав. Кроме того, обозначается тип покрытия: мягкое покрытие И; твердое покрытие К [20]. Мягкое покрытие наносится после

изготовления стекла. Такое стекло помещается в стеклопакете покрытием вовнутрь, т.к. подвержено механическим повреждениям. Твердое покрытие наносится в процессе изготовления стекла, оно более прочное и может использоваться в одинарном остеклении. Листовое стекло без покрытия обозначается буквой «М» с указанием марки, например «М1» - листовое стекло без покрытия наивысшего качества.

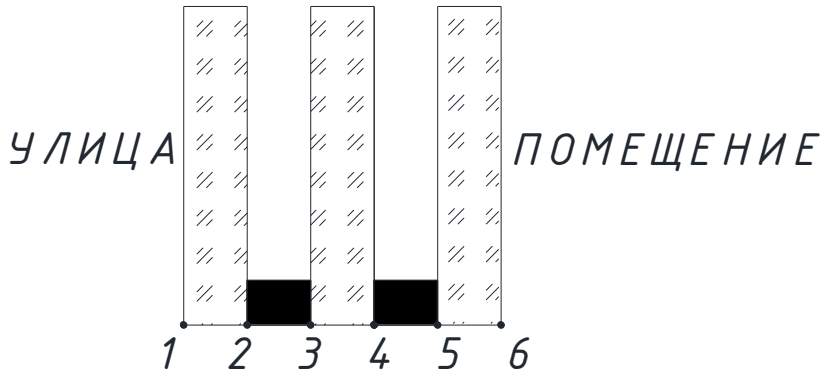


Рисунок 2.8 – Нумерация поверхностей стекол в стеклопакете

Таблица 2.8 – Программное обеспечение для расчета светотехнических характеристик различных вариантов остекления

Завод-изготовитель	Программное обеспечение	Сайт
Pilkington*	Pilkington Spectrum On-line	http://www.pilkington.com
AGC	Glass Configurator	http://www.yourglass.com
Guardian	Guardian Configurator	http://www.guardian-russia.ru

* - наиболее доступная для употребления программа Pilkington Spectrum On-line.

Для сопоставления расчетов по формуле (1.22) для двойного остекления, представленной в главе 1, и по программе проведен расчет светотехнических характеристик однокамерного стеклопакета. При расчете использовались данные таблицы 2.9: коэффициент светопропускания τ, отн. ед.; коэффициент

отражения с наружной стороны $\rho_{нар}$, отн. ед.; коэффициент отражения с внутренней стороны $\rho_{внут}$, отн. ед.

Таблица 2.9 – Светотехнические характеристики одинарного остекления

Название энергосберегающего стекла	τ, отн. ед.	$\rho_{нар}$, отн. ед.	$\rho_{внут}$, отн. ед.
Optifloat Clear	90	8	8
K Glass	82	11	12

Результат расчета для однокамерного стеклопакета (4 мм Pilkington Optifloat Clear наружное стекло – 16 мм аргон – 4 мм K Glass):

τ= 0,745, $\rho_{нар}$ = 0,178 , $\rho_{внут}$ = 0,174.

Полученные значения светотехнических характеристик хорошо соответствуют полученным по программе (таблица 2.10). Результаты расчетов для различных стеклопакетов из стекол производства Pilkington по программе сведены в таблицы (2.10)-(2.13). В таблицах (2.10)-(2.13) приведены значения коэффициента теплопередачи, *U*, для сравнения теплотехнических характеристик вариантов остекления (для условий Центральной Европы при температуре наружного воздуха $+5^0$C, внутреннего воздуха $+20^0$C). В последнем столбце таблиц 2.10-2.13 приводятся данные сравнения с аналогичным вариантом остекления без покрытий, которое находится в первой строке каждой из таблиц.

Таблица 2.10 – Светотехнические характеристики однокамерных стеклопакетов с низкоэмиссионным стеклом, рассчитанные в программе (4мм Pilkington Optifloat Clear наружное стекло – 16мм аргон – 4 мм низкоэмиссионное стекло)

Название 2-го стекла	τ, отн. ед.	$\rho_{нар}$,отн. ед.	$\rho_{внут}$,отн. ед.	*U*, Вт/м^{2}К	Изменение τ, %
Optifloat Clear	0,82	0,15	0,15	2,7	-
K Glass	0,75	0,18	0,17	1,72	8,5
Optitherm S3	0,80	0,12	0,13	1,45	2,4
Optitherm S1	0,70	0,21	0,23	1,39	14,6

Таблица 2.11 – Светотехнические характеристики двухкамерных стеклопакетов с одним низкоэмиссионным стеклом, рассчитанные в программе (4 мм Pilkington Optifloat Clear – 16 мм аргон – 4 мм Pilkington Optifloat Clear – 16 мм аргон– 4 мм низкоэмиссионное стекло)

Название 3-го стекла	τ, отн. ед.	$\rho_{нар}$,отн. ед.	$\rho_{внут}$,отн. ед.	U, Вт/м^{2}К	Изменение τ, %
Optifloat Clear	0,75	0,20	0,20	1,64	-
K Glass	0,69	0,23	0,21	1,14	8
Optitherm S3	0,73	0,18	0,18	0,95	2,7
Optitherm S1	0,64	0,26	0,27	0,90	14,7

Таблица 2.12 – Светотехнические характеристики двухкамерных стеклопакетов, рассчитанные в программе, с двумя низкоэмиссионными стеклами. Расстояние между стеклами 12 мм (4 мм энергосберегающее стекло – 12 мм аргон – 4 мм Pilkington Optifloat Clear – 12 мм аргон– 4 мм низкоэмиссионное стекло)

Название 1-го и 3-го стекла	τ, отн. ед.	$\rho_{нар}$,отн. ед.	$\rho_{внут}$,отн. ед.	U, Вт/м^{2}К	Изменение τ, %
Optifloat Clear	0,75	0,20	0,20	1,64	-
K Glass	0,63	0,24	0,24	0,92	16
Optitherm S3	0,71	0,16	0,16	0,73	5,3
Optitherm S1	0,55	0,31	0,31	0,68	27

Таблица 2.13 – Светотехнические характеристики двухкамерных стеклопакетов, рассчитанные по программе, с двумя низкоэмиссионными стеклами. Расстояние между стеклами 16 мм (4 мм энергосберегающее стекло – 16 мм аргон – 4 мм Pilkington Optifloat Clear – 16 мм аргон– 4 мм низкоэмиссионное стекло)

Название 1-го и 3-го стекла	τ, отн. ед.	$\rho_{нар}$,отн. ед.	$\rho_{внут}$,отн. ед.	U, Вт/м^{2}К	Изменение τ, %
Optifloat Clear	0,75	0,20	0,20	1,64	-
K Glass	0,63	0,24	0,24	0,87	16
Optitherm S3	0,71	0,16	0,16	0,68	5,3
Optitherm S1	0,55	0,31	0,31	0,64	27

Как видно из таблиц 2.12-2.13, значения светотехнических характеристик не зависят от расстояния между стеклами, а значения коэффициента теплопередачи уменьшаются при увеличении указанного расстояния.

Как следует из данных таблиц 2.10-2.13, при увеличении количества низкоэмимиссонных стекол в одном и том же типе стеклопакета, значение коэффициента светопропускания уменьшается, что объясняется влиянием покрытия. При увеличении количества стекол с твердым К – покрытием в остеклении коэффициент светопропускания уменьшается на 16%, а коэффициент теплопередачи уменьшается в 2 раза. При увеличении количества стекол с мягким И – покрытием коэффициент светопропускания уменьшается на 5,3-27%, а коэффициент теплопередачи уменьшается в 2,4-2,6 раза.

2.2.2 Анализ светотехнических и теплотехнических характеристик современных стеклопакетов со стеклами с низкоэмиссионными покрытиями с различными комбинациями и типами стекол

С целью определения коэффициентов светопропускания современных стеклопакетов были обобщены и сведены в таблицы 2.14-2.15 данные, представленные заводами-изготовителями. Имеется большой выбор низкоэмиссионных стекол с различными типами покрытий, основные из которых представлены в таблице 2.14.

При выборе стеклопакета следует обращать внимание на то, что не всегда в стандартных двухкамерных стеклопакетах используются стекла, применяемые в однокамерных стеклопакетах. Также в трехкамерных стеклопакетах не всегда используются стекла, применимые в двухкамерных стеклопакетах. Кроме того, заводы изготавливают стекла специально для трехкамерных стеклопакетов. Поэтому в таблицах указано стандартное использование стекол в стеклопакете, при этом также выбраны стандартные стеклопакеты, указанные заводом-изготовителем как оптимальный вариант соотношения световых и тепловых характеристик. В таблице 2.15 приведены характеристики с учетом того, что стеклопакет заполнен аргоном, а не

воздухом. Это связано с тем, что более полные данные представлены заводами именно при заполнении аргоном, кроме того, тип газонаполнителя не оказывает влияния на светотехнические характеристики. Цветные стекла в рассмотрение не брались.

Таблица 2.14 – Основные серии стекол с низкоэмиссионными покрытиями, производимые тремя заводами-изготовителями

Тип стекла	Pilkington	AGC	Guardian
Стекло М1	Optifloat Clear	Planibel Clear Planibel ClearVision	Float glass clear Float glass extra clear Float glass ultra clear
К – стекло	K glass	Planibel G, fasT, A	-
И – стекло *,**	Optitherm S1, S3, SN	Planibel N+T, Planibel top N+ Tri**	ClimaGuard NRG Premium ClimaGuard N ClimaGuard 1.0
mfК*,**	Eclipse Advantage Solar E	-	-
mfИ*,**	Suncool	Energy N, NT Stopray	ClimaGuardSolar

Примечания: mfК, mfИ – многофункциональное К или И; “*”- стекло только для 1-х камерных стеклопакетов;“**”- стекло только для 2-х и более камерных стеклопакетов.

Значения коэффициентов светопропускания и теплопередачи для различных стеклопакетов с использованием стекол с покрытиями от трех производителей приведены в таблице 2.15.

Таблицу 2.15 можно преобразовать к виду таблицы 2.16, из которой наглядно видно, что при увеличении количества стекол в остеклении, коэффициент светопропускания и коэффициент теплопередачи уменьшаются для всех типов остекления.

Таблица 2.15 – Сводная таблица коэффициентов светопропускания и коэффициентов теплопередачи различных стеклопакетов трех заводов-изготовителей

Остекление	Pilkington	AGC	Guardian
	τ, отн.ед., в скобках U, Вт/м^{2}К		
4М1	0,90 (5,8)	0,90; 0,92 (5,8)	0,91 (5,8)
6М1	0,88 (5,7)	0,89; 0,91 (5,7)	0,89;0,90;0,91(5,7)
4М1-16Ar -4М1	0,81 (2,6)	0,81 (2,6)	0,828 (2,7)
4М1-16Ar-4М1-16Ar-4М1	0,74 (1,7)	0,74 (1,7)	0,761 (1,6)
6М1-16Ar-4М1-12Ar-4М1	0,73 (1,7)	-	-
4К – стекло	0,82 (3,7)	0,81; 0,82 (3,7)	-
4М1-16Ar- 4К	0,75 (1,5)	0,74 (1,5)	-
4М1-16Ar-6К	0,73 (1,5)	-	-
4К-16Ar-4М1-16Ar-4К	0,63 (0,8)	-	-
4К-12Ar-4М1-12Ar-4К	0,63 (1,0)	-	-
От 4 mfK до 10 mfK	0,65-0,67 (3,8)	-	-
6mfK-16Ar-6М1	0,60 (1,6)	-	-
6mfK-16Ar- 6К	0,56 (1,3)	-	-
6mfK-16Ar- 6И	0,58 (1,3)	-	-
6mfK-16Ar-4М1-12Ar-4М1	0,56 (1,2)	-	-
И – стекло	-	-	-
4М1-16Ar- 4И	0,70;0,78;0,80 (1; 1,1; 1,2)	0,78-0,80 (1,1)	0,70; 0,80; 0,81 (1;1,1;1,3)
4М1-16Ar-6И	0,77 (1,2)	-	-
4И-16Ar-4М1-16Ar-4И	0,56;0,71(0,5;0,6)	0,72; 0,74 (0,7)	-
4И-14Ar-4М1-14Ar-4И	-	0,72; 0,74 (0,7)	0,55;0,71;0,73(0,6;0,7)
4М1-12Ar-4М1-12Ar-4И			0,73 (1,0)
4И-12Ar-4М1-12Ar-4И	0,56;0,71(0,5;0,6)	0,71; 0,74 (0,8)	0,55; 0,71; 0,72 (0,7)
6И-16Ar-4М1-16Ar-6И	-	0,71 (0,7)	-
6И-14Ar-4М1-14Ar-6И		0,71 (0,7)	
6И-12Ar-4М1-12Ar-6И	-	0,71 (0,8)	-
4mfИ-16Ar-4М1	-	0,71;0,75(1,0;1,1)	0,67 (1,0)
6mfИ-16Ar-4М1	0,40-0,71 (1,1)	0,70;0,74(1,0;1,1)	
6mfИ-16Ar-4М1-12Ar-4М1	0,36-0,64 (0,9)	-	-

Примечание к таблице 2.15: “-“ - значение не найдено в номенклатуре изделий.

Из таблицы 2.16 видно, что двойное остекление с И–стеклом может быть сопоставимо с двойным остеклением с М1–стеклом по коэффициенту светопропускания, при этом по коэффициенту теплопередачи значительно лучше его (в два раза). В таблице 2.16 жирным шрифтом выделены значения коэффициента светопропускания, рекомендуемые для внесения в нормативные документы.

Таблица 2.16 – Коэффициент светопропускания при двойном и тройном остеклении стеклами от трех производителей. В скобках указано значение *U* при заполнении аргоном 90%

Стекло	Коэффициент светопропускания остекления τ, отн.ед., в скобках указаны значения *U*, Вт/м^{2}К	
	Двойное остекление	Тройное остекление
М1 – стекло 4 мм	**0,81**(2,6) или 0,828(2,7)	**0,74** (1,7) или 0,761(1,6)
К – стекло 4 мм	0,75; **0,74** (1,5)	**0,63** (1,0;0,8)
И – стекло 4 мм 6мм	0,70;0,78; 0,80; **0,81** (1,0;1,1;1,2;1,3) **0,77** (1,2)	0,55;0,56;0,71;0,72;0,73; **0,74** (0,6; 0,7; 0,8) **0,71** (0,7; 0,8)
mfK – стекло 6 мм	**0,60** (1,6)	**0,56** (1,2)
6 мм mfK + 6 мм К 6 мм И	**0,56** (1,3) **0,58** (1,3)	-
mfИ –стекло 4мм 6мм	0,67;0,71;**0,75** (1,0;1,1) От 0,40 до 0,71 (1,1) 0,70; **0,74** (1,0; 1,1)	0,36-**0,64** (0,9)

2.3 Расчет коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконных блоков

Впервые аналитический метод определения светопропускания оконного блока был предложен Н.Н. Киреевым [42, 44]. Поскольку точный учет всех факторов, влияющих на прохождение света через оконный блок, затруднителен, Н.Н. Киреев рассматривал прохождение рассеянного света при следующих допущениях:

– падающий световой поток однороден (все направления падения света равноценны);

– все элементы переплета имеют прямоугольное сечение;

– при спаренных и двойных раздельных переплетах элементы, ортогональные проекции которых совпадают, заменяются одним условным элементом,

толщина которого равняется суммарной площади двух элементов и воздушной прослойки между ними;

– геометрические размеры светового проема и отражения света от оконных откосов не рассматриваются, так как эти факторы должны учитываться в уравнениях перераспределения света в помещении.

При обобщении уравнения (1.23) получаем выражение для коэффициента светопередачи через оконный блок:

$$\tau_2 = \frac{\Phi_1}{\Phi_0} = f(s)\sum_{i=1}^{n}\left[\omega_i\left(\xi_i + \eta_i\right)\right], \tag{2.5}$$

где Φ_1 – световой поток, прошедший через ячейки переплета оконного блока в помещение, лм; Φ_0 – световой поток, упавший на оконный блок из наружного пространства, лм; $f(s)$ – параметр, учитывающий затенение света в направлении нормали к плоскости оконного блока, отн.ед.; ω_i – параметр, учитывающий удельный вес по площади i-ой ячейки блока, отн.ед.; ξ_i – доля прямого светового потока, упавшего на i-ую ячейку и прошедшего непосредственно в помещение, отн.ед.; η_i – доля прямого светового потока, который, упав на внутренние грани i-ой ячейки, пройдет после многократных отражений в помещение, отн.ед.

Решая уравнение (2.5), Н.Н. Киреев получил следующее выражение коэффициента светопередачи через оконный блок при диффузном отражении светового потока стенками ячеек блока (метод 1) [42, 44]:

$$\tau_2 = \frac{1}{S_0}\sum_{i=1}^{n}\left\{\left(\sqrt{S_i^2+\sigma_i^2}-\sigma_i\right)+\frac{\left(S_i+\sigma_i-\sqrt{S_i^2+\sigma_i^2}\right)^2\rho}{\sigma_i(1-\rho)+2\left(S_i+\sigma_i-\sqrt{S_i^2+\sigma_i^2}\right)\rho}\right\}, \tag{2.6}$$

где S_0 – площадь светового проема по наружному измерению в свету, м^2; ρ – коэффициент диффузного отражения внутренних граней ячейки, отн.ед.; $S_i=a_i \cdot b_i$ – площадь i-й ячейки в свету, м^2; a_i, b_i – ширина и высота i-й ячейки в свету, м; $\sigma_i=d_i(a_i+b_i)$ – площадь полупериметра торцевых стенок i-й ячейки переплета, м^2; d_i–суммарная толщина i-й ячейки переплета, м;

Опубликованный в 2008 году стандарт СТО 44416204-2008 «Расчетный метод определения общего коэффициента пропускания света оконных и дверных оконных блоков» [83] содержит несколько усложненное выражение формулы (2.6). Авторы стандарта, увеличив площадь полупериметра вдвое, получили площадь периметра торцевых стенок *i*-ой ячейки переплета. В этом случае выражение (2.6) приняло вид (метод 2):

$$\tau_2 = \frac{1}{S_0}\sum_{i=1}^{n}\left[\left(\sqrt{S_i^2 + 0,25\sigma_i^2} - 0,5\sigma_i\right) + \frac{\left(S_i + 0,5\sigma_i - \sqrt{S_i^2 + 0,25\sigma_i^2}\right)^2 \rho}{0,5\sigma_i(1-\rho) + 2(S_i^2 + 0,5\sigma_i - \sqrt{S_i^2 + 0,25\sigma_i^2})\rho}\right] \quad (2.7)$$

Параметры формулы (2.7) совпадают с параметрами формулы (2.6) за исключением $\sigma_i = 2d_i(a_i + b_i)$ – площадь периметра торцевых стенок *i*-й ячейки переплета, м.

В современном строительстве жилых и общественных зданий часто встречаются проекты с применением круглых, полукруглых и сложных форм оконных блоков (рисунок 2.9) с целью создания выразительности фасадов зданий и интерьеров помещений. Метод определения общего коэффициента пропускания света, изложенный в [42, 44, 83], применим только для оконных блоков с прямоугольными ячейками переплетов (рисунок 2.10).

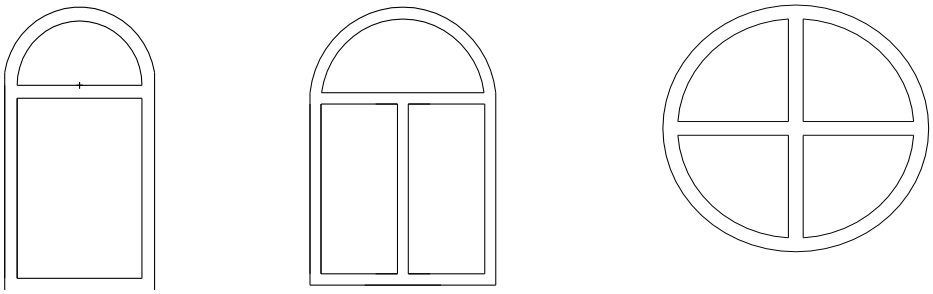


Рисунок 2.9 – Оконные блоки: круглые, полукруглые, сложной формы

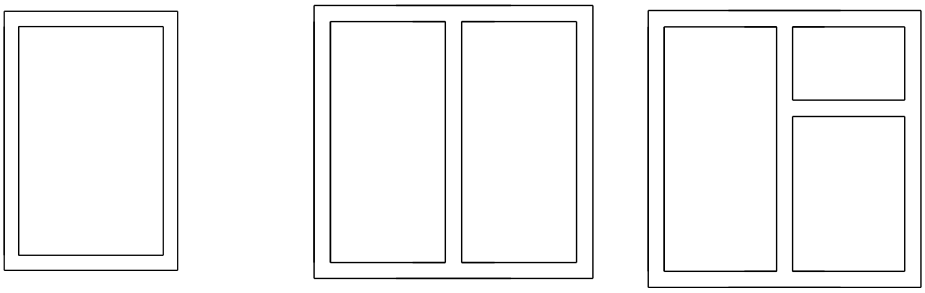


Рисунок 2.10 – Оконные блоки прямоугольной формы

В качестве универсального метода расчета светопропускания оконного блока, учитывающего различные конфигурации ячеек переплета, предлагается модернизированный метод, изложенный ниже и основанный на соотношениях в [31, 32] для шахтных фонарей, где большой вклад дает отраженная составляющая падающего светового потока. Для оконных блоков не надо учитывать большое число составляющих света, отраженного от граней ячеек переплета. Кроме того, в работах В.А. Земцова и автора [34, 39], формула была существенно модифицирована для различных форм ячеек, входящих в оконный блок. При этом общий подход к определению коэффициента светопередачи через оконный блок остается неизменным и описывается соотношением (2.5). В соответствии [32] τ_2 выражается общим соотношением:

$$\tau_2 = \frac{1}{S_0}\sum_{i=1}^{n}[S_i(K_{\Gamma i} + K_{\Pi i})], \qquad (2.8)$$

где S_0 – площадь оконного блока по наружному обмеру, м^2; $S_i = a_i\, b_i$ – 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 [39]:

$$K_{\Gamma i} = 0{,}25\left[\sqrt{\left(1/\beta_i\right)^2 + 4} - \left(1/\beta_i\right)\right]^2 \qquad (2.9)$$

$K_{\Pi i}$ – составляющая коэффициента светопередачи, зависящая от отражательных свойств внутренних граней ячеек переплета [39]:

$$K_{\Pi i} = \frac{\beta_i \cdot \rho_g \cdot (1 - K_{\Gamma i})^2}{2 - \rho_g \cdot [K_{\Gamma i} \cdot (2 + \beta_i) - \beta_i]} \qquad (2.10)$$

Рассмотрим два основных варианта оконных блоков, встречающихся в строительной практике:

- оконный блок с прямоугольной формой ячеек переплета;
- оконный блок с круглой формой ячеек переплета.

Совместное решение (2.8)-(2.10) приводит к общей формуле коэффициента светопередачи через оконный блок (метод 3):

$$\tau_2 = \frac{1}{S_0}\sum S_i \cdot \left\{0{,}25\left[\sqrt{\left(1/\beta_i\right)^2 + 4} - \left(1/\beta_i\right)\right]^2 + \frac{\beta_i \cdot \rho \cdot (1 - K_\Gamma)^2}{2 - \rho \cdot \left[K_\Gamma \cdot (2 + \beta_i) - \beta_i\right]}\right\}, \qquad (2.11)$$

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.

Для сравнительного анализа представленных методов расчета общего коэффициента пропускания света оконными блоками были выполнены исследования одного оконного блока из ПВХ-профилей Veka и одного блока со спаренными деревянными переплетами.

Результаты расчета, представленные в таблице 2.17, показывают хорошую их сходимость по всем трем представленным методам.

Таблица 2.17 – Сравнение методов расчета коэффициента светопередачи через оконный блок

Тип оконного блока	τ_2 по формулам (2.6), (2.7), (2.11), отн. ед.
Деревянные со спаренными переплетами	(2.6), (2.7) – 0,59 (2.11) – 0,60
Из ПВХ-профилей Veka с двухкамерным стеклопакетом	(2.6), (2.7) – 0,52 (2.11) – 0,53

2.4 Расчетно-экспериментальный метод определения светопропускания оконных блоков

Комбинированный метод заключается в определении одного из параметров общего коэффициента пропускания света – коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконного блока τ_2 – расчетным путем, представленным в п. 2.3 настоящей работы, что изложено в работах В.А. Земцова и автора [37, 39]. Второй параметр – коэффициент пропускания света светопрозрачным заполнением τ_1 определяется экспериментально с помощью приборов или лабораторных установок. Его определение подробно рассмотрено в разделах 2.2, 2.3 данной главы. Общий коэффициент пропускания света оконного блока вычисляется по формуле [77]:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \qquad (2.12)$$

Таким образом, можно рассчитать общий коэффициент пропускания света оконного блока, использовав данные таблицы 2.18 для коэффициента τ_2, а также значения τ_1, определенного экспериментально. Сравнение методов расчета общего коэффициента пропускания света оконного блока приведено в таблице 2.18.

Таблица 2.18 – Сравнение методов расчета общего коэффициента пропускания света оконного блока

Тип оконного блока	τ_1 по табл. Б.7 [77], отн. ед.	τ_2 по формулам (2.6), (2.7), (2.11), отн. ед.	Общий коэффициент пропускания света оконного блока, отн. ед.
Деревянные со спаренными переплетами	0,80	(2.6), (2.7) – 0,59 (2.11) – 0,60	(2.6), (2.7) – 0,47 (2.11) – 0,48
Из ПВХ-профилей Veka с двухкамерным стеклопакетом	0,75	(2.6), (2.7) – 0,52 (2.11) – 0,53	(2.6), (2.7) – 0,39 (2.11) – 0,40

Из формул (2.6), (2.7), (2.11) видно, что коэффициент, учитывающий потери света в оконном блоке, зависит от двух основных параметров:

- от параметра, учитывающего затенение света в направлении нормали к плоскости оконного блока;

- от параметра, определяющего пропускание света ячейками переплета, учитывающего многократные отражения на внутренних гранях ячеек переплетов.

Как видно из формул, чем меньше суммарная площадь переплетов и чем тоньше их внутренние грани в оконном блоке, тем выше его общий коэффициент светопропускания. Эти факторы необходимо учитывать при разработке конструкций оконных блоков.

Анализ значений коэффициентов τ_2, представленных в таблице Б.7 [77], позволяет отметить следующие неточности этой таблицы:

- значения коэффициента τ_2 учитывают потери света в переплетах без учета потери света в коробке оконного блока;

- значения коэффициента τ_2 являются некоторыми усредненными величинами определенного вида оконных блоков и не зависят от площади переплетов, от количества световых ячеек переплетов, от суммарной толщины переплетов определенного вида.

В отличие от оконных блоков с деревянными спаренными переплетами, оконные блоки из ПВХ не имеют отдельной коробки, их переплеты составляют единую целую конструкцию. Поэтому при расчете коэффициента τ_2 в блоках из ПВХ учитывается затенение не только переплетами, а суммарное затенение переплетом и оконной коробкой. Данные обстоятельства необходимо учитывать при расчете естественного освещения помещений в зданиях гражданского назначения.

2.5 Выводы по главе 2

1. Проведены экспериментальные исследования на спектрофотометре коэффициента светопропускания современных оконных стекол без покрытий толщиной 4 и 6 мм. Получено, что коэффициенты светопропускания

составляют 0,896±0,0003 и 0,887±0,002, соответственно, что близко к заявленному производителем.

2. Коэффициенты светопропускания стекол и стеклопакетов, в т.ч. с низкоэмиссионными покрытиями, следует определять по ГОСТ Р 54164-2010 [21] или используя данные завода-изготовителя или аккредитованной лаборатории по определению спектрального пропускания света остеклением.

3. Измеренные значения коэффициентов светопропускания стекол без покрытий, с покрытиями и образцов однокамерных стеклопакетов со стеклами с мультифункциональными покрытиями хорошо согласуются с данными фирм-производителей с погрешностью, не превышающей 4,4 %.

4. У остекления, содержащего стекло с низкоэмиссионным покрытием, значения коэффициента светопропускания выше на 14%, чем у остекления с мультифункциональным покрытием, а эффективность в ИК области ниже до 10 раз.

5. Из рассматриваемых мультифункциональных покрытий, покрытие стекла Suncool 70/40 имеет коэффициент светопропускания выше на 20%, а в ИК области снижает проникновение излучения до 3-х раз лучше, чем два других рассмотренных покрытия.

6. Показано, что для светотехнических расчетов при нахождении коэффициента светопропускания остекления можно перемножать коэффициенты светопропускания стекол с покрытиями, входящих в стеклопакет.

7. При увеличении количества стекол с твердым К – покрытием в остеклении коэффициент светопропускания уменьшается на 16%, а коэффициент теплопередачи уменьшается в 2 раза. При увеличении количества стекол с мягким И – покрытием коэффициент светопропускания уменьшается на 5,3-27%, а коэффициент теплопередачи уменьшается в 2,4-2,6 раза.

8. Двойное остекление с И – стеклом может быть сопоставимо с двойным остеклением с М1- стеклом по коэффициенту светопропускания, при этом по коэффициенту теплопередачи значительно лучше его (в два раза).

9. С целью проверки заявляемых производителями коэффициентов светопропускания остекления необходимо проводить дополнительные измерения.

10. Составлена сводная таблица значений коэффициентов светопропускания и теплопередачи для двойного и тройного остекления со стеклами без покрытий, с низкоэмиссионными и мультифункциональными покрытиями от трех основных производителей. Рекомендуется использование этой таблицы, включающей только максимальные значения коэффициента светопропускания в дополнение к первой части таблицы Б.7 СП 23-102-2003 [77].

11. Разработан и представлен для использования метод определения общего коэффициента пропускания света оконными блоками, учитывающий различные их формы и формы ячеек переплета с использованием предложенной формулы 2.11.

12. Рекомендуется ввести расчет коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконного блока, по предложенной формуле 2.11 вместо второй части таблицы Б.7 СП 23-102-2003 [77].

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ ОКОННЫХ БЛОКОВ

Экспериментально коэффициент светопропускания оконных блоков определялся на установке «Искусственный небосвод», но сейчас его использование затруднено. Поэтому для определения общего коэффициента светопропускания в натурных условиях разработана методика и установка. Светотехническое моделирование для различных исследовательских целей было применено в работах Н.Н. Киреева [44], С.В. Стецкого [82] и др. Обзор литературы показал, что для определения общего коэффициента светопропускания в натурных условиях светотехническое моделирование не применялось.

3.1 Суть метода и основные принципы работы установки для исследования светопропускания заполнений светопроемов в натурных условиях

Метод, описанный в работе автора и соавторов [35], состоит в измерении освещенности в физической модели некоторого условного помещения со светопроемом, начинающимся от пола модели. Для исключения влияния отраженного света, модель оклеена изнутри черным бархатом. В данной модели освещенность измеряется на уровне пола. Размеры светопроема модели подобны размерам светопроема помещения. Для измерения освещенности в модели используется люксметр. Измерение в модели проводят дважды - с учетом заполнения светопроема оконным блоком и без него. Первое измерение проводят в модели при закрытых створках окна в исследуемом помещении. При этом модель устанавливается таким образом, чтобы из точки модели, в которой проводятся измерения освещенности ($E_1^б$) и в которой установлен датчик люксметра, было видно только заполнение светопроема помещения и не были видны стены и внутренние откосы оконного проема. Второе измерение освещенности ($E_2^б$) проводят в той же точке модели, но сама модель вынесена по горизонтали за заполнение светопроема помещения на улицу и

ориентирована параллельно тому положению, которое она занимала при первом измерении. Данный принцип основан на светотехнических законах [24]:

- о проекции телесного угла – освещенность в какой-либо точке помещения равна произведению яркости участка небосвода, видимого из данной точки через окно, на проекцию телесного угла под которым виден этот участок небосвода на освещаемую поверхность;

- о светотехническом подобии – освещенность в какой-либо точке помещения зависит не от абсолютных, а от относительных размеров помещения.

Одновременно с измерениями освещенности внутри модели, другим люксметром измеряется наружная вертикальная освещенность ($E_1^в$, $E_2^в$) в плоскости стены с окном. Измеренные данные позволяют оперировать относительными освещенностями, получаемыми в модели. Отношение получаемых значений относительных освещенностей в одной и той же точке модели при наличии оконного блока и без него, т.е. при выносе модели за плоскость стены, позволяет получить коэффициент общего светопропускания заполнения оконного блока.

3.2 Теоретическое обоснование метода исследования светопропускания заполнений светопроемов

При обобщении формулы (1.16), КЕО при боковом освещении (от окон) в помещении рассчитывается по формуле [77]:

$$e^б = \left(\sum \varepsilon^б q + \sum \varepsilon_{зд} b_ф K_{зд}\right) r_0 \tau_0 / K_з , \qquad (3.1)$$

где r_0 - коэффициент, учитывающий влияние отраженного света от поверхностей помещения, отн.ед.; τ_0 - общий коэффициент пропускания света заполнением светопроема, отн.ед.; $K_з$ - коэффициент запаса (при чистом остеклении $K_з = 1$), отн.ед.; $\varepsilon^б$ - геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, %; q - коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба, отн.ед.; $\varepsilon_{зд}$ - геометрический КЕО в расчетной точке

при боковом освещении, %; $b_ф$ - средняя относительная яркость фасада противостоящего здания, отн.ед.; $K_{зд}$ - коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий, отн.ед.

Из (3.1) следует, что, если произведены два измерения КЕО в модели, при которых выражение в круглых скобках одинаково, то различие в значениях КЕО в этих измерениях определяется только различием в значениях $\tau_0 / K_з$.

Согласно определению, КЕО в какой-либо точке в модели равен отношению освещенности в данной точке к одновременной наружной освещенности на горизонтальной поверхности под открытым небосводом. Поэтому, для результата измерения, произведенного в модели при закрытых створках окна в комнате, можно написать:

$$e_1^б = E_1^б / E_1^н \quad , \tag{3.2}$$

где $E_1^б$ - освещенность в точке внутри модели, находящейся в помещении при закрытых створках окна, лк; $E_1^н$ - наружная освещенность на горизонтальной поверхности под открытым небосводом, лк.

Для результата измерения, произведенного в модели при открытых створках окна, когда модель вынесена на подоконник, можно написать:

$$e_2^б = E_2^б / E_2^н, \tag{3.3}$$

где $E_2^б$ - освещенность в точке внутри модели находящейся в помещении при открытых створках окна, лк; $E_2^н$ - наружная освещенность на горизонтальной поверхности под открытым небосводом, лк.

При этом измерении значение $\tau_0 / K_з$ равно единице, т.к. отсутствует заполнение светопроема.

Следовательно, при пренебрежении изменением выражения в круглых скобках в (3.1), из (3.1) – (3.3) следует:

$$\tau_0 / K_з = \frac{e_1^б}{e_2^б} = \frac{E_1^б / E_1^н}{E_2^б / E_2^н} = \frac{E_1^б}{E_2^б} \cdot \frac{E_2^н}{E_1^н} \tag{3.4}$$

Измерение наружной освещенности на горизонтальной поверхности под открытым небосводом вызывает определенные трудности. Поэтому для упрощения проведения эксперимента, предлагается следующий прием. Одновременно с измерением освещенности в модели производится измерение наружной освещенности на вертикальной плоскости наружной поверхности стены с исследуемым окном, $E_1^в$, $E_2^в$. Легко можно показать, что по закону проекции телесного угла выполняется равенство:

$$\frac{E_1^в}{E_1^н} = \frac{E_2^в}{E_2^н} \tag{3.5}$$

С учетом (3.5) выражение (3.4) можно представить в виде:

$$\frac{E_1^б}{E_1^в} = \left(\tau_0 / K_з\right) \cdot \frac{E_2^б}{E_2^в} \tag{3.6}$$

Данное выражение используется для обработки результатов измерений с целью расчета общего коэффициента пропускания света заполнением светопроема.

3.3 Конструкция установки для исследования светопропускания заполнений светопроемов в натурных условиях

Состав установки.

Установка включает в себя (см. рисунок 3.1):

- модель помещения включающая в себя стены, потолок и один незаполненный светопроем, начинающийся от пола;
- столик, являющийся полом модели, с отверстием для датчика люксметра; столик может регулироваться по высоте за счет плавного изменения длины ножек;
- два люксметра с датчиками;
- негнущаяся прямоугольная створка;
- отвес.

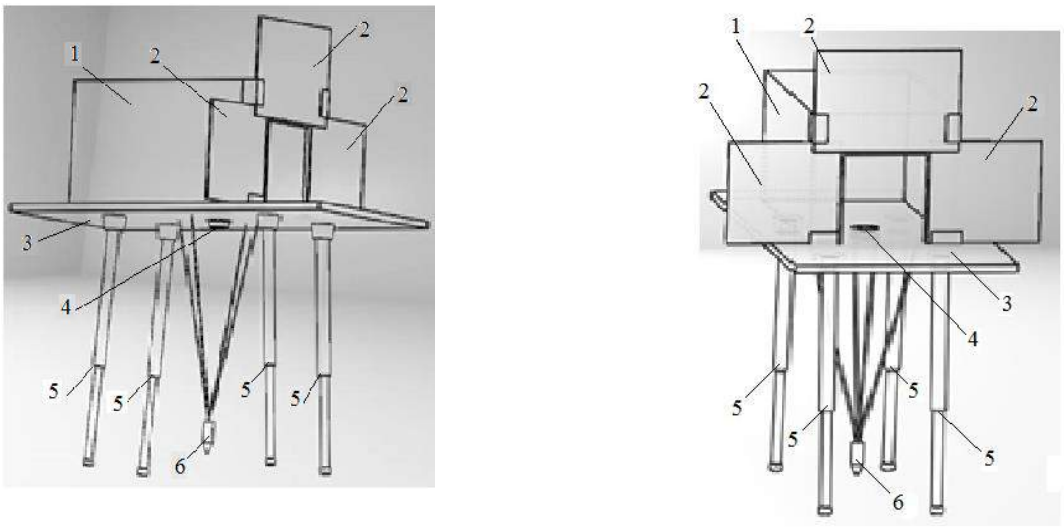


Рисунок 3.1 – Установка для определения общего коэффициента светопропускания в натурных условиях: 1 – модель помещения; 2 – щитки для регулирования высоты и ширины светопроема; 3 – пол модели; 4 – отверстие для датчика люксметра; 5 – регулируемые по высоте ножки; 6 – отвес

Геометрические размеры.

Размеры верхней части модели: 0,3×0,3×0,5 м.

Исходя из [75], масштаб при светотехническом моделировании должен быть не менее 1:20. Глубина, высота и ширина модели не регулируются под размеры помещения. Ширина и высота светопроема модели подобны ширине и высоте светопроема исследуемого помещения с масштабным коэффициентом М>1:20. Расстояние от датчика люксметра до светопроема модели подобно расстоянию от этого же датчика до светопроема помещения с тем же масштабным коэффициентом М>1:20.

Геометрические размеры пола модели определяются размерами верхней части модели. Длина пола модели должна обеспечивать перемещение модели от первой точки до конечной. Размеры пола модели: 0,5×1,2 м.

Створка полностью перекрывает светопроем модели. Поперечный размер отвеса не превышает диаметра отверстия для датчика в нижней части модели.

Цветовые характеристики.

Стены, потолок и пол модели оклеены черной бархатной бумагой для исключения влияния отраженного света (коэффициент отражения составил 0,05 и менее, т.е. $r_0 \approx 1$). Датчик люксметра имеет черный цвет. Створка из картона

оклеена белой бумагой для наибольшего влияния на освещенность при поверке световой изоляции модели.

3.4 Методика исследования светопропускания заполнений светопроемов в натурных условиях

3.4.1 Подготовительные работы

Измерение светопропускания оконного блока должно производится при очищенном остеклении.

Разметка пола помещения.

Контрольные точки для измерения освещенности на полу помещения берутся по средней линии окна на различном расстоянии от стены с окном (рисунок 3.1), L_i: 0,5 (переменная, зависит от ширины подоконника); 1; 1,5; 2; 2,5 м. В указанных точках на пол наклеиваются кусочки клейкой бумаги, на которых делаются отметки.

Разметка пола модели.

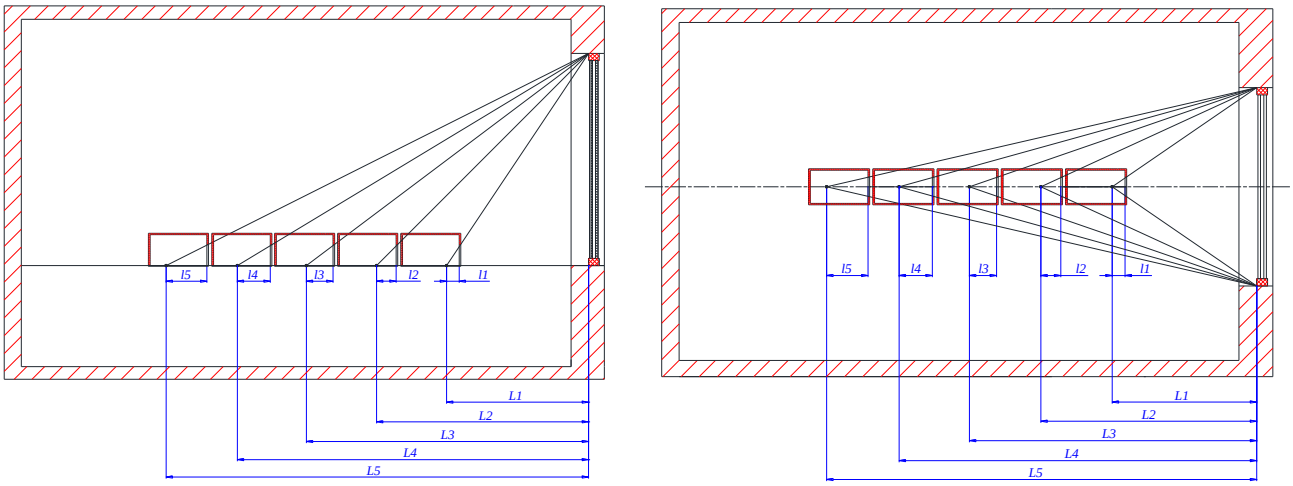
Точки для измерения освещенности в модели выбираются так, чтобы из точки пола модели был виден только светопроем помещения по камню. Точки расположены по средней линии окна модели (рисунок 3.2). Расстояние от стенки модели с окном до точки вычисляется по следующей формуле:

$$l_i = M \cdot L_i \qquad (3.7)$$

где l_i - расстояние в модели от стены с окном до точки на полу модели, м;

L_i – расстояние от окна до точки на полу помещения, м;

M – масштабный коэффициент (в данной работе выбран 1:10).



а) б)

Рисунок 3.2 – Положение установки в помещении при проведении измерений: разрез (а), план (б).

На полу модели по бокам проводятся параллельные стене с окном отметки, соответствующие расстояниям l_i. На концах линий делаются пометки цифрами, соответствующими номеру линии i, например: «2».

Проводится одна линия на полу модели, соответствующая средней линии окна верхней части модели. Линия проходит через центр окружности отверстия для датчика. На концах линии делаются пометки «С» (середина).

Проводится одна линия на полу модели, параллельная стене с окном, через центр окружности отверстия для датчика. На концах линии делаются пометки «Д» (датчик).

До проведения измерений производится выравнивание пола модели по высоте подоконника помещения. Пол модели ставится вплотную к подоконнику. На подоконник и пол модели кладется уровень, после чего производится регулировка высоты пола модели по высоте подоконника. Установка пола модели по средней линии окна помещения производится так, чтобы проекция датчика совпадала с кусочком клейкой бумаги на полу в соответствующей точке i. Производится выравнивание пола модели по средней линии окна помещения и модели по средней линии окна модели. Передняя стенка модели и передний край пола модели параллельны стене с окном. Для проверка правильности установки пола используется отвес, спускаемый из

отверстия для датчика. Нижний конец отвеса должен совпадать с отметкой, поставленной на клейкой бумаге на полу помещения.

Установка датчика первого люксметра производится заподлицо в отверстие в полу модели. Верхняя часть модели устанавливается на нижнюю часть так, чтобы фиксировалось положение передней стенки с окном по линии l_i. Затем производится проверка световой изоляции внутри модели путем закрытия светопроема модели створкой так, чтобы створка полностью и плотно закрывала светопроем модели. Проводится регистрация показаний люксметра. Если показания люксметра отличаются от нуля, то имеются щели между верхней и нижней частями модели, либо модель установлена неправильно. Необходимо устранить неполадку. Если люксметр показывает ноль освещенности внутри модели, то можно переходить к дальнейшим действиям.

Крепление датчика наружного люксметра производится на наружной стене под окном. При помощи уровня проверяется горизонтальность стержня, на котором прикреплен датчик и вертикальность крепления датчика. Сам люксметр находится в помещении на подоконнике.

3.4.2 Порядок проведения измерений

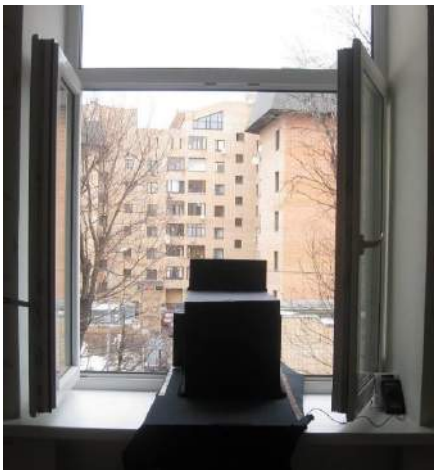
Измерения проводятся при 10 бальной облачности небосвода. Измерение поводят один, либо два оператора. Все измерения заносятся в протокол, в котором также указывается дата и время проведения эксперимента, ориентация светопроема, этаж, на котором находится исследуемое помещение, вид из окна.

При проведении измерений последовательно производится перемещение всей модели по точкам i на полу помещения на расстояния L_i от окна помещения, одновременно производится перемещение верхней части модели относительно нижней на линию l_i, при этом меняется положение датчика относительно верхней части модели. Таким образом, датчиком фиксируется показание освещенности $E_1^{б}$ в определенной точке на полу модели (см. рисунок 3.3а, 3.4б). Одномоментно регистрируется наружная вертикальная освещенность $E_1^{в}$ (см рисунок 3.4а). После прохождения всех точек в

помещении по пять раз (пять серий измерений), производится вынос модели за светопроем помещения и измерение освещенности в модели в тех же точках на полу модели $E_2^б$ (см. рисунок 3.3б). Также одномоментно регистрируется наружная вертикальная освещенность $E_2^в$. Проводится пять серий измерений.



а)



б)

Рисунок 3.3 – Измерение освещенности в модели, находящейся в комнате (а) и на окне (б)



а)



б)

Рисунок 3.4 – Расположение датчиков люксметров при измерении наружной освещенности (а) и освещенности внутри модели (б).

3.5 Натурные исследования светопропускания заполнений светопроемов

3.5.1 Описание исследуемых заполнений светопроемов и условий проведения измерений

Для исследования были выбраны оконные блоки с различными конструктивными особенностями: типом переплета, количеством ячеек, различными вариантами остекления. Выбор обоснован тем, что рассмотренные оконные блоки соответствуют наиболее часто используемым при жилищном строительстве.

Натурные исследования светопропускания заполнений светопроемов производились на следующих типах оконных блоков:

- деревянный переплёт раздельный (ДПР) - 1 шт;
- деревянный переплёт спаренный (ДПС) - 1 шт;
- оконный блок из ПВХ - 3 шт.

Описание заполнений светопромов представлено в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Описание исследуемых заполнений светопроемов

Характеристика	Оконный блок				
	ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3
Толщина стекла, мм	4	4	4	4	4
Количество камер в стеклопакете	-	-	2	1	2
Толщина переплета, см	5,5 (одного переплета)	11	7,2	6,5	6
Цвет элементов переплета, коэффициент отражения ρ, отн.ед.	Коричневый, ρ = 0,04	Белый, ρ =0,07	Белый, ρ =0,07	Белый, ρ =0,07	Белый, ρ =0,07
Ширина окна по камню, см	142	140	125	187	128
Высота окна по камню, см	194	148	168	152	140
Количество ячеек	4	3	3	3	2

Продолжение таблицы 3.1.

Характеристика	Оконный блок				
	ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3
Параметры окна	приведены в таблице 3.3				
Этаж, на котором находится исследуемое помещение	3	12	3	9	7
Противостоящие объекты	есть	есть	есть	нет	нет
Ориентация светопроема по сторонам горизонта	Запад-ная	Запад-ная	Север-ная	Восточ-ная	Юго-западная
Размеры помещения, м: Ширина (стена с окном) Высота Глубина	 4 2,8 5,5	 3 2,5 4,5	 3,6 2,8 3	 3,5 2,8 5,5	 3 2,5 5
Толщина стены, м	0,55	0,55	0,72	0,59	0,37
Ширина наружных откосов помещения, м	0,15	0,13	0,15	0,28	0,17
Ширина внутренних откосов помещения, м	0,21	0,25	0,48	0,24	0,14

Условия проведения эксперимента представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Условия проведения эксперимента

Характеристика	Оконный блок				
	ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3
Дата измерений	14 мая 2011г	30ноября 2014г	20 марта 2011г	18 окт. 2014г	30 нояб. 2014г
Время начала эксперимента	17ч 20 мин	9ч 20 мин	16ч 40 мин	13ч 35 мин	14ч 35 мин
Время окончания эксперимента	17ч 40 мин	9ч 45 мин	17ч 00 мин	14ч 05 мин	15ч 00 мин
Количество точек	5	6	4	7	6
Разметка, см: Первая точка Вторая точка, шаг	 66 100,по 50	 57 100,по 50	 63 100,по50	 50 100,по50	 79 100,по 50

Продолжение таблицы 3.2

Характеристика	Оконный блок				
	ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3
Количество повторных измерений	5	5	5	5	5
Цвет откосов помещения	белый	белый	белый	белый	белый

На рисунках 3.5-3.9 приведены размеры исследованных заполнений светопроемов и их фотографии при проведении натурных измерений.

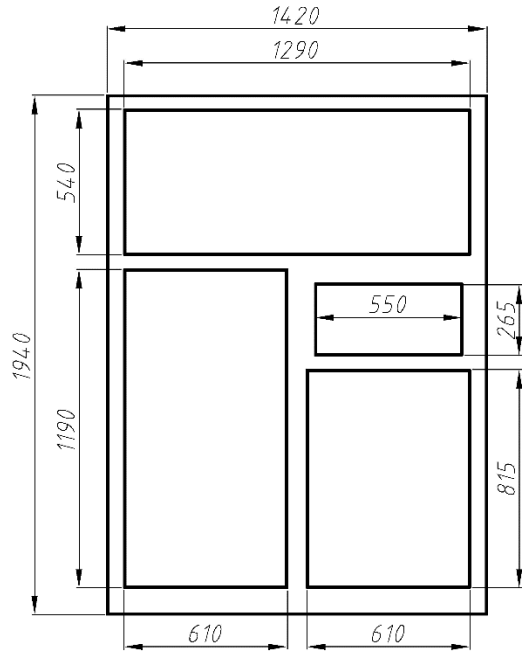




Рисунок 3.5 – Схема и фотография оконного блока ДПР

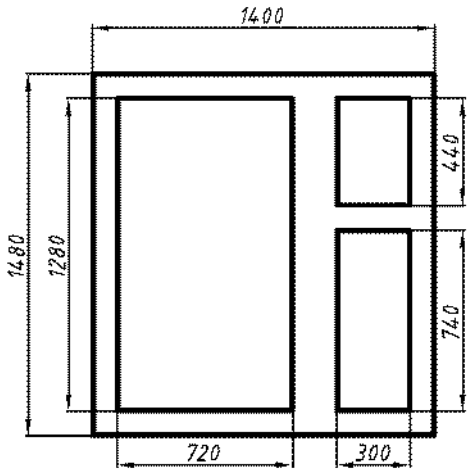




Рисунок 3.6 – Схема и фотография оконного блока ДПС

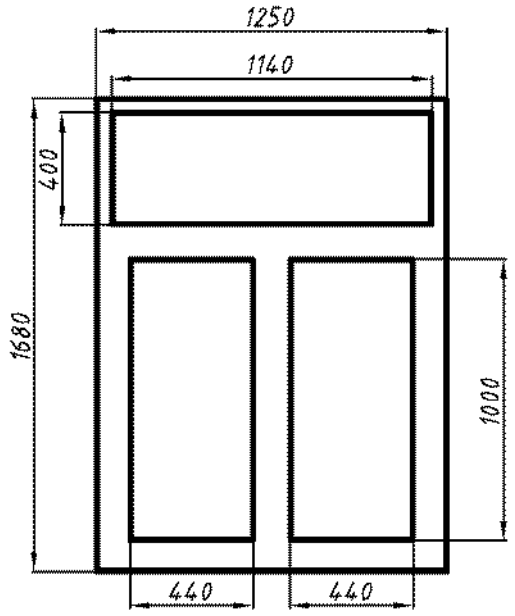




Рисунок 3.7 – Схема и фотография оконного блока ПВХ №1

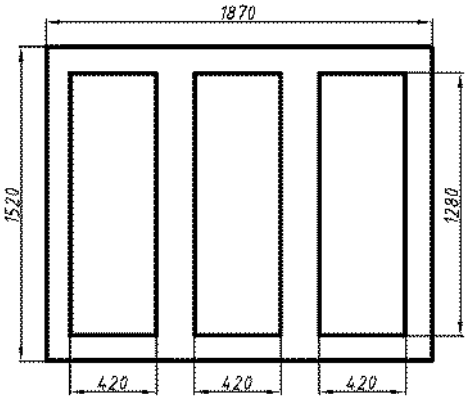




Рисунок 3.8 – Схема и фотография оконного блока ПВХ №2

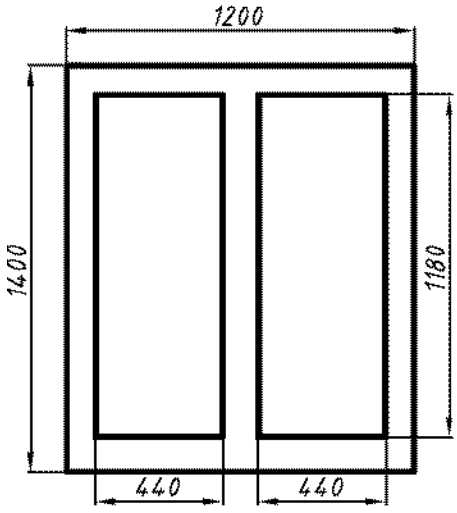




Рисунок 3.9 – Схема и фотография оконного блока ПВХ №3

3.5.2 Результаты натурных исследований светопропускания оконных блоков

При проведении измерений для каждого окна определялись значения $E_1^б$, $E_1^в$, $E_2^б$, $E_2^в$ по методике, описанной выше. Как следует из формулы (3.6) график зависимости $E_1^б / E_1^в$ от $E_2^б / E_2^в$ должен представлять собой прямую линию, проходящую через начало координат, тангенс угла наклона этой прямой равен $\tau_0 / K_з$ ($K_з = 1$, т.к. остекление очищено). Далее будет показано, что график действительно представляет собой прямую пропорциональную зависимость $E_1^б / E_1^в$ от $E_2^б / E_2^в$.

На рисунках 3.10-3.14 представлены зависимости отношений освещенности в модели, находящейся в комнате от отношений освещенностей в модели, находящейся на окне. Результаты измерения освещенностей по рассматриваемому методу для каждого из пяти оконных блоков представлены в приложении Д. По имеющимся данным построены аппроксимационные прямые, подтверждающие пропорциональную связь отношений освещенностей. Значения общего коэффициента светопропускания, полученные из графиков, сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты натурного определения общего коэффициента светопропускания оконных блоков

Общий коэффициент светопропускания	ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3
τ_0^H	0,461	0,525	0,423	0,478	0,472

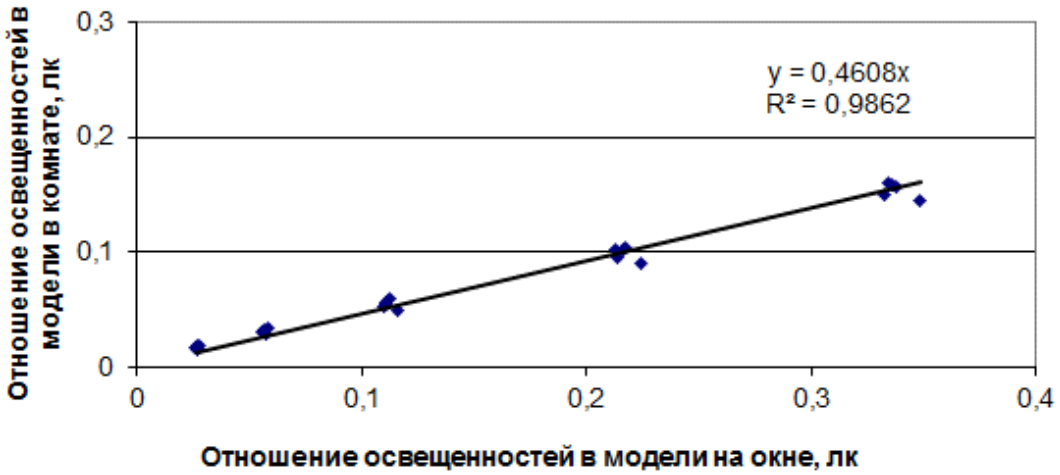


Рисунок 3.10 – Аппроксимационная прямая результатов измерений коэффициента светопропускания оконного блока с ДПР

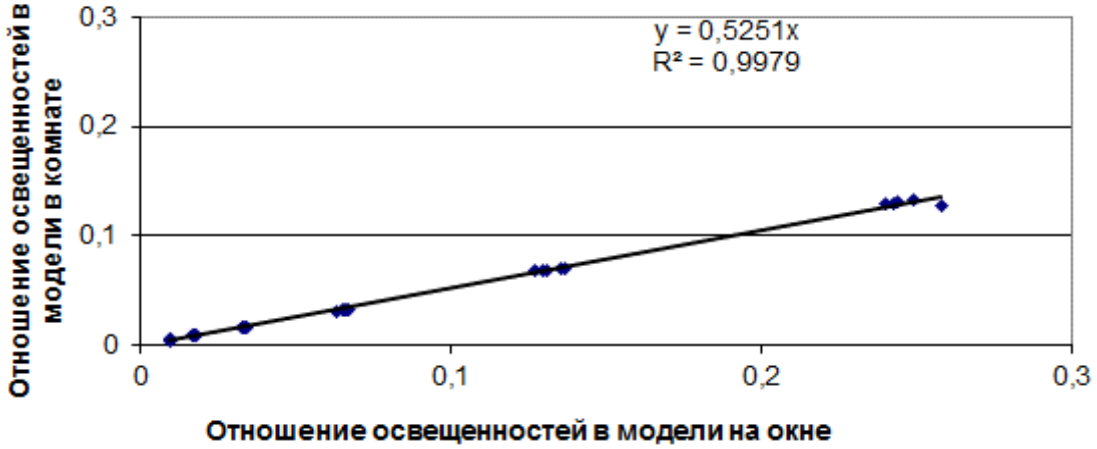


Рисунок 3.11 – Аппроксимационная прямая результатов измерений коэффициента светопропускания оконного блока ДПС

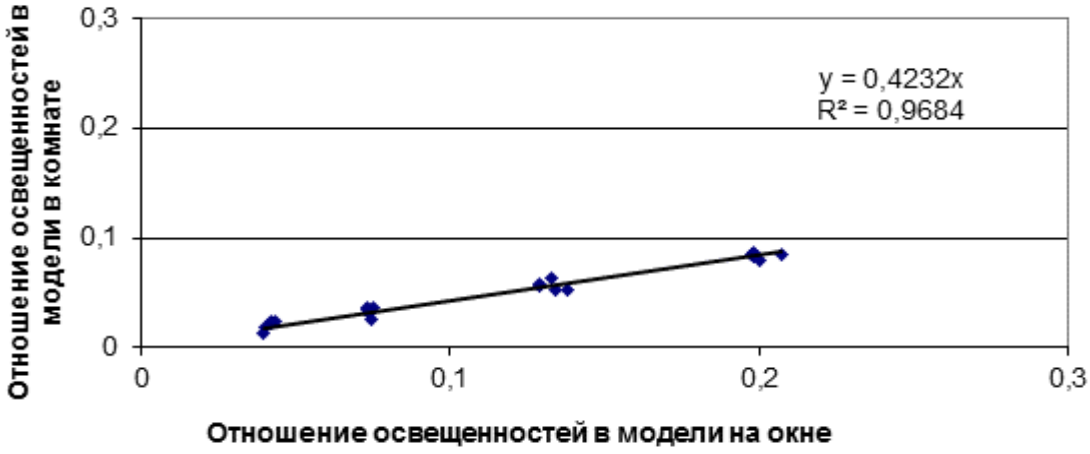


Рисунок 3.12 – Аппроксимационная прямая результатов измерений коэффициента светопропускания оконного блока из ПВХ профилей №1

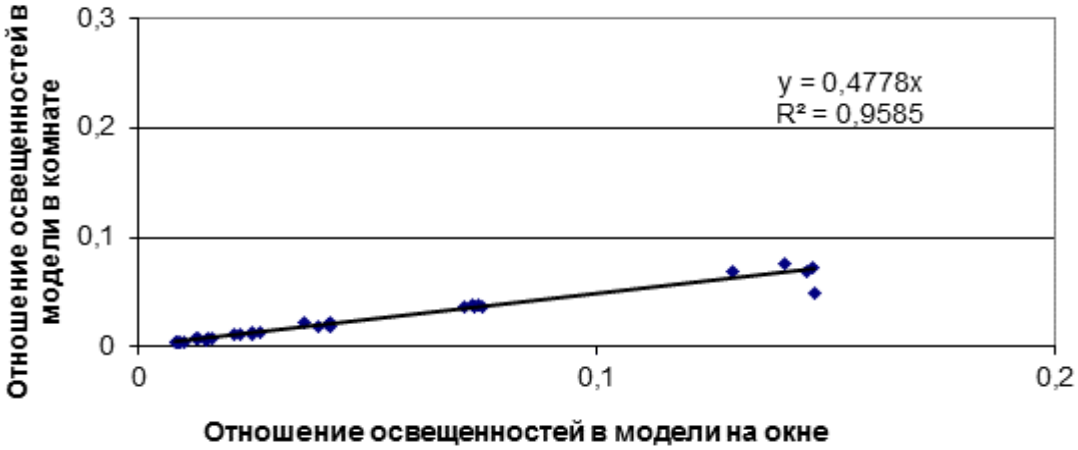


Рисунок 3.13 – Аппроксимационная прямая результатов измерений коэффициента светопропускания оконного блока из ПВХ профилей №2

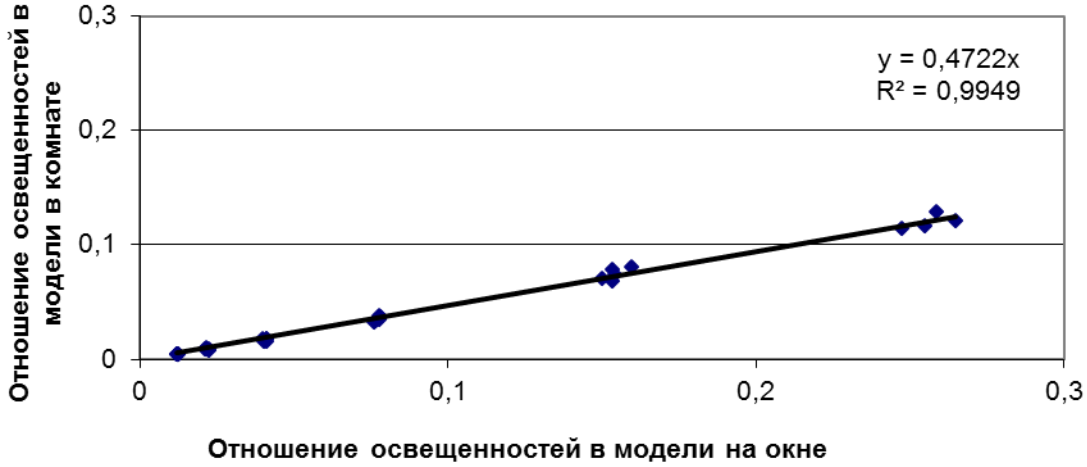


Рисунок 3.14 – Аппроксимационная прямая результатов измерений коэффициента светопропускания оконного блока из ПВХ профилей №3

3.5.3 Оценка влияния удаленности от окна точек измерения

Для проведения оценки влияния удаленности от окна точек измерения отношений освещенностей рассмотрим их изменение от значений геометрического КЕО. Геометрическое КЕО ε выражается формулой (1.5). Значения n_1 и n_2 определяется по формулам (1.6), (1.7), приведенным в [75].

По этим формулам определяется значение геометрического КЕО ε для каждой точки измерения освещенности при нахождении модели к комнате, а затем на окне. Тогда можно построить зависимости измеренных отношений освещенностей для каждой точки i при нахождении модели в комнате $\xi_i^{ком}$ и на

окне $\xi_i^{окно}$ от геометрического КЕО ε. Такая зависимость рассмотрена в следующем примере.

Пример определения зависимости отношений освещенностей в модели от геометрического КЕО, рассчитанного на уровне подоконника.

В качестве примера рассматривается оконный блок с ДПС, внутренние откосы помещения белые. Параметры окна приведены на рисунке 3.6. Для данного оконного блока был проведен расчет геометрического КЕО по формуле (3.8) на уровне подоконника (см. таблицы 3.4, 3.5), т.к. на этом уровне проводятся все измерения с имеющейся моделью. В таблице 3.4 представлены значения отношения освещенностей в модели, расположенной на окне, т.е. без заполнения светопроема.

Таблица 3.4 – Значения отношения освещенностей в модели, находящейся на окне, при удалении от окна на расстояние L_i.

L_i, м	Геометрический КЕО ε, %	Отношение освещенностей в модели, находящейся на окне $\xi_i^{окно}$, №измер.				
		1	2	3	4	5
1	1,689	0,249	0,244	0,240	0,242	0,258
1,5	0,704	0,130	0,127	0,131	0,135	0,137
2	0,311	0,066	0,063	0,065	0,066	0,067
2,5	0,152	0,033	0,033	0,033	0,034	0,034
3	0,081	0,017	0,017	0,017	0,017	0,018
3,5	0,047	0,009	0,009	0,009	0,010	0,010

В таблице 3.5 представлены значения отношения освещенностей в модели, расположенной в комнате, т.е. с заполненным светопроемом.

Таблица 3.5 – Значения относительной освещенности в модели, находящейся в комнате, при удалении от окна на расстояние L_i.

L_i, м	Геометрический КЕО ε, %	Отношение освещенностей в модели, находящейся в комнате $\xi_i^{ком}$, № измер.				
		1	2	3	4	5
1	1,689	0,133	0,131	0,130	0,129	0,129
1,5	0,704	0,069	0,068	0,069	0,071	0,070
2	0,311	0,032	0,031	0,032	0,032	0,032
2,5	0,152	0,016	0,016	0,016	0,017	0,017
3	0,081	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009
3,5	0,047	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005

Графики, соответствующие этим таблицам, приведены на рисунке 3.15 и рисунке 3.16. На графиках представлены линии тренда, проходящие через начало координат. При этом в уравнении линии тренда:

- коэффициент зависимости отношения освещенностей в модели, расположенной на окне, от геометрического КЕО, рассчитанного на уровне подоконника, пропорционален яркости участка неба и противостоящих зданий, видимых из окна;

- коэффициент зависимости отношения освещенностей в модели, расположенной в комнате, от геометрического КЕО, рассчитанного на уровне подоконника, пропорционален также и общему коэффициенту светопропускания окна.

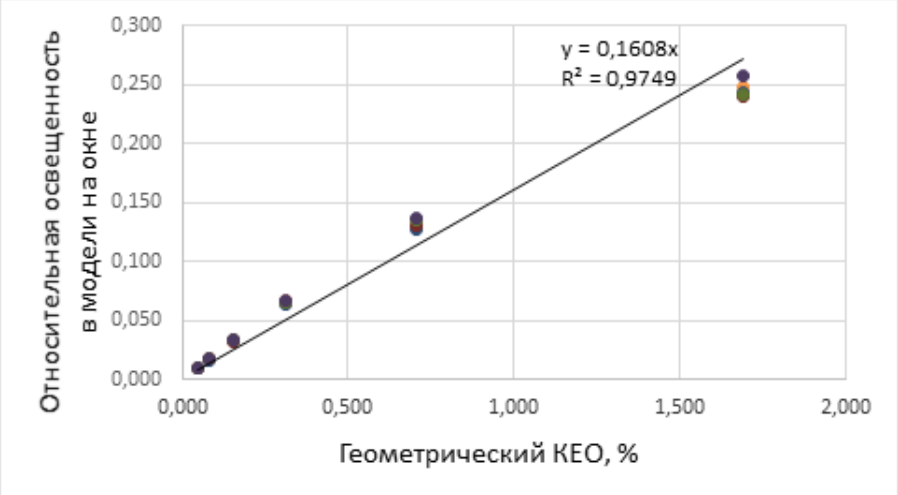


Рисунок 3.15 – Зависимость отношения освещенностей в модели, расположенной на окне, от геометрического КЕО, рассчитанного на уровне подоконника

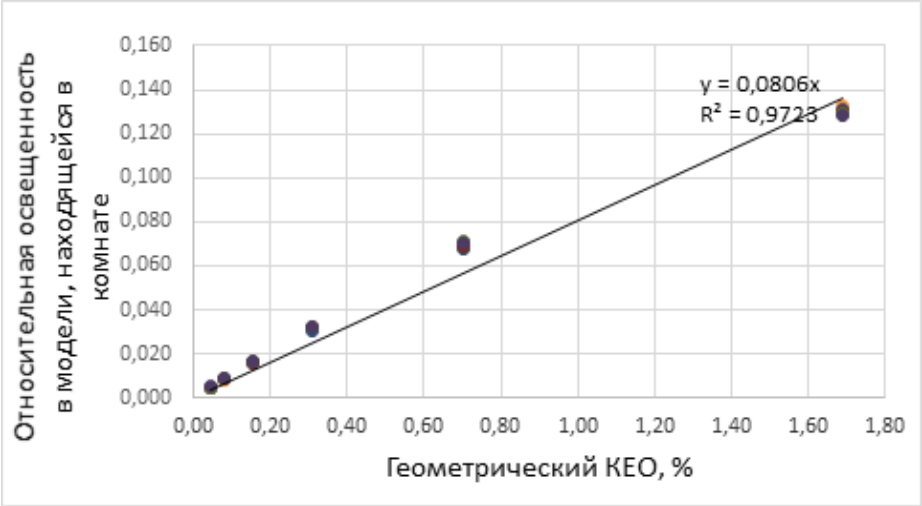


Рисунок 3.16 – Зависимость отношения освещенностей в модели, расположенной в комнате, от геометрического КЕО, рассчитанного на уровне подоконника

Деление отношения освещенностей в модели, расположенной в комнате, на отношение освещенностей в модели, расположенной на окне, позволяет получить общий коэффициент светопропускания. Результаты деления при каждом измерении, представлены на рисунке 3.17.

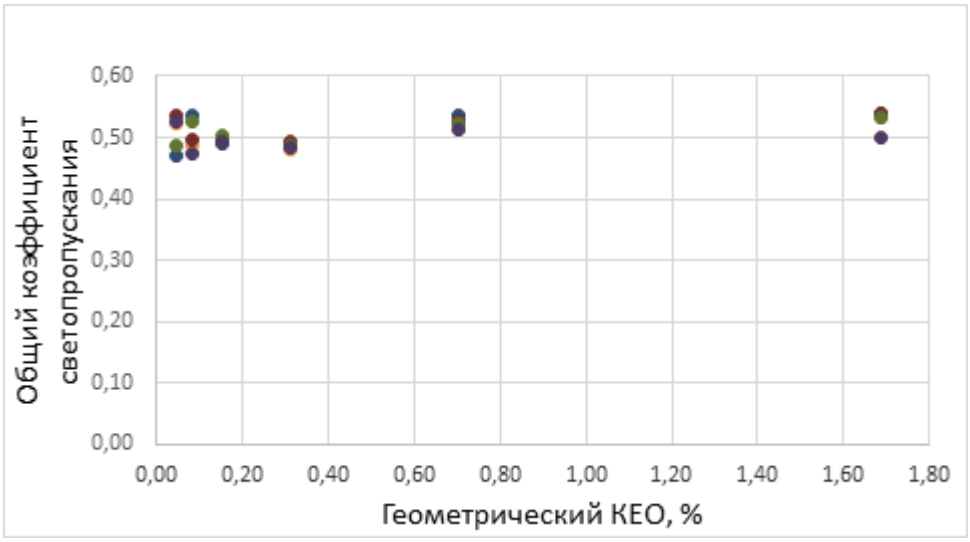


Рисунок 3.17 – Изменение общего коэффициента светопропускания от геометрического КЕО, рассчитанного на уровне подоконника при различной удаленности от окна

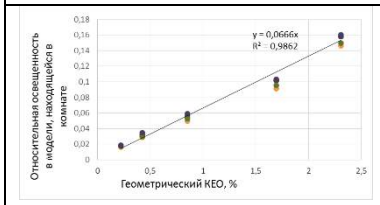
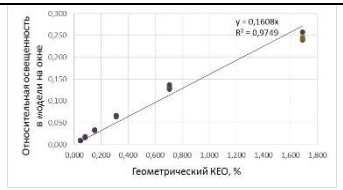
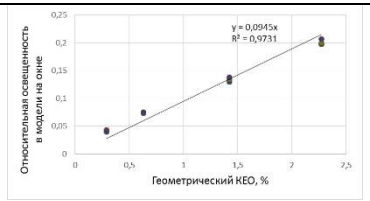
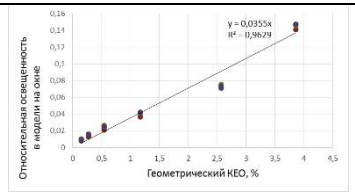
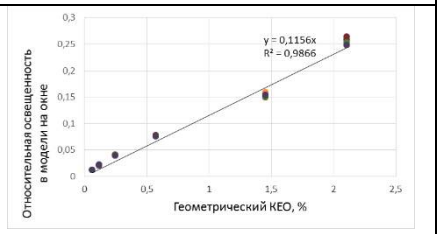
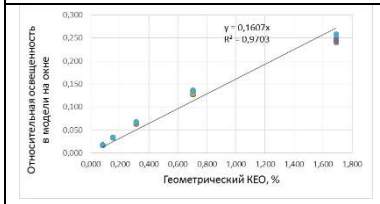
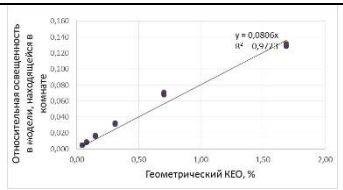
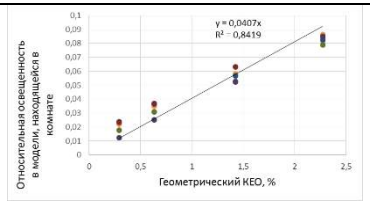
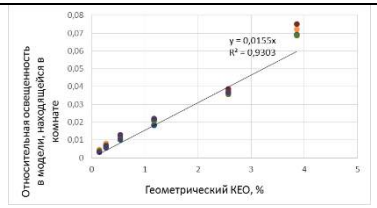
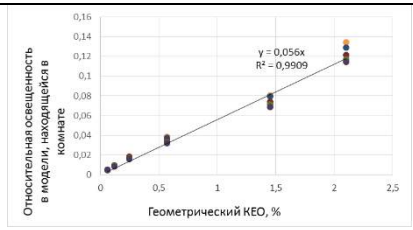
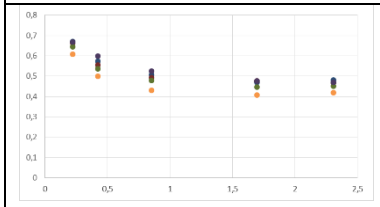
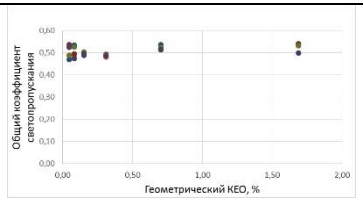
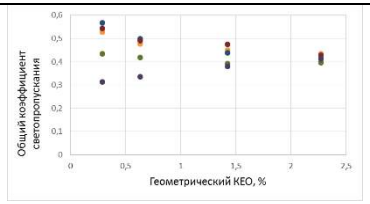
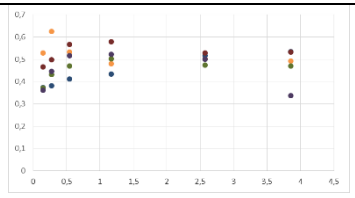
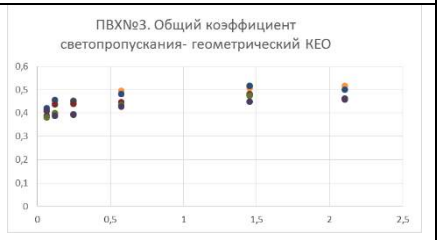
В данном случае значения общего коэффициента светопропускания в среднем равны 0,51±0,02. Наибольшие колебания значений общего

коэффициента светопропускания отмечаются при малых значениях геометрического КЕО, т.е. в точках, наиболее удаленных от окна. При точках на расстояниях от окна 1-1,5 м значение коэффициента светопропускания постоянное.

Расчет общего коэффициента светопропускания оконных блоков с использованием геометрического КЕО, рассчитанного на уровне подоконника.

Для всех рассматриваемых окон были определены коэффициенты линий тренда, полученные из зависимостей отношения освещенностей при размещении модели в комнате и на окне от геометрического КЕО на уровне подоконника. Данные коэффициенты занесены в таблицу 3.7. Графики зависимостей представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Зависимости отношения освещенностей в модели, находящейся в комнате и на окне, и общего коэффициента светопропускания от геометрического КЕО, вычисленного на уровне подоконника, для окон ДПР, ДПС, ПВХ №1, ПВХ №2, ПВХ №3

ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3
				
				
				

Общий коэффициент светопропускания, представленный в таблице 3.7, получен путем деления коэффициента линии тренда при размещении модели в комнате, на аналогичный коэффициент при размещении модели на окне.

Таблица 3.7 – Коэффициенты линии тренда при рассмотрении зависимостей отношения освещенностей в модели, размещенной на окне и в комнате, от геометрического КЕО. Достоверность аппроксимации не ниже 0,96

Размещения модели и τ_0^H	ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3
На окне	0,161	0,161	0,095	0,036	0,116
В комнате	0,067	0,081	0,04	0,016	0,056
τ_0^H	0,42	0,51	0,42	0,44	0,48

Как видно из таблицы 3.7, значения общего коэффициента светопропускания согласуются с его значениями из таблицы 3.3, полученными путем обработки экспериментальных данных.

Наиболее целесообразно проводить обработку результатов экспериментов для расчета общего коэффициента светопропускания при помощи аппроксимирующих линий, что отображено на рисунках 3.10-3.14. При этом использовать как ближние, так и отдаленные точки, т.к. в этом случае сглаживаются неточности измерения.

Полученный набор данных по значениям общего коэффициента светопропускания для исследованных оконных блоков при удалении от окна не позволяет сделать однозначное заключение об увеличении или уменьшении его значений.

3.6 Сравнение результатов натурных исследований с другими методами

3.6.1 Сравнение значений общего коэффициента светопропускания по данным СП 23-102-2003 «Естественное освещение жилых и общественных зданий» со значениями, полученными при натурных измерениях

Для определения общего коэффициента светопропускания по СП 23-102-2003 $\tau_0^{СП}$ следует воспользоваться таблицей Б.7 [77], в которой представлены значения коэффициента светопропускания остекления τ_1 и коэффициента светопередачи через оконный блок τ_2.

В таблице 3.8 представлены относительные погрешности, показывающие различие между значениями общего коэффициента светопропускания, полученными по методике СП 23-102-2003 [77], и значениями, полученными при натурных измерениях. Средняя погрешность для всех видов окон составляет 17%. Такое различие объясняется тем, что в СП 23-102-2003 заложены устаревшие виды переплетов. Современные переплеты шире, чем те, которые использовались при разработке этой таблицы в СП, поэтому для ПВХ окон относительная погрешность выше.

Таблица 3.8 – Сравнение расчета общего коэффициента светопропускания по СП 23-102-2003 [77] с натурными измерениями. Относительная погрешность определения общего коэффициента светопропускания

Метод	ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3
$\tau_0^{СП}$ по [77]	0,52	0,6	0,56	0,6	0,56
τ_1 по [77]	0,8	0,8	0,75	0,8	0,75
τ_2 по [77]	0,65	0,75	0,75	0,75	0,75
Натурн. $\tau_0^{Н}$	0,461	0,525	0,420	0,478	0,472
$\delta_{СП-Н} = \frac{\left\|\tau_0^{СП} - \tau_0^{Н}\right\|}{\tau_0^{СП}} \cdot 100\%$	11,3	12,5	25,0	20,3	15,7

Данные таблицы 3.8 представлены в виде диаграммы на рисунке 3.18.

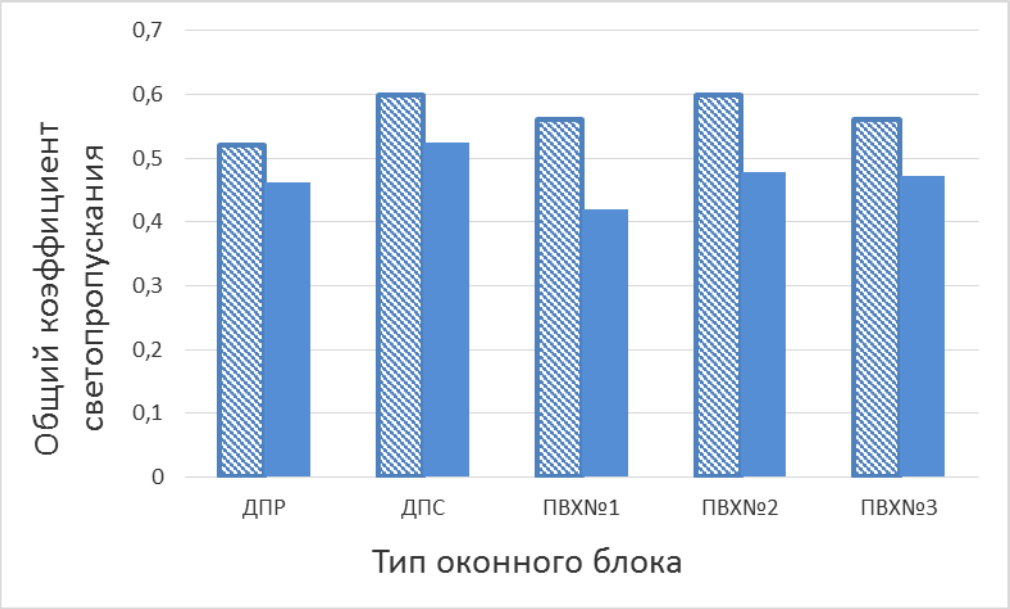


Рисунок 3.18 – Сравнение результатов расчета общего коэффициента светопропускания по СП 23-102-2003 [77] и при его определении по натурным измерениям: расчет по СП 23-102-2003 (наклонная штриховка), натурные измерения (сплошная заливка)

3.6.2 Сравнение значений общего коэффициента светопропускания при определении расчетно-экспериментальным методом со значениями, полученными при натурных измерениях

Для сравнения значений общего коэффициента светопропускания τ_0^H, полученных при натурных измерениях, с расчетно-экспериментальным методом производился расчет по формулам (2.6), (2.11), (2.12) главы 2, соответствующие им значения коэффициента $\tau_0^{\phi(2.6)}$ и $\tau_0^{\phi(2.11)}$ представлены в таблице 3.9. При этом принималось, что коэффициент светопропускания одного стекла марки М1 равен $\tau_1 = 0{,}91$, что согласуется с данными таблицы 2.16 главы 2.

Таблица 3.9 – Сравнение расчетно-экспериментального метода с натурными измерениями

Общий коэффициент светопропускания	ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3
Теорет. $\tau_0^{\phi(2.6)}$	0,378	0,432	0,422	0,425	0,428
Теорет. $\tau_0^{\phi(2.11)}$	0,382	0,440	0,434	0,436	0,440
Натурн. τ_0^{H}	0,461	0,525	0,420	0,478	0,472

Данные таблицы 3.9 представлены в виде диаграммы на рисунке 3.19.

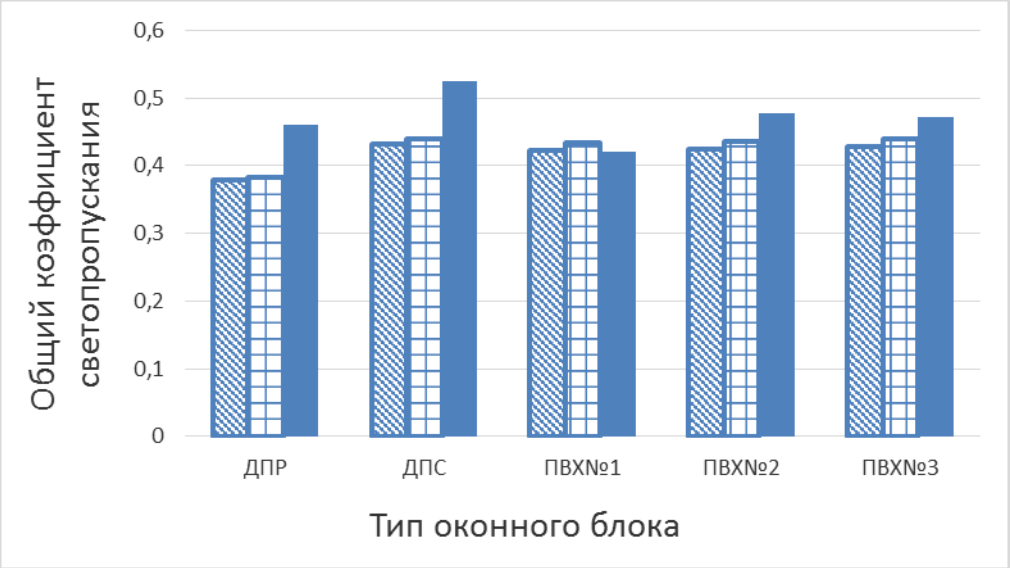


Рисунок 3.19 – Сравнение результатов расчета общего коэффициента светопропускания расчетно-экспериментальным методом с результатами натурных измерений: расчет по формуле (2.6) главы 2 (наклонная штриховка), расчет по формуле (2.11) главы 2 (клетка), натурные измерения (сплошная заливка)

Анализ результатов (см. таблицу 3.11) показывает, что наибольшие относительные погрешности определения общего коэффициента светопропускания наблюдаются для оконных блоков ДПР и ДПС. Для всех рассмотренных блоков погрешности изменяются от 0,5 до 22%. Средняя погрешность при вычислении по предложенной формуле (2.11) главы 2 равна 12%, что представляется хорошим результатом.

Таблица 3.10 – Относительные погрешности определения общего коэффициента светопропускания при натурных измерениях в сравнении с расчетно-экспериментальным методом

Относительная погрешность	ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3
$\delta_{\Phi(2.6)-H} = \frac{\left\|\tau_0^{\Phi(2.6)} - \tau_0^{H}\right\|}{\tau_0^{\Phi(2.6)}} \cdot 100\%$	22,0	21,5	0,5	12,5	10,3
$\delta_{\Phi(2.11)-H} = \frac{\left\|\tau_0^{\Phi(2.11)} - \tau_0^{H}\right\|}{\tau_0^{\Phi(2.11)}} \cdot 100\%$	20,7	19,3	3,2	9,6	7,3

На основе проведенных натурных измерений и вычисленных относительных погрешностей, показывающих различие в расчетно-экспериментальном методе и натурных измерениях, предлагается ввести поправочный коэффициент $\gamma_e = 1{,}1$ в СП 23-102-2003 [77] к значению общего коэффициента светопропускания, определенному расчетно-экспериментальным методом по формуле (2.12) с использованием формулы (2.11) по методике главы 2.

3.7 Достоинства и недостатки метода натурного экспериментального исследования светопропускания заполнений светопроемов

К достоинствам метода натурного определения общего коэффициента светопропускания относятся:

- метод является единственным методом для определения общего коэффициента светопропускания в натурных условиях;
- метод применим для многих конфигураций оконного блока и их расположений;
- отсутствует необходимость в транспортировке оконного блока для проведения измерений;
- измерения проводятся на уровне подоконника, т.е. близко к условной рабочей поверхности при расчете КЕО;
- доступность, т.к. не требуется дорогое оборудование.

К недостаткам метода натурного определения общего коэффициента светопропускания относятся:

- зависимость от климатических условий;
- требуется высокая квалификация экспериментатора.

Объективные погрешности метода:

- датчик люксметра считается точкой;
- ориентация светопроема модели на окно выбирается расчетом.

3.8 Выводы по главе 3

1. Разработан метод натурного экспериментального определения общего коэффициента светопропускания окон.
2. Сконструирована установка для проведения натурных экспериментальных исследований. Установка состоит из модели помещения со светопроемом и столика, являющимся полом модели с отверстием для датчика люксметра.
3. Разработана методика проведения натурного эксперимента для определения общего коэффициента светопропускания, основанная на измерении освещенности внутри модели, при расположении ее в комнате, а затем на окне.
4. Проведено натурное исследование пяти различных оконных блоков: с деревянными раздельными переплетами, деревянными спаренными переплетами, ПВХ – переплетами с однокамерными и двухкамерными стеклопакетами.
5. Анализ влияния удаленности модели от окна выполнялся путем исследования зависимости результата от геометрического КЕО, рассчитанного на уровне подоконника. Показано, что относительная освещенность в точках измерения пропорциональна геометрическому КЕО, что подтверждает правильность принятых посылок при расчете КЕО методом, принятым в СП 23-102-2003 [77], и правильность принятых посылок при натурном определении общего коэффициента светопропускания.
6. Сравнение результатов натурного определения общего коэффициента светопропускания с расчетом по СП 23-102-2003 [77] показал среднюю погрешность 17%.

7. Сравнение результатов натурного определения общего коэффициента светопропускания с расчетно-экспериментальным методом показало, что погрешность в окнах старой конструкции с деревянными переплетами выше, чем для окон новой конструкции с ПВХ переплетами. Средняя погрешность составляет 12%.

8. Предложен поправочный коэффициент $\gamma_e = 1{,}1$ к значению общего коэффициента светопропускания, определенному расчетно-экспериментальным методом по предложенной формуле (2.12) с использованием формулы (2.11).

ГЛАВА 4 УЧЕТ СВЕТОПРОПУСКАЮЩИХ СВОЙСТВ ОКОННЫХ БЛОКОВ ДЛЯ КОМФОРТНЫХ РЕШЕНИЙ ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ

4.1 Метод комплексного сравнения оконных блоков

4.1.1 Принцип сравнения оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам

Известно, что применение современных окон с повышенным сопротивлением теплопередаче позволяет существенно сократить тепловые потери здания [7, 95, 113]. В окнах с повышенным сопротивлением теплопередаче применяются стекла с низкоэмиссионными покрытиями, вследствие чего такие окна обладают пониженным значением коэффициента пропускания света [7]. Поэтому при использовании таких окон, взамен традиционно используемых, для сохранения уровня естественной освещенности, необходимо увеличивать площадь светопроемов, что в свою очередь приводит к некоторому увеличению тепловых потерь здания. Таким образом, возникает задача оптимального, по теплозащитным и светотехническим показателям, применения современных окон в стенах с известной тепловой защитой. Решению этой задачи посвящен настоящий раздел.

Задача формулируется следующим образом: определить соотношение между сопротивлением теплопередаче оконного блока, приведенным сопротивлением теплопередаче стены, коэффициентом светопропускания оконного блока, при которых суммарные трансмиссионные теплопотери равны и при этом не изменится освещенность в помещениях здания. Такой оконный блок является равноэффективным по теплотехническим и светотехническим показателям.

Пусть имеется стена площадью A, м^2, со значением приведенного сопротивления теплопередаче $R_{ст}$, м^2 ^{o}С/Вт. Рассматриваются два варианта решения стены со светопроемом:

1. Площадь светопроема составляет $A_{ок1}$, м^2 и в него установлен оконный блок с приведенным сопротивлением теплопередаче $R_{ок1}$, м^2 ^{o}С/Вт и коэффициентом светопропускания τ_{01}.

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 ^{o}С/Вт и коэффициентом светопропускания τ_{02}. При этом предполагается, что $R_{ок2} > R_{ок1}$, $\tau_{02} < \tau_{01}$.

Требуется определить критериальное соотношение между $R_{ст}$, $R_{ок}$ и τ_0 которое характеризует оконный блок по трансмиссионным теплопотерям здания и по сохранению уровня освещенности в помещениях. Для решения этой задачи используется подход, применявшийся В.К.Савиным [64, 65, 66], и усовершенствованный В.А Земцовым и В.Г.Гагариным [14]. В работе автора [51] рассмотрен изложенный ниже подход.

4.1.2 Соотношение, полученное из равенства освещенностей

Светотехнические свойства оконных блоков характеризуются при помощи общего коэффициента светопропускания τ_0. Чем больше величина τ_0 оконного блока, тем лучше этот блок будет служить с точки зрения основного функционального назначения окна. Естественное освещение помещения нормируется, как описано в разделе 1.3, при помощи КЕО в расчетной точке помещения, который при боковом освещении помещения (через оконный проем) вычисляется по формуле (3.1) [77]:

Условие неизменности нормируемых светотехнических условий в помещении при двух вариантах заполнения светопроема заключается в том, что:

$$e^{б}_{р1} = e^{б}_{р2} \qquad (4.1)$$

Поскольку рассматривается случай с ограниченной возможностью естественного освещения, то можно предположить, что как при первом, так и при втором варианте проектирования светопроема расчетное значение КЕО близко к нормируемому. Кроме того, естественно предположить, что в этом случае составляющая КЕО, создаваемая прямым светом участков неба, видимых через

светопроемы, равна нулю. Тогда из (3.1) и (4.1) следует условие неизменности условий освещенности в виде:

$$\varepsilon_{зд1}\tau_{01} = \varepsilon_{зд2}\tau_{02} \tag{4.2}$$

Геометрический КЕО для здания вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_{зд} = 0{,}01 \cdot (n_1' \cdot n_2'), \tag{4.3}$$

где n_1' и n_2' определяются при помощи графиков Данилюка и представляют собой количество лучей, проходящих от противостоящего здания в расчетную точку помещения, соответственно в разрезе и плане помещения.

Величины n_1' и n_2' зависят от размеров помещения и светопроема и от взаимного расположения расчетной точки и светопроема [25, 77]. Можно считать, что n_2' является функцией $b_{ок}/L$, а n_1' – функцией $h_{ок}/L$; где L – расстояние от расчетной точки до центра светопроема, м; $b_{ок}$ ширина светопроема, м; $h_{ок}$ – высота светопроема, м. При значениях $b_{ок}/L$ от 0 до 0,7 n_2' практически пропорционально $b_{ок}/L$, с коэффициентом пропорциональности p_2 т.е.:

$$n_2' = \frac{1}{\pi}\left(\frac{\overline{\beta}_2 - \overline{\beta}_1}{180^0} \cdot \pi + \sin\overline{\beta}_2 \cdot \cos\overline{\beta}_2 - \sin\overline{\beta}_1 \cdot \cos\overline{\beta}_1\right) \cdot 100 \approx p_2 \cdot b_{ок} / L \tag{4.4}$$

Аналогичная зависимость справедлива и для n_1' с коэффициентом пропорциональности p_1:

$$n_1' = \frac{\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2}{2} \cdot 100 \approx p_1 \cdot h_{ок} / L \tag{4.5}$$

Обозначения углов в формулах (4.4)-(4.5) соответствуют рисунку 1.8. Значения $b_{ок}/L \le 0{,}7$ покрывают весь интервал существенных для практики значений ширины оконного проема и расстояний от него до расчетной точки, например, при $b_{ок} = 1$ м $L \ge 1{,}4$ м, а при $b_{ок} = 2$ м $L \ge 2{,}8$ м. Поскольку расчетная точка берется на расстоянии одного метра от стены, противоположной световому проему, то диапазон изменения $b_{ок}/L \le 0{,}7$ соответствует помещениям глубиной более 2,5 м. Практически все помещения таковыми и являются.

Подстановка (4.4) и (4.5) в (4.2) после преобразований дает:

$$\frac{b_{ок1}h_{ок1}}{L_1}\tau_{01} = \frac{b_{ок2}h_{ок2}}{L_2}\tau_{02}, \quad (4.6)$$

где $b_{ок1}$, $h_{ок1}$ - ширина и высота светопроема соответственно по первому варианту проектирования светопроема, м; $b_{ок2}$, $h_{ок2}$ - то же, по второму варианту.

Поскольку произведение $b_{ок}{\cdot}h_{ок}$ является площадью светопроема, а $L_1 \approx L_2$, то из формулы (4.6) следует:

$$A_{ок} \cdot \tau_{01} = (A_{ок} + \Delta A) \cdot \tau_{02} \quad (4.7)$$

Это выражение после преобразования дает значение увеличения площади светопроема, при котором условия естественного освещения помещения не изменятся:

$$\Delta A = A_{ок} \cdot \frac{\tau_{01} - \tau_{02}}{\tau_{02}} \quad (4.8)$$

4.1.3 Соотношение, полученное из равенства трансмиссионных теплопотерь

Как известно из [78], удельные трансмиссионные потери теплоты через оболочку здания выражаются при помощи удельной теплозащитной характеристики здания формулой:

$$Q_{тр} = 0{,}024 \cdot ГСОП \cdot k_{об}, \quad (4.9)$$

где $Q_{тр}$ – трансмиссионные потери теплоты через оболочку здания за отопительный период, кВт ч/(м^3 год); ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, ^{o}С сут./год; $k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика, Вт/(м^3 ^{o}С); 0,024 – размерный коэффициент, кВт ч/(Вт год).

Все конструктивные особенности оболочки здания представлены в величине удельной теплозащитной характеристики здания, которая выражается уравнением [78]:

$$k_{об} = \frac{1}{V}\sum \frac{A_i}{R_{o,i}^{пр}}, \quad (4.10)$$

где V – объем здания, м^3; A_i , $R_{o,i}{}^{пр}$ – площадь и приведенное сопротивление теплопередаче отдельной ограждающей конструкции соответственно, м^2, м^2 ^{o}С/Вт.

Рассматривается задача сохранения уровня трансмиссионных тепловых потерь через оболочку здания и уровня освещенности в помещениях здания при замене оконных блоков. При этом уменьшается площадь стен и увеличивается площадь окон. Для того, чтобы значение (4.10) не изменилось необходимо выполнение равенства:

$$\frac{A_{ст}}{R_{ст}} + \frac{A_{ок}}{R_{ок1}} = \frac{A_{ст} - \Delta A}{R_{ст}} + \frac{A_{ок} + \Delta A}{R_{ок2}} \tag{4.11}$$

Как следует из (4.11) значение приращения площади записывается в виде:

$$\Delta A = A_{ок} \cdot \left[\frac{R_{ок2} - R_{ок1}}{R_{ст} - R_{ок2}} \cdot \frac{R_{ст}}{R_{ок1}} \right] \tag{4.12}$$

4.1.4 Критерий равноэффективности оконных блоков

Уравнения (4.8) и (4.12) представляют собой систему уравнений, выражающих равноэффективность систем ограждающих конструкций по теплозащитным и светотехническим условиям при двух вариантах проектирования. Приравнивание правых частей этих уравнений дает:

$$\frac{R_{ок2} - R_{ок1}}{R_{ст} - R_{ок2}} \cdot \frac{R_{ст}}{R_{ок1}} = \frac{\tau_{01} - \tau_{02}}{\tau_{02}} \tag{4.13}$$

Отсюда следует:

$$\frac{\tau_{01} R_{ок1}}{R_{ст} - R_{ок1}} = \frac{\tau_{02} R_{ок2}}{R_{ст} - R_{ок2}} \tag{4.14}$$

Уравнение (4.15) показывает условие, при котором оба варианта проектирования светопроема эквивалентны в теплозащитном и светотехническом отношениях.

При рассмотрении оконных блоков их светопропускание следует определять по формулам (2.11), (2.12) с учетом поправки, γ_e=1,1 , полученной в главе 3. Приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока определяется в соответствии с рекомендуемым приложением К из [78] по формуле (Е.1) из [78]:

$$R_{ок} = \frac{1}{U_o + \sum l_j \Psi_j}, \tag{4.15}$$

где U_o – коэффициент теплопередачи в центре стеклопакета, Вт/(м^2 ^{o}С); Ψ_j - удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность *j*–го вида, Вт/(м^2 ^{o}С); $\sum l_j \Psi_j$ - плотность потока теплоты через переплеты оконного блока, Вт/(м^2 ^{o}С).

Из (4.14) с учетом (2.11), (2.12) и (4.15) следует выражение для критерия равноэффективности оконного блока:

$$P = \frac{\gamma_e \tau_1 \tau_2}{\left(U_o + \sum_j l_j \Psi_j \right) R_{cm} - 1} \qquad (4.16)$$

4.1.5 Определение теплотехнических параметров, входящих в критерий равноэффективности оконных блоков

В показатель *P* входит в качестве параметра значение сопротивления теплопередаче стены, R_{cm}. Для современных стеновых ограждающих конструкций можно принять значение приведенного сопротивления теплопередаче является $R_{cm} = 2{,}50$ м^2^{o}С/Вт [78]. При таком значении показатель *P* существенно зависит от характеристик оконного блока.

В [78], в приложении К предлагается рассчитывать приведенное сопротивление оконного блока по формуле вида (4.15). При этом предполагается, что значение Ψ_j находится путем расчета двухмерных температурных полей узлов сопряжения стеклопакета с профилем. Фирмы-изготовители профиля представляют данные по профилю в виде значений коэффициентов теплопередачи *U*. Для расчета по методике [78] необходимо эти значения для профилей пересчитать на значения Ψ_j. Расчет производится в следующей последовательности. Переплет оконного блока разбивается на прямолинейные участки переплета, состоящего из профиля. Каждый j-тый участок переплета имеет длину L_j, для него по данным фирмы-производителя коэффициент теплопередачи равен U_j. Значения U_j могут быть одинаковы. Для каждого участка переплета вычисляется значение относительной протяженности данной

линейной неоднородности l_j по формуле: $l_j = L_j / A_{ок}$. Значение Ψ_j определяется по формуле:

$$\Psi_j = (U_j - U_o) \cdot A_j / L_j , \quad (4.17)$$

где A_j – площадь участка оконного профиля в блоке, м^2.

4.1.6 Сравнение современных оконных блоков по критерию равноэффективности

Комплексный показатель P зависит от входящих в него параметров оконного блока при $R_{ст} > R_{ок}$. При фиксированном значении $R_{ст}$ с ростом τ_0 возрастает и величина показателя P. С ростом $R_{ок}$ величина показателя P также возрастает. Следовательно, чем выше теплотехнические и светотехнические показатели оконного блока, тем больше значение комплексного показателя P. Однако чаще всего с ростом $R_{ок}$ значение τ_0 убывает. Если при рассматриваемых двух способах проектирования светопроема, при обеспечении одинаковых теплопотерь значение P_2 больше P_1, то это означает, что освещенность в помещении при втором способе будет выше. Если же P_2 больше P_1 и обеспечена одинаковая освещенность в помещении, то теплопотери во втором случае будут ниже, чем в первом. Таким образом, при помощи этого комплексного показателя можно сопоставлять варианты заполнения светопроема.

Подбор эффективных оконных блоков

Рассматривается оконный блок со стеклопакетом, представленный в главе 3 как ПВХ№1. Размеры оконного блока приняты осредненными: 1,68×1,25 м. Для оконного блока приняты оконные профили фирмы Veka. Толщина профиля 70 мм, число камер – 5. Форма оконного блока принята в виде наиболее распространенной формы (рисунок 4.1).

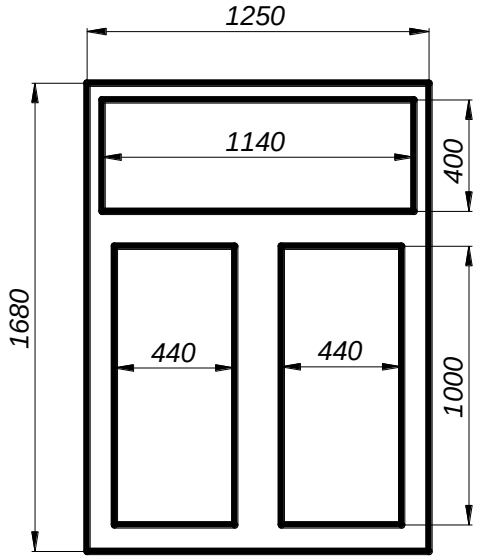


Рисунок 4.1 – Переплеты оконного блока, принятые для расчетов коэффициента светопропускания и сопротивления теплопередаче

Расчеты коэффициента светопропускания переплета оконного блока τ_2 выполнялись формуле (2.11) главы 2. Общий коэффициент светопропускания оконного блока определялся по формуле (2.12) главы 2. Характеристики Ψ_j и l_j для переплетов оконного блока рассчитывались в соответствии с 4.1.5 по данным фирмы-производителя профилей и по чертежу оконного блока.

В таблице 4.1 представлены значения показателя *P,* рассчитанные для стеклопакетов, выпускаемых из стекол Pilkington, AGC и Guardian. При расчетах варьировались стеклопакеты с применением стекол с низкоэмиссионными и мультифункциональными покрытиями. Для расчетов использовались коэффициенты светопропускания τ_1 и теплопередачи U_0 различных вариантов остекления, представленные в таблице 2.15 главы 2. Значение U_j=$U_{пер}$ принимается по данным фирмы производителя профиля и для данных расчетов составляет 1,25 Вт/(м^2 ºС). Значения A_1, $A_{2, \ldots}$ принимаются вычислением по данным рисунка 4.1.

В таблице 4.1 приведены значения коэффициента теплопередачи $U_o^{СП}$ по СП 50.13330.2012 [78]. Расчет проведен для вариантов остекления, имеющих наибольший коэффициент светопропускания, т.к. это соответствует основному назначению стекол. Рассматривались варианты двойного и тройного остекления с

использованием стекол без покрытий, с низкоэмиссионными мягкими (И-стекла) и твердыми (К-стекла) покрытиями, с мультифункциональными покрытиями, в т.ч. рассмотренными в п. 2.1 и 2.2 главы 2. Оконный блок установлен в стене со значением приведенного сопротивления теплопередаче стены $R_{ст} = 2{,}50$ м^2 ^{o}С/Вт.

При анализе значений *P* таблицы 4.1 видно, что наиболее эффективным по теплозащитным и теплотехническим параметрам оконным блоком из всех рассматриваемых по трем производителям является оконный блок № 13 с двухкамерным стеклопакетом со стеклами с мягкими покрытиями с заполнением камер аргоном «4 мм Optitherm S3– 16 мм Ar – 4 мм Optifloat Clear – 16 мм Ar – 4 мм Optitherm S3» (производства Pilkington). Немного менее эффективными являются оконные блоки №14 (производства AGC) и №15 (производства Guardian) также с двухкамерными стеклопакетами со стеклами с мягкими покрытиями с заполнением камер аргоном. Оконные блоки №14 и №15 имеют более высокие значения коэффициента светопропускания, но немного уступают по коэффициенту светопропускания оконному блоку №13, тем не менее по критерию равноэффективности этот оконный блок обладает наибольшим значением критерия *P*. Из всех рассмотренных однокамерных стеклопакетов наибольшее значение критерия P принадлежит оконным блокам №6 (производства Pilkington) и №7 (производства AGC). Они имеют одинаковые коэффициенты светопропускания и теплопередачи. Оконный блок №8 (производства Guardian) немного уступает по значению критерия.

Таким образом, наиболее подходящим вариантом остекления для имеющегося типа оконного блока является двухкамерный стеклопакет №13 с двумя стеклами с мягкими покрытиями (производства Pilkington).

При сопоставлении значений коэффициентов теплопередачи остекления U_o, заявленных производителями, и значений, представленных в СП 50.13330.2012 [78] $U_o^{СП}$, можно видеть, что их значения различаются на 2,9-11,8%, это дает различие в критерии *P* на 2-9,4%, что является существенным при выборе типа остекления.

Таблица 4.1 – Значения критерия равноэффективности оконных блоков с остеклением от трех производителей (при значении $R_{ст} = 2{,}50$ м^2°С/Вт). Оконный профиль Veka softline.

№	Формула стеклопакета	Стеклопакет	τ_1, отн.ед.	τ_0, отн.ед.	U_o, Вт/м^2 °С	*R*ок, м^2 °С/Вт	*P*, отн. ед	$U_o^{СП}$, Вт/м^2 °С
1	4М1-16Ar-4М1	4 мм Optifloat Clear– 16 мм Ar – 4 мм Optifloat Clear (Pilkington)	0,81	0,42	2,6	0,48	0,11	2,70
2		4 мм Planibel Clear– 16 мм Ar – 4 мм Planibel Clear (AGC)	0,81	0,42	2,6	0,48	0,11	
3		4 мм Extra Clear– 16 мм Ar – 4 мм Extra Clear (Guardian)	0,828	0,43	2,7	0,47	0,11	
4	4М1-16Ar- 4К	4 мм Optifloat Clear– 16 мм Ar – 4 мм K Glass (Pilkington)	0,75	0,39	1,5	0,70	0,17	-
5		4 мм Planibel clear – 16 Ar – 4 мм Planibel G (AGC)	0,74	0,38	1,5	0,70	0,17	
6	4М1-16Ar- 4И	4 мм Optifloat Clear– 16 мм Ar – 4 мм Optitherm S3 (Pilkington)	0,80	0,41	1,1	0,83	0,24	1,23
7		4 мм Planibel clear– 16 мм Ar – 4 мм Planibel Top N+T (AGC)	0,80	0,41	1,1	0,83	0,24	
8		4 мм ExtraClear – 16 мм Ar – 4 мм NRG на ExtraClear (Guardian)	0,81	0,42	1,3	0,76	0,21	
9	4М1-16Ar-4М1-16Ar- 4М1	4 мм Optifloat Clear – 16 мм Ar – 4 мм Optifloat Clear – 16 мм Ar – 4 мм Optifloat Clear (Pilkington)	0,74	0,38	1,7	0,65	0,15	-
10		4 мм Planibel Clear – 16 мм Ar – 4 мм Planibel Clear – 16 мм Ar – 4 мм Planibel Clear (AGC)	0,74	0,38	1,7	0,65	0,15	
11		4 мм Extra Clear – 16 мм Ar – 4 мм Extra Clear – 16 мм Ar – 4 мм Extra Clear (Guardian)	0,761	0,39	1,6	0,67	0,16	
12	4К-16Ar-4М1-16Ar-4К	4 мм K Glass – 16 мм Ar – 4 мм Optifloat Clear – 16 мм Ar – 4 мм K Glass (Pilkington)	0,63	0,32	0,8	0,98	0,25	-

Продолжение таблицы 4.1.

№	Формула стеклопакета	Стеклопакет	τ_1, отн.ед.	τ_0, отн.ед.	U_o, Вт/м2°С	Rок, м2оС/Вт	Р, отн. ед	$U_o^{СП}$, Вт/м2оС
13	4И-16Ar-4М1-16Ar-4И	4 мм Optitherm S3 – 16 мм Ar – 4 мм Optifloat Clear – 16 мм Ar – 4 мм Optitherm S3 (Pilkington)	0,71	0,37	0,6	1,10	0,37	0,68*
14		4мм Tri на Planibel Clearvision –16мм Ar–4 мм Planibel Clearvision-4 мм Tri на Planibel Clearvision (AGC)	0,74	0,38	0,7	1,04	0,34	
15	4И-14Ar-4М1-14Ar-4И	4 мм NRG на ExtraClear – 14 мм Ar – 4 мм ExtraClear – 14 мм Ar – 4 мм NRG на ExtraClear (Guardian)	0,73	0,38	0,7	1,04	0,34	
16	6mfИ-16Ar-4М1	6мм Suncool 70/40– 16 мм Ar – 4 мм Optifloat Clear (Pilkington)	0,71	0,37	1,1	0,83	0,22	-
17		6мм Energy NT– 16 мм Ar – 4 мм Planibel Clear (AGC)	0,74	0,38	1,0	0,88	0,24	
18	4mfИ -16Ar-4М1	4мм Solar – 16 мм Ar – 4 мм ExtraClear (Guardian)	0,67	0,35	1,0	0,88	0,22	
19	6mfK-16Ar-4М1	6мм Eclipse Advantage – 16 мм Ar – 4 мм Optifloat Clear (Pilkington)	0,61	0,31	1,6	0,67	0,13	-

* - в СП 50.13330.2012 [78] приведены значения коэффициентов теплопередачи при расстоянии между стеклами 14мм и 18мм. В данной таблице приведено их среднее значение $U_o^{СП}$ для расстояния 16мм.

4.2 Метод оценки пригодности оконных блоков для замены в существующих зданиях в застройке с учетом их светопропускающих свойств

С целью энергосбережения при санации зданий производится утепление стен, замена старых оконных блоков со спаренными деревянными переплетами на современные [56], со стеклопакетами и переплетами, выполненными из ПВХ-профилей. При реконструкции зданий вследствие утепления стен с использованием наружных теплоизоляционных фасадов происходит увеличение их толщины и, соответственно, снижение количественных параметров естественного освещения в помещениях. При замене оконных блоков также происходит изменение светового режима помещения за счет изменения светопропускания оконного блока τ_0. Оба этих фактора влияют на световой режим помещения.

Суть метода.

Метод заключается в последовательном расчете влияния увеличения толщины стены и замены оконных блоков на снижение освещенности помещения здания в застройке. В качестве критерия допустимости замены оконного блока служит минимально допустимое расстояние до ближайшего здания в застройке.

1. Толщина стены влияет на величину геометрического КЕО ε и ε' штрих. Чем больше толщина стены, тем меньше геометрическое КЕО.

В первом приближении можно считать, что геометрическое КЕО зависит от толщины стены линейно по формуле вида: $\varepsilon(d) = -a \cdot d + b$, где a и b больше нуля. Причем эта зависимость $\varepsilon(d)$ зависит линейно от расстояния до противостоящего здания. Естественно, что по такому же закону изменяется КЕО.

2. КЕО зависит от расстояния до противоположного здания. Для исследования влияния расстояния до противостоящего здания вводится относительное значение КЕО, определяемое по формуле:

$$\xi(X) = \frac{e*(X)}{\tilde{e}*}, \tag{4.18}$$

где X - расстояние до противостоящего здания, м; $e^*(X)$ - значение КЕО без учета светопропускания окна, зависящее от расстояния до противостоящего здания, %; $\tilde{e}^*$ - значение КЕО без учета светопропускания окна при открытом горизонте, %.

Из формулы (4.18) видно, что $\xi(X) \le 1$.

Результаты расчетов показывают, что зависимость $\xi(X)$ хорошо аппроксимируются формулой:

$$\xi(X) = 1 - \mu \cdot \exp(-\frac{X}{\chi}) \qquad (4.19)$$

Константы μ и χ определяются по результатам расчетов КЕО для конкретного случая.

3. С учётом этих уравнений КЕО в расчетной точке помещения можно представить формулой:

$$e_{\text{р}}^{б} = \xi(X) \cdot \tilde{e}^*(d) \cdot \tau_0 / K_з = \left[1 - \mu \cdot \exp(-\frac{X}{\chi})\right](-a \cdot d + b) \cdot \tau_0 / K_з \qquad (4.20)$$

4. Из условия $e_{\text{р}}^{б} \ge e_N$ определяется минимально допустимое расстояние X до здания в застройке. Если оно получилось больше, чем действительное расстояние до противостоящего здания, то это означает, что рассматриваемый оконный блок не подходит для замены.

Данный метод проиллюстрирован примером. В рассмотренном реконструируемом здании по плану типового этажа выбрано помещение с наибольшими требованиями по естественному освещению. Для него проведено исследование значения КЕО до и после ремонта здания с заменой оконных блоков.

Завоевавшие в настоящее время большую популярность в строительстве оконные блоки, с перелетами из ПВХ-профилей, в светоклиматическом отношении мало изучены, что мешает обоснованному применению их в системе естественного освещения зданий. На современном рынке представлено много оконных блоков из ПВХ-профилей, отличающихся формой и используемых в них светопрозрачных заполнений.

При утеплении стен с использованием наружных теплоизоляционных фасадов происходит увеличение их толщины и соответственно снижение количественных параметров естественного освещения в помещениях. Изменение отделки фасадов и их коэффициента отражения света влечет к изменению светового режима зданий, расположенных напротив реконструируемого объекта. Важной задачей является определение степени влияния последствий санации зданий на световой режим помещений и разработка рекомендаций по снижению отрицательных воздействий. Возникает необходимость детального изучения степени влияния на параметры светового режима помещений каждого из элементов повышения уровня теплозащиты. В настоящем разделе представлены результаты теоретических исследований светового режима помещений в зданиях серии II-18 до и после его санации (рисунок 4.2) в г. Москве в условиях уплотненной городской застройки, что описано в работе В.А. Земцова и автора [33]. Аналогичные проблемы возникают при ремонте здания школ [36].



а) б) в)

Рисунок 4.2 – Фотографии здания: а)- до санации, б) – после санации, в) окно после санации

Исследования естественного освещения помещений выполнены в соответствии с требованиями санитарных норм [67] по методике, изложенной в СП [77] и разработанной для условий уплотненной городской застройки [38]. Нормирование КЕО осуществляется в контрольных точках помещений.

При одностороннем боковом освещении в жилых зданиях нормируемое значение КЕО должно обеспечиваться в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов: в одной комнате для 1-, 2- и 3-комнатных квартир и в двух комнатах для 4-х, 5-ти и более комнатных квартир. В остальных комнатах многокомнатных квартир и в кухне нормируемое значение КЕО при боковом освещении должно обеспечиваться в расчетной точке, расположенной в центре помещения на плоскости пола.

Естественное освещение помещений зависит от множества факторов: расположения здания в застройке, геометрических размеров помещения и окон, отражательной способности фасадов зданий застройки и материалов внутренней отделки помещений. Расчет естественного освещения помещений производится без учета мебели, оборудования, озеленения и деревьев, а также при стопроцентном использовании светопрозрачных заполнений в светопроемах.

В рассматриваемых зданиях (рисунок 4.3) отсутствуют 4-х или 5-ти комнатные квартиры. Наиболее неблагоприятный световой режим может наблюдаться в глубоких жилых комнатах при расположении контрольных точек на расстоянии 1 м от стены, противоположной окну. Такими помещениями являются комнаты *А* в однокомнатных квартирах и комнаты *Б* в двухкомнатных квартирах. Однако, комната *Б* находится в двухкомнатной квартире, одна из комнат которой имеет небольшую глубину и в ней будет обеспечено нормируемое значение КЕО в 1 метре от стены. Поэтому в комнате Б можно нормировать КЕО для точки, расположенной в центре [67]. В комнате *А* однокомнатной квартиры КЕО должен нормироваться в 1 метре от стены, противоположной окну. Таким образом, требования к естественному освещению в комнате *А* будут выше, чем в комнате Б. С учетом указанных обстоятельств для исследования значений КЕО до и после санации здания в качестве контрольного помещения выбрана комната А однокомнатной квартиры, расположенной на первом этаже.

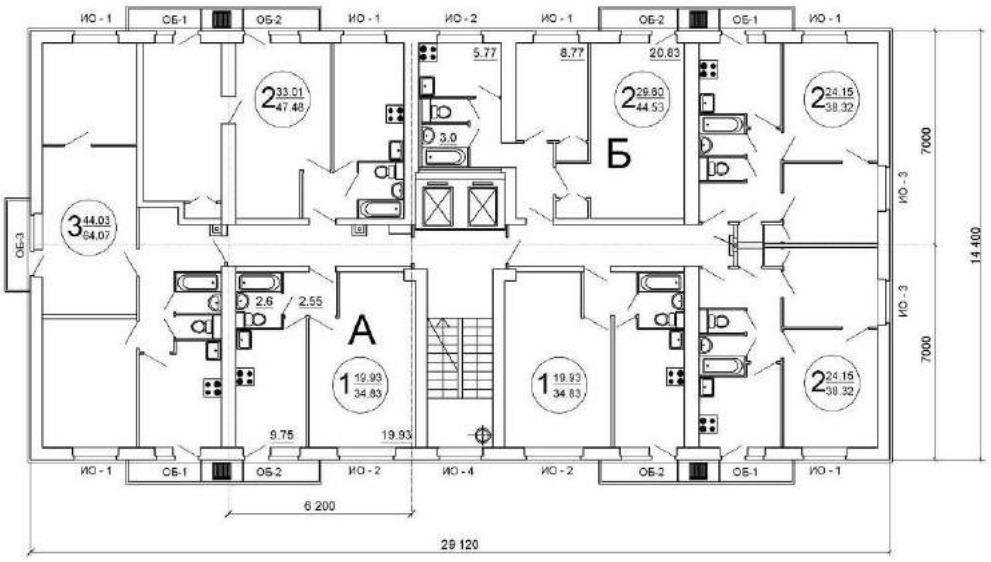


Рисунок 4.3 – План типового этажа в жилом доме серии II-18. Планировка первого этажа отличается тем, что нет балконов

4.2.1 Влияние коэффициента светопропускания оконного блока на расчетные значения КЕО

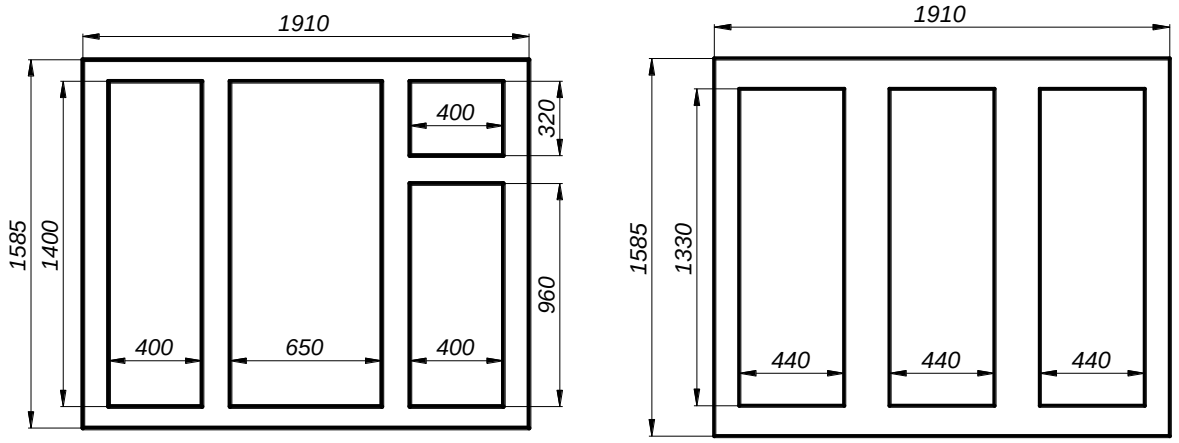
Согласно [77] значения КЕО в расчетной точке определяется по формуле (3.1). Как следует из формулы (3.1) влияние заполнения оконного проема выражается коэффициентом светопропускания и коэффициентом запаса $\tau_0 / K_з$, которые входят в (3.1) в качестве сомножителей. Следовательно, можно проводить расчеты КЕО без учета заполнения светопроема по методике СП 23-102-2003 [77], e^*, а в дальнейшем умножать рассчитанные значения КЕО на $\tau_0 / K_з$:

$$e_{\text{р}}^{б} = e^* \cdot \tau_0 / K_з \qquad (4.21)$$

До проведения ремонта в рассматриваемых зданиях использовались деревянные оконные блоки с двумя стеклами в спаренных переплетах толщиной 80 мм (рисунок 4.3). В процессе проведения ремонта деревянные оконные блоки заменены на блоки из ПВХ-профилей толщиной 72 мм с двухкамерными стеклопакетами (рисунок 4.3). Светотехнические параметры этих оконных блоков в нормативных документах отсутствуют. В связи с этим возникает необходимость в определении коэффициента светопропускания данных оконных блоков расчетным методом. Для расчета используется методика, разработанная

Н.Н.Киреевым [42, 43]. Согласно этой методике вычисление коэффициента светопропускания оконного блока проводится по формуле (2.12). Коэффициент светопропускания остекления τ_1 принят равным 0,91 по данным главы 2. Коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема, τ_2 рассчитывается по формуле (2.11) главы 2.

Геометрические размеры оконных блоков, примененных в здании до санации и после приведены на рисунок 4.4. Размер в свету светопроемов рассматриваемых помещений составляет 1,91 м на 1,59 м, площадь 3 м^2. Результаты расчета коэффициента светопропускания светопроемов сведены в таблице 4.2.



а) б)

Рисунок 4.4 – Оконные блоки, использованные в качестве заполнений светопроемов: а) до ремонта, б) после ремонта

Таблица 4.2 – Коэффициенты светопропускания оконных блоков

Оконный блок	Количество ячеек	Размеры ячеек	τ_1	τ_2 по формуле (2.11)	τ_0 по формуле (2.12)
До ремонта – два стекла в спаренных переплетах	4	0,40×1,40 0,65×1,40 0,40×0,32 0,40×0,96	0,828	0,582	0,482
После ремонта - двухкамерный стеклопакет в - переплетах из ПВХ-профилей Veka	3	0,44×1,33 0,44×1,33 0,44×1,33	0,75	0,515	0,427

Из результатов расчетов следует, что общий коэффициент пропускания света заполнения светопроема после ремонта понизился на 11 % .

4.2.1 Расчеты КЕО для контрольного помещения здания

В соответствии с методикой [77] проведены расчеты КЕО для контрольного помещения (рисунок 4.3). Расчеты проведены без учета влияния оконного блока:

- при открытом небосводе;
- при расположении противостоящего здания на разном расстоянии от здания, в котором находится контрольное помещение. Противостоящее здание принято таким же, как и рассматриваемое и расположено параллельно ему.

Для расчета принято:

- коэффициент отражения подстилающей поверхности (земли) 0,20;
- коэффициент отражения фасада 0,48;
- средневзвешенный коэффициент отражения внутренних поверхностей помещения 0,50.

При проведении расчетов толщина стены (d, м) принималась равной:

- d= 0,0 м – идеальный случай для сравнения;
- d=0,40 м – толщина стены до проведения ее утепления во время ремонта;
- d=0,52 м – толщина стены при утеплении системой скрепленной теплоизоляции с тонким штукатурным слоем;
- d=0,60 м – толщина стены при утеплении навесной фасадной системой с вентилируемой воздушной прослойкой.

Высота противостоящего здания 38 м.

Результаты расчетов КЕО в контрольном помещении здания сведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Рассчитанные значения КЕО при различной толщине стены в зависимости от расстояния до противостоящего здания

№ п.п.	Расстояние до противостоящего здания, м	Значения КЕО e^*, %			
		d=0,00 м	d=0,40 м	d=0,52 м	d= 0,60 м
1	-	2,94	2,32	2,15	2,06
2	200	2,91	2,29	2,12	2,03
3	150	2,83	2,21	2,06	1,97
4	100	2,55	2,00	1,82	1,76
5	70	2,19	1,73	1,64	1,55
6	40	1,6	1,25	1,18	1,12

Из данных таблицы 4.3 следует, что значения КЕО зависят от толщины стены и имеют наибольшие значения при открытом горизонте. По мере уменьшения расстояния до противостоящего здания, значения КЕО снижаются.

4.2.2 Анализ влияния толщины стены на расчетное значение КЕО

Влияние толщины стены на значение КЕО при открытом горизонте $\tilde{e}^*$ (строка 1 таблицы 4.4) представлено на рисунок 4.5. Зависимость $\tilde{e}^*$ от толщины стены d аппроксимируется линейно с погрешностью, не превышающей 5%:

$$\tilde{e}^*(d) = -1,49 \cdot d + 2,9 \qquad (4.22)$$

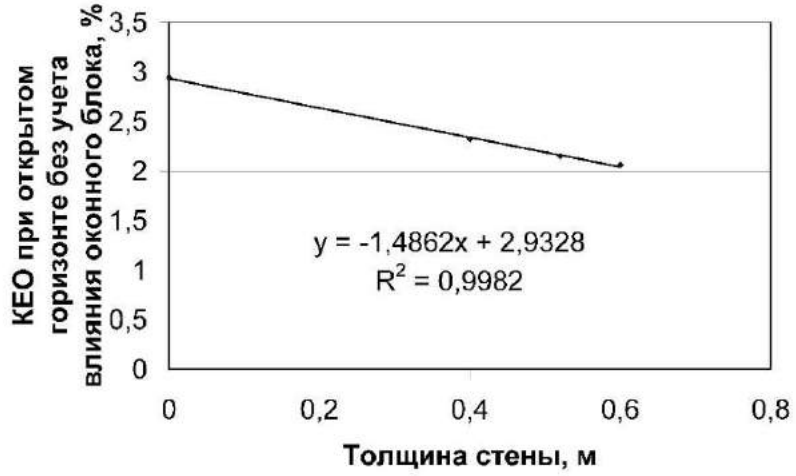


Рисунок 4.5 – Зависимость рассчитанного значения КЕО $\tilde{e}^*$ от толщины стены

4.2.3 Анализ влияния расстояния до противостоящего здания на расчетные значения КЕО

Для представления результатов используется относительное значение КЕО, определяемое по формуле (4.18). Данные таблицы 4.3, пересчитанные по формуле (4.18) представлены в таблице 4.4. Из таблицы 4.4 следует, что для каждого значения расстояния до противостоящего здания значения относительного КЕО при различных толщинах стены близки между собой (рисунок 4.6), что позволяет аппроксимировать их единой формулой (4.19), тип которой следует из вида зависимости на рисунке 4.6.

Для определения параметров μ и χ обе части уравнения (4.19) логарифмируются и значения $ln(1-\xi)$ из таблицы 4.5 наносятся на плоскость в зависимости от значений X (рисунок 4.7). Через полученные точки проводится прямая, по параметрам этой прямой определяются параметры уравнения (4.19). Уравнение (4.19) приняло вид:

$$\xi(X) = 1 - 1{,}15 \cdot \exp(-\frac{X}{46{,}3}) \tag{4.23}$$

Таблица 4.4 – Рассчитанные относительные значения КЕО

№ п.п.	Расстояние до противоположного здания, м	Значения КЕО e*, %			
		d=0,00 м	d=0,40 м	d=0,52 м	d= 0,60 м
1	-	1,000	1,000	1,000	1,000
2	200	0,990	0,989	0,986	0,985
3	150	0,963	0,954	0,958	0,956
4	100	0,867	0,862	0,845	0,853
5	70	0,745	0,747	0,761	0,750
6	40	0,544	0,540	0,549	0,544

Таким образом, значение КЕО в контрольном помещении может быть выражено следующей формулой:

$$e_{\text{р}}^{\sigma} = \xi(X) \cdot \tilde{e}^{*}(d) \cdot \tau_0 / K_3 = \left[1 - 1{,}15 \cdot \exp(-\frac{X}{46{,}3})\right](-1{,}49 \cdot d + 2{,}9) \cdot \tau_0 / K_3 \tag{4.24}$$

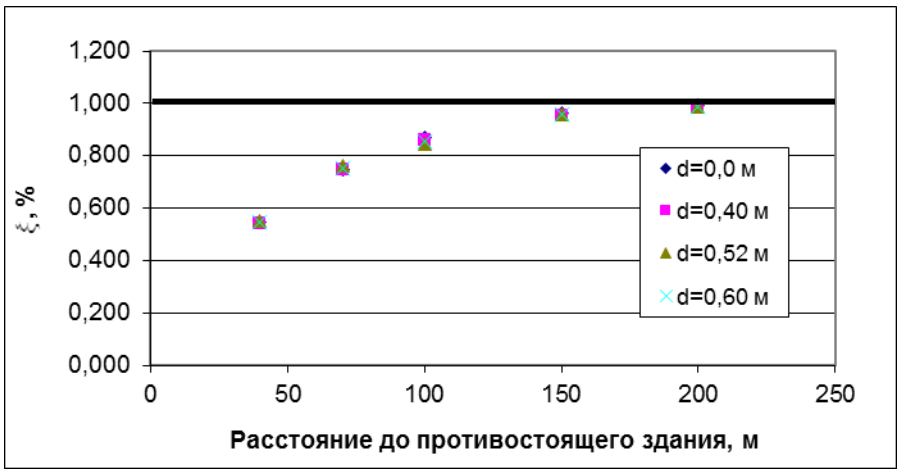


Рисунок 4.6 – Относительные значения КЕО в зависимости от расстояния до противостоящего здания

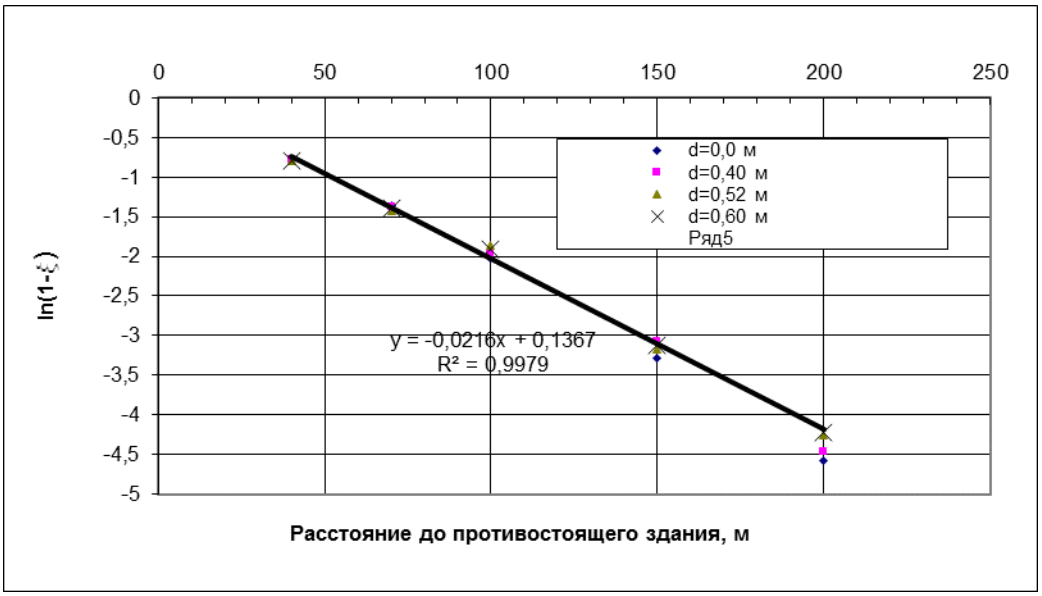


Рисунок 4.7 – Графическое определение параметров эмпирического уравнения (4.19)

4.2.4 Определение минимального расстояния до противостоящего здания, при котором выполняются нормы по естественному освещению в контрольном помещении после проведения ремонта

Для нахождения предельного расстояния до противоположного здания необходимо приравнять относительное значение КЕО, умноженное на значение КЕО при открытом горизонте к нормированному значению КЕО e_N, равное для Москвы 0,5.

$$e_N = \xi(X) \cdot \tilde{e}^*(d) \cdot \tau_0 / K_з \qquad (4.25)$$

Из полученного уравнения с учетом (4.23) определятся величина X:

$$X = -46{,}3 \cdot \ln\left[\frac{1 - \dfrac{e_N \cdot K_з}{\tau_0(-1{,}49 \cdot d + 2{,}9)}}{1{,}15}\right] \qquad (4.26)$$

В частности, при толщине стены после ремонта здания 0,60 м, что соответствует монтажу навесной фасадной системы с вентилируемой прослойкой, предельное расстояние до противостоящего здания составляет 47 м. При толщине стены 0,52 м, что соответствует монтажу системы скрепленной теплоизоляции с тонким штукатурным слоем, предельное расстояние до противостоящего здания составляет 44 м. В то время как до ремонта здания предельное расстояние составляло 34 м.

Таким образом, до проведения реконструкции здания можно определять предельное расстояние до противостоящего здания, при котором будет соблюдаться нормируемое значение КЕО в помещениях реконструируемого здания.

4.2.5 Рекомендации по повышению светового комфорта в зданиях, реконструируемых с целью энергосбережения

При реконструкции зданий с целью энергосбережения производится утепление стен и замена оконных блоков на современные с ПВХ-профилями. При этом ухудшаются световые условия в помещениях реконструируемого здания, что было показано в 4.2 настоящей главы. На основе проведенных исследований можно рекомендовать следующие меры по повышению светового комфорта в помещениях реконструируемого здания:

- выбор стеклопакета, устанавливаемого после ремонта, должен основываться на критерии равноэффективности, предложенном в п. 4.1 настоящей главы;
- при уменьшении расстояния до противоположного здания до значений, меньших, чем требуемое для соблюдения норм освещенности, рекомендуется обеспечить более высокое отражения света для фасада противостоящего здания;

- повышение среднего коэффициента отражения внутренних ограждений проверяемого помещения ремонтируемого здания.

4.3 Выводы по главе 4

1. Разработан критерий равноэффективности, позволяющий осуществлять обоснованный выбор устанавливаемого энергосберегающего стеклопакета.
2. Проведен расчет энергосберегающих стеклопакетов по критерию равноэффективности и выбран оптимальный вариант в светотехническом и теплозащитном отношениях.
3. Разработан метод, позволяющий определять снижение КЕО при проведении ремонта зданий серии II-18.
4. Получено выражение, позволяющее определять минимальное предельное расстояние до противостоящего здания, при котором соблюдаются нормы освещенности.
5. Рекомендованные к применению при ремонте оконные блоки обладают коэффициентом светопропускания на 11% ниже, чем старые окна.
6. В целом после ремонта здания условия естественной освещенности снижаются, что сказывается на снижении расстояния до противостоящего здания. Получено, что для комнаты с наихудшими условиями освещения минимальное предельное расстояние до противостоящего здания увеличилось с 34 м до 44-47 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

1. Выполнено комплексное исследование светопропускания стеклопакетов с низкоэмиссионными и мультифункциональными покрытиями от трех производителей, на основе которого сформирована таблица коэффициентов светопропускания, рекомендованная для использования в нормативных документах по расчету естественного освещения помещений зданий.
2. Проведенный комплекс экспериментальных и теоретических исследований позволил сформулировать комплексную расчетно-экспериментальную методику для расчета общего коэффициента светопропускания оконных блоков любой формы при расчетах естественного освещения помещений зданий.
3. Разработана методика и экспериментальная установка для исследования светопропускания оконных блоков в натурных условиях. Данная методика является единственной методикой такого рода и позволяет заменить метод экспериментального исследования светопропускания оконных блоков в установке «Искусственный небосвод», что позволяет распространить практику экспериментальных исследований светопропускания оконных блоков.
4. Проведены исследования общих коэффициентов светопропускания пяти оконных блоков различной конструкции и дано сравнение полученных коэффициентов светопропускания с расчетными значениями. На основании проведенных исследований предложен поправочный коэффициент к рассчитанному значению общего коэффициента светопропускания оконных блоков.
5. Разработан критерий, позволяющий сравнивать оконные блоки по светотехническим и теплотехническим параметрам. Проведены расчеты значения критерия для оконного блока с различными стеклопакетами, выбраны стеклопакеты с энергосберегающим эффектом при обеспечении необходимого светопропускания.

6. Предложен метод оценки пригодности оконных блоков для замены в существующих зданиях в застройке с учетом их светопропускающих свойств, позволяющий оценить целесообразность замены до ремонта зданий.

По результатам проведенных исследований можно сформулировать следующие **рекомендации** по использованию результатов диссертации, а именно следующие изменения в СП 23-102:

1. Дополнить таблицу Б.7 в части значений коэффициента светопропускания остекления τ_1 данными таблицы 2.16.

2. В связи с большим выбором и функциональным назначением стеклопакетов рекомендуется проводить дополнительные проверочные измерения их коэффициентов светопропускания.

3. Заменить таблицу Б.7 в части значений коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконного блока, на расчетную формулу (2.11).

4. При вычислении общего коэффициента светопропускания оконного блока, τ_0, использовать в качестве дополнительного множителя поправочный коэффициент $\gamma_e = 1{,}1$, предложенный в главе 3.

5. При выборе стеклопакета со стеклами с низкоэмиссионными покрытиями, с учетом современного ассортимента выпускаемых стеклопакетов, использовать критерий равноэффективности (формула (4.16)).

Перспективы дальнейшей разработки темы можно сформулировать следующим образом:

1. Расширение и систематизация исследований по определению светотехнических характеристик различных образцов стекол с покрытиями и стеклопакетов с их использованием.

2. Предложенный метод определения общего коэффициента светопропускания оконных блоков с использованием разработанной установки является первым шагом для решения ряда светотехнических задач путем проведения натурных исследований, поэтому целесообразна разработка методик для различных светотехнических экспериментов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ДПР - деревянный переплёт раздельный;

ДПС - деревянный переплёт спаренный;

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С сут./год;

ИК – инфракрасная область спектра;

КЕО – коэффициент естественной освещенности, %;

$K_{Гi}$ – составляющая коэффициента светопередачи, зависящая от геометрических размеров ячейки переплета, отн.ед.;

$K_{Пi}$ – составляющая коэффициента светопередачи, зависящая от отражательных свойств внутренних граней ячеек переплета, отн.ед.;

$K_з$ – коэффициент запаса (при чистом остеклении $K_з = 1$), отн.ед.;

$K_{зд}$ – коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий, отн.ед.;

МКО – Международная комиссия по освещению;

ПВХ №1, ПВХ №2, ПВХ №3 – оконные блоки из ПВХ;

$Ф_1$ – световой поток, прошедший через ячейки переплета оконного блока в помещение, лм;

$Ф_0$ – световой поток, упавший на оконный блок из наружного пространства, лм;

A, $A_{ок1}$, $A_{ок2}$, ΔA – площадь стены, оконного блока до увеличения светопроема, после увеличения, приращение площади, соответственно, м^2;

A_i – площадь отдельной ограждающей конструкции, м^2;

A_j – площадь участка оконного профиля в блоке, м^2;

D_λ – относительное спектральное распределение мощности стандартного источника света D_{65}, отн.ед.;

$E_1^б$, $E_2^б$ – освещенность в точке внутри модели, находящейся в помещении при закрытых и открытых створках окна, соответственно, лк;

$E_1^н$, $E_2^н$ – наружная освещенность на горизонтальной поверхности под открытым небосводом при одновременном измерении $E_1^б$ и $E_2^б$, соответственно, лк;

$E_1^в$, $E_2^в$ – наружная освещенность на вертикальной плоскости наружной поверхности стены с исследуемым окном при одновременном измерении $E_1^б$ и $E_2^б$, соответственно, лк;

L_i – расстояние от окна до точки на полу помещения, м;

L – расстояние от расчетной точки до центра светопроема, м;

L_1, L_2 – расстояние от расчетной точки до центра светопроема для первого и второго оконного блока, соответственно, м;

L_j – длина j-того участка переплета, м;

М – масштабный коэффициент (в данной работе выбран 1/10), отн.ед;

P – критерий равноэффективности оконного блока, отн.ед.;

P_1, P_2 – значения критерия равноэффективности первого и второго оконного блока, соответственно, отн.ед.;

$Q_{тр}$ – трансмиссионные потери теплоты через оболочку здания за отопительный период, кВт ч/(м^3 год);

$R_{ст}$, $R_{ок}$ – приведенное сопротивления теплопередаче стены и оконного блока, соответственно, м^2 ^{o}С/Вт;

$R_{ок1}$, $R_{ок2}$ – приведенное сопротивления теплопередаче первого и второго оконного блока, соответственно, м^2 ^{o}С/Вт;

$R_{o,i}^{пр}$ – приведенное сопротивление теплопередаче отдельной ограждающей конструкции соответственно, м^2 ^{o}С/Вт;

S_0 – площадь светового проема по наружному измерению в свету, м^2;

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

U – коэффициент теплопередачи, Вт/м^{2}К;

U_o – коэффициент теплопередачи в центре стеклопакета, Вт/(м^2 ^{o}С);

U_j – коэффициент теплопередачи j-того участка переплета, Вт/(м^2 ^{o}С);

$U_{пер}$ – коэффициент теплопередачи переплета, Вт/(м^2 ^{o}С);

$U_o^{СП}$ – коэффициент теплопередачи по СП 50.13330.2012 [100], Вт/(м^2 °С);

V – объем здания, м^3;

$V(\lambda)$ – спектральная эффективность освещения для дневного зрения, характеризующая стандартного наблюдателя для фотометрии, отн.ед.;

X – расстояние до противостоящего здания, м;

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

$b_ф$ – средняя относительная яркость фасада противостоящего здания, отн.ед.;

$b_{ок1}$, $h_{ок1}$, $b_{ок2}$, $h_{ок2}$ – ширина и высота светопроема соответственно по первому варианту и второму варианту проектирования светопроема, м;

d_i – суммарная толщина переплета, м;

d – толщина стены, м;

e_N – нормированное значение КЕО, %;

$e^б$ – КЕО при боковом освещении (от окон) в помещении, %;

$e_1^б$, $e_2^б$ – результат измерения КЕО, произведенного в модели при закрытых и открытых створках окна в комнате, соответственно, %;

$e_{р1}^б$, $e_{р2}^б$ – значение КЕО при различных вариантах заполнения светопроема, соответственно, %;

e^*, $e^*(X)$ – КЕО без учета заполнения светопроема по методике СП 23-102-2003 [77], %;

$\tilde{e}^*$, $\tilde{e}^*(X)$ – КЕО при открытом горизонте, %;

$f(s)$ – параметр, учитывающий затенение света в направлении нормали к плоскости оконного блока, отн.ед.;

$k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика, Вт/(м^3 °С);

l_i – расстояние в модели от стены с окном до точки на полу модели, м;

l_j – относительная протяженность j-ой линейной неоднородности, 1/м;

n_1', n_2' – количество лучей, проходящих от противостоящего здания в расчетную точку помещения, соответственно в разрезе и плане помещения;

p_1 , p_2 – коэффициенты пропорциональности между n_1' и $b_{ок1}$, $h_{ок1}$, n_2' и $b_{ок2}$, $h_{ок2}$, соответственно, отн.ед.;

q – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба, отн.ед.;

r – радиус ячейки переплета, м;

r_0 – коэффициент, учитывающий влияние отраженного света от поверхностей помещения, отн.ед.;

Ψ_j – удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность j–го вида, Вт/(м^2 ^{o}С);

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

α – коэффициент светопоглощения образца стекла, отн.ед.;

β_i – индекс i-й ячейки переплета, отн.ед.;

χ – параметр уравнения (4.21), м;

δ – относительное отклонение, %;

$\delta_{СП-Н}$ – относительное отклонение определения общего коэффициента светопропускания при сравнении τ_0^H с $\tau_0^{СП}$, %;

$\delta_{Ф(2.6)-Н}$, $\delta_{Ф(2.11)-Н}$ – относительные погрешности определения общего коэффициента светопропускания при натурных измерениях τ_0^H в сравнении с расчетно-экспериментальным методом $\tau_0^{ф(2.6)}$ и $\tau_0^{ф(2.11)}$, %;

γ_e – поправочный коэффициент к общему значению коэффициента светопропускания, отн. ед.;

$\varepsilon^б$ – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, %;

$\varepsilon_{зд}$ – геометрический КЕО от здания в расчетной точке при боковом освещении, %;

ε – геометрический КЕО, %;

$\varepsilon_{зд1}$, $\varepsilon_{зд2}$ – геометрический КЕО для здания при первом и втором варианте оконного блока, соответственно, %;

η_i – доля прямого светового потока, который, упав на внутренние грани *i*-ой ячейки, пройдет после многократных отражений в помещение, отн.ед.;

μ – параметр уравнения (4.21), отн.ед;

ρ – коэффициент диффузного отражения внутренних граней ячейки, отн.ед.;

$\rho_{нар}$ – коэффициент отражения с наружной стороны стекла, отн. ед.;

$\rho_{внут}$ – коэффициент отражения с внутренней стороны, отн. ед.;

σ_i – площадь полупериметра торцевых стенок *i*-й ячейки переплета, м^2;

τ – коэффициент светопропускания образца стекла, , отн.ед.;

τ_0 – общий коэффициент пропускания света заполнением светопроема, отн.ед.;

τ_{01}, τ_{02} – коэффициент светопропускания первого и второго оконного блока, соответственно, отн.ед.;

τ_v – осредненный коэффициент светопропускания по спектральному коэффициенту светопропускания, отн.ед.;

$\tau_И$ – измеренный коэффициент светопропускания, отн.ед.;

$\tau(\lambda)$ – спектральный коэффициент пропускания остекления, отн.ед.;

$\tau_{СП}(\lambda)$, $\tau_{СП}$ – спектральный и осредненный коэффициенты светопропускания стекла с покрытием, соответственно, отн.ед.;

$\tau_{БП}(\lambda)$, $\tau_{БП}$ – спектральный коэффициент светопропускания стекла без покрытия, соответственно, отн.ед.;

$\tau_{Пусл}(\lambda)$, $\tau_{Пусл}$ – условные спектральный и осредненный коэффициенты светопропускания покрытия, соответственно, отн.ед.;

$\tau'_{Пусл}(\lambda)$, $\tau'_{Пусл}$ – условные спектральный и осредненный коэффициенты светопропускания покрытия, вычисленные по спектральным коэффициентам стекол без покрытия и с покрытием, отн.ед.;

$\tau^{//}_{Пусл}$ – условный осредненный коэффициент светопропускания покрытия, вычисленный по осредненным коэффициентам стекол без покрытия и с покрытием, отн.ед.;

$\tau^{/}_{усл}(\lambda)$ – условный спектральный коэффициент двойного остекления, отн.ед.;

$\tau^{//}_{усл}$ – условный осредненный коэффициент двойного остекления, отн.ед.;

$\tau_0^{СП}$ – общий коэффициент светопропускания оконного блока, вычисленный по СП 23-102-2003, отн. ед.;

$\tau_0^{Н}$ – общий коэффициент светопропускания, полученный при натурных измерениях, отн. ед.;

$\tau_0^{ф(2.6)}$ и $\tau_0^{ф(2.11)}$ – общие коэффициенты светопропускания, вычисленные расчетно-экспериментальным методом по формулам (2.6) и (2.11), соответственно, и по формуле (2.12) главы 2, отн. ед.;

ω_i – параметр, учитывающий удельный вес по площади *i*-ой ячейки блока, отн.ед.;

ξ_i – доля прямого светового потока, упавшего на *i*-ую ячейку и прошедшего непосредственно в помещение, отн.ед.;

$\xi_i^{ком}$, $\xi_i^{окно}$ – относительные освещенности для точки *i* при нахождении модели в комнате и на окне, соответственно, отн.ед.;

$\xi(X)$ – относительное значение КЕО, зависящее от расстояния до противостоящего здания *X*, отн.ед.;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян, Н.А. Биологические ритмы / Н.А. Агаджанян. – М.: Медгиз, 1967. – 143 С.
2. Адриан, В. Комментарий к спектру действия излучения для регуляции секреции мелатонина / В. Адриан // Светотехника. – 2008. – № 1. – С. 39 - 41.
3. Айзенберг, Ю.Б. Интегральные системы освещения помещений без достаточного естественного света / Ю.Б. Айзенберг // Светотехника. – 2003. – № 1. – С. 22-28.
4. Ацюковский, В.А. Об одном забытом методе светолечения / В.А. Ацюковский. – Жуковский: Петит, 1996. – 16 с.
5. Бабак, Е. Разобьет ли кризис стекольную отрасль? [Электронный ресурс]. Публикации / Е. Бабак // Строительные материалы. – 2015. – №3. – Режим доступа: http://ancb.ru/publication/read/917.
6. Бахарев, Д.В. О светопропускании окон/ Д.В. Бахарев, И.А. Зимнович // Светотехника. – 2007. – № 5. – С. 5-9.
7. Борискина, И.В. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий: учебное пособие / И.В. Борискина, А.А. Плотников, А.В. Захаров. – С.Пб.: Выбор, 2008. – 360 с.
8. Борн, М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф – М.: Изд-во «Наука», 1973. – 720 с.
9. Брейнард, Г.К. Восприятие света как стимула незрительных реакций человека/ Г.К. Брейнард, И. Провенсио // Светотехника. – 2008. – № 1. – С. 6 - 12.
10. Вейнберг, Б.П. Черты сходства задач и методов гелиофототехники и гелиотехники/ Б.П. Вейнберг // Труды первой всесоюзной конференции по естественному освещению, вып.III. – М.: Госэнергоиздат. – 1933. – С.170-182.
11. Вейнберг, В.Б. Оптика в установках для использования солнечной энергии/ В.Б. Вейнберг. – М.: Оборонгиз, 1959. – 236 с.

12. 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.
13. Гагарин, В.Г. Определение светотехнических характеристик оконных стекол производства ООО «Пилкингтон гласс» / В.Г. Гагарин, Е.В.Коркина // В кн. Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. Материалы XIII международной научной конференции 15 – 28 апреля 2015. – Сиань (Китай). – 2015. – С. 151-156.
14. Гагарин, В.Г. Равноэффективность оконных блоков по параметрам теплозащиты и светопропускания / В.Г. Гагарин, В.А. Земцов, Н.М. Игумнов // РААСН. Вестник отделения строительных наук. – №12. – Белгород. – 2008. – С. 342-349.
15. 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 2014г., Москва). – 2014. – С. 535 - 536.
16. 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, вып.II. – М-Л.: Госэнергоиздат. – 1932. – С. 10.
17. Гершун, А.А. Пропускание направленного и диффузного света обычным застеклением / А.А. Гершун, Н.Г. Болдырев // Труды первой всесоюзной конференции по естественному освещению, вып.II. – М-Л.: Госэнергоиздат. – 1932. – С.132-134.
18. Гершун, А.А. Световое поле / А. А. Гершун. – М.: ОНТИ, 1936. – 176 с.
19. ГОСТ 26602.4-2012 Блоки оконные и дверные. Метод определения общего

коэффициента пропускания света. – М.:МНТКС, 2012. – 17 с.

20. ГОСТ 30733-2000. Стекло с низкоэмиссионным твердым покрытием. Технические условия. – М.:МНТКС, 2000. – 27 с.
21. ГОСТ Р 54164–2010 (ИСО 9050:2003). Стекло и изделия из него. Методы определения оптических характеристик. – М.:Стандартинформ, 2010. – 36 с.
22. Гусев, Н.М. Естественное освещение зданий / Н.М. Гусев. – М.:Стройиздат, 1961. – 171 с.
23. Гусев, Н.М. Об освещении бесфонарных промышленных зданий / Н.М. Гусев // Светотехника. – I960. – № 9. – С. 22-25.
24. Гусев, Н.М. Основы строительной физики / Н.М. Гусев. – М.:Стройиздат, 1975. – 440 с.
25. Данилюк, А.М. Расчет естественного освещения помещений / А.М. Данилюк. – Л.-М.: ГИСтройЛит, 1941. – 140 с.
26. Долгополов, В.И. Светотехнические материалы / В.И. Долгополов. – М.:Энергия, 1972. – 167 с.
27. Дроздов, В.А. Фонари и окна промышленных зданий / В.А. Дроздов. – М.:Стройиздат, 1972. – 331 с.
28. Зак, П.П. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков / П.П. Зак, М.А. Островский // Светотехника. – 2012. – № 3. – С. 4 - 6.
29. Закируллин, Р.С. Оптический фильтр с угловым селективным светопропусканием / Р.С. Закируллин // Вестник Челябинского государственного университета. – 2013. – № 25 (316). – С. 5–8.
30. Закируллин, Р.С. Селективное регулирование светопропускания стекла и остекленных конструкций / Р.С. Закируллин // Вестник ОГУ. – 2011. – №6 (125)/июнь. – С. 172 – 180.
31. Земцов, В.А. Вопросы проектирования и расчета естественного освещения помещений через зенитные фонари шахтного типа / В.А. Земцов // Светотехника. – 1990. – №10. – С. 25-26.

32. Земцов, В.А. Естественное освещение помещений через зенитные фонари шахтного типа: автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.23.03 / Земцов Виктор Андреевич. – М., 1981. 16 с.
33. 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.
34. 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.
35. Земцов, В.А. Метод экспериментального определения общего коэффициента светопропускания заполнений светопроемов в натурных условиях / В.А. Земцов, Е.В. Гагарина, С.Н. Коркин // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – 2011. – №3. – Т.2. – С. 9 - 14.
36. 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.
37. Земцов, В.А. О методе расчета общего коэффициента пропускания света оконными блоками / В.А. Земцов, В.Н. Гагарина, Е.В. Коркина // В кн. Проблемы экологической безопасности и энергосбережения в строительстве и ЖКХ. Материалы международной научно-практической конференции. Кавала (Греция). – 18-19 августа 2014. – С.52-58.
38. Земцов, В.А. Расчет естественного освещения помещений при плотной городской застройке / Земцов В.А., Киреев Н.Н. // Светотехника. – 1993. – № 5-6. – С. 48–49.
39. 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.

40. 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.
41. Земцов, В.А. Экологические аспекты инсоляции и естественного освещения жилых и общественных зданий / В.А. Земцов, Е.В. Гагарина // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2012. – №2. – С. 38-41.
42. Киреев, Н.Н. Аналитический метод определения светопропускания оконного блока / Н.Н. Киреев // Светотехника. – 1983. – №7. – С. 3-4.
43. Киреев, Н.Н. Метод расчета коэффициента светопропускания зенитных фонарей без заполнения / Н.Н. Киреев // Светотехника. – 1975. – №8. – С. 10-12.
44. Киреев, Н.Н. Основы проектирования совмещенного освещения: дис. … д-ра технических наук: 05.23.03 / Киреев Николай Николаевич. – М., 1984. – 360 с.
45. Киреев, Н.Н. Развитие теоретических методов определения отраженной составляющей естественного освещения помещений / Н.Н. Киреев // Светотехника. – 1982. – №2. – С.4 - 6.
46. Киреев, Н.Н. Расчет естественного освещения помещений при наличии противостоящих зданий / Н.Н. Киреев // Сборник трудов НИИСФ. Вопросы качества естественного и искусственного освещения зданий. – М. – 1980. – С. 64-69.
47. Киреев, Н.Н. Расчет естественного освещения производственных помещений при применении плафонов верхнего света / Н.Н. Киреев // Промышленное строительство. – 1964. – №10. – С. 30-33.

48. Киттлер, Р. Развитие методов расчета естественного освещения помещений с учетом отраженного света / Р. Киттлер // Светотехника. – 1956. – №2. – С. 18-21.
49. Коган, А.И. О генетической связи зрения со светом и движением / А.И. Коган // Сборник. Свет как элемент жизненной среды человека. – М.: ВНИИТЭ. – 1972. –С. 3-11.
50. Кондрашов, В.И. Развитие флоат-процесса производства листового стекла / В.И. Кондрашов, Е.В. Файнберг, В.С. Безлюдная // Стекло и керамика. – 2000. – №6. – С. 11-14.
51. Коркина, Е.В. Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам / Е.В. Коркина // Жилищное строительство. – 2015. – № 6. – С. 60-62.
52. 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.
53. Ландсберг, Г.С. Оптика / Г.С. Ландсберг. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.
54. Лицкевич, В.К. Архитектурная физика: учеб. для вузов: спец. «Архитектура» / В.К. Лицкевич, Л.И. Макриненко, И.В. Мигалина и др.; под. ред. Н.В. Оболенского. – М.: Стройиздат, 2001. – 448 с.
55. Маневич, В.Е. Обзор производства листового стекла в России / В.Е. Маневич, А.Г. Чесноков // Окна и двери. – 1999. – №6 (27). – С. 10-12.
56. Менк, Х. Окна для реконструируемых зданий / Х. Менк, Э. Зайферт. – М.: Стройиздат, 1992. – 208 с.
57. Миронова, Л.Н. Исследование отраженной составляющей естественного освещения зданий при помощи математических моделей / Л.Н. Миронова // Светотехника. – 1968. – № 3. – С. 13 - 17.
58. Миронова, Л.Н. Расчет коэффициента яркости затеняющей застройки / Л.Н.Миронова // Светотехника. – 1969. – № 3. – С.14-18.
59. Нуретдинов, Х.Н. Расчет показателей естественного освещения помещений

на основе зональных представлений / Х.Н. Нуретдинов // Гелиотехника. – 1977. – №4. – С. 77-86.

60. Пособие по расчету и проектированию естественного, искусственного и совмещенного освещения (к главе СНиП II-4-79 "Естественное и искусственное освещение")/ М.И. Краснов, Н.Н. Киреев, Г.А. Тищенко и др. – М.: Стройиздат, 1985. – 384 с.
61. Ри, М. Циркадная фотобиология: новые горизонты практической и теоретической светотехники / М. Ри, М. Фигуэро, Д. Баллоу // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – №4. – С.12-17.
62. Рынин, Н.А. Дневной свет и расчеты освещенности помещений / Н.А. Рынин. – С.Пб.:Типография Ю.Н. Эрлих, 1908. – 160 с.
63. Рынин, Н.А. Ослабление силы дневного света, проходящего через стекла разных сортов / Н.А. Рынин // Журн. техн. совещ. упр. ж. д. по Техн. отделу. – 1908. – Т. 63. – С. 45–49.
64. Савин, В.К. Окна для массового строительства жилых зданий в Москве и Московский области / В.К. Савин // Окна и двери. – 1997. – №2. – С. 21-23.
65. Савин, В.К. Строительная физика. Энергоэкономика / В.К. Савин. – Москва.: Лазурь, 2011. – 418 с.
66. Савин, В.К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение / В.К. Савин. – М.: Лазурь, 2005. – 432 с.
67. СанПиН 2.2.1/2.1.1. 1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.:Минздрав России, 2003. – 44 с.
68. Сапожников, Р.А. Теоретическая фотометрия / Р.А. Сапожников. – М.: Энергия, 1967. – 264 с.
69. Светопрозрачные ограждающие конструкции промышленных зданий / под ред. В.А. Дроздова. – М.: Стройиздат. 1967. – 250 с.
70. СНиП II-4-79 Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. – М.:Стройиздат, 1980. – 48 с.

71. Соловьёв, А.К. Научные основы повышения энергоэффективности верхнего естественного освещения производственных зданий с применением теории светового поля: дис. … д-ра технических наук: 05.23.01, 05.23.03 / Соловьев Алексей Кириллович. – М., 2011. – 270 с.
72. Соловьев, А.К. Обоснование модели «среднестатистического небосвода» и ее использование в расчетах естественного освещения / А.К. Соловьев // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 73-78.
73. Соловьёв, А.К. Оценка освещения помещений с применением теории светового поля / А.К. Соловьев // Светотехника. – 2013. – № 4. – С. 66-68.
74. Соловьев, А.К. Теория светового поля и улучшение условий зрительной работы с объемными объектами различения / А.К. Соловьев // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – № 5. – С. 470-475.
75. Соловьев, А.К. Физика среды: учебник / А.К. Соловьев. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 344 с.
76. Соловьев, С.П. Специальные строительные стекла / С.П. Соловьев, М.А. Царицын, О.В. Воробьева, Г.П. Замаев. – М.: Стройиздат, 1971. – 190 с.
77. СП 23-102-2003. Естественное освещение жилых и общественных зданий. – М.: Госстрой России, 2005. – 82 с.
78. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: Минрегион России, 2012. – 96 с.
79. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.–М.:Минрегион России, 2011. – 69 с.
80. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
81. 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.

82. Стецкий, С.В. Создание комфортной световой среды в помещениях с боковым естественным освещением : автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.23.01 / Стецкий Сергей Вячеславович. – М., 1979. – 21 с.
83. СТО 44416204-2008 Расчетный метод определения общего коэффициента пропускания света оконных и дверных оконных блоков. – М.: ФГУ «ФЦС», 2008. – 13 с.
84. Томилина, Е.А. Метод контроля и способы повышения светопропускания стекол оконных блоков : дис. ...канд. техн. наук: 05.23.05/ Томилина Елена Александровна. – Новосибирск, 2004. – 159 с.
85. Урочное положение. Пособие при составлении и проверке смет, проектировании и исполнении работ / Н.И. де- Рошефор. – Берлин: Культура, 1924. – 690 с.
86. Фиш, И. Свет и здоровье / И. Фиш; пер. с нем. – М.: ВИГМА, 2001. – 40 с.
87. Фрюлинг, Г. Освещение помещений естественным светом. Его измерение и расчет по методу коэффициента использования / Г. Фрюлинг. – М.–Л.: Госстройиздат, 1933. – 86 с.
88. Хавалджи, Г.И. Фотометрические свойства пылевых осадков на светопропускающих ограждениях / Г.И. Хавалджи // Светотехника. – 1992. – № 6. – С. 9-13.
89. Халикова Ф.Р. Совершенствование нормирования и расчета инсоляции жилых помещений путем учета интенсивности и дозы ультрафиолетовой радиации : дис. … канд. технических наук: 05.23.01 / Халикова Фарида Рафаэлевна. – Казань, 2013. – 145 с.
90. Чесноков, А.Г. Анализ оптических и тепловых характеристик вариантов остекления / А.Г. Чесноков, С.А. Чесноков // Окна и двери. – 1997. – №5. – С. 10-13.
91. Эриванцев, И.Н. Об улучшении естественного освещения в промышленных зданиях / И.Н. Эриванцев // Промышленное строительство. – 1965. – №4. – С.33–36.

92. Эриванцев, И.Н. Прогнозирование светотехнических характеристик прозрачных ограждений / И.Н. Эриванцев // Светотехника. – 1993. – № 5-6. – С. 55.
93. Bennett, J. Natural daylight illumination, its relation to isolation / J. Bennett // Illumination Engeneering. – 1962. – № 57. P. 145-149.
94. 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. – №21(16). – P.6405–6412.
95. Carmody, J. Residential Windows. A guide to new technologies and energy performance / J. Carmody, S. Selkowitz, L. Heschong. – New York, London: W.W. Norton&Company, 1996. – 214 p.
96. Collingro C., Roessler G. Influence of window on the communication with the external environment in a room with PSALI. // Proceedings of CIE Study group a symposium, Varna/Bulgaria,1 and 2. Oct. 1972. – P. 92-95.
97. Hannauer, K. Mathematisch - graphisches Verfahren zur Ermittlung der Vertikalbeleuchtungsstarke auf der Seitenwande lines Lichthofes / K. Hannauer // Das Licht. – 1940. – № 12. – P.253-254.
98. Hopkinson, R.G. An empirical formula for the computation of the indirect component of daylight factor / R.G. Hopkinson, J. Longmore, P. Peterbridge // Trans. Ilium. Soc. – 1954. – Vol.19. – № 7. – P. 201-219.
99. 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. – № 3. – P. 121-148.
100. Jackson, G.J. Let's keep it simple what we want from daylight / G.J. Jackson, J.G. Holmes // Light and Lighting. – 1973. – № 3. – P. 80-82.
101. Keighley, E.C. Visual requirements and reduced fenestration in office buildings. A study of multiple apertures and window area / E.C. Keighley // Journal of Building Science. – 1973. – № 8. – P. 321-331.

102. Kittler, R. Luminance distribution on doudless Sky after Measurment and theoretical relations / R. Kittler // Meteorologicke zpravy. – Prague. – 1962. – №2. – P.34.
103. Lee, E.S. Daylighting control performance of a thin-film ceramic electrochromic window: Field study results / E.S. Lee, D.L. DiBartolomeo, S.E. Selkowitz // Energy and Buildings. – 2006. – V 38. – P. 30-44.
104. Markus, T.A. The function of windows: a reappraisal / T.A. Markus // Building Science. – 1967. – № 2. – P. 97-121.
105. Mazilu, M. Modular method for calculation of transmission and reflection in multilayered structures / M. Mazilu, A. Miller, V.T. Donchev // Applied Optics. – 2001. – № 40. – P. 6670–6676.
106. Mercer, J.C. On measuring the effect of a window / J.C. Mercer // Architectural Research and Teaching. – 1971. – Vol. 2. – P. 22 – 25.
107. 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. – V. 30. – № 3. – P. 281-304.
108. Mohrmann, Karl. Über die Tagesbeleuchtung innerer Räume. Berlin: Seydel, 1885. – 31 p.
109. Moon, P. Illumination from non-uniform sky / P. Moon, D.E. Spencer // Illuminating Engineering. – 1942. – № 37. – P. 707-726.
110. 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.
111. Ne´eman, E. The design of windows in relation to outside view, interior form, sushine and activite / E. Ne´eman, R.G. Hopkinson // Paper presented at BRE. Conference on "Perception of the external world". – 1974. – P. 35–42.
112. Pleijel, G. Daylight Investigation Description of Test set-up and Results of selected test series / G. Pleijel. – Stockholm:Bonnier, 1949. – 67 p.
113. Smith, N. Thermal performance of secondary glazing as a retrofit alternative for

single-glazed windows / N. Smith, N. Isaacs, J. Burgess, I. Cox-Smith // Energy and Buildings. – 2012. – Vol. – 54. – P. 47–51.

114. Spenser, D.E. The integral-equation solution of the daylighting problem / D.E. Spenser, J. Stakutis // Jour. Franklin Inst. – 1951. – V.252. – № 3. – P. 225-237.
115. Thapan, K. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans / K. Thapan, J. Arendt, D. J. Skene // Journal Physiology. – 2001. – №535. – P. 261- 267.
116. Tubesing, W. Tageslicht and Kunstlicht in Biirogrossrauroen / W. Tubesing // Bauen and Wohnen. – 1969. – № 1. – P. 21-26.
117. Wurtman, R.J. Biological considerations in lighting environment / R.J. Wurtman // Progressive Architecture. – 1973. – № 9. – P. 79-81.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

№	Наименование	Стр.
1.1	Схематическое представление зависимости остроты зрения от освещенности при различном возрасте наблюдателя	16
1.2	Спектр подавления секреции мелатонина, полученный на 72-х здоровых людях	18
1.3	Спектр подавления секреции мелатонина и спектров зрительных датчиков глаза	18
1.4	Результаты субъективной оценки освещения в баллах ($n_Б$) в зависимости от отношения площади световых проемов ($A_{ок}$) к площади наружной стены (А), %	21
1.5	Схема к закону проекции телесного угла	23
1.6	Графики А.М. Данилюка	24
1.7	Использование графиков А.М. Данилюка для расчета количества лучей n_1 и n_2	25
1.8	Схема углов к расчету геометрического КЕО	25
1.9	Спектральная характеристика пропускания различных стекол	34
2.1	Спектрофотометр СФ-256 УВИ	42
2.2	Интерфейс программного обеспечения спектрофотометра СФ-256 УВИ	42
2.3	Спектральный коэффициент светопропускания стекла без покрытия	43
2.4	Спектральные коэффициенты светопропускания стекол с покрытиями	45
2.5	Спектральный коэффициент светопропускания образцов однокамерных стеклопакетов	48
2.6	Условные спектральные коэффициенты светопропускания покрытий мультифункциональных стёкол	51
2.7	Сравнение коэффициентов светопропускания стеклопакетов, полученных измерением и расчетом	52
2.8	Нумерация поверхностей стекол в стеклопакете	54
2.9	Оконные блоки: круглые, полукруглые, сложной формы	62
2.10	Оконные блоки прямоугольной формы	63
3.1	Установка для определения общего коэффициента светопропускания в натурных условиях	73
3.2	Положение установки в помещении при проведении измерений: разрез, план .	75
3.3	Измерение освещенности в модели, находящейся в комнате и на окне	77
3.4	Расположение датчиков люксметров при измерении наружной освещенности (а) и освещенности внутри модели (б).	77
3.5	Схема и фотография оконного блока ДПР	80
3.6	Схема и фотография оконного блока ДПС	80

№	Наименование	Стр.
3.7	Схема и фотография оконного блока ПВХ №1	81
3.8	Схема и фотография оконного блока ПВХ №2	81
3.9	Схема и фотография оконного блока ПВХ №3	81
3.10	Аппроксимационная прямая результатов измерений коэффициента светопропускания оконного блока с ДПР	83
3.11	Аппроксимационная прямая результатов измерений коэффициента светопропускания оконного блока ДПС	83
3.12	Аппроксимационная прямая результатов измерений коэффициента светопропускания оконного блока из ПВХ профилей №1	83
3.13	Аппроксимационная прямая результатов измерений коэффициента светопропускания оконного блока из ПВХ профилей №2	84
3.14	Аппроксимационная прямая результатов измерений коэффициента светопропускания оконного блока из ПВХ профилей №3	84
3.15	Зависимость отношения освещенностей в модели, расположенной на окне, от геометрического КЕО, рассчитанного на уровне подоконника	86
3.16	Зависимость отношения освещенностей в модели, расположенной в комнате, от геометрического КЕО, рассчитанного на уровне подоконника	87
3.17	Изменение общего коэффициента светопропускания от геометрического КЕО, рассчитанного на уровне подоконника при различной удаленности от окна	87
3.18	Сравнение результатов расчета общего коэффициента светопропускания по СП 23-102-2003 и при его определении по натурным измерениям	92
3.19	Сравнение результатов расчета общего коэффициента светопропускания расчетно-экспериментальным методом с результатами натурных измерений	93
4.1	Переплеты оконного блока, принятые для расчетов коэффициента светопропускания и сопротивления теплопередаче	104
4.2	Фотографии здания: до санации, после санации, окно после санации	110
4.3	План типового этажа в жилом доме серии II-18	112
4.4	Оконные блоки, использованные в качестве заполнений светопроемов: до ремонта, после ремонта	113
4.5	Зависимость рассчитанного значения КЕО $\tilde{e}^*$ от толщины стены	115
4.6	Относительные значения КЕО в зависимости от расстояния до противостоящего здания	117
4.7	Графическое определение параметров эмпирич. уравнения (4.19)	117

ПРИЛОЖЕНИЕ А 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

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

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

№ 1555/15-О

ТМС 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

Главный метролог _____ (подпись) С.Н. Негода (инициалы, фамилия)

Поверитель _____ (подпись) О.А. Минаева (инициалы, фамилия)

«13» марта 2015 г.

ПО № XV 011522

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

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акты о внедрении результатов диссертационной работы

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор НИИСФ РААСН
_____ И.Л. Шубин
«27» 04 2015 г.

АКТ
о внедрении результатов
диссертационной работы
Коркиной Елены Владимировны

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы Коркиной Е.В. «Совершенствование методов определения светопропускания оконных блоков для обеспечения естественного освещения помещений зданий», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук, использованы при выполнении работы по теме 7.3.6 по плану фундаментальных научных исследований РААСН на 2013-2020 гг.

Заведующий лабораторией
строительной светотехники
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
НИИСФ РААСН И.А. Шмаров

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор НИИСФ РААСН
_____ И.Л. Шубин
«17» 04 2015 г.

АКТ
о внедрении результатов
диссертационной работы
Коркиной Елены Владимировны

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы Коркиной Е.В. «Совершенствование методов определения светопропускания оконных блоков для обеспечения естественного освещения помещений зданий», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук, использованы при разработке ГОСТ 26602.4-2012 «Блоки оконные и дверные. Метод определения общего коэффициента пропускания света».

Заведующий лабораторией
строительной светотехники
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
НИИСФ РААСН _____ И.А. Шмаров

ПРИЛОЖЕНИЕ В Заявки на патенты

Форма № 94 ИЗ, ПМ, ПО-2011

Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Федеральный институт промышленной собственности»
(ФИПС)

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993 Телефон (8-499) 240-60-15 Факс (8-495) 531-63-18

УВЕДОМЛЕНИЕ О ПОСТУПЛЕНИИ ЗАЯВКИ

11.06.2015	035184	2015122501
Дата поступления	*Входящий №*	*Регистрационный №*

ДАТА ПОСТУПЛЕНИЯ оригинала [redacted] заявки 11 ИЮН 2015 ФИПС ОТДЕЛ 17	(21) РЕГИСТРАЦИОННЫЙ №	ВХОДЯЩИЙ №
	(85) ДАТА ПЕРЕВОДА международной заявки на национальную фазу	
☐ (86) *(регистрационный номер международной заявки и дата международной подачи, установленные получающим ведомством)* ☐ (87) *(номер и дата международной публикации международной заявки)*	АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ 125373, г. Москва, а/я 52, Ревинскому О.В. Телефон: Факс: E-mail: АДРЕС ДЛЯ СЕКРЕТНОЙ ПЕРЕПИСКИ	
ЗАЯВЛЕНИЕ о выдаче патента Российской Федерации на изобретение	В Федеральную службу по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Бережковская наб., 30, корп.1, Москва, Г-59, ГСП-5, 123995	

(54) НАЗВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ определения общего коэффициента светопропускания заполнений светопроемов в натурных условиях

(71) ЗАЯВИТЕЛЬ *(Указывается полное имя или наименование (согласно учредительному документу), место жительства или место нахождения, включая название страны и полный почтовый адрес)* Коркина Елена Владимировна, 105066, г. Москва, Токмаков пер. 20/31, кв. 5 Указанное лицо является ☐ государственным заказчиком ☐ муниципальным заказчиком, исполнитель работ _____ *(указать наименование)* ☐ исполнителем работ по ☐ государственному ☐ муниципальному контракту, заказчик работ _____ *(указать наименование)* Контракт от _____ № _____	ОГРН КОД страны по стандарту ВОИС ST. 3 *(если он установлен)*
(74) ПРЕДСТАВИТЕЛЬ(И) ЗАЯВИТЕЛЯ Указанное(ые) ниже лицо(а) назначено(назначены) заявителем(заявителями) для ведения дел по получению патента от его (их) имени в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам	Является ☐ Патентным(и) поверенным(и) ☐ Иным представителем
Фамилия, имя, отчество (если оно имеется) Адрес	Телефон: Факс: E-mail:
Срок представительства *(заполняется в случае назначения иного представителя без представления доверенности)*	Регистрационный (е) номер (а) патентного(ых) поверенного(ых)

Всего заявлений ИЗ лист 1

Количество листов	29	Фамилия лица, принявшего документы
Количество документов, подтверждающих уплату пошлины	2	Киселева Е.А.
Количество изображений	0	

Форма № 94 ИЗ, ПМ, ПО-2011

Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Федеральный институт промышленной собственности»
(ФИПС)

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993 Телефон (8-499) 240-60-15 Факс (8-495) 531-63-18

УВЕДОМЛЕНИЕ О ПОСТУПЛЕНИИ ЗАЯВКИ

11.06.2015	035185	2015122502
Дата поступления	*Входящий №*	*Регистрационный №*

ДАТА ПОСТУПЛЕНИЯ оригиналов документов заявки ПОЛУЧЕНО 11 ИЮН 2015 ФИПС ОТДЕЛ 17	(21) РЕГИСТРАЦИОННЫЙ №	ВХОДЯЩИЙ №
	(85) ДАТА ПЕРЕВОДА международной заявки на национальную фазу	
☐ (86) *(регистрационный номер международной заявки и дата международной подачи, установленная получающим ведомством)* ☐ (87) *(номер и дата международной публикации международной заявки)*	АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ 125373, г. Москва, а/я 52, Ревинскому О.В. Телефон: Факс: E-mail: АДРЕС ДЛЯ СЕКРЕТНОЙ ПЕРЕПИСКИ	
ЗАЯВЛЕНИЕ о выдаче патента Российской Федерации на изобретение	**В Федеральную службу по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Бережковская наб., 30, корп.1, Москва, Г-59, ГСП-5, 123995**	

(54) НАЗВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Установка для измерения общего коэффициента светопропускания заполнений светопроемов в натурных условиях

(71) ЗАЯВИТЕЛЬ *(Указывается полное имя или наименование (согласно учредительному документу), место жительства или место нахождения, включая название страны и полный почтовый адрес)*	ОГРН КОД страны по стандарту ВОИС ST.3 *(если он установлен)*
Коркина Елена Владимировна, 105066, г. Москва, Токмаков пер. 20/31, кв. 5 Указанное лицо является ☐ государственным заказчиком ☐ муниципальным заказчиком, исполнитель работ _____ *(указать наименование)* ☐ исполнителем работ по ☐ государственному ☐ муниципальному контракту, заказчик работ _____ *(указать наименование)* Контракт от _____ № _____	
(74) ПРЕДСТАВИТЕЛЬ(И) ЗАЯВИТЕЛЯ Указанное(ые) в нем лицо(а) назначено(назначены) заявителем(заявителями) для ведения дел по получению патента от его(их) имени в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам	Является ☐ Патентным(и) поверенным(и) ☐ Иным представителем Телефон:
Фамилия, имя, отчество (если оно имеется) Адрес:	Факс: E-mail:
Срок представительства *(заполняется в случае назначения иного представителя без предоставления доверенности)*	Регистрационный (е) номер (а) патентного(ых) поверенного(ых)

Бланк заявления ИЗ лист 1

Количество листов	29	Фамилия лица, принявшего документы
Количество документов, подтверждающих уплату пошлины	2	Киселева Е.А.
Количество изображений	0	

Фирма № 94 ИЗ, ПМ, ПО-2011

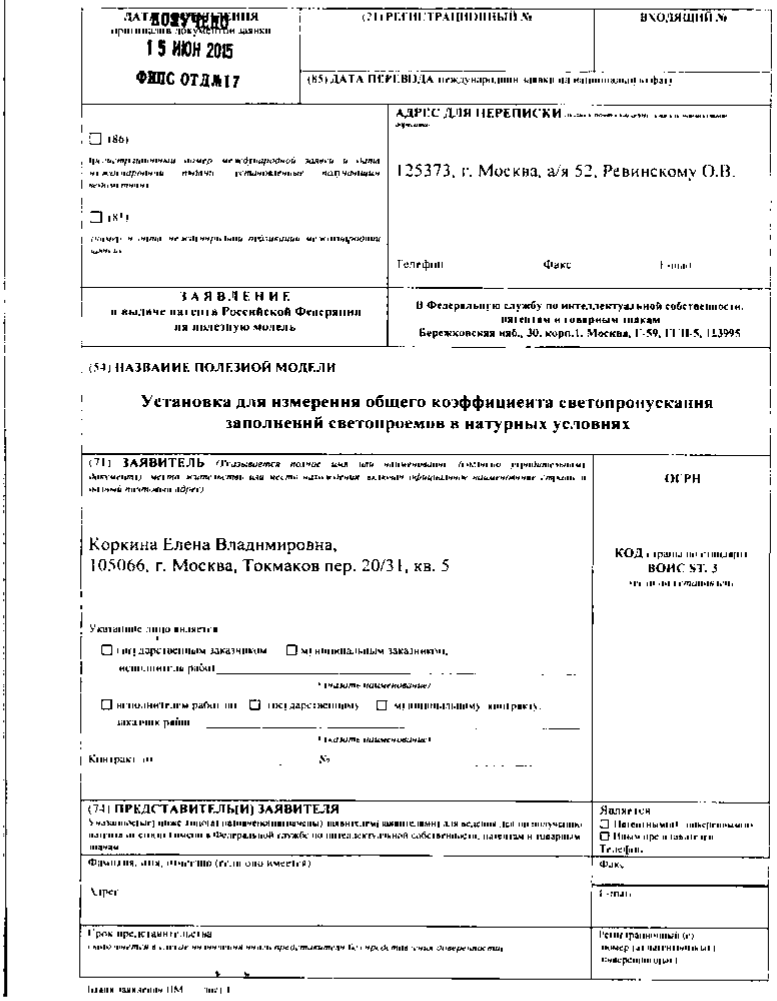
Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Федеральный институт промышленной собственности»
(ФИПС)

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993 Телефон (8-499) 240-60-15 Факс (8-495) 531-63-18

УВЕДОМЛЕНИЕ О ПОСТУПЛЕНИИ ЗАЯВКИ

15.06.2015	035565	2015122795
Дата поступления	*Входящий №*	*Регистрационный №*



ДАТА ПОСТУПЛЕНИЯ оригиналов документов заявки
15 ИЮН 2015
ФИПС ОТДЕЛ 17

(21) РЕГИСТРАЦИОННЫЙ №

ВХОДЯЩИЙ №

(85) ДАТА ПЕРЕВОДА международной заявки на национальную фазу

☐ (86)

☐ (87)

АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ

125373, г. Москва, а/я 52, Ревинскому О.В.

Телефон Факс E-mail

ЗАЯВЛЕНИЕ
о выдаче патента Российской Федерации
на полезную модель

В Федеральную службу по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам
Бережковская наб., 30, корп.1, Москва, Г-59, ГСП-5, 123995

(54) НАЗВАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ

Установка для измерения общего коэффициента светопропускания заполнений светопроемов в натурных условиях

(71) ЗАЯВИТЕЛЬ

Коркина Елена Владимировна,
105066, г. Москва, Токмаков пер. 20/31, кв. 5

ОГРН

КОД страны по стандарту ВОИС ST. 3

Указанное лицо является
☐ государственным заказчиком ☐ муниципальным заказчиком,
исполнителем работ _____
* указать наименование
☐ исполнителем работ по ☐ государственному ☐ муниципальному контракту,
заказчик/район _____
* указать наименование
Контракт от № _____

(74) ПРЕДСТАВИТЕЛЬ(И) ЗАЯВИТЕЛЯ

Является
☐ Патентным поверенным
☐ Иным представителем
Телефон

Фамилия, имя, отчество (если оно имеется)

Факс

Адрес

E-mail

Срок представительства

Регистрационный (е) номер (а) патентного (ых) поверенного (ых)

Лист дополнений ПМ лист 1

Количество листов	28	Фамилия лица, принявшего документы	
Количество документов, подтверждающих уплату пошлины	1	Киселева Е.А.	
Количество изображений	0		

ПРИЛОЖЕНИЕ Г Результаты измерений спектрального коэффициента светопропускания образцов стекол с покрытием

Стекло с покрытием Suncool 70/40

Результаты измерений спектрального коэффициента светопропускания образца №1 представлены в таблицах Г.1-Г.3, образца № 2 – в таблицах Г.4-Г.6.

Образец №1

Таблица Г.1 – Измерение № 1 образца № 1 стекла с покрытием Suncool 70/40

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
0	190	-0,20
1	200	0,05
2	210	0,02
3	220	0,02
4	230	0,02
5	240	0,02
6	250	0,02
7	260	0,01
8	270	0,01
9	280	0,01
10	290	0,01
11	300	0,01
12	310	0,03
13	320	0,54
14	330	3,04
15	341	8,40
16	351	16,53
17	361	26,54
18	371	38,19
19	381	47,94
20	391	54,12
21	401	56,72
22	411	73,60
23	421	76,59
24	431	78,51
25	441	79,73
26	451	80,82
27	461	81,86
28	471	82,73
29	481	83,39
30	491	83,93

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
31	501	84,32
32	511	84,57
33	521	84,68
34	541	84,47
35	551	84,25
36	561	83,91
37	571	83,56
38	581	83,15
39	591	82,71
40	601	82,28
41	611	81,81
42	621	81,29
43	632	80,72
44	642	80,10
45	652	79,40
46	662	78,57
47	672	77,56
48	692	74,95
49	702	73,31
50	712	71,41
51	722	69,28
52	732	66,92
53	742	64,33
54	752	61,59
55	762	58,69
56	772	55,67
57	782	52,68
58	792	49,58
59	802	46,55
60	812	43,57
61	822	40,73
62	832	37,99
63	842	35,40
64	852	32,95
65	862	30,65
66	872	28,49
67	882	26,50
68	892	24,65
69	902	22,96
70	912	21,37
71	922	19,91

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
72	933	18,57
73	943	17,34
74	953	16,21
75	963	15,17
76	973	14,22
77	983	13,34
78	993	12,52
79	1003	11,75
80	1013	11,06
81	1023	10,45
82	1033	9,88
83	1043	9,35
84	1053	8,86
85	1063	8,40
86	1073	7,98
87	1083	7,60
88	1093	7,25
89	1103	6,91

Таблица Г.2 – Измерение № 2 образца № 1 стекла с покрытием Suncool 70/40

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
0	190	-0,11
1	200	-0,01
2	210	0,01
3	220	0,02
4	230	0,03
5	240	0,03
6	250	0,01
7	260	0,01
8	270	0,01
9	280	0,01
10	290	0,01
11	300	0,01
12	310	0,03
13	320	0,53
14	330	3,01
15	341	8,32
16	351	16,46
17	361	26,50

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
18	381	47,93
19	391	54,11
20	401	56,73
21	411	73,59
22	421	76,59
23	431	78,52
24	441	79,73
25	451	80,82
26	461	81,86
27	471	82,73
28	481	83,39
29	491	83,92
30	501	84,30
31	511	84,55
32	521	84,66
33	531	84,58
34	541	84,44
35	551	84,21
36	561	83,89
37	571	83,52
38	581	83,12
39	591	82,68
40	601	82,25
41	611	81,78
42	621	81,27
43	632	80,70
44	642	80,08
45	652	79,39
46	662	78,56
47	672	77,55
48	682	76,36
49	692	74,95
50	702	73,30
51	712	71,41
52	722	69,28
53	732	66,90
54	742	64,32
55	752	61,57
56	762	58,68
57	772	55,66
58	782	52,65

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
59	792	49,54
60	802	46,51
61	812	43,54
62	822	40,71
63	832	37,97
64	842	35,37
65	852	32,92
66	862	30,62
67	872	28,47
68	882	26,48
69	892	24,62
70	902	22,93
71	912	21,34
72	922	19,89
73	933	18,55
74	943	17,33
75	953	16,20
76	963	15,16
77	973	14,20
78	983	13,33
79	993	12,51
80	1003	11,74
81	1013	11,05
82	1023	10,44
83	1033	9,87
84	1043	9,34
85	1053	8,85
86	1063	8,40
87	1073	7,98
88	1083	7,60
89	1093	7,24
90	1103	6,90

Таблица Г.3 – Измерение № 3 образца № 1 стекла с покрытием Suncool 70/40

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
0	190	-0,34
1	200	0,03
2	210	0,06
3	220	0,01

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
4	230	0,03
5	240	0,02
6	250	0,01
7	260	0,01
8	270	0,01
9	280	0,01
10	290	0,01
11	300	0,01
12	310	0,04
13	320	0,53
14	330	2,98
15	341	8,31
16	351	16,46
17	361	26,48
18	381	47,92
19	391	54,11
20	411	73,60
21	421	76,59
22	431	78,51
23	441	79,72
24	451	80,81
25	461	81,86
26	471	82,72
27	481	83,38
28	491	83,91
29	501	84,29
30	511	84,54
31	521	84,64
32	541	84,42
33	551	84,19
34	561	83,87
35	571	83,50
36	581	83,10
37	591	82,66
38	601	82,23
39	611	81,76
40	621	81,25
41	632	80,69
42	642	80,08
43	652	79,38
44	662	78,55

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
45	672	77,54
46	682	76,35
47	692	74,93
48	702	73,30
49	712	71,41
50	722	69,27
51	732	66,90
52	742	64,31
53	752	61,56
54	762	58,66
55	772	55,64
56	782	52,63
57	792	49,52
58	802	46,50
59	812	43,52
60	822	40,69
61	832	37,96
62	842	35,36
63	852	32,90
64	862	30,61
65	872	28,46
66	882	26,47
67	892	24,62
68	902	22,92
69	912	21,33
70	922	19,88
71	933	18,54
72	943	17,32
73	953	16,19
74	963	15,15
75	973	14,20
76	983	13,32
77	993	12,51
78	1003	11,74
79	1013	11,04
80	1023	10,43
81	1033	9,86
82	1043	9,34
83	1053	8,85
84	1063	8,39
85	1073	7,98

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
86	1083	7,59
87	1093	7,24
88	1103	6,90

Образец №2

Таблица Г.4 – Измерение № 1 образца № 2 стекла с покрытием Suncool 70/40

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
0	190	-0,63
1	200	0,00
2	210	-0,01
3	220	0,02
4	230	0,02
5	240	0,02
6	250	0,02
7	260	0,01
8	270	0,01
9	280	0,01
10	290	0,01
11	300	0,01
12	310	0,03
13	320	0,55
14	330	3,02
15	341	8,37
16	351	16,55
17	361	26,63
18	371	38,35
19	381	48,17
20	391	54,32
21	411	73,63
22	421	76,56
23	431	78,44
24	441	79,64
25	451	80,71
26	461	81,74
27	471	82,59
28	481	83,23
29	491	83,76
30	501	84,13
31	511	84,37
32	521	84,47

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
33	541	84,26
34	551	84,05
35	561	83,74
36	571	83,38
37	581	83,00
38	591	82,57
39	601	82,15
40	611	81,70
41	621	81,18
42	632	80,62
43	642	80,01
44	652	79,30
45	662	78,47
46	672	77,45
47	692	74,82
48	702	73,17
49	712	71,26
50	722	69,12
51	732	66,74
52	742	64,14
53	752	61,39
54	762	58,50
55	772	55,47
56	782	52,48
57	792	49,37
58	802	46,35
59	812	43,39
60	822	40,57
61	832	37,85
62	842	35,26
63	852	32,81
64	862	30,53
65	872	28,39
66	882	26,40
67	892	24,56
68	902	22,86
69	912	21,28
70	922	19,83
71	933	18,50
72	943	17,27
73	953	16,14

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
74	963	15,11
75	973	14,16
76	983	13,28
77	993	12,46
78	1003	11,70
79	1013	11,00
80	1023	10,39
81	1033	9,82
82	1043	9,29
83	1053	8,80
84	1063	8,35
85	1073	7,93
86	1083	7,55
87	1093	7,19

Таблица Г.5 – Измерение № 2 образца № 2 стекла с покрытием Suncool 70/40

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
0	190	-0,22
1	200	-0,03
2	210	0,01
3	220	0,03
4	230	0,03
5	240	0,02
6	250	0,02
7	260	0,01
8	270	0,01
9	280	0,01
10	290	0,01
11	300	0,01
12	310	0,03
13	320	0,52
14	330	2,99
15	341	8,31
16	351	16,47
17	361	26,57
18	371	38,33
19	381	48,16
20	391	54,31
21	411	73,65

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
22	421	76,59
23	431	78,47
24	441	79,65
25	451	80,73
26	461	81,76
27	471	82,60
28	481	83,25
29	491	83,78
30	501	84,13
31	511	84,37
32	521	84,47
33	541	84,26
34	551	84,04
35	561	83,73
36	571	83,37
37	581	82,98
38	591	82,56
39	601	82,15
40	611	81,68
41	621	81,18
42	632	80,62
43	642	80,00
44	652	79,31
45	662	78,47
46	672	77,46
47	692	74,84
48	702	73,19
49	712	71,26
50	722	69,12
51	732	66,75
52	742	64,14
53	752	61,39
54	762	58,49
55	772	55,48
56	782	52,47
57	792	49,36
58	802	46,34
59	812	43,37
60	822	40,56
61	832	37,83
62	842	35,24

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
63	852	32,80
64	862	30,52
65	872	28,38
66	882	26,40
67	892	24,55
68	902	22,85
69	912	21,27
70	922	19,82
71	933	18,48
72	943	17,26
73	953	16,13
74	963	15,11
75	973	14,15
76	983	13,27
77	993	12,46
78	1003	11,69
79	1013	10,99
80	1023	10,38
81	1033	9,81
82	1043	9,29
83	1053	8,80
84	1063	8,35
85	1073	7,93
86	1083	7,54
87	1093	7,19

Таблица Г.6 – Измерение № 3 образца № 2 стекла с покрытием Suncool 70/40

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
0	190	-0,07
1	200	-0,04
2	210	0,01
3	220	0,02
4	230	0,03
5	240	0,01
6	250	0,02
7	260	0,01
8	270	0,01
9	280	0,01
10	290	0,01

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
11	300	0,01
12	310	0,04
13	320	0,52
14	330	2,96
15	341	8,29
16	351	16,45
17	361	26,56
18	371	38,30
19	381	48,14
20	391	54,31
21	401	56,88
22	411	73,66
23	421	76,59
24	431	78,49
25	441	79,67
26	451	80,74
27	461	81,78
28	471	82,62
29	481	83,26
30	491	83,79
31	501	84,15
32	511	84,39
33	521	84,48
34	531	84,40
35	541	84,26
36	551	84,03
37	561	83,72
38	571	83,37
39	581	82,99
40	591	82,56
41	601	82,14
42	611	81,69
43	621	81,18
44	632	80,62
45	642	80,02
46	652	79,31
47	662	78,47
48	672	77,47
49	692	74,84
50	702	73,20
51	712	71,28

№	Длина волны, нм	Коэффициент светопропускания
52	722	69,15
53	732	66,76
54	742	64,16
55	752	61,40
56	762	58,51
57	772	55,48
58	782	52,47
59	792	49,37
60	802	46,35
61	812	43,38
62	822	40,57
63	832	37,83
64	842	35,24
65	852	32,80
66	862	30,52
67	872	28,38
68	882	26,40
69	892	24,55
70	902	22,85
71	912	21,27
72	922	19,82
73	933	18,49
74	943	17,26
75	953	16,13
76	963	15,10
77	973	14,14
78	983	13,27
79	993	12,46
80	1003	11,69
81	1013	10,99
82	1023	10,38
83	1033	9,81
84	1043	9,28
85	1053	8,79
86	1063	8,34
87	1073	7,92
88	1083	7,54
89	1093	7,19
90	1103	6,85

ПРИЛОЖЕНИЕ Д Результаты измерения освещенностей при натурных исследованиях

Результаты измерения освещенностей в натурных условиях по методу главы 3 представлены в таблицах Д.1-Д.5.

Таблица Д.1 – Результаты измерений светопропускания оконного блока с ДПР

№ изм-я, № точки	ДПР 14 мая 2011 г						
1 изм-е	$E_2^б$, Лк	$E_2^в$, Лк	$E_1^б$, Лк	$E_1^в$, Лк	$E_2^б / E_2^в$	$E_1^б / E_1^в$	Светопро-пускание
1	1203	3450	528	3620	0,349	0,146	0,418
2	773	3450	337	3690	0,224	0,091	0,408
3	400	3450	188	3770	0,116	0,050	0,430
4	199	3440	112	3870	0,058	0,029	0,500
5	92	3430	64	3930	0,027	0,016	0,607
7	13	3420	19	3980	0,004	0,005	1,256
2 изм-е							
1	1140	3410	638	3970	0,334	0,161	0,481
2	737	3400	398	3912	0,217	0,102	0,469
3	377	3390	216	3840	0,111	0,056	0,506
4	191	3380	122	3770	0,057	0,032	0,573
5	92	3370	67	3660	0,027	0,018	0,671
7	12	3370	19	3560	0,004	0,005	1,499
3 изм-е							
1	1136	3360	548	3470	0,338	0,158	0,467
2	717	3360	344	3380	0,213	0,102	0,477
3	371	3350	181	3320	0,111	0,055	0,492
4	189	3350	102	3260	0,056	0,031	0,555
5	89	3350	57	3240	0,027	0,018	0,662
7	13	3350	17	3230	0,004	0,005	1,356
4 изм-е							
1	1114	3350	486	3240	0,333	0,150	0,451
2	716	3350	308	3230	0,214	0,095	0,446
3	370	3360	169	3210	0,110	0,053	0,478
4	189	3360	95	3150	0,056	0,030	0,536
5	91	3370	54	3100	0,027	0,017	0,645
7	13	3380	17	3010	0,004	0,006	1,468
5 изм-е							
1	1137	3380	463	2930	0,336	0,158	0,470
2	734	3380	302	2920	0,217	0,103	0,476
3	382	3380	173	2920	0,113	0,059	0,524
4	197	3380	102	2920	0,058	0,035	0,599
5	95	3380	55	2930	0,028	0,019	0,668
7	13	3380	18	2960	0,004	0,006	1,581

Таблица Д.2 – Результаты измерений светопропускания оконного блока с ДПС

№ изм-я, № точки	ДПС 30 ноября 2014 г.						
1 изм-е	$E_2^б$	$E_2^в$	$E_1^б$	$E_1^в$	$E_2^б / E_2^в$	$E_1^б / E_1^в$	Светопро-пускание
1	460	1850	179	1350	0,249	0,133	0,533
2	240	1850	95	1370	0,130	0,069	0,535
3	123	1850	44	1380	0,066	0,032	0,480
4	62	1860	23	1400	0,033	0,016	0,493
5	32	1860	12	1430	0,017	0,008	0,488
6	17	1860	7	1460	0,009	0,005	0,525
2 изм-е							
1	458	1880	194	1480	0,244	0,131	0,538
2	240	1890	102	1500	0,127	0,068	0,536
3	120	1900	47	1520	0,063	0,031	0,490
4	63	1910	25	1550	0,033	0,016	0,489
5	32	1920	14	1570	0,017	0,009	0,535
6	18	1910	7	1580	0,009	0,004	0,470
3 изм-е							
1	463	1930	205	1580	0,240	0,130	0,541
2	252	1930	109	1590	0,131	0,069	0,525
3	126	1940	51	1590	0,065	0,032	0,494
4	64	1950	26	1610	0,033	0,016	0,492
5	34	1950	14	1620	0,017	0,009	0,496
6	18	1970	8	1630	0,009	0,005	0,537
4 изм-е							
1	487	2010	213	1650	0,242	0,129	0,533
2	276	2040	117	1650	0,135	0,071	0,524
3	135	2050	53	1650	0,066	0,032	0,488
4	69	2050	28	1650	0,034	0,017	0,504
5	35	2050	15	1670	0,017	0,009	0,526
6	20	2050	8	1680	0,010	0,005	0,488
5 изм-е							
1	528	2050	216	1680	0,258	0,129	0,499
2	280	2050	118	1680	0,137	0,070	0,514
3	137	2050	55	1700	0,067	0,032	0,484
4	69	2050	29	1740	0,034	0,017	0,495
5	37	2050	15	1750	0,018	0,009	0,475
6	20	2050	9	1750	0,010	0,005	0,527

Таблица Д.3 – Результаты измерений светопропускания оконного блока с переплетами ПВХ №1

№ изм-я, № точки	ПВХ №1 20 марта 2011г.						
1 изм-е	$E_2^б$	$E_2^в$	$E_1^б$	$E_1^в$	$E_2^б / E_2^в$	$E_1^б / E_1^в$	Светопро-пускание
1	299	1510	212	2460	0,198	0,086	0,435
2	195	1510	138	2370	0,129	0,058	0,451
3	111	1510	78	2230	0,074	0,035	0,476
4	63	1500	46	2080	0,042	0,022	0,527
2 изм-е							
1	299	1510	161	1960	0,198	0,082	0,415
2	195	1510	107	1890	0,129	0,057	0,438
3	111	1510	66	1800	0,074	0,037	0,499
4	63	1500	42	1760	0,042	0,024	0,568
3 изм-е							
1	296	1500	147	1740	0,197	0,084	0,428
2	198	1490	111	1760	0,133	0,063	0,475
3	112	1490	66	1790	0,075	0,037	0,491
4	64	1480	43	1830	0,043	0,023	0,543
4 изм-е							
1	294	1470	147	1860	0,200	0,079	0,395
2	196	1460	98	1860	0,134	0,053	0,392
3	108	1460	57	1840	0,074	0,031	0,419
4	59	1460	32	1820	0,040	0,018	0,435
5 изм-е							
1	300	1450	160	1880	0,207	0,085	0,411
2	200	1450	101	1930	0,138	0,052	0,379
3	108	1450	51	2040	0,074	0,025	0,336
4	57	1440	27	2180	0,040	0,012	0,313

Таблица Д.4 – Результаты измерений светопропускания оконного блока с переплетами ПВХ №2

№ изм-я, № точки	ПВХ №2 18 октября 2014г.						
1 изм-е	$E_2^б$	$E_2^в$	$E_1^б$	$E_1^в$	$E_2^б / E_2^в$	$E_1^б / E_1^в$	Светопро-пускание
2	385	2620	302	4180	0,147	0,072	0,492
3	194	2610	158	4240	0,074	0,037	0,501
4	102	2590	81	4290	0,039	0,019	0,479
5	57	2570	50	4240	0,022	0,012	0,532
6	32	2520	34	4280	0,013	0,008	0,626
7	21	2490	20	4480	0,008	0,004	0,529
2 изм-е							
2	301	2320	374	5400	0,130	0,069	0,534
3	163	2290	199	5420	0,071	0,037	0,516
4	95	2270	100	5510	0,042	0,018	0,434
5	57	2280	57	5550	0,025	0,010	0,411
6	34	2300	30	5310	0,015	0,006	0,382
7	21	2350	17	5090	0,009	0,003	0,374
3 изм-е							
2	337	2390	380	5060	0,141	0,075	0,533
3	176	2410	193	5000	0,073	0,039	0,529
4	88	2420	96	4560	0,036	0,021	0,579
5	51	2420	51	4270	0,021	0,012	0,567
6	32	2420	28	4250	0,013	0,007	0,498
7	20	2420	16	4160	0,008	0,004	0,465
4 изм-е							
2	353	2420	281	4090	0,146	0,069	0,471
3	183	2430	146	4090	0,075	0,036	0,474
4	101	2435	84	4030	0,041	0,021	0,503
5	65	2440	49	3910	0,027	0,013	0,470
6	40	2450	27	3830	0,016	0,007	0,432
7	25	2460	14	3710	0,010	0,004	0,371
5 изм-е							
2	370	2510	228	4590	0,147	0,050	0,337
3	185	2520	133	3620	0,073	0,037	0,500
4	107	2550	81	3700	0,042	0,022	0,522
5	64	2580	48	3750	0,025	0,013	0,516
6	40	2650	24	3560	0,015	0,007	0,447
7	25	2720	12	3610	0,009	0,003	0,362

Таблица Д.5 – Результаты измерений светопропускания оконного блока с переплетами ПВХ №3

№изм-я №точки	ПВХ №3 30 ноября 2014 г.						
	$E_2^б$	$E_2^в$	$E_1^б$	$E_1^в$	$E_2^б / E_2^в$	$E_1^б / E_1^в$	Светопро-пускание
1 изм-е							
1	765	2940	413	3080			
2	469	2940	244	3020	0,160	0,081	0,506
3	228	2930	115	2990	0,078	0,038	0,494
4	120	2930	55	2970	0,041	0,019	0,452
5	63	2930	29	2970	0,022	0,010	0,454
6	36	2940	15	2980	0,012	0,005	0,411
2 изм-е							
1	771	2980	385	2980	0,259	0,129	0,499
2	458	2990	236	2980	0,153	0,079	0,517
3	234	3000	111	2960	0,078	0,038	0,481
4	120	3000	52	2890	0,040	0,018	0,450
5	63	3000	27	2820	0,021	0,010	0,456
6	36	3000	14	2780	0,012	0,005	0,420
3 изм-е							
1	794	3000	336	2770	0,265	0,121	0,458
2	463	3000	205	2760	0,154	0,074	0,481
3	233	3000	96	2770	0,078	0,035	0,446
4	123	3000	50	2770	0,041	0,018	0,440
5	64	2990	26	2780	0,021	0,009	0,437
6	36	2990	13	2790	0,012	0,005	0,387
4 изм-е							
1	760	2980	329	2810	0,255	0,117	0,459
2	447	2980	200	2810	0,150	0,071	0,474
3	228	2980	94	2820	0,077	0,033	0,436
4	123	2980	46	2820	0,041	0,016	0,395
5	66	2970	25	2820	0,022	0,009	0,399
6	36	2970	13	2820	0,012	0,005	0,380
5 изм-е							
1	730	2950	322	2820	0,247	0,114	0,461
2	452	2950	194	2820	0,153	0,069	0,449
3	223	2940	91	2810	0,076	0,032	0,427
4	118	2940	44	2800	0,040	0,016	0,392
5	65	2930	24	2790	0,022	0,009	0,388
6	36	2920	14	2770	0,012	0,005	0,410