

На правах рукописи

Коркина

КОРКИНА ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА

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

Специальность

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2015

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

Научный руководитель: **Земцов Виктор Андреевич**
кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Официальные оппоненты: **Куприянов Валерий Николаевич**
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно–строительный университет», кафедра Проектирования зданий, заведующий

Стецкий Сергей Вячеславович
кандидат технических наук, доцент, НИУ МГСУ, кафедра Архитектуры гражданских и промышленных зданий, профессор

Ведущая организация: **ФГБОУ ВПО «Московский архитектурный институт (государственная академия)»**

Защита диссертации состоится «30» сентября 2015 года в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 007.001.01 при НИИСФ РААСН по адресу: 127238, Москва, Локомотивный проезд, 21, светотехнический корпус. Тел. +7 (495) 482-40-76, факс +7 (495) 482-40-60; e-mail: niisf@niisf.ru.

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

Автореферат разослан «__» _____ 2015 года

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 007.001.01, к.т.н.

Н.П. Умнякова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 заполнения 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, Н.А. Рынин, А.М. Данилюк, Н.М. Гусев, Н.В. Оболенский, Н.Н. Киреев, В.А. Земцов, А.К. Соловьев, R.G. Hopkinson, R. Kittler 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 систематизи-

рованных 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 натуральных 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 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 натуральных 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 натуральных 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. 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 натуральных 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 натуральных условиях светопропускания оконных блоков различной конструкции;
- результаты натуральных 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 обуславливается удовлетвори-

тельной 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), 2014 г.
- «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 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 строительного-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 диссертации использованы при разработке ГОСТ 26602.4-2012. Результаты диссертации использованы при выполнении работы по теме 7.3.6 по плану фундаментальных научных исследований РААСН на 2013-2020 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, из которых 6 статей – в журналах, рекомендованных ВАК. Поданы заявки на патенты: 2015122501 от 11.06.2015, 2015122502 от 11.06.2015, 2015122795 от 15.06.2015.

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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обоснование актуальности работы, определены цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведено краткое содержание диссертации по главам.

Первая глава содержит краткую историю развития исследования естественного освещения помещений зданий, обзор методов моделирования и расчета естественного освещения помещений, исследований светопропускания светопрозрачных конструкций.

Основоположником изучения естественного освещения зданий в России был Николай Алексеевич Рынин (**Н.А. Рынин, 1908**). Большой вклад в исследо-

вания естественного освещения сделан А.А. Гершуном (А.А. Гершун, 1932, 1936), А.М. Данилюком (А.М. Данилюк, 1941), Н.М. Гусевым (Н.М. Гусев, 1960), Н.Н. Киреевым (Н.Н. Киреев, 1984), Н.В. Оболенским (Н.В. Оболенский, 2001), В.А. Земцовым (В.А. Земцов, 1981), С.В. Стецким (С.В. Стецкий, 1979) А.К. Соловьевым (А.К. Соловьев, 2011), Р.Мун & Д.Е.Спенсер (Р.Мун & Д.Е.Спенсер, 1942) и др. Их трудами созданы методы расчета и нормирования естественного освещения помещений, написаны учебники, разработаны учебные курсы, нормы и правила проектирования, пособия для расчетов и т.д.

Обеспечение естественного освещения помещений требуется Регламентом по безопасности зданий. В качестве характеристики естественного освещения помещений используется коэффициент естественной освещенности (КЕО), который представляет собой отношение освещенности в какой-либо точке помещения к освещенности под полностью открытым небосводом. Метод расчета КЕО, e^{σ} , представлен в СП 23-102-2003 и осуществляется по формуле:

$$e^{\sigma} = \left(\sum \varepsilon^{\sigma} \cdot q + \sum \varepsilon_{3d} \cdot b_{\phi} \cdot K_{3d} \right) \cdot r_0 \cdot \tau_0 / K_3, \quad (1)$$

где r_0 - коэффициент, учитывающий влияние отраженного света от поверхностей помещения, отн.ед.; τ_0 - общий коэффициент пропускания света оконным блоком, отн.ед.; K_3 - коэффициент запаса (при чистом остеклении $K_3 = 1$), отн.ед.; ε^{σ} , ε_{3d} - геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении от небосвода и от здания, соответственно, %; q - коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба, отн.ед.; b_{ϕ} - средняя относительная яркость фасада противостоящего здания, отн.ед.; K_{3d} - коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО от противостоящих зданий, отн.ед.

Одним из ключевых вопросов при проведении расчетов является светопропускание оконного блока, характеризующееся общим коэффициентом светопропускания τ_0 , который для жилых и общественных зданий равен произведению коэффициента светопропускания светопрозрачного материала окна, τ_1 , на коэффициент, учитывающий потери света в переплетах, τ_2 .

Исследования коэффициентов светопропускания оконных стекол проводятся более века, они вошли в справочные таблицы (в СП 23-102-2003 и др.) Свето-

пропускание стекол с низкоэмиссионными покрытиями исследовались А.Г.Чесноковым (А.Г.Чесноков,1997), В.Н.Куприяновым (В.Н.Куприянов, 2012) и др., однако систематизации результатов таких исследований для применения в светотехнических расчетах не выполнено. Исследования коэффициента, учитывающего потери света в переплетах, проводились на установке «искусственный небосвод» Н.Н. Киреевым (Н.Н.Киреев, 1983), который на основании положений теоретической фотометрии предложил метод расчета τ_2 :

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

где S_0 – площадь светового проема по наружному измерению в свету, м²; ρ – коэффициент диффузного отражения внутренних граней ячейки, отн.ед.; $S_i = a_i \cdot b_i$ – площадь i -й ячейки в свету, м²; 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, м²; d_i – суммарная толщина переплета, м.

Статистики экспериментальных значений величины τ_2 для современных оконных блоков не накоплено.

Многослойное остекление в стеклопакете с использованием стекол с низкоэмиссионными покрытиями может приводить к снижению пропускания света. Существенное изменение технологии производства оконных стекол и оконных блоков вызывает необходимость исследования их светотехнических показателей и внесение изменений в справочные и нормативные документы. Выполненный обзор работ позволил сформулировать цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена исследованиям светопропускания стекол и стеклопакетов со стеклами с низкоэмиссионными покрытиями, предложена для использования таблица коэффициентов светопропускания. Предложен расчетно-экспериментальный метод определения общего коэффициента пропускания света оконным блоком любой формы и конфигурации ячеек переплетов.

Экспериментальное определение светопропускания образцов стекол без покрытий, с покрытиями и стеклопакетов со стеклами с покрытиями проводилось на спектрофотометре СФ-256 УВИ. Проведено измерение спектрального коэффици-

ента светопропускания образцов стекол без покрытий толщиной 4 и 6 мм производства Pilkington. Рассчитаны осредненные коэффициенты светопропускания стекол по ГОСТ Р 54164-2010, равные, соответственно, $\tau = 0,896 \pm 0,0003 \approx 0,90$ и $\tau = 0,887 \pm 0,002 \approx 0,89$, которые хорошо согласуются с данными, заявленными заводом-изготовителем $\tau_3 = 0,89$ и $\tau_3 = 0,88$, соответственно.

Были проведены измерения спектральных коэффициентов светопропускания образцов стекол толщиной 4 мм с низкоэмиссионными покрытиями, $\tau_{СП}$, трех заводов-изготовителей (см. рисунок 1, таблицу 1).

Введено понятие условного коэффициента светопропускания покрытия $\tau_{П\text{ усл}}$ и предложены два способа вычисления этой величины, которые показали

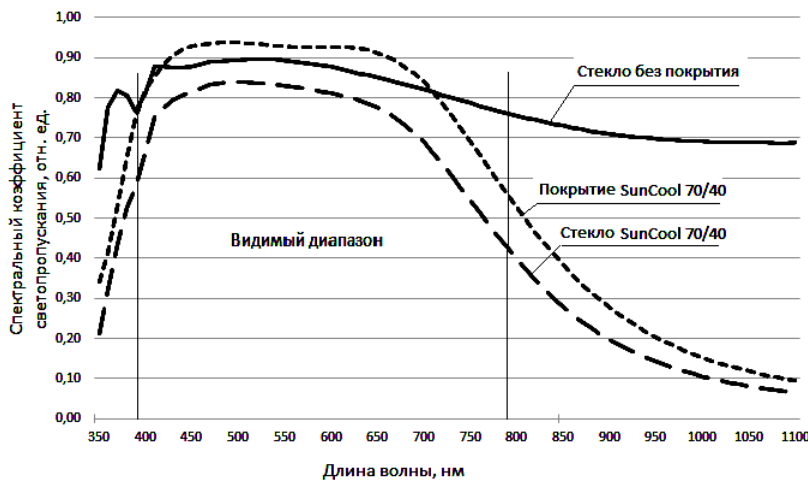


Рисунок 1 – Спектральные коэффициенты светопропускания: стекло без покрытия (сплошная линия); стекло с покрытием (длинный штрих); покрытие (короткий штрих)

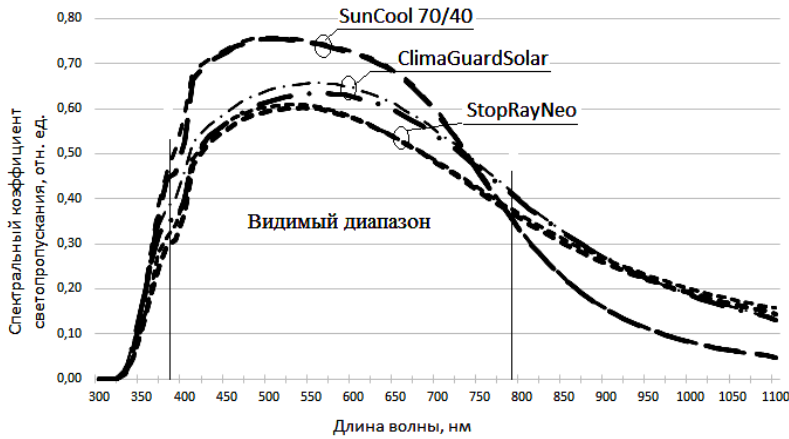
близкие значения (расхождения не более 0,01 %). Показано, что покрытия значительно понижают коэффициент светопропускания стекол и их влиянием нельзя пренебрегать.

Таблица 1 – Коэффициенты светопропускания стекол с низкоэмиссионными покрытиями и условные коэффициенты светопропускания покрытий

№ образца	Обозначение	$\tau_{СП} \pm \text{СКО}$, отн.ед.	$\tau_{П\text{ усл}}$, отн.ед.
1, 2	SunCool 70/40	$0,824 \pm 0,002$	0,93
3, 4	StopRay NEO	$0,659 \pm 0,003$	0,74
5, 6	ClimaGuardSolar	$0,698 \pm 0,004$	0,79

Проводилось измерение коэффициентов светопропускания образцов стеклопакетов со стеклами с низкоэмиссионными покрытиями $\tau_{И}$ трех производителей, которое при сравнении со значениями, заявленными производителями τ_3 , показало расхождение δ , не превышающее 4,4%. Согласно ГОСТ Р 54164-2010 расчет коэффициента светопропускания стеклопакета осуществляется с учетом коэффициентов отражения входящих в его состав стекол, что усложняет расчет.

Поэтому введено понятие *условного коэффициента светопропускания стеклопакета* и предложены два способа вычисления этой величины, которые при сравнении с измеренными значениями (см. рисунок 2) показали расхождение 3,4%. Таким образом показана возможность перемножения коэффициентов свето-



пропускания стекол, входящих в стеклопакет, для светотехнических расчетов.

Показано, что для определения светотехнических характеристик остекления со специальными покрытиями и без них можно использовать программное обеспечение и каталог про-

дуктов заводов-изготовителей. Полученный обширный набор данных позволил сформировать сводную таблицу (см. таблицу 2), в которую также помещен коэффициент теплопередачи U (при температуре снаружи $+5^{\circ}\text{C}$, внутри $+20^{\circ}\text{C}$).

Таблица 2 – Коэффициент светопропускания стеклопакета τ_1 при двойном и тройном остеклении стеклами трех производителей. В скобках - значение U при заполнении прослойки аргоном

В состав остекления входит стекло:	τ_1 , отн.ед., U , Вт/м ² °C	
	Двойное остекление	Тройное остекление
М1 – стекла 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)	2 шт К-стекла: 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)	2 шт И –стекла: 0,55;0,56;0,71;0,72;0,73; 0,74 (0,6; 0,7; 0,8) 0,71 (0,7; 0,8)
mfК – стекло 6 мм	0,60 (1,6)	0,56 (1,2)
6 мм mfК + 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)

Во второй части главы рассмотрен расчет коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконного блока. В качестве универсального метода расчета коэффициента светопропускания оконного блока, учитывающего различные конфигурации ячеек переплета, и применимый для оконного блока любой формы, предложен метод, заключающийся в расчете по формуле:

$$\tau_2 = \frac{1}{S_0} \sum S_i \cdot \left\{ 0,25 \left[\sqrt{\left(\frac{1}{\beta_i} \right)^2 + 4} - \left(\frac{1}{\beta_i} \right) \right]^2 + \frac{\beta_i \cdot \rho \cdot (1 - K_\Gamma)^2}{2 - \rho \cdot [K_\Gamma \cdot (2 + \beta_i) - \beta_i]} \right\}, \quad (3)$$

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

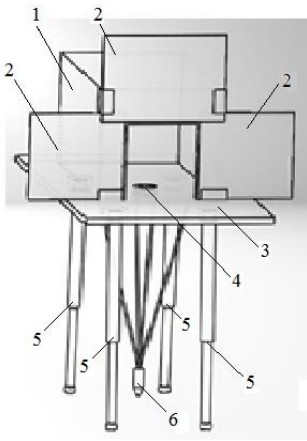
Как известно из СП 23-102-2003, вычисление τ_0 проводится по формуле:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \quad (4)$$

Метод расчета общего коэффициента светопропускания τ_0 с использованием таблицы 3 или измерений для определения коэффициента τ_1 и формулы (3) для определения коэффициента τ_2 назван расчетно-экспериментальным и рекомендован для использования в нормативных документах.

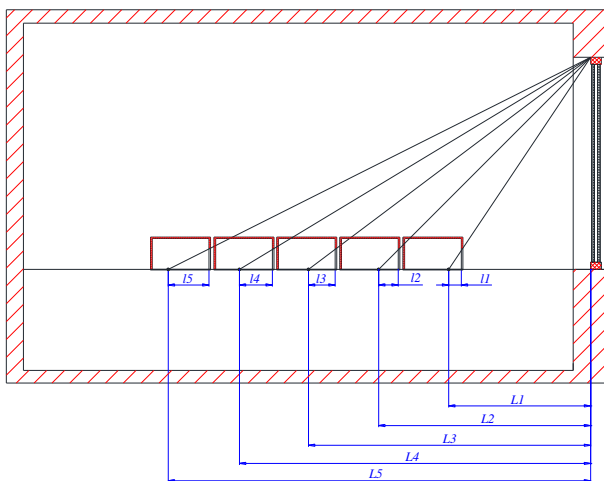
Третья глава диссертации посвящена описанию методики и установки для проведения натуральных измерений общего коэффициента светопропускания оконных блоков, описанию объектов измерений, самих измерений, их анализу и получению поправочного коэффициента к методу главы 2.

Установка включает в себя модель помещения со светопроемом, пол модели с регулирующимися по высоте ножками, два люксметра, отвес (см. рисунок 3). Пол модели имеет отверстие для датчика люксметра. Методика состоит в измерении освещенности в модели, при этом вся модель приподнята до уровня подоконника с помощью регулируемых по высоте ножек (рисунок 3). Для исключения влияния отраженного света модель изнутри оклеена черным бархатом. Размеры светопроема модели подобны размерам светопроема исследуемого помещения в отношении 1:10, что соответствует принципам светотехнического моделирования (А.К.Соловьев, 2008).

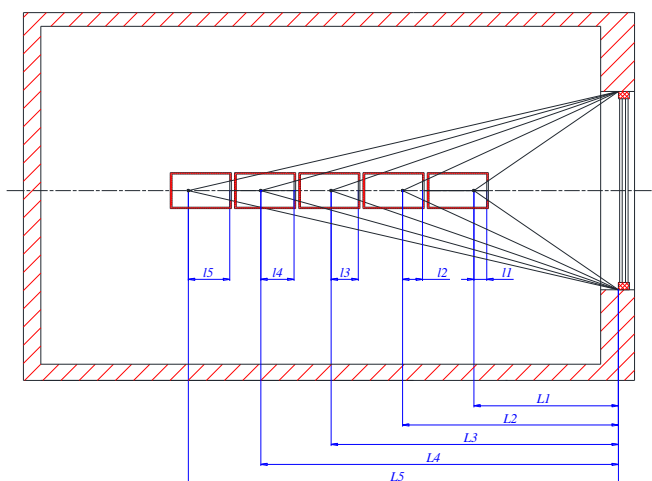


Для измерения освещенности в модели используется люксметр, закрепленный в полу модели заподлицо. Измерение освещенности в модели проводят дважды - с учетом заполнения светопроема оконным

Рисунок 3 – Установка для определения общего коэффициента светопропускания в натуральных условиях (схема и фотография): 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 блоком E_1^o (в комнате) и без него на выносе на окне E_2^o . Одновременно с измерениями освещенности внутри модели, другим люксметром измеряется наружная освещенность (E_1^e, E_2^e) в плоскости стены с окном. При проведении измерений установка последовательно передвигается от ближайшего к подоконнику расстояния, затем на один метр от окна и далее с шагом по полметра вглубь помещения (рисунок 4).



Разрез



План

Рисунок 4 – Положение установки в помещении при проведении измерений

При каждом перемещении установки в комнате, происходит передвижение модели относительно пола модели для изменения положения датчика внутри модели, соответствующего положению установки в комнате. Принцип измерения основан на светотехнических законах о проекции телесного угла и о светотехническом подобии. Из формулы (1) вычисления КЕО при боковом освещении (от

окон) следует, что, если произведены два описанных выше измерения КЕО в модели, то различие в значениях КЕО в этих измерениях определяется только различием в значениях τ_0 / K_3 .

Также, 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 и при открытых створках, можно написать, соответственно:

$$e_1^{\bar{o}} = E_1^{\bar{o}} / E_1^{\prime\prime}, \quad e_2^{\bar{o}} = E_2^{\bar{o}} / E_2^{\prime\prime}, \quad (5)$$

где $E_1^{\bar{o}}$, $E_2^{\bar{o}}$ - освещенности в точке внутри модели, находящейся в помещении при закрытых и при открытых створках окна, соответственно, лк; $E_1^{\prime\prime}$, $E_2^{\prime\prime}$ - наружные освещенности на горизонтальной поверхности под открытым небосводом, соответственно, лк.

При измерении с открытыми створками окна значение τ_0 / K_3 равно единице, т.к. отсутствует заполнение светопроема. Следовательно, при пренебрежении изменением выражения в круглых скобках в (1) из (5) следует:

$$\tau_0 / K_3 = \frac{e_1^{\bar{o}}}{e_2^{\bar{o}}} = \frac{E_1^{\bar{o}} / E_1^{\prime\prime}}{E_2^{\bar{o}} / E_2^{\prime\prime}} = \frac{E_1^{\bar{o}}}{E_2^{\bar{o}}} \cdot \frac{E_2^{\prime\prime}}{E_1^{\prime\prime}} \quad (6)$$

Показано, что по закону проекции телесного угла $E_1^{\bar{o}} / E_1^{\prime\prime} = E_2^{\bar{o}} / E_2^{\prime\prime}$, где $E_1^{\bar{o}}$ и $E_2^{\bar{o}}$ - освещенности на вертикальной плоскости наружной поверхности стены с исследуемым оконным блоком, лк. Тогда выражение (6) можно представить в виде:

$$\frac{E_1^{\bar{o}}}{E_1^{\bar{o}}} = (\tau_0 / K_3) \cdot \frac{E_2^{\bar{o}}}{E_2^{\bar{o}}} \quad (7)$$

Выражение (7) используется для обработки результатов измерений с целью расчета общего коэффициента пропускания света оконным блоком.

Натурные исследования светопропускания производились на следующих типах оконных блоков: деревянный переплёт отдельный (ДПР); деревянный переплёт спаренный (ДПС); три оконных блока с ПВХ - переплетами №1, №2, №3. Описание оконных блоков и условий проведения эксперимента приведено в таб-

лице 3. Измерения проводились по 5 раз при удалении от окна помещения по средней линии при 10 бальной облачности небосвода.

Таблица 3 – Описание исследованных оконных блоков и условий проведения эксперимента

Характеристика оконного блока	Оконный блок				
	ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3
Ширина×высота, м	1,42×1,94	1,4×1,48	1,25×1,68	1,87×1,52	1,2×1,4
Кол-во стекол в переплете	2	2	3	2	3
Количество ячеек в переплете	4	3	3	3	2
Количество точек измерений	5	6	4	7	6
Этаж помещения	3	12	3	9	7

Как следует из выражения (7) график зависимости E_1^o / E_1^e от E_2^o / E_2^e должен представлять собой прямую линию, проходящую через начало координат, тангенс угла наклона этой прямой равен τ_0 / K_3 (при проведенных измерениях $K_3 = 1$). На рисунке 5 представлен график с уравнением регрессии отношений освещенностей в модели при ее нахождении в комнате и на окне для оконного блока ДПС.

Коэффициент линии регрессии является определяемым общим коэффициентом светопропускания τ_0^H . Обработка массива экспериментальных данных и построение регрессионных зависимостей вида, представленного на рисунке 5, для пяти исследованных оконных блоков позволило получить их общие коэффициенты светопропускания τ_0^H , представленные в таблице 4. Проведено сравнение результатов натуральных измерений светопропускания с результатами расчетов по методу СП 23-102-2003 с использованием таблицы Б.7 $\tau_0^{СП}$ и по методу главы 2 по формулам (2)-(4) $\tau_0^{\phi(2)}$, $\tau_0^{\phi(3)}$ (см. таблицу 4). Относительные расхождения при сравнении результатов натуральных измерений с результатами расчетных методов представлены в таблице 5.



Рисунок 5 – Обработка результатов измерений светопропускания оконного блока с ДПС

На основе проведенных исследований предложен поправочный коэффициент $\gamma_e = 1,1$ к значению общего коэффициента светопропускания, определенному расчетно-экспериментальным методом по формуле (4) с использованием предложенной формулы (3).

Таблица 4 – Результаты определения общего коэффициента светопропускания оконных блоков экспериментальным и расчетными методами

Коэффициенты: $\tau_1, \tau_2, \tau_0^{СП}, \tau_0^{\phi(2)}, \tau_0^{\phi(3)}, \tau_0^H$	ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3
$\tau_0^{СП}$ по СП 23-102-2003	0,52	0,6	0,56	0,6	0,56
τ_1 по табл. Б.7, отн. ед.	0,8	0,8	0,75	0,8	0,75
τ_2 по табл. Б.7, отн. ед.	0,65	0,75	0,75	0,75	0,75
$\tau_0^{\phi(2)}$ расчет по $\phi(2), (4)$	0,378	0,432	0,422	0,425	0,428
$\tau_0^{\phi(3)}$ расчет по $\phi(3), (4)$	0,382	0,440	0,434	0,436	0,440
τ_0^H измер. в нат. усл.	0,461	0,525	0,423	0,478	0,472

Таблица 5 – Относительные расхождения результатов определения τ_0 расчетными и экспериментальными методами

Относительное расхождение, %	ДПР	ДПС	ПВХ №1	ПВХ №2	ПВХ №3	Среднее расхождение, %
$\delta_{СП-H} = \frac{ \tau_0^{СП} - \tau_0^H }{\tau_0^{СП}} \cdot 100\%$	11,3	12,5	25,0	20,3	15,7	17
$\delta_{\phi(2)-H} = \frac{ \tau_0^{\phi(2)} - \tau_0^H }{\tau_0^{\phi(2)}} \cdot 100\%$	22,0	21,5	0,5	12,5	10,3	13,3
$\delta_{\phi(3)-H} = \frac{ \tau_0^{\phi(3)} - \tau_0^H }{\tau_0^{\phi(3)}} \cdot 100\%$	20,7	19,3	3,2	9,6	7,3	12,0

В четвертой главе диссертации разработан метод комплексного сравнения оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам для рационального решения естественного освещения помещений при обеспечении энергосбережения. Предложен метод оценки пригодности оконных блоков для замены в существующих зданиях в застройке с учетом их светопропускающих свойств.

Была рассмотрена задача по определению соотношения между коэффициентом светопропускания и теплотехническими характеристиками оконного блока, при его замене, при условии неизменности освещенности в помещении здания и неизменности суммарных трансмиссионных теплопотерь. Задача формулируется следующим образом. Пусть имеется наружная стена помещения площадью A , m^2 , со значением приведенного сопротивления теплопередаче $R_{ст}$, $m^2 \text{ } ^\circ C/Вт$. Рассматриваются два варианта конструкции стены со светопроемом:

1. Площадь светопроема составляет $A_{окл}$, m^2 и в него установлен оконный блок с приведенным сопротивлением теплопередаче $R_{окл}$, $m^2 \text{ } ^\circ C/Вт$ и коэффициентом светопропускания τ_{01} .

2. Площадь светопроема увеличена до значения $A_{ок1} + \Delta A$, m^2 , и в него установлен оконный блок с приведенным сопротивлением теплопередаче $R_{ок2}$, $m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ и коэффициентом светопропускания τ_{02} .

При этом предполагается, что $R_{ок2} > R_{ок1}$, $\tau_{02} < \tau_{01}$. Требуется определить соотношение между τ_0 , $R_{ок}$ и $R_{ст}$, которое характеризует оконный блок в стене по сохранению уровня освещенности в помещениях и трансмиссионным теплотерям. Для решения этой задачи используется подход, применявшийся В.К.Савиным (В.К.Савин, 2005), и усовершенствованный В.А.Земцовым и В.Г.Гагариным (В.А.Земцов, В.Г.Гагарин, 2008).

В результате рассмотрения соотношений, основанных на равенстве освещенностей и равенстве трансмиссионных теплотер помещения, получены уравнения для приращения площади оконного блока, соответственно:

$$\Delta A = A_{ок} \cdot \frac{\tau_{01} - \tau_{02}}{\tau_{02}}, \quad \Delta A = A_{ок} \cdot \left[\frac{R_{ок2} - R_{ок1}}{R_{ст} - R_{ок2}} \cdot \frac{R_{ст}}{R_{ок1}} \right] \quad (8)$$

Приравнивание правых частей уравнений (8) дает условие, при котором оба варианта проектирования светопроема эквивалентны в светотехническом и теплозащитном отношениях:

$$\frac{\tau_{01} R_{ок1}}{R_{ст} - R_{ок1}} = \frac{\tau_{02} R_{ок2}}{R_{ст} - R_{ок2}} \quad (9)$$

При рассмотрении оконных блоков их светопропускание следует определять по формулам (3), (4) с учетом поправки, $\gamma_e = 1,1$, полученной в главе 3. Приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока определяется в соответствии с обязательным приложением Е и рекомендуемым приложением К СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» по формуле:

$$R_{ок} = \frac{1}{U_o + \sum l_j \Psi_j}, \quad (10)$$

где U_o – коэффициент теплопередачи в центре стеклопакета, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$; $\sum l_j \Psi_j$ – плотность потока теплоты через переплеты оконного блока, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$.

Из (9) с учетом (3), (4) и (10) следует выражение для критерия равноэффективности оконного блока:

$$P = \frac{\gamma_e \tau_1 \tau_2}{(U_o + \sum 1_j \Psi_j) R_{cm} - 1} \quad (11)$$

Проведено сравнение по критерию равноэффективности (11) оконных блоков с профилем фирмы Veka и стеклопакетами из стекол трех производителей: Pilkington, AGC, Guardian. Получено, что наилучшим вариантом остекления является двухкамерный стеклопакет с двумя низкоэмиссионными стеклами Optitherm S3 фирмы Pilkington (см. таблицу 6).

Таблица 6 – Сравнение оконных блоков с профилем Veka softline и стеклопакетами Pilkington и AGC по критерию равноэффективности P при $R_{ст}=2,5 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$

Формула стеклопакета	τ_1 , отн.ед.	τ_0 , отн.ед.	U_o , Вт/м ² °C	$R_{ок}$, м ² °C/Вт	P , отн.ед.
4M1-16Ar-4M1 (с Optifloat Clear)	0,81	0,42	2,6	0,48	0,11
4M1-16Ar-4K (с K Glass)	0,75	0,39	1,5	0,70	0,17
4M1-16Ar-4И (с Optitherm S3)	0,80	0,41	1,1	0,83	0,24
4M1-16Ar-4M1-16Ar-4M1 (с Optifloat Clear)	0,74	0,38	1,7	0,65	0,15
4K-16Ar-4M1-16Ar-4K (с K Glass)	0,63	0,32	0,8	0,98	0,25
4И-16Ar-4M1-16Ar-4И (с Optitherm S3)	0,71	0,37	0,6	1,10	0,37
4И-16Ar-4M1-16Ar-4И (с Tri Clearvision)	0,74	0,38	0,7	1,04	0,34
6mfИ-16Ar-4M1 (с Suncool 70/40)	0,71	0,37	1,1	0,83	0,22

Во второй части главы рассмотрен метод оценки пригодности оконных блоков для замены при реконструкции зданий. Вследствие утепления стен с использованием наружных теплоизоляционных фасадов происходит увеличение их толщины. Замена оконных блоков приводит к изменению светопропускания заполнения светопроема. Оба этих фактора влияют на световой режим помещения.

Метод заключается в последовательном расчете влияния увеличения толщины стены и замены оконных блоков на снижение освещенности помещения. В качестве критерия допустимости замены оконного блока служит минимально допустимое расстояние до ближайшего здания в застройке по условиям естественного освещения. Данный метод проиллюстрирован примером. В рассмотренном реконструируемом здании серии П-18 по плану типового этажа выбрано помещение с наибольшими требованиями к естественному освещению. Для него проведено исследование значения КЕО после ремонта здания с заменой оконных блоков. С использованием расчетно-экспериментального метода главы 2 показано, что после замены коэффициент светопропускания оконного блока снизился на 11%. Для исследования влияния толщины стены, были проведены расчеты КЕО

при различной толщине стены, d , которые показали, что КЕО без учета светопропускания окна \tilde{e}^* изменяется в зависимости от d линейно в соответствии с выражением (см. рисунок 6):

$$\tilde{e}^*(d) = (-1,49 \cdot d + 2,9) \quad (12)$$

Таким же образом было выведено выражение, аппроксимирующее относительное изменение расчетных значений КЕО, $\xi(X)$, в контрольном помещении здания в зависимости от расстояния, X , м, до противостоящего здания в застройке (см. рисунок 7):

$$\xi(X) = \left[1 - 1,15 \cdot \exp\left(-\frac{X}{46,3}\right) \right] \quad (13)$$

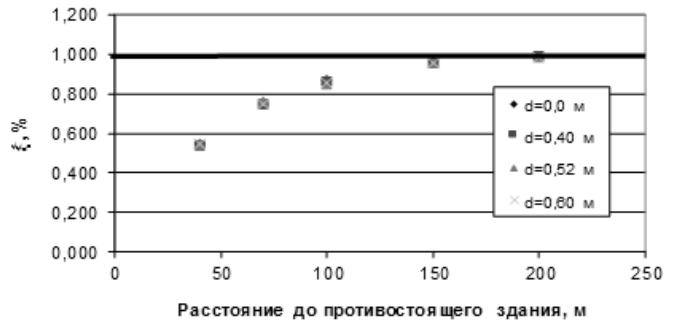
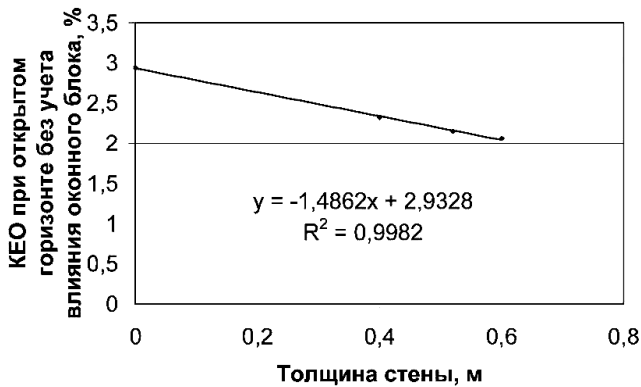


Рисунок 6 - Зависимость расчетных значений КЕО при открытом горизонте от толщины стены (формула (12))

Рисунок 7 - Относительное изменение расчетных значений КЕО в зависимости от расстояния до противостоящего здания (формула (13))

Объединение выражений (12) и (13) дает формулу для расчета КЕО e_p° при различной толщине стены, при различном расстоянии до противостоящего здания и при различном коэффициенте светопропускания оконного блока:

$$e_p^{\circ} = \xi(X) \cdot \tilde{e}^*(d) \cdot \tau_0 / K_3 = \left[1 - 1,15 \cdot \exp\left(-\frac{X}{46,3}\right) \right] (-1,49 \cdot d + 2,9) \cdot \tau_0 / K_3 \quad (14)$$

После ремонта здания условия естественной освещенности снижаются, что сказывается на снижении допустимого расстояния до противостоящего здания. Формула (14) позволяет определять светопропускание новых оконных блоков, при которых естественная освещенность в рассматриваемом помещении здания будет соответствовать нормам. Эта освещенность зависит от расстояния до противоположного здания. Получено, что для контрольного помещения при использовании оконного блока с двухкамерным стеклопакетом минимально допустимое расстояние до противостоящего здания в застройке увеличилось с 34 м до 44-47 м.

Если фактическое расстояние меньше, чем 44 м, то данный оконный блок не подходит для установки в реконструируемом здании. Таким образом, разработана методика по проверке допустимости установки новых оконных блоков по светотехническим параметрам в помещениях при реконструкции здания в застройке.

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 натуральных 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.
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 (3).
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 (11)).

Перспективы дальнейшей разработки темы следующие:

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 натуральных исследований, поэтому целесообразна разработка методик для различных светотехнических экспериментов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. 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.
2. Земцов, В.А. Исследование влияния энергосберегающих мероприятий при санации зданий серии П-18 на световой режим помещений / В.А. Земцов, **Е.В.Гагарина** // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – №4. – С. 83-88.
3. Земцов, В.А. Метод экспериментального определения общего коэффициента светопропускания заполнений светопроемов в натуральных условиях /В.А.Земцов, **Е.В. Гагарина**, С.Н. Коркин // Научно-технический журнал Вестник МГСУ.– 2011. – №3. – Т.2. – С. 9-14.
4. 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.
5. Гагарин, В.Г. Исследование влияния низкоэмиссионного покрытия стекла на спектральное пропускание света / В.Г. Гагарин, **Е.В. Коркина**, И.А. Шмаров, П.П.Пастушков // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 2 (58). – С. 90-95.
6. **Коркина, Е.В.** Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам / **Е.В. Коркина** // Жилищное строительство. – 2015. – № 6. – С. 60-62.

Публикации в других изданиях:

7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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). – 2014. – С. 52-58.
11. Гагарин, В.Г. Экспериментальные исследования светотехнических параметров оконных стекол / В.Г. Гагарин, **Е.В. Коркина** // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании. Сборник материалов Международной научной конференции (12–13 ноября 2014 г., Москва).– 2014. – С. 535-536.

12. 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. Сиань (Китай). – 2015. – С. 151 – 156.