

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАНА**
ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО – СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

на правах рукописи

УДК 725: 624.191.947

ҒАЮПОВ ДИЛМУРОД НЕЪМАТЖОНОВИЧ

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
СИСТЕМ ВЕРХНЕГО ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ.**

5А340201 - «ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ»

(Энергоэффективных зданий)»

на соискание академической степени магистра по специальности

**Научный руководитель:
к.т.н., доц. С.М.Махмудов**

Ташкент – 2015 год

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. ВВЕДЕНИЕ.....	6
II. ГЛАВА-I. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВЕРХНЕГО ЕСТЕСТВЕННОГО СВЕТА.	12
1.1. Существующие методы проектирования естественного освещения зданий, их анализ и постановка задач исследования	12
1.2. Современные типы производственных зданий и особенности их систем освещения.....	15
1.3. Системы верхнего естественного света.....	16
III. ГЛАВА II. РАСЧЁТЫ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ И ИХ МОДЕРНИЗАЦИЯ.....	21
2.1. Обзор существующих методов расчёта естественного освещения зданий.....	21
2.2. Формализация расчётов естественного освещения.....	27
2.3 . Расчёт прямой составляющей КЕО при равно ярком небосводе.....	35
2.4. Расчёт составляющей КЕО от прямого света пасмурного неба с распределением яркости по закону Муна и Спенсер.....	47
2.5. Учёт распределения яркости безоблачного неба в расчётах QQ естественного освещения зданий.....	57
IV. ГЛАВА III. ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ ЗА СЧЁТ ВЕРХНЕГО ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЙ.....	61
3.1. Методы оценки систем естественного освещения.	61
3.2. Оценка энергетической эффективности существующих норм естественного освещения для производственных зданий с зенитными свет проёмами.....	64
3.3. Эффективность применения автоматически регулируемого совмещенного освещения в производственных зданиях с равномерным верхним естественным освещением.....	66
3.4. Примеры оценки энергии эффективности осветительных установок в зданиях с различными системами свет проёмов.....	69
V. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	72
VI. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ....	77
VII ПРИЛОЖЕНИЕ.....	82

ВВЕДЕНИЕ

В современных крупных промышленных зданиях системы верхнего естественного освещения являются практически единственным средством обеспечить доступ дневного света с необходимыми количественными и качественными параметрами по всей площади производственных помещений. Настоящая работа посвящается проектированию систем верхнего естественного освещения производственных зданий и в основном тем аспектам, которые до настоящего времени не получили достаточного осмысления и внедрения в практику. Это учет на современном уровне светового климата при проектировании верхнего естественного освещения, применение теории светового поля к нормированию и проектированию верхнего естественного освещения зданий, оценка энергетической эффективности систем естественного освещения, выбор способа автоматического регулирования совмещенного освещения для оптимизации таких систем, применение новых инновационных технологий естественного освещения.

Актуальность работы заключается в том, что она решает одну из важнейших народнохозяйственных задач - задачу повышения энергетической эффективности промышленных зданий при создании систем освещения, обеспечивающих комфортную внутреннюю среду, условия для повышения производительности труда, экономию энергоресурсов и денежных затрат на устройство и эксплуатацию таких систем.

Цель исследования. Разработка методов расчета и проектирования энергоэффективных систем верхнего естественного освещения промышленных зданий на основе теории светового поля, современных способов учета светового климата и совместного использования естественного и искусственного света.

Задачи исследования. В соответствии с поставленной целью было необходимо решить следующий задач:

- проанализировать существующие методы расчета естественной освещенности их точность и применимость для проектирования;
- разработать метод учета неравномерной яркости неба в расчетах естественного освещения зданий, основанный на среднестатистических условиях облачности, применимый для определения энергетической эффективности систем естественного освещения;
- уточнить методику учета отраженного света при верхнем естественном освещении;
- разработать инженерный метод расчета пространственных характеристик светового поля, применимый для проектирования естественного освещения зданий;
- показать преимущества пространственных характеристик по сравнению с горизонтальной освещенностью, используемой в существующих методиках;
- выявить наиболее рациональные системы автоматического регулирования искусственного освещения с точки зрения их применения при проектировании совмещенного освещения зданий;
- усовершенствовать методику энергетической оценки систем естественного освещения и приспособить её к учету автоматически регулируемого совмещенного освещения зданий;
- определить параметры систем естественного света, при которых автоматическое регулирование является наиболее эффективным;
- определить область эффективного применения инновационных систем естественного освещения с помощью полых трубчатых свет оводов, разработать методику расчета КЕО для таких систем и показать на примерах эффективность таких устройств.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются производственные здания с системами верхнего естественного освещения Экскаваторный завод в г. Ташкенте.

Предметом исследования являются методы расчета естественного освещения зданий, в том числе и с использованием пространственных характеристик светового поля, а также определение архитектурно-строительных решений систем верхнего естественного освещения, обеспечивающих минимум энергий затрат при их эксплуатации, как при обычных, так и при автоматически регулируемых системах освещения зданий.

Метод исследования. В работе использован комплекс методов, включающий анализ проведенных ранее исследований, антитезис, включающий недостатки и неисследованные аспекты, и синтез в виде новых методов и предложений. Методы включают натурные, экспериментальные и теоретические исследования, в том числе компьютерное моделирование и методы математической статистики.

Степень изученности. В работа использован мировой опыт в области строительной светотехники, и в первую очередь труды таких крупных отечественных специалистов, как А.А.Гершун, Н.М.Гусев, В.В.Мешков, М.М.Епанешников, М.М.Гуторов, Д.Н.Лазарев, В.И.Петров, А.Е. Атаев, В.П.Будак, Н.Н.Киреев, Н.В.Оболенский, В.С.Федосихин, Х.Н.Нуретдинов, В.А.Земцов, Д.В.Бахарев, А.Н.Кондратенков, А.В.Спиридонов, а также таких крупных зарубежных ученых, как П.Мун, Д.Е.Спенсер, Р.Г.Гопкинсон, Дж.Лонгмор, Е.Нееман, Ю.Крохманн и др.

Другим важным аспектом проблемы проектирования естественного освещения является простота и степень точности отражения действительных условий естественного освещения в светотехнических расчетах.

В настоящее время начинает окончательно оформляться и разрабатываться до стадии практического применения в инженерных

расчетах оптическая теория поля освещенности в помещении. Автор этой теории Д.В.Бахарев уже в 1990 г. впервые представил поле освещенностей в помещении как оптическое изображение внешней среды, проецируемое через свет проем на поверхности помещения В настоящее время эта теория использована Д.В.Бахаревым, Л.Н.Орловой и А.Ф.Широбоковым в программе расчетов поля КЕО и яркостных характеристик помещений при естественном свете на ЭВМ. Программа позволяет средствами машинной графики провести визуализацию светового режима при естественном освещении.

В качестве примера рассмотрим проектирование естественного освещения Эскаваторного завода в г.Ташкенте. Помещение расположено на верхнем этаже и имеет укрупненную сетку колонн 6×24 м. с высотой этажа да низа ферм $H=7.2$ м.

Поиск решения комбинированной системы естественного освещения, создающей на рабочих местах условия видимости, при которых соответствующие пространственные характеристики световой среды приближались бы к требуемым, велся в две стадии:

Сначала определялась площадь свет проемов, необходимая для обеспечения требуемого уровня средней сферической освещенности. Затем изменением схемы расположения зенитных фонарей в покрытии получали наибольшие приближения угловой высоты светового вектора и контрастности освещения к требуемым значениям.

Результаты расчета показали, что ни одно боковое освещение), ни одно верхнее в отдельности не могут создать такую оптимальную комбинацию параметров светового поля при рабочих местах, как комбинированное. Увеличение площади верхнего остекления и боковых проемов лишь ухудшает показатели оценки. Наилучшим вариантом системы комбинированного освещения по сочетанию пространственных характеристик светового поля является четвертый, который отличается от третьего сдвижкой фонарей в сторону боковых проемов. Это несколько

увеличивает угловую высоту светового вектора, приближая её к требуемому значению.

Полученное сокращение площади остекления на 33,3% и возможность работы в дневное время без искусственного света обеспечивает значительную экономию приведенных затрат на устройство и эксплуатацию свет проемов по сравнению с первым вариантом, запроектированным традиционным способом

Ожидание исследования:

- использование пространственных характеристик светового поля при проектировании естественного освещения зданий дает возможность повысить качество естественного освещения и повысить энергетическую эффективность систем естественного света;
- методы расчета и проектирования систем верхнего естественного освещения, новые и усовершенствованные в результате настоящей работы, доведены до возможности использования в инженерной практике;
- результаты диссертации позволяют усовершенствовать нормирование верхнего естественного освещения зданий, которое приведет к экономии энергии на освещение при обеспечении комфорта внутренней среды;
- полученные в диссертации оптимальные соотношения между величинами искусственной освещенности и КЕО позволяют выбрать энергии эффективные системы верхнего естественного света при автоматически регулируемом совмещенном освещении;

Научная новизна работы состоит в следующем:

- Разработан точный аналитический метод расчета КЕО, позволяющий использовать для получения исходных данных строительные чертежи.
- использована теория светового поля для расчетов естественного освещения зданий;
- разработан метод проектирования систем естественного освещения зданий с использованием пространственных характеристик светового поля;

- разработана система нормирования естественного освещения производственных зданий с учётом минимума энергии затрат на освещение;
- предложены новые способы определения параметров систем верхнего естественного освещения при совмещенном и автоматически регулируемом освещении;
- предложен метод проектирования естественного освещения зданий с применением свет оводов, получена оценка таких систем с точки зрения экономии энергии затрат при эксплуатации зданий;

Диссертационная работа состоит из: введения, 3 глав с выводами, использования литературе и приложение.

ГЛАВА-I. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВЕРХНЕГО ЕСТЕСТВЕННОГО СВЕТА.

1.1. Существующие методы проектирования естественного освещения зданий, их анализ и постановка задач исследования.

В первом разделе данной главы проведен анализ существующих методов проектирования естественного освещения зданий и поставлены задачи исследования. Методика сравнения различных вариантов систем естественного освещения зданий, разработанная существующие нормы освещения не являются оптимальными ни с экономической, ни с энергетической точки зрения. Для совершенствования расчетов необходимо установить, при каких значениях коэффициентов естественной освещенности (КЕО) для данных уровней искусственной освещенности имеет место минимум приведенных затрат, а также затрат условного топлива на устройство системы естественного освещения.

Другим важным аспектом проблемы является простота и степень точности учета реальных условий естественного освещения зданий в светотехнических расчетах.

В настоящее время существуют многочисленные программы для ЭВМ, которые позволяют рассчитывать параметры естественного освещения в помещениях и ситуациях любой сложности. Вопрос о неизбежности перехода на компьютерные технологии в научных исследованиях не является дискуссионным. Однако проектировщикам зданий, для которых расчеты и проектирование систем естественного освещения, особенно в производственных зданиях, являются одними из многих вопросов комплексного учета всех факторов, влияющих на условия

внутренней среды, необходимо иметь оперативные инженерные методы расчета. Необходимо разработать такие методы, которые должны отражать физику явления, должны быть простыми и должны как можно точнее отражать действительное положение вещей.

Виды естественного освещения

Различают следующие виды естественного освещения помещений:

· боковое одностороннее — когда световые проемы расположены в одной из наружных стен помещения,

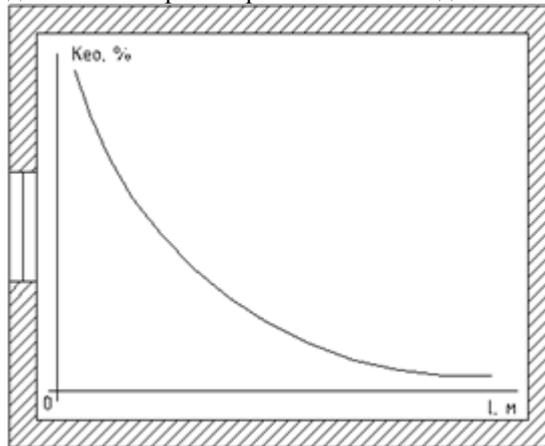


Рисунок 1 - Боковое одностороннее естественное освещение

· боковое — световые проемы в двух противоположных наружных стенах помещения,

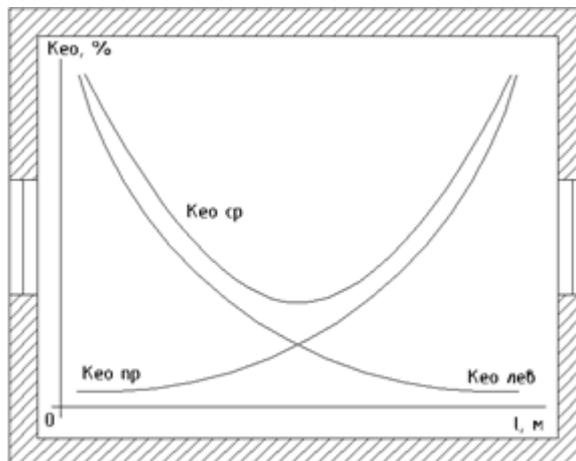


Рисунок 2 - Боковое естественное освещение

· верхнее — когда фонари и световые проемы в покрытии, а также световые проемы в стенах перепада высот здания,

· комбинированное — световые проемы, предусмотренные для бокового (верхнее и боковое) и верхнего освещения.

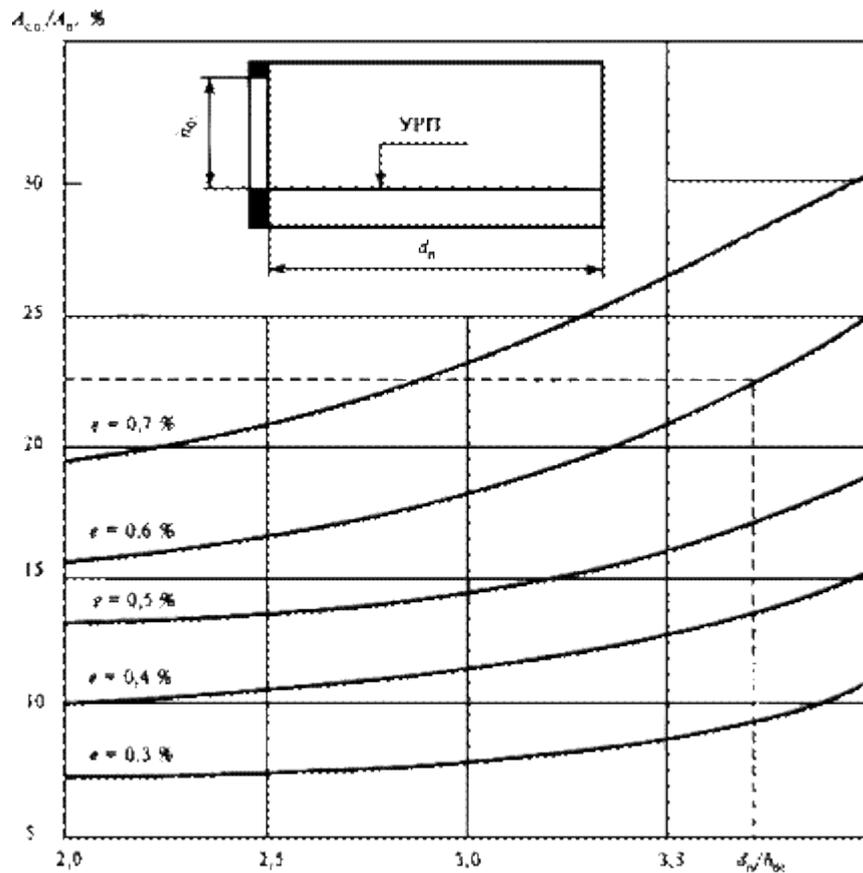


Рисунок 3 — График для определения относительной площади световых проемов A_{co}/A_n при боковом освещении жилых помещений

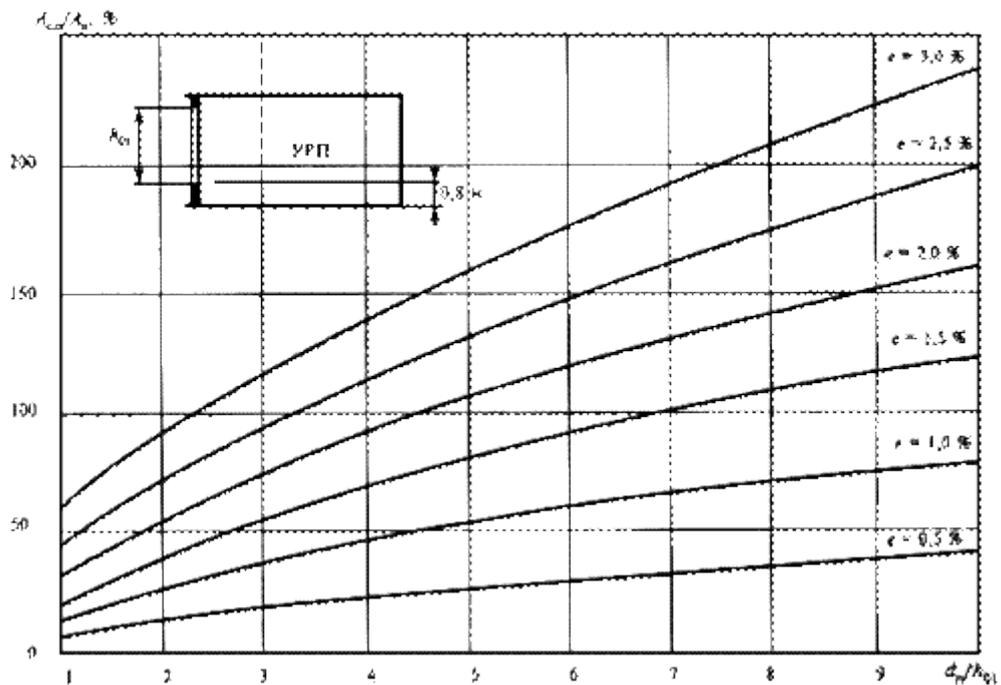


Рисунок 4 — График для определения относительной площади световых проемов A_{co}/A_n при боковом освещении помещений общественных зданий

Следующим аспектом, который нуждается в специальном исследовании, является учет пространственного распределения

направленной и рассеянной составляющих светового поля. Их соотношение обуславливает пенообразование, которое влияет на зрительное восприятие материала, рельефа, фактуры поверхности объекта. Если в области проектирования искусственного освещения использование пространственных характеристик особых препятствий не имеет, то в области проектирования естественного освещения этот процесс осложняется непостоянством количественных и качественных параметров наружной освещенности, стабильностью расположения свет проемов, создающих определенную направленность световых потоков и связывающих тем самым гибкость расстановки технологического оборудования. Отсюда вытекают задачи применения теории светового поля при проектировании естественного освещения зданий.

1.2. Современные типы производственных зданий и особенности их систем освещения.

Совмещенное освещение промышленных зданий является реальностью как в Республики, так и в других странах. Нормы КЕО в нормативных документах для совмещенного освещения сознательно занижены. Снижение площади остекления при этом позволяет уменьшить тепло потери зимой и теплопоступления летом, что может быть целесообразным в северных и южных районах. Это ставит задачи энергетической оценки этих норм.

В настоящее время в мире широко применяется автоматически регулируемое совмещенное освещение. В западном мире разработаны и применяются различные, весьма совершенные типы фотоавтоматов, регулирующих совмещенное освещение. Однако никто не ответил на вопрос, какими должны быть здания при автоматическом регулировании освещения, как должен распределяться естественный свет по площади помещения, какими должны быть свет проемы и как они должны

размещаться в ограждающих конструкциях. Поэтому вопросы выбора параметров зданий, свет проемов и их размещения также являются предметом настоящего исследования.

Рассмотренные проблемы позволили сформулировать задачи диссертационной работы.

Во втором разделе главы рассмотрены современные типы производственных зданий и особенности их систем освещения. Анализ структуры энергетических затрат в промышленности позволяет констатировать, что основная их часть приходится на производство и только 30% затрат - на обеспечение требуемых параметров внутренней среды. Если в промышленности по добыче и первичной переработке сырья эта величина не является существенной, то в высокотехнологичных отраслях, таких как машиностроение, эта величина в значительной степени влияет на стоимость продукции. Наиболее широкое применение в Республики нашли одноэтажные производственные здания. Они составляют около 75% всех производственных площадей в стране. Такие здания создают возможность равномерного освещения рабочих мест естественным светом путем устройства фонарей в покрытии. Оценивается эффективность различных систем верхнего естественного света, их область применения в различных климатических районах, направленность световых потоков, равномерность свет распределения.

1.3. Системы верхнего естественного света

Анализируется опыт применения искусственного освещения в производственных зданиях. Отмечается, что вопросы влияния размещения технологических коммуникаций на естественное освещение в промышленных зданиях практически не разработаны. Иерархия коммуникаций является основой для упорядочения путей их прокладки, особенно в связи с системами верхнего естественного освещения. Рассматриваются различные формы кровли: уклонные, плоские, бедовые

покрытия, покрытия с фонарями – надстройками, а также другие формы покрытий и их влияние на прокладку верхних коммуникаций. Необходимо разработать пути главных и второстепенных коммуникаций, чтобы избежать конфликта с направлением и расположением свет проемов, обеспечив минимальное затенение коммуникациями рабочей поверхности.

Рекомендации по учету верх нерасположенных коммуникаций в расчетах и проектировании естественного освещения предложены в диссертации и могут быть включены в свод правил по проектированию. Анализ опыта учета загрязнения свет проемов как в нашей стране, так и за рубежом, показал, что наши нормы недостаточно учитывают использование свет проемов для аэрации. На рис.1 приведены результаты исследования загрязнения зенитных фонарей из оргстекла в цехе Экскаваторном завода в г. Ташкенте завода, Было установлено, что глухие фонари загрязняются изнутри в 1.8 – 2.0 раза меньше, чем открывающиеся (см. рис.1), работающие на вытяжку, и в 1.4 – 1.6 раза меньше, чем такие же фонари, работающие на приток.

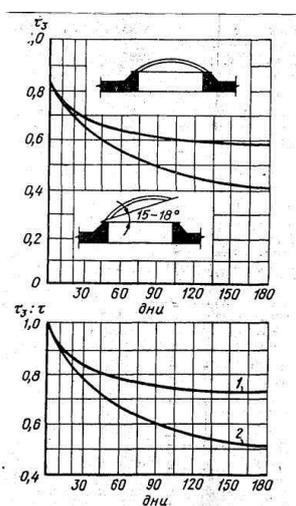


График зависимости светопропускания остекления зенитных фонарей от продолжительности эксплуатации τ – коэффициент светопропускания до эксплуатации; τ_3 – то же, с учетом загрязнения; 1 – глухой фонарь; 2 – открывающийся фонарь

Рис.1
Результаты исследований загрязнения зенитных точечных фонарей из органического стекла на Экскаваторном заводе в г. Ташкенте.

В (СНиП 2.01.05 -98) (Табий ва сунъий ёритилганлик). Запыленность территории не учитывается. Так, даже для жилых зданий не имеет значения, где располагаются эти здания, в зеленой зоне, на центральных магистралях или в промышленных районах. Этот недостаток при

использовании результатов ранее проводившихся исследований может быть легко устранен.

В диссертации в табличной форме приведены значения полученных путем натуральных измерений в действующих цехах Экскаваторного завода коэффициентов запаса K_z для остекления. В той же таблице приведены значения K_z по (СНиП2.01.05. -98), СНиП 23-05-95, по DIN 5034 (Нормы ФРГ) и по NBN.L 13-002 (Нормы Бельгии)

Расчетное значение K_z в (СНиП2.01.05. -98) значительно занижено по сравнению с зарубежными нормами и по сравнению с результатами наших измерений. Если же сравнивать натурные измерения со значениями, приведенными в нормах ФРГ и нормах Бельгии, то можно отметить, что эти нормы ближе к действительности. Предложенные коэффициенты K_z могут быть включены в нормы.

Опыт совместного применения систем естественного и искусственного света отражен в различных концепциях совмещенного освещения, которые рассмотрены в диссертационной работе. В настоящее время девизом интеграции естественного и искусственного света на Западе является максимальное использование естественного света и минимальное использование электрического света при обеспечении требуемых условий по количественным и качественным характеристикам освещения. Максимальное использование естественного света не может обеспечить минимума энергетических затрат, т.к. при этом неизбежно возрастут энергии затраты на восполнение тепло потерь и ликвидацию дополнительных теплоступлений через свет проемы. Поэтому только оптимизация проектирования позволит добиться рационального совмещенного освещения.

Зрительный комфорт является одним из наиболее важных критериев в проектировании естественного освещения зданий. При наличии блескости, создающей озлобленность, его достичь нельзя. Источники

дневного освещения – прямой солнечный свет и яркие участки неба, видимые через свет проем, - могут быть источниками озлобленности.

Для создания единой концепции проектирования систем верхнего естественного света необходима классификация методов интеграции естественного и искусственного света в зданиях.

Исходя из анализа ранее производившихся попыток такой классификации, автором предложена своя классификация методов интеграции естественного и искусственного освещения в зданиях с фонарями верхнего света. Она приведена в табличной форме в диссертации.

Так как в случае зданий с верхним естественным освещением интеграция естественного и искусственного света в значительной степени зависит от свет распределения системы естественного освещения, то в предлагаемой классификации системы разделены на два типа – с равномерным распределением естественного света по всему помещению, и с неравномерным распределением естественного света. Следует отметить, что согласно действующим Нормам равномерность нормируется и должна составлять для производственных зданий не более 3:1. Для совмещенного освещения равномерность естественного света не оговорена. Можно считать, что она компенсируется искусственным освещением. В классификации учитываются и другие качественные характеристики освещения.

В классификационной таблице рассматриваются возможные преимущества того или иного вида совмещенного освещения. Однако основным преимуществом всех видов совмещенного освещения является расширение возможностей архитекторов и строителей при проектировании промышленных зданий, освобождение их от жестких рамок, в которые их ставят Нормы проектирования естественного освещения, без ухудшения внутренней световой среды и условий зрительной работы.

Освещенность помещения естественным светом выражают КЕО ряда точек характерного разреза помещения, взятых на условной рабочей поверхности (рис. II—1, а, б), то есть горизонтальной поверхности, расположенной на высоте 0,8 м от пола. Расстояние между расчетными точками принимают 2-3 м, при этом первую и последнюю точки размещают на расстоянии 1 м от стен или средних рядов колонн.

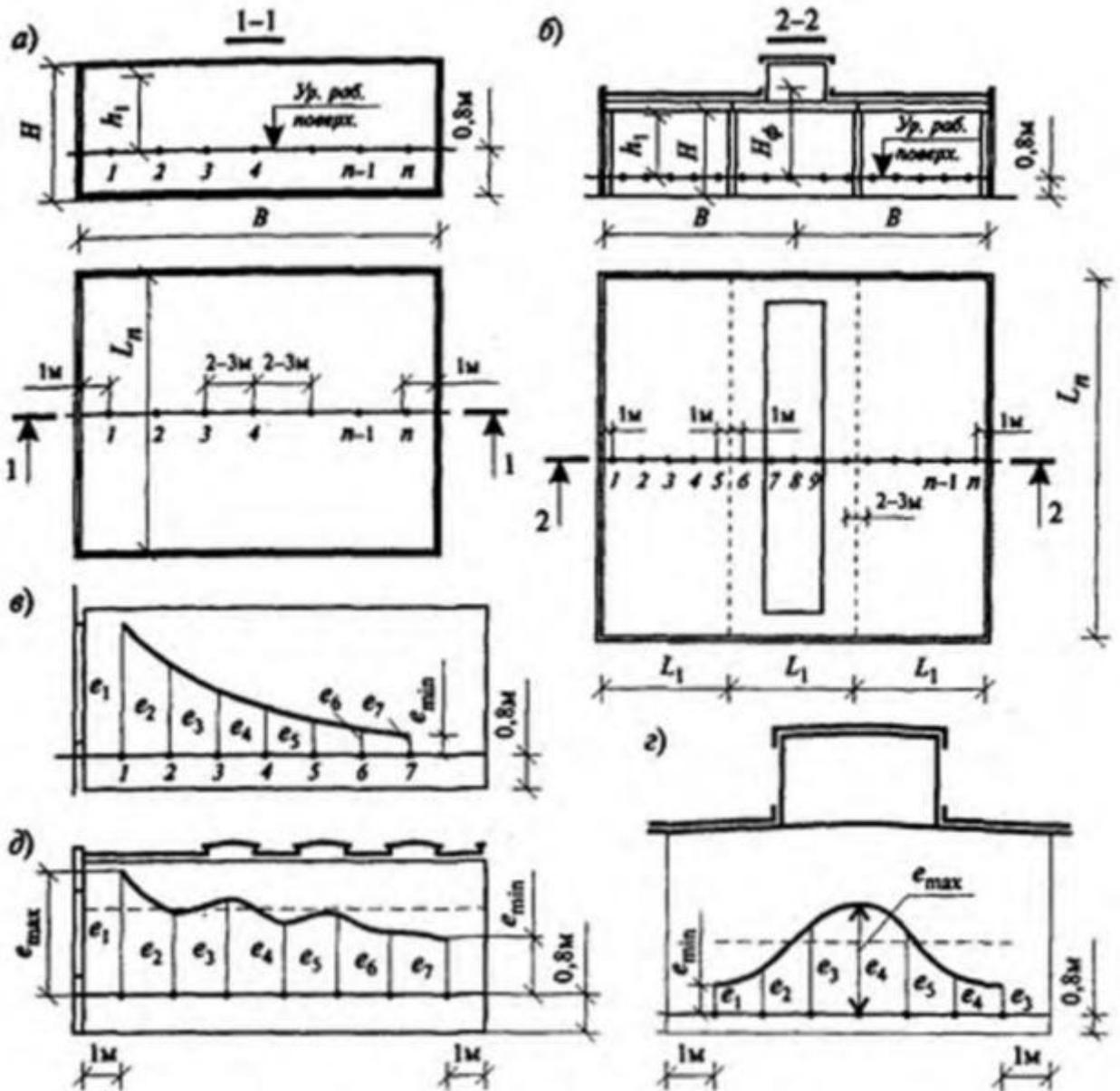


Рис. II—1. К расчету естественной освещенности помещений: а - характерный разрез помещения для расчета КЕО при боковом освещении; б- то же, при верхнем и верхнем и боковом освещении; в-д -кривые естественного освещения при боковом, верхнем, а также верхнем и боковом освещении

ГЛАВА II. РАСЧЁТЫ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ И ИХ МОДЕРНИЗАЦИЯ.

2.1. Обзор существующих методов расчёта естественного освещения зданий.

Существующие инженерные методы расчета естественного освещения могут быть подразделены на две основные группы: одна группа использует так называемый «люмен-метод», другая группа основана на расчетах КЕО. Методы, основанные на расчетах КЕО, получили распространение в Европе. Оптическая теория поля освещенности в помещении, разработанная Д.В.Бахаревым, позволяет сделать инженерные методы расчета КЕО более точными. Она может также использоваться в расчетах освещенности в помещениях с помощью ЭВМ. Программы расчета разработаны в нашей стране и за рубежом. В Республики наиболее известна программа LARA, разработанная в Ташкенте. Из зарубежных программ наиболее подходит для расчетов естественной освещенности программа RADIANCE. Эти программы позволяют рассчитывать поля освещенности и яркости поверхностей в помещениях, что дает возможность средствами машинной графики провести визуализацию светового режима при естественном освещении.

Методы, основанные на применении ЭВМ с помощью конечных световых элементов, позволяют проецировать элементарные участки внешней среды с их яркостями на внутренние поверхности и в расчетные точки с последующим суммированием освещенностей от них. Инженерные методы предполагают отдельное определение составляющих КЕО от прямого света неба, отраженного света от противостоящих зданий и примыкающих к свет проемам подстилающих поверхностей с учетом многократных отражений.

Классическое выражение освещенности в точке от сферического четырехугольника, представляющего собой проекцию прямоугольного свет проема на сферу, представлено формулой (1):

$$E = L \int_0^{\beta} d\varphi \int_{\theta=\psi(\alpha,\varphi)}^0 \sin \theta \cos \theta d\theta \quad (1)$$

Здесь φ - горизонтальный угол раскрытия свет проема.

θ - вертикальный угол раскрытия свет проема.

Точные формулы для расчета естественной освещенности получены классиками светотехники П. Муном и Д.Е.Спенсер. Однако в этом методе, также как и в других методах точных расчетов, плоские углы граней телесного угла свет проема не читаются на строительных чертежах. Поэтому автором была поставлена задача, получить такое аналитическое выражение для КЕО, которым можно было бы пользоваться в строительном проектировании.

Кроме того, в этом выражении необходимо было учесть распределение яркости пасмурного неба, стандартизованного МКО. Это распределение выражено формулой (2).

$$L_{\theta} = L_z(1+2\cos\theta) / 3, \quad (2)$$

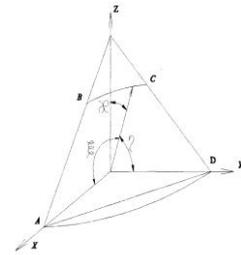
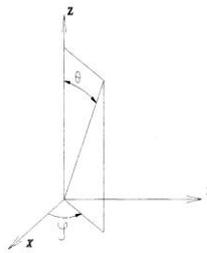
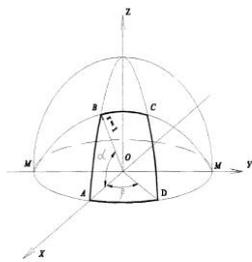
Здесь L_z -значение яркости неба в Зените.

θ - угол между рабочей плоскостью и лучом, соединяющим центр окна на разрезе с расчетной точкой.

С учетом этого выражения (закон Муна и Спенсер) уравнение (1) запишется в виде:

$$E = L_z \int_0^{\beta} d\varphi \int_{\theta=\psi(\alpha,\varphi)}^0 \frac{1+2\cos\theta}{3} \sin \theta \cos \theta d\theta \quad (3)$$

Проведя интегрирование по расчетной схеме, приведенной на рис.2, мы получим формулу для расчета освещенности в помещении от свет проема с учетом неравномерной яркости пасмурного неба МКО.



а) Расчетная схема

б) Схема интегрирования в сферической системе координат

в) Положение плоскости в Декартовой системе координат

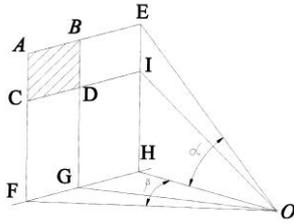
Рис.2 Геометрическая интерпретация угловых параметров при расчётах освещённости от небосвода.

$$E = L_z \left[\frac{\beta}{6} - \frac{1}{6} \cos \alpha \cdot \operatorname{arctg}(\cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta) + \frac{2}{9} \arcsin(\sin \alpha \cdot \sin \beta) - \frac{2}{9} \frac{\cos^2 \alpha \cdot \sin \beta}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha \cdot \cos^2 \beta}} \right] \quad (4)$$

При $\alpha = \frac{\pi}{2}$ и, умножив результат интегрирования на 4 получим освещенность под открытым небом $E_n = 7L_z\pi/9$.

Разделив выражение (4) на эту величину, получим точное выражение для расчетов прямой составляющей КЕО при пасмурном небе МКО от половины свет проема в точке на горизонтальной плоскости на уровне нижней его грани.

Величину прямой составляющей освещенности от любого прямоугольного свет проема (е) можно определить по принципу В.В.Мешкова и М.М.Епанешникова согласно рис.3. В формуле (4) угловые величины выражены в радианах. Перевод их в градусы осуществляется умножением их на $\pi/180^\circ$. Формулы, полученные автором, позволяют рассчитывать КЕО только при пасмурном небе МКО.



$$e_{(\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2)} = e_{(\alpha_2, \beta_2)} - e_{(\alpha_2, \beta_1)} - e_{(\alpha_1, \beta_2)} + e_{(\alpha_1, \beta_1)} \quad (5)$$

Рис.3. Схема к определению освещения от любого прямоугольного свет проёма

На самом деле распределение яркости по небу зависит от характера облачности и положения Солнца на небосводе, а также от альbedo подстилающей поверхности. При ясном небе без облаков распределение яркости подчиняется закону Киттлера. Исследования ученых Словакии и Японии показали, что в статистическом плане имеет место плавный переход распределения яркости от ясного к пасмурному небу. При этом важно знать распределение яркости по небу только в расчетный момент, который может быть определен. Для этого момента распределение яркости по небу в секторе, куда ориентирован свет проем, может быть записано в виде уравнения конхоиды: $L_\theta = L_z (A + B \cos \theta)$. (6)

Формула для расчета КЕО для любого прямоугольного свет проема, как угодно расположенного по отношению к расчетной точке на рабочей плоскости, по расчетной схеме (рис.3) для условий любого конхоидального неба имеет вид:

$$\begin{aligned}
 e_n = & \frac{3 \cdot 100}{(3A + 2B)} \left\{ \frac{A}{2 \cdot 180} \cos \alpha_2 [\arctg(\cos \alpha_2 \operatorname{tg} \beta_2) - \arctg(\cos \alpha_2 \operatorname{tg} \beta_1)] + \right. \\
 & + \frac{A}{2 \cdot 180} \cos \alpha_1 [\arctg(\cos \alpha_1 \operatorname{tg} \beta_2) - \arctg(\cos \alpha_1 \operatorname{tg} \beta_1)] + \\
 & + \frac{B}{3 \cdot \pi} \left[\cos^2 \alpha_2 \left(\frac{\sin \beta_1}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha_2 + \cos^2 \beta_1}} - \frac{\sin \beta_2}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha_2 + \cos^2 \beta_2}} \right) + \right. \\
 & \left. + \cos^2 \alpha_1 \left(\frac{\sin \beta_2}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha_1 + \cos^2 \beta_2}} - \frac{\sin \beta_1}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha_1 + \cos^2 \beta_1}} \right) \right] + \\
 & \left. + \frac{B}{3 \cdot 180} [\arcsin(\sin \alpha_2 \sin \beta_2) + \arcsin(\sin \alpha_1 \sin \beta_1) - \right. \\
 & \left. - \arcsin(\sin \alpha_2 \sin \beta_1) - \arcsin(\sin \alpha_1 \sin \beta_2)] \right\} \quad (7)
 \end{aligned}$$

Углы α_1 и α_2 , β_1 и β_2 читаются на разрезе и плане помещения и могут быть выражены через геометрические параметры помещения и свет

проема, в том числе и с учетом толщины ограждающих конструкций. Такая точная формула для расчета КЕО получена впервые.

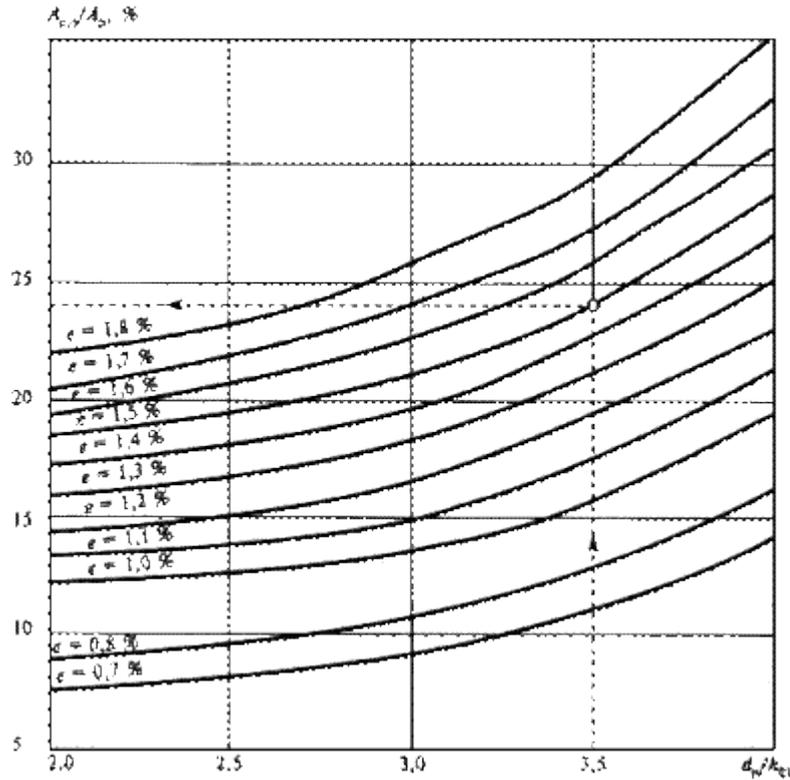


Рисунок 5 — График для определения относительной площади световых проемов $A_{c,0}/A_n$ при боковом освещении школьных классов

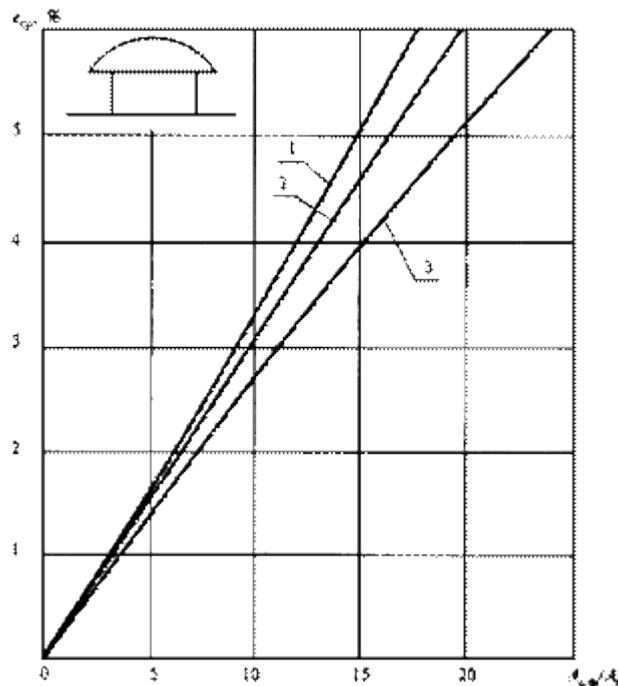


Рисунок 6 — График для определения среднего значения КЕО e_{cp} в помещениях с зенитными фонарями с глубиной проема до 0,7 м и размерами в плане, м:
1 - 2,9x5,9; 2 - 2,7x2,7; 2,9x2,9; 1,5x5,9; 3 - 1,5x1,7

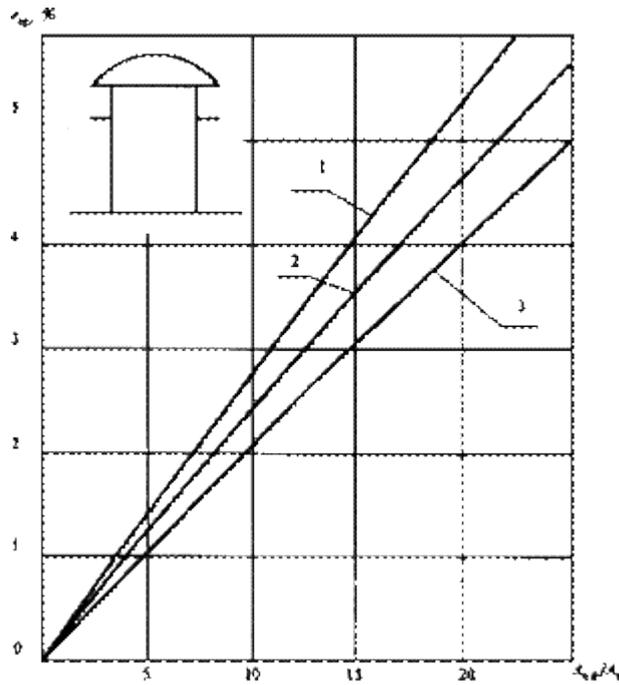


Рисунок 7 — График для определения среднего значения КЕО e_{cp} в общественных помещениях с шахтными фонарями с глубиной светопроводной шахты 3,50 м и размерами в плане, м:
 1 - 2,9x5,9; 2 - 2,7x2,7; 2,9x2,9; 1,5x5,9; 3 - 1,5x1,7

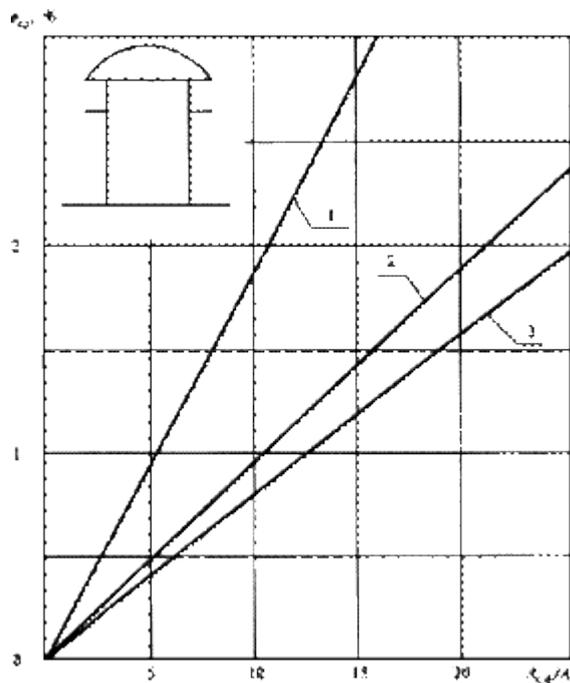


Рисунок 8 — График для определения среднего значения КЕО e_{cp} в общественных помещениях с шахтными фонарями диффузного света с глубиной светопроводной шахты 3,50 м и размерами в плане, м:
 1 - 2,9x5,9; 2 - 2,7x 2,7; 2,9x2,9; 1,5x5,9; 3 - 1,5x1,7

2.2. Формализация расчётов естественного освещения

В диссертации приводятся примеры расчетов. Сравнение их результатов с результатами расчетов по графикам А.М.Данилюка показывает, что для фонарей верхнего естественного света графики Данилюка дают некоторую погрешность: так, для зенитных ленточных фонарей она может составлять от 8 до 16% в сторону завышения; для среднего значения КЕО это завышение составляет до 10%.

Отсутствие проверочного метода расчета КЕО для точечных и шахтных зенитных фонарей не позволяло ранее построить графики распределения КЕО по помещению с такими свет проемами. В настоящее время в СП 23-102-2003 приведен метод В.А. Земцова, разработанный в НИИСФ. Теперь все системы естественного света стало возможным проектировать по единой методике: сначала определять необходимую площадь остекления, затем распределять это остекление в ограждающих конструкциях с учетом функциональных и архитектурных требований. После этого проводится проверочный расчет на соответствие нормам.

Для проведения большого объема вычислений отраженного света внутри помещений больших размеров целесообразно использовать ЭВМ. Это позволяет не только получить достоверные данные о суммарном влиянии отраженного света, но и учесть механизм многократных отражений, определить влияние первого и последующих отражений на величину суммарной отраженной составляющей. Расчет отраженного света от участка потолка на пол при условии диффузно отражающих поверхностей производится согласно дифференциальному уравнению Ламберта:(8) где L – яркость участка dS (расчетная схема приведена на рис.4).

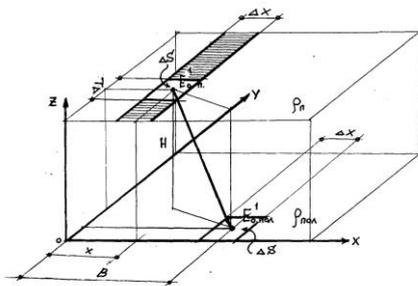


Рис 4. Расчетная схема к определению отраженной составляющей в помещениях большой площади (влияние стен минимально)

Аналогично, но уже в направлении снизу-вверх, можно определить отражение от пола на потолок, получить последовательно величины первого и последующих отражений. В помещениях большой ширины на большей площади помещений влияние отраженного света от стен ничтожно мало. Поэтому в расчетах для установления общих закономерностей его можно не учитывать.

Проведенный в работе простейший расчет отраженного света по специально разработанной программе для ЭВМ позволяет сделать вывод о том, что учет отраженного света при верхнем освещении по СНИП2.01.05.-98 является несовершенным. При разных значениях коэффициентов отражения пола и потолка, но при одном и том же значении средневзвешенного коэффициента отражения, являющегося определяющим по СП, могут иметь место различные величины отраженной составляющей КЕО. Как показали расчеты, третье отражение составляет максимально 5% от первого и его еще следует учитывать. Четвертое отражение даже при высоких коэффициентах отражения пола не превышает 1% от первого отражения.

Общая формула для расчета отраженной составляющей КЕО в больших помещениях на большей части площади, кроме зон, примыкающих к стенам, имеет вид:

$$e_o = e_{cp} \cdot \rho_{пол} \cdot \rho_{пот} \left[1 + \rho_{пол} \cdot \rho_{пот} + (\rho_{пол} \cdot \rho_{пот})^2 + (\rho_{пол} \cdot \rho_{пот})^3 + \dots \right] \quad (9)$$

Для приближения точности расчетов КЕО к реальным условиям светового климата места строительства в СНИП2.01.05.-98 к нормируемому значению КЕО вводится «коэффициент светового климата» (m), который определен для группы административных районов по

ресурсам светового климата. При этом учитывается тип светового проема и ориентация световых проемов по сторонам горизонта. Однако при этом большое значение имеет распределение яркости по небосводу, которое может в несколько раз увеличить или уменьшить величину КЕО в глубине помещения. В СНиП распределение яркости соответствует закону Муна и Спенсер для пасмурного неба при равномерной десятибалльной облачности. Распределение яркости при ясном небе по формуле Р.Киттлера, также регламентированное МКО, для практических расчетов может быть использовано только при каком-либо одном, заданном для данной ориентации свет проема, положении солнца, при котором в помещении имеются наихудшие или другие расчетные условия освещенности.

Методика определения расчетных положений солнца на небосводе сводится к следующему: за расчетное принято такое положение солнца, при котором для данной ориентации свет проема значение КЕО при ясном небе будет минимальным, а значение наружной освещенности будет приближаться к критическому.

Определение расчетного положения солнца позволяет производить сравнительные расчеты КЕО при ясном небе, учитывая при этом через отраженные составляющие также и прямой солнечный свет. В диссертации подробно описана методика выбора расчетных положений солнца. При расчетах освещенности в помещениях можно считать, что основное влияние на освещенность оказывает та четверть небосвода, на которую ориентирован свет проем. Были составлены таблицы освещенностей от секторов, равных четверти небосвода, в зависимости от расположения центрального меридиана этих секторов относительно солнечного вертикала. Из таблиц было получено, что зона наиболее неблагоприятной ориентации свет проема по отношению солнечному вертикалу находится

между углами $\alpha = 105^{\circ}$ и 245° . Для оценки энергии затрат основным в светотехническом расчете является расчет времени использования

естественного света. В любой из дней оно равно времени между моментами наступления критической освещенности, а по сути, оно равно периоду, в течение которого Солнце имеет угловую высоту больше расчетной. Таким образом, время использования естественного света определяется именно этими моментами. Поэтому светотехнические расчеты следует производить, исходя из условий на небосводе, которые имеют место в эти моменты времени. Можно считать, что при расчетах энергии затрат нас интересуют только те графики распределения относительной яркости неба, которые приближаются к стандартной кривой распределения яркости ясного неба, приведенной в диссертации.

Критическая освещенность определяется по формуле

$$E_{кр} = \frac{E_u^{норм} \cdot 100}{e} \quad (10)$$

Здесь $E_u^{норм}$ - нормируемая искусственная освещенность. Она является величиной постоянной для данного вида зрительной работы. e – величина КЕО. Она зависит от условий распределения яркости по небу. Т.к. при ясном небе эта величина не является постоянной, поскольку распределение яркости меняется с изменением положения Солнца по отношению к свет проему, то ее следует определять в момент наступления критической освещенности, т.е. при стандартном распределении яркости по ясному небу. Только в этом случае понятие КЕО при ясном небе будет иметь смысл.

В диссертации приводится подробный обзор работ по учету действительной яркости небосвода. Однако все они дают решения, которые трудно применить в строительном проектировании. Для того чтобы метод был применим в строительном проектировании необходимо, чтобы он учитывал расчетные сроки наступления критической освещенности. При этом надо использовать данные об облачности, имеющиеся в местных метеостанциях. Большинство из этих работ подтверждает гипотезу о том, что в статистическом плане имеет место

плавный переход от условий пасмурного неба к ясному небу. В этой связи американские исследователи Г.Жиллетт и С.Тридо предлагают наиболее простой и целесообразный, на наш взгляд, способ учета характера изменения облачности для данной конкретной местности: они используют отношение диффузной и суммарной солнечной радиации, названное ими коэффициентом облачности K_o .

Значения диффузной и суммарной солнечной радиации могут быть взяты по данным метеостанций. Сравнительные расчеты можно производить при K_o , равном среднему значению этих коэффициентов для всех месяцев года. Расчеты затрат энергии необходимо производить при более точном учете условий облачности по периодам года, в которые облачность имеет примерно одинаковый характер и значения K_o близки друг другу. Если K_o близко по величине 1.0, то можно считать, что в данный период преобладает пасмурное небо. Если $K_o=0.1$, то можно учитывать условия ясного неба (значение $K_o=0$ возможно только на границе атмосферы).

Конечно, следует иметь в виду, что подобное представление среднестатистического неба основано на ряде допущений: облачность распределена равномерно по всему небосводу; небо рассматривается изотропным, т.е. имеющим одинаковые физические свойства по всем направлениям. Случайные кучевые облака на ясном небе не соответствуют этим допущениям. Распределение яркости в таких случаях произвольно и его не имеет смысла рассматривать отдельно.

Принимая указанные допущения, яркость в какой-либо точке небосвода в данный момент времени (L) может быть представлена средневзвешенной величиной между двумя экстремальными значениями – для пасмурного и для ясного неба – с применением фазовой функции $= \xi \cdot L_{\text{я}} + (1-\xi) \cdot L_{\text{п}}$ (11)

где $L_{\text{я}}$ - яркость ясного неба в данной точке, определяемая по формуле Р.Киттлера,

L_{Π} - яркость пасмурного неба в данной точке, определяемая по закону Муна и Спенсер,

ξ - фазовая функция, соответствующая закону нормального распределения, определяется по формуле:

$$\xi = \frac{1 + \cos(K_0 \cdot \pi)}{2} \quad (12)$$

Понятно, что точного распределения яркости по небосводу в каждый конкретный момент времени определить невозможно, да и ненужно. Однако статистическая вероятность такого распределения будет высока. Значения K_0 принимаются по климатическим справочникам (например, по ныне не действующему, но содержащему большое количество полезных справочных данных (СНИП2.01.01). - как отношение диффузной и суммарной горизонтальной наружной освещенности в расчетное время в данном месяце, определяемое по таблице, приведенной в диссертации.

На рис.5 приведены графики расчетных значений коэффициента учета неравномерной яркости неба q и коэффициента относительной яркости неба β . Для зданий, строящихся в г.Ташкенте, расчетными являются графики 1 и 2.

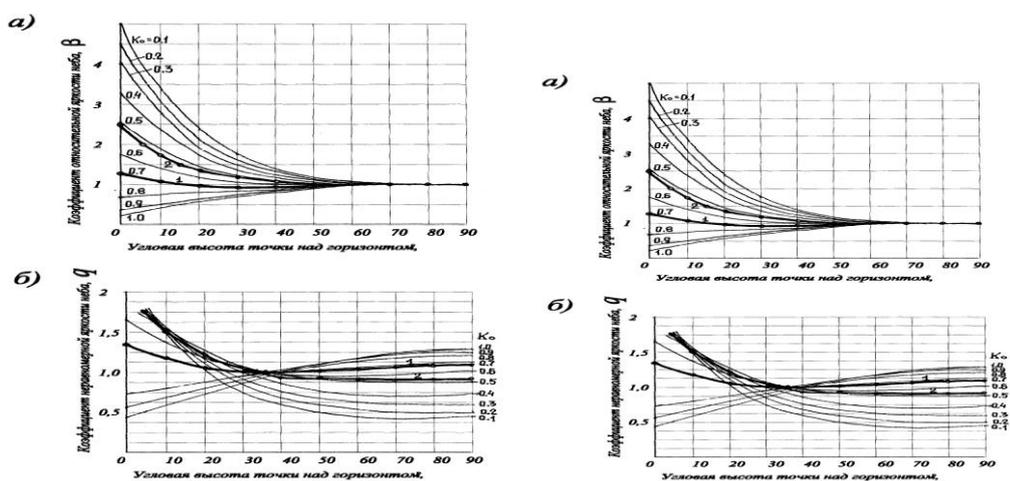


Рис.5 Распределение значений относительной яркости β и коэффициентов учёта неравномерной яркости неба q при различных вероятностях облачности



Расчетные графики

- 1 – для ориентаций С, Ю, В, СВ, ЮВ
- 2 – для ориентаций З, СЗ и ЮЗ

Как видно из рис.5, расчетные графики ρ и β начиная с угловой высоты 20^0 показывают, что в моменты наступления критической освещенности, особенно для свет проемов верхнего света, наиболее реальным, со статистической точки зрения, является равномерное распределение яркости неба.

Для окон такое распределение яркости также возможно, хотя КЕО при таком распределении яркости может быть несколько выше реального при пасмурном небе в глубине помещения. Предлагаемая методика разработана впервые. Она может быть включена в систему подготовки данных по локальному свет климатическому районированию, которые целесообразно включить в Территориальные строительные нормы (ТСН) по естественному и искусственному освещению.

Выполненных с целью разработки методологии проектирования естественного освещения исходя из положений теории светового поля, более точно оценивающей условия видимости объемных объектов различения. Если рассматривать точку внутри помещения как некое бесконечно малое объемное тело, на поверхности которого концентрируются световые потоки от различных окружающих яркостей, то её можно представить, как тело неравномерной яркости, интеграл которой по её поверхности в соответствующем пересчете даст величину пространственной освещенности.

Величины пространственной освещенности могут быть измерены с помощью современных приборов (рис.6). Пространственные характеристики (или их сочетание) могут быть использованы в качестве инструмента для оценки условий зрительной работы. Определение требуемых значений этих характеристик, а также разработка инженерных методов приложения этой теории к решению практических задач проектирования систем естественного освещения зданий, нашли отражение в данной главе диссертации.

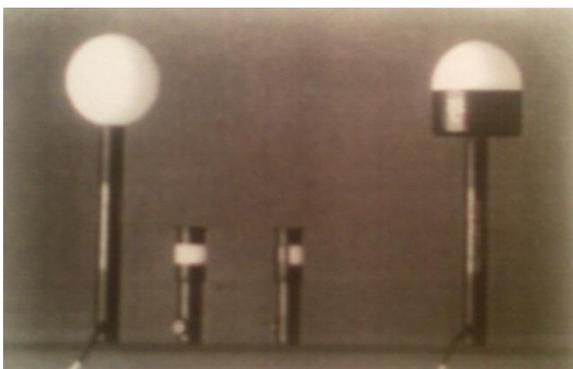


Рис. 6 Фотометрические головки для измерения средней сферической освещенности $E_{4\pi}$ и пространственной освещенности E_0 , средней полусферической освещенности $E_{2\pi}$, цилиндрической освещенности E_z и полуцилиндрической освещенности

Основоположником научно обоснованной теории светового поля является проф. А.А.Гершун, который считал, что переход к нормированию пространственной освещенности было бы «чрезвычайно целесообразно провести в области регламентирования естественного освещения внутри сооружений».

Перспективы перехода на пространственные характеристики лимитируются как недостаточной проработкой проблем пространственной оценки освещения, так и отсутствием в нашей стране стандартных приборов для измерения пространственных характеристик светового поля. Однако можно привести много примеров, когда для решения каких-либо зрительных задач недостаточно простого повышения горизонтальной освещенности. В главе подробно рассмотрена история разработки вопроса. Большую роль в развитии применения теории светового поля к естественному освещению зданий внесли В.Т.Иванченко, В.А.Егорченков, У.Н.Раджабов, Е.М.Завьялов, С.И.Чикота, К.А.Хамидов, Чан-Динь-Бак (Вьетнам) Нуретдинов Х.Н. В сочетании с работами этих ученых и с прикладными работами НИИ строительной физики это создаёт основу знаний, которые позволяют предложить в первом приближении приемлемую для существующей практики систему проектирования естественного освещения, использующую пространственные характеристики в качестве отправной точки для обеспечения наилучших условий зрительной работы при одновременной экономии энергетических ресурсов и капитальных затрат.

Общие положения теории светового поля, приведенные в диссертации, дают математическое определение пространственной освещенности, средней сферической освещенности $E_{4\pi}$, средней полусферической освещенности $E_{2\pi}$, средней цилиндрической освещенности E_{π} и светового вектора \mathcal{E} – модуля и направления вектора переноса световой энергии в единицу времени через единицу площади, перпендикулярной направлению переноса. В работах М.М.Епанешникова и Т.Н.Сидоровой показана наибольшая эффективность средней цилиндрической освещенности для оценки насыщенности светом помещений, что нашло отражение в современных нормах.

Пенообразующие свойства светового поля могут оцениваться отношениями различных пространственных характеристик в исследуемой точке поля. Чем больше разница сравниваемых величин, тем глубже и резче тени на освещаемых объектах, тем контрастнее освещение. Проф.

М.М.Гуторовым введена величина $m_{4\pi} = \frac{E_{4\pi}}{|\mathcal{E}|}$ названная контрастностью освещения. Он же установил связь между контрастностью и направлением светового вектора, которое характеризуется горизонтальным (азимутальным) углом β и вертикальным углом (угловая высота) и оказывает большое влияние на видимость рельефных объектов.

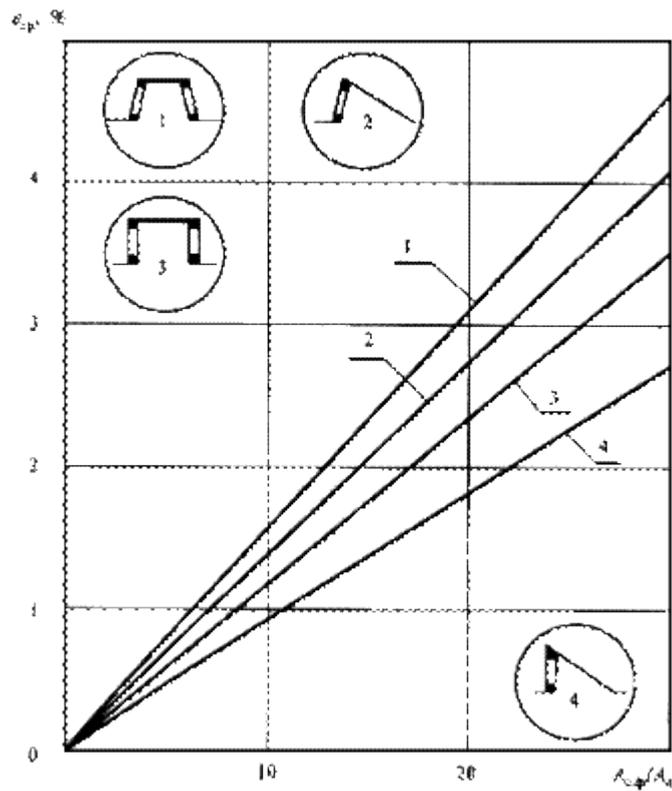
2.3. Расчёт прямой составляющей КЕО при равно ярком небосводе

Методика определения требуемых значений пространственных характеристик светового поля разработана под руководством автора исходя из особенностей объекта различения и условий работы на конкретном рабочем месте. В её основе лежит определение скорости и вероятности различения (производительности зрительной работы) и

определение зрительной работоспособности и утомления. Методика подробно описана диссертантом в отечественной и зарубежной научной литературе. Методика использует работы Г.Ф.Лакина и К.В.Бардина. В качестве критерия, характеризующего влияние условий освещения на зрительную работоспособность, использовалась величина относительной зрительной работоспособности, предложенная Х.Вестоном.

При выполнении научно-исследовательских работ по улучшению световой среды на различных предприятиях были получены оптимизированные значения пространственных характеристик светового поля для различных работ и отраслей промышленности. Результаты еще не позволяют делать глобальные обобщения, однако они позволяют провести качественный анализ влияния отдельных пространственных характеристик на условия зрительной работы при различной величине и характере объектов различения. С уменьшением угловых размеров объекта требуемая величина средней сферической освещенности возрастает. Значение контрастности освещения остается в тех же пределах, что и для более крупных объектов. Это объясняется тем, что контрастность влияет в наибольшей степени на образование собственных теней при определенной высоте светового вектора.

При уменьшении угловой высоты светового вектора от объектов различения появляются падающие тени, которые ухудшают видимость объекта, сливают его с фоном, размывают его очертания. Увеличение контрастности повышает глубину этих теней, ухудшает различение границы собственной и падающей тени. При уменьшении угловых размеров объекта требуемая угловая высота светового вектора по той же причине становится меньше, чем при больших угловых размерах.



1 — трапециевидный фонарь; 2 — шед, имеющий наклонное остекление;
 3 — прямоугольный фонарь; 4 — шед, имеющий вертикальное остекление
 Рисунок 9— График для определения среднего значения КЕО e_{cp} в общественных помещениях с фонарями

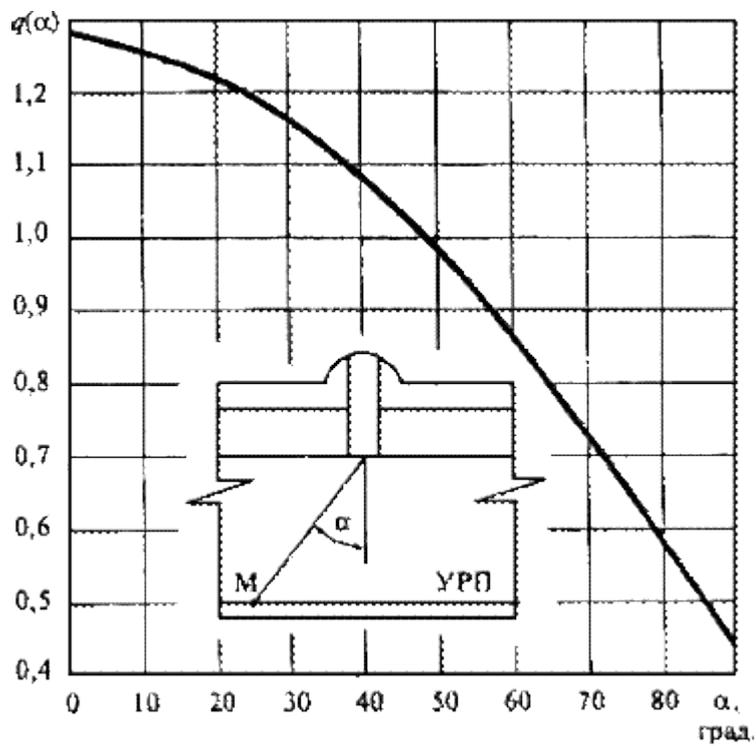


Рисунок 10 — График для определения коэффициента $q(\alpha)$ в зависимости от угла α

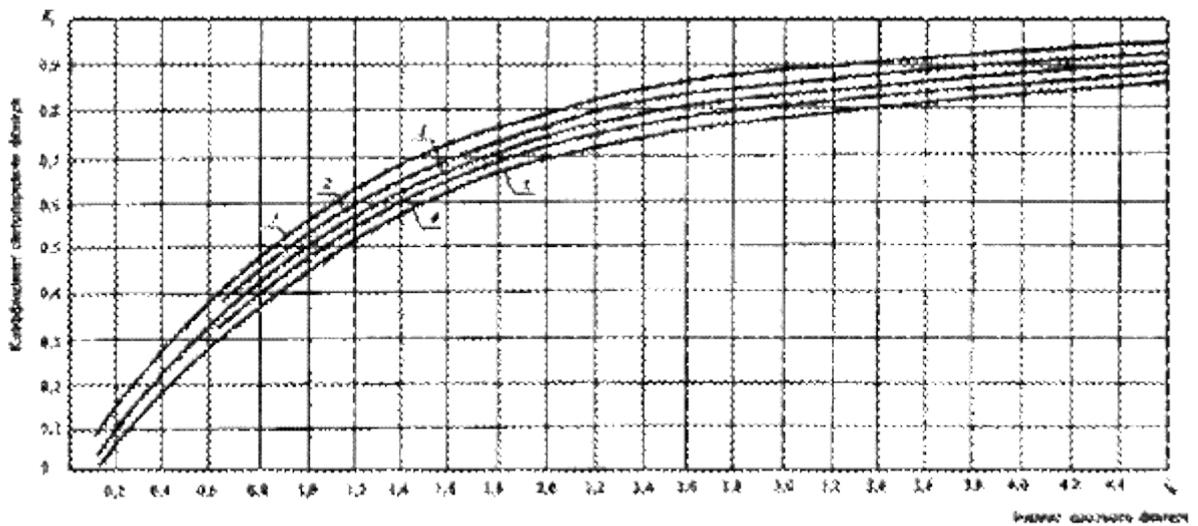


Рисунок 11 — График для определения коэффициента светопередачи K_c фонарей с диффузным отражением стенок шахты

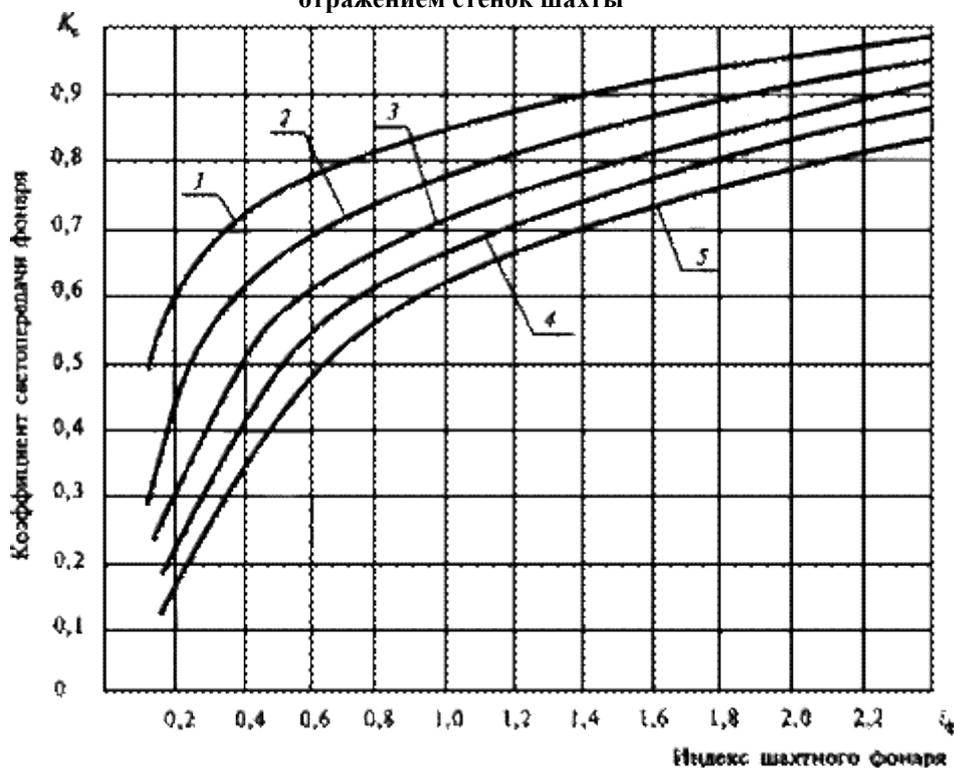


Рисунок 12 — График для определения коэффициента светопередачи K_c фонарей с направленным отражением стенок шахты при различных значениях коэффициента диффузного отражения стенок шахты

Методика разработана впервые. Она позволяет определять требуемые значения пространственных характеристик светового поля для конкретных зрительных работ. Таким образом, она может служить основой методики отраслевого нормирования освещения по пространственным характеристикам светового поля для производств с объемными объектами различения.

Расчеты пространственных характеристик светового поля при естественном освещении в производственных зданиях с верхним расположением свет проемов требовали разработки точных математических методов и на их основе - разработки инженерных методов расчетов, как можно более приближенных по своей методике к традиционным расчетам естественного освещения зданий. Математические выражения пространственных характеристик светового поля разработаны классиками светотехники П.Муном и Д.Спенсер, А.А.Гершуном, В.Фоком. В то же время приложение этих методов к задачам строительного характера требует использования параметров помещений, определяемых по планам и разрезам здания. В диссертации разработаны выражения, представляющие эти характеристики через геометрические параметры помещения и свет проема.

Расчетная схема – такая же, как при расчете горизонтальной освещенности (см. рис.2):

$$E_{4\pi} = \frac{1}{4} \int_0^{\beta} \int_{\arccos\left(\frac{\cos \phi}{\sqrt{ctg^2 + \cos^2 \phi}}\right)}^{\frac{\pi}{2}} L_z (A + B \sin \theta) \sin \theta d\theta d\phi \quad (13)$$

После интегрирования получаем формулу: $E_{4\pi} = 0.2$

$$\left[\frac{B}{2} \cdot \beta - \frac{B}{2} \cdot \cos \alpha \cdot \arctg \beta (\cos \alpha \cdot tg \beta) + A \cdot \arcsin(\sin \alpha \cdot \sin \beta) \right] \quad (14)$$

При $A=0.333$ и $B=0.666$, что соответствует пасмурному небу МКО и при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ и $\beta = \frac{\pi}{2}$ с умножением результата на 4 получим формулу для расчета $E_{4\pi}$ от всего небосвода: При равно ярком небе $A=1$ и $B=0$

$$E_{4\pi}'' = \frac{L_z \cdot \pi}{4}$$

что соответствует формуле, полученной проф. Д.Н.Лазаревым и В.В.Мешковым.

Расчетная схема к определению средней сферической освещенности от любого прямоугольного свет проема та же, что и на рис.3.

В этом случае величина определяется по формуле:

$$E_{4\pi} = \frac{L_z}{4} \left\{ \frac{B}{2} \cos \alpha_1 [\arctg(\operatorname{tg} \beta_2 \cos \alpha_1) - \arctg(\operatorname{tg} \beta_1 \cos \alpha_1)] - \frac{B}{2} \cos \alpha_2 [\arctg(\operatorname{tg} \beta_2 \cos \alpha_2) - \arctg(\operatorname{tg} \beta_1 \cos \alpha_2)] + A [\arcsin(\sin \beta_2 \sin \alpha_2) - \arcsin(\sin \beta_1 \sin \alpha_2) - \arcsin(\sin \beta_2 \sin \alpha_1) + \arcsin(\sin \beta_1 \sin \alpha_1)] \right\} \quad (15)$$

Для ленточных свет проемов при $\beta_1 = -\frac{\pi}{2}$ $\beta_2 = +\frac{\pi}{2}$ при пасмурном небе

$$A = \frac{1}{3} \quad B = \frac{2}{3} \quad E_{4\pi} = \frac{L_z \cdot \pi}{6} \left(\frac{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2}{2} + \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{180} \right) \quad (16)$$

Первое слагаемое в круглых скобках представляет собой количество лучей по графику А.М.Данилюка №1, проходящих через окно в расчетную точку. Используя привычный для России графический метод А.М.Данилюка, можно предложить упрощенную формулу, по которой можно с помощью графиков А.М.Данилюка №1 и №2 и с использованием транспортира, имея план и разрез помещения, определить величину средней сферической освещенности от прямого света неба:

$$E_{4\pi} = \frac{L_z \cdot \pi}{4} \left(\frac{Bn_1}{100} + 2A \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{180} \right) \cdot \frac{n_2}{100} \cdot K_{4\pi} \quad (17)$$

Здесь n_1 и n_2 - количество лучей по графикам №1 и №2, проходящих через свет проем в расчетную точку,

$K_{4\pi}$ - поправочный коэффициент к n_2 для учета его изменения при средней сферической освещенности, равный отношению $E_{4\pi}$ по формуле (15) к значению $E_{4\pi}$ по формуле (17).

Расчеты по этим формулам показали, что коэффициент $K_{4\pi}$ в зависимости от угла раскрытия свет проема из данной точки на плане помещения изменяется незначительно и при β от 0° до 100° составит примерно 0.8; при $\beta=120^\circ$ $K_{4\pi}=0,9$. При больших углах значения $K_{4\pi}$ быстро растут до 1.4 при $\beta =160$. Ошибка, наибольшая при низком расположении свет проемов в стенах (обычные ленточные окна), составит не более 4%. Расчет прямой составляющей средней полусферической

освещенности производится аналогичным образом по формуле

$$E_{2\pi} = \frac{L_z \cdot \pi}{4} \left[3A \cdot \frac{n_1}{100} + \frac{5B}{3} \cdot \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{180} \frac{2B}{3\pi} (\sin \alpha_1 \cos \alpha_1 - \sin \alpha_2 \cos \alpha_2) \right] \cdot \frac{n_2}{100} \cdot K_{2\pi} \quad (18)$$

Значения $K_{2\pi}$ практически равны значениям $K_{4\pi}$. Закономерность изменения $K_{2\pi}$ в зависимости от угла раскрытия свет проема в плане – такая же. Однако при углах раскрытия до 100° отклонения результатов, полученных по этой формуле, от результатов по точной формуле – еще меньше.

Прямая составляющая модуля светового вектора при естественном освещении зданий в черном помещении при расположении источника света (в данном случае свет проема) по одну сторону освещаемой плоскости, представляет собой проекцию светового вектора на нормаль и равна освещенности:

$$\varepsilon = \int_{\Omega} L(\theta, \varphi) d\Omega_{\theta, \varphi} \quad (19)$$

Она может быть разложена на три составляющих, характеризующих освещенности плоскостей: горизонтальной, вертикальной параллельной свет проему и вертикальной, перпендикулярной свет проему:

$$\varepsilon_x = \int_{\Omega} L(\theta, \varphi) \cos \mu_x d\Omega_{\theta, \varphi} = E_{YOZ}$$

$$\varepsilon_y = \int_{\Omega} L(\theta, \varphi) \cos \mu_y d\Omega_{\theta, \varphi} = E_{XOZ}$$

$$\varepsilon_z = \int_{\Omega} L(\theta, \varphi) \cos \mu_z d\Omega_{\theta, \varphi} = E_{XOY}$$

Выражения интегралов составляющих светового вектора для свет проема, имеющего прямоугольную форму, нижняя грань которого находится в горизонтальной плоскости, где находится расчетная точка, а одна вертикальная грань - в вертикальной плоскости, проходящей через расчетную точку (см.рис.2), для небосвода с конхоидальным распределением яркости могут быть вычислены по формулам, разработанным в диссертации $|\varepsilon| = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_z^2} \quad (21)$

Величины $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ для любого прямоугольного свет проема определяются углами $\alpha_1, \alpha_2, \dots$, под которым видны стороны свет проема из расчетной точки на поперечном разрезе и плане помещения (см. рис.3). При этом величина освещённости определяется по принципу проф. М.М.Епанешникова.

Пользуясь графиками А.М.Данилюка, величину ε_x можно определить по формуле:

$$\varepsilon_x = 0,01 \cdot L_z \cdot \pi \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot \text{ctg} \theta \cdot (A + B \sin \theta) \quad (22)$$

Здесь n_1 – количество лучей по графику А.М. Данилюка №1 при расчете КЕО. При этом $n_1 * \text{ctg} \theta = \bar{n}_1$ – количество лучей по графику №1, проходящих через окно в расчетную точку на разрезе помещения, повернутом на 90° .

n_2 – количество лучей по графику №2 при расчете геометрического КЕО

q-коэффициент учета неравномерной яркости неба.

-угол превышения центра свет проема над расчетной точкой.

Практически $\varepsilon_x \cong E_T \cdot \text{ctg} \theta \quad (23)$

На вертикальной плоскости, перпендикулярной свет проему, величина освещенности ($\varepsilon_x \cong E_{xoy}$) равна разности освещенностей от правой и левой части свет проема, если характерный разрез проходит через свет проем. Если он проходит по центру свет проема, то $\varepsilon_y = 0$ (при круг симметричном, в том числе при конхоидальном распределении яркости по небосводу). Если он проходит сбоку от свет проема, то составляющая ε_y зависит от величины полного телесного угла.

При прохождении плоскости характерного разреза не по центру окна используется модуль разности величин $\bar{n}_2^{\text{лев}}$ и $\bar{n}_2^{\text{прав}}$, где \bar{n}_2 – количество лучей n_2 по графику А.М. Данилюка №2, повернутом на 90° относительно плоскости свет проема.

$$\bar{n}_2^{прав} = n_2^{прав} \cdot ctg \frac{\beta_2}{2}; \text{ где } n_2^{прав} \text{ и } n_2^{лев}$$

- значения n_2 по графику А.М. Данилюка №2, справа и слева от плоскости характерного разреза.

Пользоваться привычными графиками А.М. Данилюка и коэффициентом q для определения ϵ_y можно только со значительными погрешностями, т.к. учет неравномерной яркости неба с помощью коэффициента q в этом случае дает погрешность от 5% до 40%. При этом ошибка увеличивается по мере уменьшения высоты свет проема над расчетной плоскостью. В случае зенитных свет проемов ошибка значительно ниже и находится в пределах погрешностей, допустимых в расчетах естественного освещения (). Формула для расчета ϵ_y по графикам А.М. Данилюка при пасмурном небе МКО имеет вид:

$$\epsilon_y = E_{xoy} = L_z \cdot \pi \cdot \frac{\bar{n}_1}{100} \cdot \frac{n_z^{np} \cdot ctg \frac{\beta_2}{2} - n_2^{лев} \cdot ctg \frac{\beta_1}{2}}{100} \cdot (A + B \sin \theta) \quad (24)$$

Здесь \bar{n}_1 - количество лучей по графику А.М. Данилюка №1, проходящих через окно в расчетную точку на разрезе помещения, повернутом на 90° , $\bar{n}_1 = n_1 \cdot ctg \theta$

При равно ярком небе ошибки расчета практически отсутствуют. Величину проекции светового вектора на плоскость Z $\epsilon_z = E_{xoy}$ можно определить с помощью обычного расчета КЕО по графикам А.М. Данилюка

Угловые параметры светового вектора определяются следующим образом.

Угловая высота светового вектора θ определяется независимо от

направления зрения наблюдателя по формуле $\theta = \arccos \frac{\epsilon_z}{|\vec{E}|} \quad (25)$

Азимут светового вектора β - горизонтальный угол, отсчитываемый от горизонтальной проекции направления зрения до проекции светового вектора по часовой стрелке, см. рис.4. В общем случае, если считать

направлением начала отсчета направление оси X, перпендикулярной свет проему, азимут светового вектора можно определить по формуле

$$\beta = 270^{\circ} + \arccos \frac{\sqrt{|\epsilon|^2 - \epsilon_y^2}}{\epsilon_z} - A, \quad (26)$$

Где A – азимут направления зрения в град., отсчитываемый по часовой стрелке от направления оси X.

Если свет проем ленточный, то при симметричном по широте распределении яркости по небу $\beta = 180^{\circ} - A$ (27)

Вывод расчетной формулы средней цилиндрической освещенности приводится в диссертации. В задачу нашего исследования эта величина не входила, и она не используется в дальнейшем.

Таким образом, получены точные и приближенные (инженерные) формулы, позволяющие определять абсолютные величины пространственных характеристик естественного светового поля от любых прямоугольных свет проемов. Однако когда речь идет о естественном освещении, абсолютные величины являются неудобными. Необходимы относительные единицы, связывающие наружные и внутренние параметры освещения.

Общепринятыми в научных кругах в настоящее время являются такие относительные величины пространственных характеристик естественного освещения, как коэффициент естественной сферической освещенности (КЕСО), коэффициент естественной полусферической освещенности (КЕПО), коэффициент естественной цилиндрической освещенности (КЕЦО). Они являются отношениями соответствующих абсолютных значений пространственных характеристик естественного освещения в помещении к одновременным значениям этих характеристик под открытым небом.

При оценке условий зрительной работы важнейшим параметром является модуль светового вектора $|\epsilon|$ и его составляющие ϵ_x , ϵ_y и ϵ_z , позволяющие определить направляющие светового вектора. Для того

чтобы связать эти величины с условиями наружного освещения, необходимо выбрать величину, с которой следует соотносить модуль светового вектора. Очевидно, что использовать принцип КЕСО, КЕПО или КЕЦО, т.е. соотносить составляющие с соответствующими величинами под открытым небом – не имеет смысла. Назовём коэффициентом светового вектора отношение его модуля к одновременной величине наружной горизонтальной освещенности, взятое в

$$\%: e_\varepsilon = \frac{|\varepsilon|}{E_{н.г}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Аналогично определяются и составляющие коэффициента светового вектора, выражающие его проекции на координатные плоскости XOZ, YOZ и XOY.

Следует отметить, что использование величин КЕСО и КЕПО при проектировании естественного освещения зданий имеет существенные недостатки. Во-первых, все свет климатические данные, имеющиеся в нашей стране, да и во всем мире, связаны с горизонтальной наружной освещенностью. Во-вторых, при использовании нескольких пространственных характеристик, например $E_{4\pi}$ и, приходится использовать разные характеристики наружной освещенности. Все это создает значительные трудности в практическом использовании этих характеристик в проектировании. Поэтому целесообразно ввести новые относительные пространственные характеристики светового поля, отнесенные к одновременной горизонтальной наружной освещенности: и

$$\bar{e}_{2\pi} = \frac{E_{2\pi}}{E_H} \cdot 100\% \quad (29)$$

Коэффициент светового вектора остается без изменений. В этом случае значения пространственных характеристик светового поля, определяемые по формулам (17) и (18), следует разделить на величину

наружной горизонтальной освещенности и $E_H = \frac{L_z \cdot \pi \cdot (3A + 2B)}{3}$ (30)
множить на 100%.

Представленные в диссертации новые относительные пространственные характеристики светового поля впервые предлагаются для использования при проектировании естественного освещения зданий. Они предварительно названы условными коэффициентами естественной сферической и полусферической освещенности УКЕСО и УКЕПО. Эти величины позволяют связать наружное освещение и внутреннюю световую среду, ввести понятие о наружной критической освещенности для этих пространственных характеристик, а, следовательно, переходить к определению времени использования естественного света и к экономическим расчетам.

Учет отраженной составляющей от внутренних поверхностей помещений в расчетах пространственных характеристик светового поля естественного света является очень важным. Как показали исследования, учитывать ее с помощью коэффициентов τ_0 для бокового освещения и τ_2 - для верхнего освещения даже в первом приближении нельзя.

Все исследования, проводившиеся автором по этой проблеме, были построены на применении метода математического моделирования с помощью конечных световых элементов, аналогично тому, как это делалось при исследовании внутреннего отражения для определения горизонтальной освещенности. В результате расчетов, выполненных на ЭВМ по специально разработанной программе, были получены значения коэффициентов τ для различных пространственных характеристик светового поля при наиболее характерных коэффициентах отражения пола и потолка.

При исследованиях влияния отраженного света на величину пространственных характеристик светового поля при верхнем естественном освещении поверхности помещения разбивались на

элементарные участки. При этом было принято допущение, что яркость в пределах элементарных участков постоянна, а излучение света от них подчиняется закону Ламберта. Принципиально важным в этой модели является более точное определение первичного светового потока в расчетных точках поверхностей интерьера, а также функций влияния между этими точками, описанных Х.Н.Нуретдиновым.

Коэффициенты влияния рассчитывались по формуле:

$$\omega_{ij} = \frac{\Delta S}{r^2} \cos \alpha \cdot \cos \beta \quad (31)$$

2.4. Расчёт составляющей КЕО от прямого света пасмурного неба с распределением яркости по закону Муна и Спенсер

В результате был получен обширный расчетный материал, позволивший определить коэффициенты, учитывающие повышение значений пространственных характеристик светового поля за счет отраженного света. Они приведены в таблице в диссертации. Данные из таблицы показали, что с увеличением P_{cp} степень влияния отраженного светового потока на пространственные характеристики увеличивается гораздо быстрее по сравнению с горизонтальной освещенностью. При малых значениях P_{cp} отношение $r^{4\pi}/r^\Gamma$ равно 1.16 – 1.4 при темной кровле ($P_{кр} = 0.053$) и 1.21 -1.36 при $P_{кр} = 0.84$. Наибольшее отклонение от значений r в СП наблюдается в точках, расположенных у стен, при любых значениях P_{cp} .

Влияние подстилающего слоя кровли для фонарей-надстроек и шэдов на величину пространственных характеристик освещенности велико. Например, при $P_{кр} = 0.84$ увеличение их значений составляет до 35%.

Это увеличение учитывается по традиции коэффициентом K_ϕ , хотя в СП этот параметр не зависит от $P_{кр}$. Достоверность результатов работы подтверждена экспериментами и натурными измерениями. Однако по этим результатам нельзя судить о том, как влияют отдельные поверхности помещения на величину отраженной составляющей. Естественно предположить, что для пространственных характеристик это может иметь такое же, или еще большее значение, чем для горизонтальной освещенности. Это явление требует дальнейших исследований.

При любом конхоидальном распределении яркости по небосводу при

$$\beta = A + B \sin \theta,$$

$$q = \frac{E_{н.равн.}}{н.г} \cdot \beta = \frac{L_z \cdot \pi(A + B \sin \theta) \cdot 3}{L_z \cdot \pi(3A + 2B)} \quad (32)$$

Таким образом, при конхоидальном распределении яркости по небосводу относительные пространственные характеристики светового поля в помещении с верхними свет проемами с учетом отраженного света могут быть определены по следующим инженерным расчетным формулам:

$$\bar{e}_{4\pi} = \left\{ \frac{0,75}{3A + 2B} \left[\frac{B \cdot n_1}{100} + \frac{2A(a_2 - a_1)}{180} \right] \cdot \frac{n_1 \cdot K_{4\pi}}{100} + \bar{e}_{4\pi \text{ ср.}}^n \cdot (r_{4\pi} \cdot K_\phi^{4\pi} - 1) \right\} \cdot \frac{\tau_0}{K_3} * 100\% \quad (33)$$

$$\bar{e}_{2\pi} = \left\{ \frac{0,75}{3A + 2B} \left[\frac{3A \cdot n_1}{100} + \frac{2B}{3\pi} (\sin \alpha_1 \cos \alpha_1 - \sin \alpha_2 \cos \alpha_2) + \frac{5B}{3} * \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{180} \right] \cdot \frac{n_2 \cdot K_{2\pi}}{100} + \right. \\ \left. + \bar{e}_{2\pi \text{ ср.}}^n \cdot (r_{2\pi} \cdot K_\phi^{2\pi} - 1) \right\} \cdot \frac{\tau_0}{K_3} * 100\% \quad (34)$$

В этих формулах n_1 и n_2 - количество лучей по графикам Данилюка №1 и №2, проходящих через свет проем в расчетную точку, α_1 и α_2 - углы превышения низа и верха окна над расчетной точкой, $K_{4\pi}$ и $K_{2\pi}$ - поправочные коэффициенты при учете ширины раскрытия свет проема из данной точки. $\bar{e}_{4\pi \text{ ср.}}^n$ и $\bar{e}_{2\pi \text{ ср.}}^n$ - средние величины условных КЕСО и КЕПО по характерному разрезу помещения.

$r_{4\pi}$ и $r_{2\pi}$ – коэффициенты аналогичные коэффициенту r_2 , учитывающие влияние отраженного света, определяются по таблице в диссертации. Эти коэффициенты рассчитаны для КЕСО и ПЕСО. Поэтому для приведения этих коэффициентов к УКЕСО и УПЕСО значения $r_{4\pi}$ $r_{2\pi}$ следует соответственно разделить на 2.333 и 1.47. Таковы соотношения горизонтальной освещенности под открытым небом и средней сферической и средней полусферической освещенности под открытым небом для пасмурного неба МКО. Для другого конхоидального распределения яркости значения $r_{4\pi}$ и $r_{2\pi}$ будут другими.

При практическом определении коэффициента модуля светового вектора при естественном освещении по формуле (35) может быть два случая:

1. Наиболее простой и наиболее часто встречающийся в практике случай, когда характерный разрез помещения проходит по центру свет проема или когда свет проемы расположены симметрично относительно характерного разреза помещения. В этом случае проекция светового вектора на плоскость характерного разреза равна 0, т.е. $e_{\varepsilon'} = 0$

$$\bar{e}_{\varepsilon} = e_{\Gamma} = \left[\varepsilon q + (\varepsilon q)_{cp.} (r_2 K_{\phi} - 1) \right] \frac{\tau_0}{K_3} \text{ (СНиП)}$$

Тогда при

$$\bar{e}_{\varepsilon'} = e_{\Gamma} \operatorname{ctg} \theta \quad (35)$$

$$\bar{e}_{|\varepsilon|} = \sqrt{\bar{e}_{\varepsilon'}^2 + \bar{e}_{\varepsilon}^2} \quad (36)$$

Угловая высота светового вектора определяется по формуле (33) и (34)

2. Когда характерный разрез помещения проходит не по центру окна, или, когда свет проемы несимметричны относительно линии характерного разреза помещения, наибольшую сложность представляет определение проекции коэффициента светового вектора на плоскость характерного разреза. Для расчета прямой составляющей от неба можно воспользоваться разработками проф. В.В.Мешкова и проф. М.М.Гуторова, представив свет проем в виде равно яркого прямоугольника с последующим учетом

неравномерной яркости пасмурного неба МКО, либо применить метод конечных световых элементов и решать задачу с помощью ЭВМ.

Учет отраженного света при несимметричном расположении плоскости характерного разреза относительно свет проема также довольно сложен. Создание инженерного метода расчета в этом случае представляет собой отдельную научную задачу, которая может стать предметом самостоятельного исследования.

Экспериментальная проверка точности предлагаемого метода расчета базируется на экспериментальных данных, полученных на модели производственного здания под искусственным небосводом. Величины горизонтальной освещенности, средней сферической освещенности, средней полусферической освещенности и составляющих проекций светового вектора измерялись с помощью специальных насадок, соответствующих изображенным на рис.6. Показания фотоэлементов корректировались по косинусу (для плоскостной освещенности) и по спектральной чувствительности с помощью компьютерной обработки вычислительным комплексом ЛИРА, к которому датчики были подключены с помощью специального интерфейса.

Экспериментальные данные для модели с черными поверхностями ($P_{cp} = 0,045$) и с черной поверхностью кровли ($P_{cp} = 0,045$), а также данные расчетов по точному и инженерному методам приведены в таблице в диссертации. Для того чтобы можно было сравнивать данные эксперимента и расчета, полученные в результате расчета значения условных КЕСО и КЕПО были пересчитаны в КЕСО и КЕПО так, как указано выше.

Отклонения результатов точного метода от экспериментального составляют макс. 26% и мин. 2%. Максимальные отклонения имеют место в центре здания между фонарями, там, где абсолютные значения КЕСО минимальны. Под центрами фонарей отклонения меньше. Отклонения результатов расчетов по инженерному методу для КЕСО составляют

макс.14% и мин. 1%. Расхождения измеренных и рассчитанных значений КЕПО еще меньше. Следует отметить, что точность эксперимента, проведенного в конце 80-х годов, для того времени, может быть, и достаточная, в настоящее время оставляет желать лучшего. Экспериментальные методы и компьютерные расчеты стали более совершенными. Однако приведенные в диссертации табличные данные и экспериментальные графики распределения КЕО, КЕСО и КЕПО в модели помещения и их расхождения с расчетами свидетельствуют о том, что разработанный инженерный метод расчета имеет право на существование. Он значительно упрощает расчеты. Это значит, что он может быть полезным для архитекторов и инженеров-проектировщиков. Дальнейшее совершенствование инженерного метода расчета должно идти по пути нахождения более точных значений коэффициентов $K_{4\pi}$ и $K_{2\pi}$, а также путем использования компьютерных методов для повышения точности учета отраженного света при расчете пространственных характеристик светового поля в зданиях.

Методика проектирования систем естественного освещения производственных зданий с использованием пространственных характеристик светового поля показана в диссертации на примере проектирования естественного освещения Экскаваторного завода в г. Ташкенте. Здание предназначено для строительства в Средней Азии. Методика определения требуемых значений пространственных характеристик описана выше. По данным, полученным на Экскаваторном заводе в Ташкенте, эти характеристики для данной зрительной задачи составляют: $\beta = 228 \pm 6^\circ$, $\theta = 48 \pm 1^\circ$, $E_{4\pi} = 365 \pm 30 \text{лк}$, $m = 1,99 \pm 0,04$.

Фактические значения этих характеристик могут рассчитываться по точным формулам или по формулам с использованием графиков А.М.Данилюка как показано выше.

Поиск решения комбинированной системы естественного освещения ведется в две стадии: Сначала определяется площадь свет проемов,

необходимая для обеспечения требуемого уровня средней сферической освещенности. Затем изменением схемы расположения зенитных фонарей в покрытии получается наибольшее приближение угловой высоты светового вектора и контрастности освещения к требуемым значениям.

Первую стадию можно начинать с определения площади свет проемов по нормируемой величине среднего КЕО. При площади фонарей и окон, обеспечивающей величину среднего КЕО 5%, что примерно соответствует норме для данного разряда зрительных работ, средняя величина условного КЕСО, рассчитанная по предлагаемому методу, составляет 4.2%. Если включать искусственное освещение при критической освещенности, рассчитанной по этому значению, то годовая экономия электроэнергии составит 24%, по сравнению с традиционным использованием горизонтальной освещенности на рабочей поверхности. Однако видимость объекта зависит не только от уровня средней сферической освещенности, но и от отношения

$\frac{|\vec{E}|}{E_{4\pi}}$, а также от угловой высоты светового вектора θ и его азимута β .

Поэтому были рассчитаны еще три варианта расположения зенитных фонарей в покрытии. Анализ доли участия боковых и верхних свет проемов в создании направления светового вектора показал, что роль боковых свет проемов особенно велика, т.к. она очень сильно влияет на уменьшение угловой высоты светового вектора θ . Поэтому в этих вариантах высота боковых свет проемов была уменьшена до 1.2м.

Результаты расчетов $E_{4\pi}$, m и θ для всех вариантов показывают, что вариант 1 по всем указанным параметрам значительно отклоняется от требуемых значений. Остальные варианты трудно оценить визуально, т.к. один вариант может подходить ближе к требуемым значениям по $E_{4\pi}$, но зато сильно отличаться по контрастности (m) или по угловой высоте светового вектора θ , а другие варианты – наоборот. Для более точной оценки

вариантов предлагается средневзвешенный критерий взятых в расчет параметров световой среды, C_0 .

$$C_0 = \frac{K_e C_e + K_m C_m + K_\theta C_\theta}{K_e + K_m + K_\theta} \quad (37)$$

C_e, C_m, C_θ - критерии оценки по соответствующему параметру.

K_e, K_m, K_θ - коэффициенты долевого участия оцениваемых параметров, определяются по степени влияния оцениваемого параметра на производительность труда (в данном случае на зрительную работоспособность).

Критерии оценки системы по каждому варианту при имеющемся требуемом его значении определяются по формуле

$$C_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - D_{mp.})^2}{D_{mp} \sqrt{n}}} \quad (38)$$

где D_i и $D_{тр}$ – соответственно значения оцениваемой величины в каждой точке помещения и её требуемое значение.

n – количество точек в помещении, по которым производится оценка.

Для данной конкретной зрительной работы психофизическими исследованиями была установлена примерная равнозначность влияния на зрительную работоспособность $E_{4\pi}, m$ и θ , т.е. $K_e \cong K_m \cong K_\theta = 1$.

Степень влияния азимута светового вектора $K_\beta \cong 0,5$. При оценке вариантов этот фактор не учитывался. Значения азимута светового вектора больше необходимы технологам для правильной расстановки рабочих мест.

Предпочтение отдается тому варианту, где C_0 является минимальным.

Результаты расчета показали, что ни одно боковое освещение, ни одно верхнее в отдельности не могут создать такую оптимальную комбинацию параметров светового поля на рабочих местах, как комбинированное. Увеличение площади верхнего остекления и боковых проемов лишь ухудшают показатели пространственной оценки.

Наилучшим вариантом системы комбинированного освещения по сочетанию пространственных характеристик светового поля является вариант, который отличается сдвижкой фонарей в сторону боковых проемов. Это несколько увеличивает угловую высоту светового вектора, приближая её к требуемому значению.

Полученное по этому варианту сокращение площади остекления на 33.3% (в основном за счет бокового остекления) и возможность работы в дневное время без искусственного света обеспечивает значительную экономию приведенных затрат на устройство и эксплуатацию свет проемов по сравнению с первым вариантом, запроектированным традиционным способом.

Впервые разработанная методика проектирования систем естественного света по пространственным характеристикам светового поля показала эффективность перехода на эти характеристики для верхнего и комбинированного освещения. Совершенствование и отработка этого метода в будущем позволяет изменить систему нормирования и проектирования естественного освещения зданий.

Рассматриваются системы автоматического регулирования дополнительного искусственного освещения и их влияние на качество световой среды и энергии эффективность проектируемых зданий.

Оцениваются виды автоматического регулирования дополнительного искусственного освещения и их эффективность. В нашей стране до сих пор автоматическое регулирование находится на стадии экспериментального внедрения. В то же время в развитых странах автоматическое регулирование стало внедряться с середины 70-х годов повсеместно. Однако это внедрение осуществляется без достаточных теоретических предпосылок. При этом основное внимание уделяется технике регулирования. Учет архитектурно-строительных условий применения автоматического регулирования, определение его эффективности в конкретных объемно-планировочных решениях зданий остается

недостаточно разработанным. Это часто приводит к необоснованному разочарованию в системе. Несмотря на это, распространение автоматического регулирования идет быстрыми темпами. Так, например, в ФРГ 80% осветительных установок оборудовано теми или иными системами автоматического регулирования.

Зарубежные публикации показывают существенный экономический эффект от автоматически регулируемого дополнительного искусственного освещения. Наибольший эффект дает использование естественного света с автоматическим изменением дополнительной искусственной освещенности. Здесь может иметь место два типа автоматического регулирования: «дискретный» и «непрерывный». «Дискретный» заключается в автоматическом включении и отключении рядов или групп светильников в соответствии с изменением зоны с достаточной естественной освещенностью. Этот способ более простой и не требует модернизации всей системы искусственного освещения. Однако он менее эффективен, чем «непрерывный», при котором каждый из рядов светильников плавно изменяет световой поток ламп в соответствии с изменением наружной освещенности. Экономия энергии при таком регулировании зависит от уровней нормируемой искусственной освещенности, от величин КЕО в помещении и от их распределения по его площади, а также от светового климата местности, ориентации свет проемов и наличия солнцезащиты. Как отмечается в исследовании Калифорнийского Университета г. Беркли (США), эта экономия достигает 50% и более;

Сведения об экономии энергии, обеспечиваемой различными способами регулирования освещения, приведены в табличной форме в диссертации. Эти сведения были получены в результате исследований, проводившихся в Австралии и Израиле в 80-е годы XX в.

Анализ показывает, что общая экономия энергии при сочетании нескольких методов не является суммой по каждому из них. Стоимость

оборудования, применяющегося при регулировании освещения этими методами, весьма различна. С ростом стоимости электроэнергии сроки окупаемости быстро уменьшаются. Если применяются все способы регулирования, то срок окупаемости будет зависеть от площади помещения, освещаемой естественным светом. Если эта площадь составляет 60% и более от площади всего здания, то срок окупаемости будет меньше двух лет.

Подробный перечень и основные технические характеристики систем автоматического регулирования освещения на состояние начала XXI в. приводятся в публикациях под общей редакцией д.т.н., проф. Ю.Б.Айзенберга. Системы постоянно совершенствуются, и предела технического совершенствования нет.

Приводится описание и анализ одной из последних научных разработок в этой области. Это работа по заказу Федерального министерства труда и экономики ФРГ «Использование естественного света в зданиях», ведущаяся в институте Светотехники Технического университета Берлина докт. инж. А.Роземаном и дипл. инж. Я. Кржижановским под руководством директора института проф. Х.Каазе.

Один из вариантов этой разработки предполагает учет индивидуальных пожеланий пользователей. Однако он возможен в основном в небольших помещениях офисов. В больших помещениях офисов «ландшафтного типа» и в промышленных зданиях такая система возможна только для регулирования местного освещения на рабочих местах. Т.е. обычные жесткие системы автоматического регулирования в промышленных зданиях актуальности не теряют и могут обеспечить основную экономию электроэнергии на осветительные цели.

2.5. Учёт распределения яркости безоблачного неба в расчётах QQ естественного освещения зданий

Задачей настоящей работы не являлась разработка систем автоматического регулирования освещения. Поэтому эти системы рассматриваются нами только для того, чтобы разработать метод оценки таких систем в про зданиях с системами верхнего естественного света. Проект здания и система его естественного освещения оказывает большое влияние на работу автоматического регулирования в зависимости от наружного освещения и на его эффективность.

В промышленных и в некоторых общественных зданиях можно различать две группы систем верхнего естественного освещения по виду распределения естественного света в помещении. Для каждой из них необходим особый подход при устройстве и оценке автоматически регулируемой системы.

В первую группу можно объединить одноэтажные промышленные здания с системами верхнего естественного света, запроектированными с соблюдением требования СНиП о равномерности свет распределения в помещении.

Ко второй группе можно отнести производственные здания с системами верхнего естественного света, образованными ленточными фонарями, расположенными достаточно далеко друг от друга, например через пролет. В этом случае в помещении имеет место неравномерное свет распределение, которое можно допустить, согласно СНиП, только при совмещенном освещении. Такое распределение естественного света в некоторой степени похоже на свет распределение в помещениях с боковыми свет проемами.

В случае систем естественного света, относящихся к первой группе, регулирование осуществляется путем дискретного включения или

отключения групп светильников, дополняющих внутреннюю естественную освещенность до нормы. При плавном (непрерывном) регулировании дополнительное искусственное освещение изменяется плавно в зависимости от наружной освещенности. При этом освещенность в помещении всё время будет равна норме. И только в некоторый промежуток времени весной, летом и осенью освещение в помещении будет только естественным. В это время она будет выше нормы при полностью отключенном искусственном освещении.

При дискретном регулировании каждая группа включается и отключается при своем значении критической освещенности:

$$E_{кр.i} = \frac{100 \cdot E \cdot i}{e} \quad (\text{лк.}) \quad (39)$$

Здесь i – номер группы светильников, $E = \frac{E_u^{норм}}{n}$

Где n – количество таких групп.

В случае систем естественного освещения, относящихся ко второй группе, также как и при боковом освещении, в помещении имеются три зоны (рис.7)

- 1–достаточным естественным освещением;
- 2 –с дополнительным искусственным освещением;
- 3- с одним искусственным освещением (в случае глубоких помещений).

Эти зоны в многопролетных зданиях блокированного типа могут повторяться. Положение границы зоны естественного света меняется по разрезу здания в зависимости от изменения наружной освещенности. В соответствии с этим при дискретной системе автоматического регулирования происходит включение или отключение рядов светильников системы общего освещения.

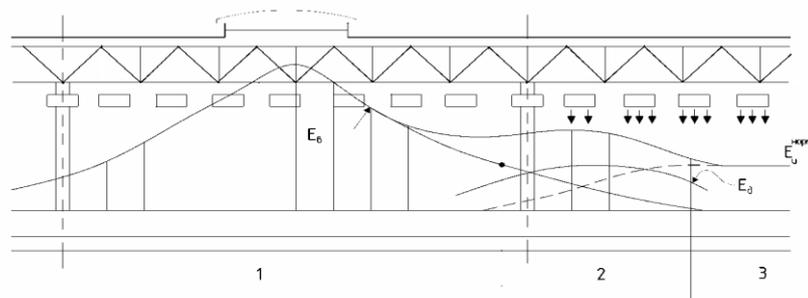


Схема автоматически управляемого совмещенного освещения промышленного здания с неравномерным распространением светораспределения от фонарей верхнего света

Рис 7. Система АРСО с неравномерным распределением естественного света

Для этого типа системы естественного света программа работы фотоавтомата, управляющего включением и отключением рядов светильников, основана на построении графика распределения КЕО по разрезу помещения. Величина КЕО на границе зоны с достаточным естественным освещением равна:

$$e_{сп.} = \frac{E_u^{норм}}{E_n} \cdot 100\% \quad (40)$$

Используя график распределения КЕО по характерному разрезу помещения и формулу (40) при различных значениях E_n , можно построить зависимость величины зоны с достаточной естественной освещенностью (l_3) от величины наружной горизонтальной освещенности (E_n). Схема показана на рис.8. На этом рисунке на величину l_3 (м) накладывается положение рядов светильников, которые в данном примере расположены через 3м параллельно окнам. Уровни срабатывания автоматов регулирования для систем естественного света первой группы (при равномерном распределении естественного света по помещению) согласно формуле (39), а также зависимость $l_3 = f(E_n)$ согласно рис.8 для систем естественного света при неравномерном свет распределении, могут быть использованы для оценки эффективности систем автоматического регулирования совмещенного освещения.

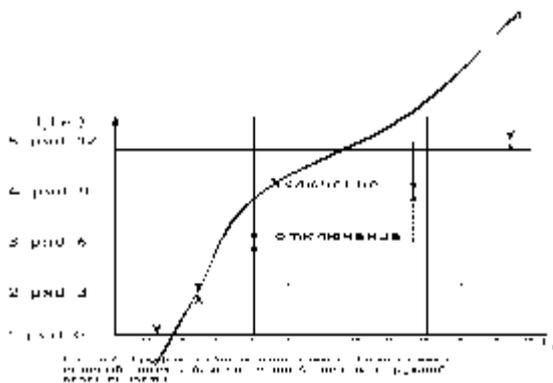


Рис.8. График зависимости зоны с достаточным естественным освещением от величины наружной освещенности

В диссертации приводятся конкретные примеры составления зависимостей, характеризующих включение и отключение групп или рядов светильников в зависимости от наружной освещенности. Эти зависимости нельзя назвать программами для настройки автоматов, хотя они и составляют важную часть таких программ. Но их можно использовать для определения экономии электроэнергии, затрачиваемой на освещение.

На конкретных примерах зданий с равномерным и неравномерным свет распределением показано, как разбивать осветительную установку на группы светильников для того, чтобы автоматическое регулирование было наиболее эффективным.

ГЛАВА III. ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ ЗА СЧЁТ ВЕРХНЕГО ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЙ

3.1. Методы оценки систем естественного освещения.

В действующих Нормах Республики СНиП естественное освещение при верхнем или верхнебоковом освещении нормируется в каждом из разрядов зрительных работ независимо от под разрядов. В то же время, например, в одном и том же IV разряде работ средней точности для нормирования искусственной освещенности имеется 4 под разряда с нормируемыми значениями искусственной освещенности при общем освещении 750, 500, 400 и 200лк. Для всех этих под разрядов нормируется одно значение среднего коэффициент естественного освещения КЕО, равное 4%. В основу нормирования положено требование, чтобы физиологическое ощущение человека при естественном освещении было не ниже, чем при искусственном. Для этого предусматривается равенство годового количества естественного и искусственного освещения. Однако существующая система нормирования противоречит этому принципу. Она либо занижает требуемые значения КЕО, что приводит к недостаточным уровням естественной освещенности в помещении в течение длительного периода времени, либо завышает их, что приводит к неоправданным затратам на устройство свет проемов, восполнение тепло потерь и ликвидацию теплопоступлений через свет проемы.

Оценка систем естественного освещения может быть произведена двумя способами: первый способ – это оценка по приведенным затратам на устройство естественного и искусственного освещения и его эксплуатацию (в рублях на кв.м. площади помещения в год); второй – оценка систем естественного света по энергии затратам на освещение, восполнение тепло

потерь через свет проемы и ликвидацию теплоступлений через них (в кг условного топлива на кв.м. площади помещения в год).

Энергетическую эффективность систем естественного освещения зданий можно оценивать по суммарным затратам тепловой и электрической энергии, переведенным в условное топливо $\omega_{усл}^{ect}$, кг/м².

В данной статье была проведена работа по оценке энергетической эффективности существующих норм естественного освещения для производственных зданий с зенитными фонарями панельного типа на примере Ташкентского экскаваторного завода. С помощью специальной программы на ЭВМ были рассчитаны энергии затраты на эксплуатацию естественного и искусственного освещения производственного здания сплошной застройки размерами 72x72м с панельными фонарями размером 1.5x6м стандартного типа в разных городах Республики. Для выбранных значений КЕО 13, 12, 10, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2,1, 0.75 и 0,5% были рассчитаны соответствующие площади остекления для фонарей с однослойным, двухслойным остеклением. Энергии затраты на искусственное освещение рассчитывались для величин нормируемой искусственной освещенности $E=1250, 1000, 750, 500, 300, 200, 150$ и 100лк. Расчеты показывают, что для любого города и для любых зрительных работ имеет место четко выраженный коэффициент пропорциональности (k_e) между величиной нормируемой искусственной освещенности и энергетически оптимальной величиной КЕО, $e = E_u^{norm} / k_e$.

Этот коэффициент зависит от разности коэффициентов теплопередачи свет прозрачной конструкции и глухого покрытия, а также от средней температуры и продолжительности отопительного периода, количества часов в год, в течение которых температура наружного воздуха превышает 31⁰С и 38⁰С и от величины времени использования искусственного освещения за год Т. Для г. Ташкента значения коэффициента пропорциональности приведены в таблице:

Значения коэффициентов k_e , с помощью которых можно определить энергетически оптимальные значения КЕО в г. Ташкенте

Количество слоев остекления	При сопротивлении теплопередаче покрытия	
	из гигиенических соображений	из соображений экономии энергии
1	116	132
2	100	123

Для других климатических условий значения k_e будут другими. Таким образом, впервые разработана методика, по которой для каждого района можно определить значения k_e , с помощью которых можно найти значения КЕО для данного разряда и под разряда зрительных работ, при котором затраты энергии на освещение будут минимальны.

В работе в табличной форме приведены нормируемые значения КЕО, при одинарном и двойном остеклении и при сопротивлении теплопередаче покрытия, принятой из соображения экономии энергии для г.Ташкента. Анализ таблицы показал, что энергетически оптимальные значения КЕО для зенитных фонарей в г. Ташкенте превышают нормируемые значения по СНиПа только для разряда Ib, т.е. для работ наивысшей точности 1250 и 1000лк, для разряда IIб, т.е. для работ очень высокой точности при малом контрасте объекта и фона $E_u^{норм} = 750\text{лк.}$, а также для разряда IIIа (работы высокой точности при малом контрасте и темном фоне, $E_u^{норм} = 500\text{лк.}$). В остальных случаях они меньше. Причем, чем ниже нормируемая освещенность при общем искусственном освещении, тем эта разница больше. Таким образом, с точки зрения экономии энергии, нормируемые значения КЕО можно уменьшить в некоторых случаях более чем в 2 раза.

Оценка системы естественного освещения по энергии затратам должна быть дополнена психофизическими исследованиями приемлемости световой среды, основанными как на опросах испытуемых лиц, так и на

расчетах эквивалентности количества эффективного освещения ($\Sigma \ln ET$) при искусственном и естественном освещении. Только после этого можно будет говорить о всестороннем обосновании норм естественного освещения с учетом местных климатических условий.

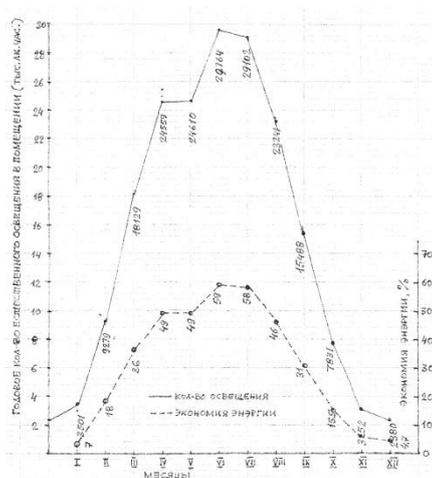
3.2. Оценка энергетической эффективности существующих норм естественного освещения для производственных зданий с зенитными свет проёмами.

Устройство свет оводов, их расположение в конструкциях зданий, расчет КЕО при применении свет оводов в помещениях подробно рассмотрены в публикациях автора и изложены в диссертации, в которой приводится также пример расчета экономии затрат электроэнергии на освещение конкретного помещения за счет применения свет оводов. Следует отметить, что при расчетах времени использования естественного освещения в помещениях со свет оводами, следует использовать графики хода суммарной естественной освещенности. Расчеты показывают, что свет оводы, особенно малого диаметра, создают на рабочей поверхности небольшие значения среднего КЕО. Например, при $КЕО = 0.45\%$ и при нормируемой искусственной освещенности 300лк величина критической освещенности составляет 67000лк. Эта величина больше, чем максимальная величина наружной суммарной естественной освещенности в Ташкенте в июле в 12 часов дня. Это значит, что эффект может быть достигнут только при непрерывном АРСО.

Расчет экономии электроэнергии за счет применения свет оводов при непрерывном АРСО проведен по графикам хода суммарной наружной освещенности для г.Ташкента. Как было показано ранее, эта экономия соответствует годовому количеству естественного освещения в границах рабочего времени. Для рассматриваемого примера конторского помещения

– с 10 до 18 часов. В рассмотренном примере экономия энергии за счет применения свет оводов составило 31.6%. Однако основное достоинство системы заключается в том, что в помещение будет поставляться хотя и канализованный, но естественный свет, имеющий непрерывный спектр и динамику, соответствующую динамике наружной освещенности.

На рис.3 приведен график изменения экономии энергии по месяцам года для рассмотренного примера в г.Ташкенте. В декабре она составляет всего 4.7%, тогда, как в июне и в июле экономия составляет около 60%.



Годовое
количество
Месяцы
естественного
освещения в
помещении
(тыс. лк. час.)

Рис. 3 График изменения экономии энергии по месяцам года

Таким образом, исследования показали, что классические математические выражения, полученные американскими учеными П.Муном и Д.Спенсер для определения естественной освещенности в помещениях с прямоугольными свет проемами, создают трудности для ввода данных со строительных чертежей (планов и разрезов). Поэтому были получены точные выражения для определения естественной освещенности, позволяющие для ввода данных пользоваться такими чертежами. Разработанные формулы позволяют вести точный расчет прямой составляющей КЕО при любом конхоидальном распределении яркости по небосводу. Экономия энергии за счет использования верхнего естественного освещения зданий достигается в основном за счет экономии электроэнергии на искусственное освещение путем устройства фонарей

естественного света в покрытии. Разработанная в работы методика определения энергии затрат при автоматическом регулировании дополнительного искусственного освещения позволяет определить для любых климатических условий, при каких соотношениях значений нормируемой искусственной освещенности и КЕО автоматическое регулирование будет наиболее эффективным. Расчеты показали, что во всех районах, независимо от климатических условий максимум экономии достигается при постоянном соотношении $E_u^{норм} / e = 238$. Эта величина может несколько уточняться в дальнейшем, но главный вывод заключается в том, что такое постоянное соотношение существует. Это позволяет соответствующим образом проектировать систему свет проемов верхнего света в зависимости от вида зрительной работы в здании.

3.3. Эффективность применения автоматически регулируемого совмещенного освещения в производственных зданиях с равномерным верхним естественным освещением.

Эффективность применения автоматически регулируемого совмещенного освещения (АРСО) в производственных зданиях с равномерным верхним естественным освещением рассматривается на примере тех же городов в различных климатических зонах Республики. Годовое количество искусственного освещения при автоматическом регулировании совмещенного освещения (АРСО) дискретного типа определяется как разность количества освещения за год в бес фонарном здании и суммы произведений времени использования естественного света для каждой из групп светильников на уровень искусственной освещенности, создаваемой этой группой.

$$A = E_u^{норм} \cdot T - 21 \sum_{i=1}^n E_i \sum_{j=1}^{12} T_{E,ij} \quad (\text{ЛК} \cdot \text{ч}), (1)$$

Здесь T – количество часов работы за год;

E_u^{norm} – нормируемый уровень искусственной освещенности, лк;

E_i^{norm} – критическая освещенность, лк, для i -ой группы светильников;

$E_u^{norm} T E_{i,j}$ – время использования естественного света в j -ый месяц для i -ой группы светильников.

$E_u^{norm} 21$ – количество рабочих дней в месяце

E_u^{norm} При плавном (непрерывном) АРСО количество искусственного освещения в помещении определяется как разность количества искусственного освещения в бес фонарном здании и количества естественного освещения в здании с данной системой верхних свет проемов.

$$A = E_u^{norm} \cdot T - 21 \sum_{j=1}^{12} \int_{T_1}^{T_2} E(t)_j dt \quad (\text{лк} \cdot \text{ч}); (2)$$

E_u^{norm} Функции T и $E(t)$ формализованы и дают возможность автоматизировать расчет экономии электроэнергии за счет АРСО при равномерном распределении естественного света для анализа большого количества помещений с различной площадью верхних свет проемов, т.е. при различных значениях среднего КЕО для разных условий светового климата.

E_u^{norm} Т.к. энергии затраты пропорциональны годовому количеству искусственного освещения, в дальнейшем мы будем использовать эту характеристику, когда речь будет идти об экономии электроэнергии на освещение.

E_u^{norm} Возникает вопрос, при каком соотношении E_u^{norm} и КЕО в зданиях с равномерным естественным освещением будет достигнута максимальная экономия электроэнергии на освещение при использовании дискретной АРСО по сравнению с ручным включением и отключением искусственного света (обычное освещение).

$E_u^{норм}$ Для ответа на этот вопрос были построены графики зависимости экономии электроэнергии от величины КЕО для значений $E_u^{норм}$ 1000лк, 750лк, 400лк и 200лк в рассматриваемых городах (рис.1). Графики показали, что максимум экономии при применении дискретного регулирования для каждого значения $E_u^{норм}$ имеет место при одних и тех же величинах КЕО в разных районах независимо от светового климата местности. Так, при $E_u^{норм} = 1000$ лк максимум экономии достигается при КЕО = 4.2%, 750лк – 3.15%. 400лк -1.68%, 200лк – 0.84%. При этом остается постоянным отношение $E_u^{норм} / e = 238$.

$E_u^{норм}$ В таблице приведены значения максимальной экономии электроэнергии, которую можно получить при соотношении E и КЕО, равном 238.

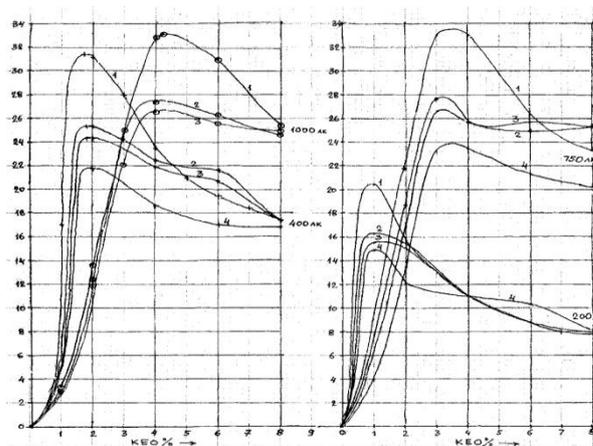
$E_u^{норм}$ Экономия ЭЭ в разных городах

Города	Нормируемая освещенность, лк			
	1000	750	400	200
Ташкент	32,9%	33,6%	31,4%	20,4%
Киев	25,4%	27,6%	25,4%	16,3%
Москва	26,7%	26,8%	24,4%	15,5%

Как видно из таблицы, наибольшая экономия достигается при $E_{и}^{норм} = 750$ лк. Эта закономерность имеет место во всех регионах СНГ, как на севере, так и на юге. Как показывают расчеты, система непрерывного регулирования дополнительного искусственного освещения намного эффективнее дискретной. Кроме того, непрерывное APCO автоматически компенсирует лишние запасы в расчетах. Т.е. при расчетах искусственного освещения можно отказаться от коэффициента запаса. При этом

максимальная экономия достигается при новых лампах, и будет уменьшаться по мере их старения.

Экономия ЭЭ
при дискретном
АРСО по
сравнению с
обычным ИО, %



1. Ташкент 2.Киев 3.Москва

Рис.1 Графики зависимости экономии ЭЭ от величины КЕО при применении дискретного АРСО по сравнению с обычным ИО

3.4. Примеры оценки энергии эффективности осветительных установок в зданиях с различными системами свет проёмов

Примеры оценки эффективности осветительных установок в зданиях с различными системами свет проёмов показывают, что даже в условиях г. Ташкента при автоматическом регулировании дополнительного искусственного освещения системы с равномерным распределением фонарей в покрытии и с устройством ленточных фонарей – надстроек системы BRS с односторонним остеклением (рис.2), обеспечивающем неравномерное свет распределение по характерному разрезу помещения и естественную вытяжную вентиляцию, вторая система может быть более эффективной с точки зрения экономии энергии на её эксплуатацию. В рассматриваемом примере расход условного топлива на освещение 1 кв.м

здания при неравномерном свет распределении на 14% ниже, чем при равномерном.

В работы рассматривается применение полых трубчатых свет оводов для естественного освещения зданий и оценивается их эффективность с точки зрения экономии энергии. Полые свет оводы впервые были разработаны учеными ВНИСИ Ю.Б.Айзенбергом, В.М.Пятигорским, А.А.Коробко и др.

Они создали методики расчета освещенности от щелевых свет оводов, где свет попадает в помещение через прозрачную щель в трубе, покрытой внутри высоко отражающим зеркальным покрытием. В эти годы началось интенсивное использование свет оводов для искусственного освещения цехов промышленных предприятий. Были разработаны серийные осветительные установки, например серия КОУ. Они позволили резко снизить количество источников света в цехах и затраты на кондиционирование воздуха для отбора тепла, выделяемого источниками света.

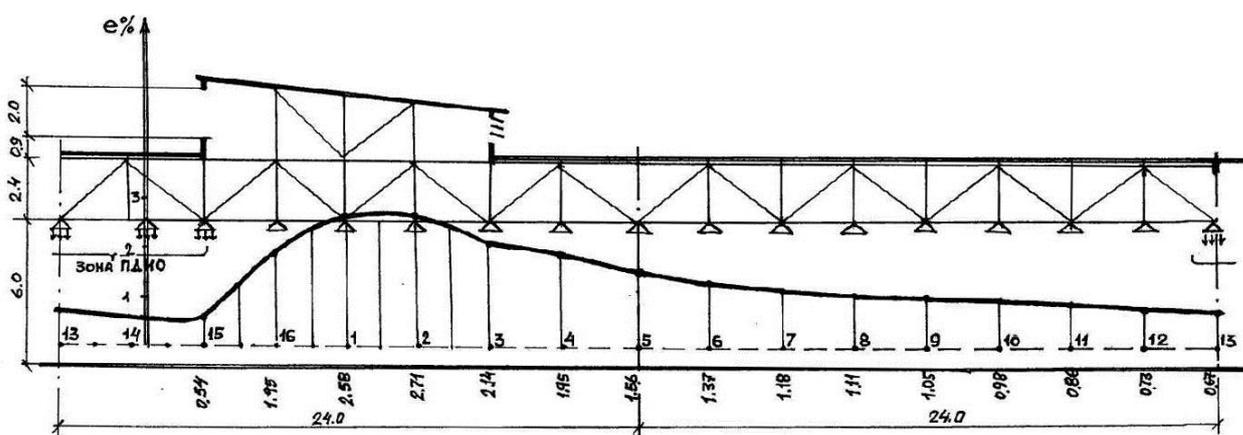


Рис.2. Пример здания с неравномерным светораспределением, образованным фонарями-надстройками типа BRS

В 90-е годы производство КОУ прекратилось и до настоящего времени еще не восстановлено. На Западе (Великобритания, Италия, Канада, США) использование полых трубчатых свет оводов развивается в больших масштабах. При этом началось использование этих устройств для естественного освещения зданий.

Свет оводы позволяют принимать естественный свет на крыше или на стенах зданий и транспортировать его с минимальными потерями в глубину здания, например на нижние этажи, или в подвал, проводить свет через чердачное пространство, обходить коммуникации и трубопроводы, освещать естественным светом станции и туннели метро мелкого заложения. При этом сохраняются многие положительные качества природного освещения. В отличие от обычных свет проемов свет оводы не создают тепло потерь в помещении и препятствуют теплопоступлениям в летнее время. Таким образом, они экономят энергию на отопление, вентиляцию и охлаждение помещений. Но их главное экономическое достоинство – снижение энергии затрат на электрическое освещение помещений благодаря использованию естественного света там, где без свет оводов естественное освещение невозможно.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ВЫВОДЫ.

1. Исследования показали, что классические математические выражения, полученные американскими учеными П.Муном и Д.Спенсер для определения естественной освещенности в помещениях с прямоугольными свет проемами, создают трудности для ввода данных со строительных чертежей (планов и разрезов). Поэтому были получены точные выражения для определения естественной освещенности, позволяющие для ввода данных пользоваться такими чертежами. Разработанные формулы позволяют вести точный расчет прямой составляющей КЕО при любом конхоидальном распределении яркости по небосводу.

2. Методика определения перехода от ясного неба к пасмурному через соотношение суммарной и диффузной горизонтальной освещенности позволяет включить в систему учёта светового климата среднестатистическое распределение яркости в конкретном районе строительства. Методика учета распределения яркости среднестатистического неба применима для расчетов времени использования естественного света при определении энергетической эффективности систем естественного освещения зданий. Однако полученные данные позволяют сделать предположение, что при достаточном обосновании в некоторых климатических районах возможно и при сравнительных расчетах КЕО отойти от допущения о пасмурном небе МКО и возвратиться к равно яркому небу, особенно для систем верхнего естественного света. Расчеты, проведенные для светового климата Ташкента, показывают, что это не снизит точность расчетов, но значительно упростят их, приблизит результаты к действительности и увеличит градостроительные и архитектурные возможности проектировщиков.

3. Предложен и научно обоснован переход к проектированию естественного освещения зданий по пространственным характеристикам

светового поля. С этой целью в диссертации разработаны точные формулы для расчета пространственных характеристик светового поля при естественном освещении от свет проемов прямоугольной формы при конхoidalном распределении яркости по небосводу. Они позволили путем их анализа прийти к выводу о том, что величины средней сферической и средней полусферической освещенности, а также величину модуля светового вектора, его угловой высоты и азимута можно рассчитывать приближенно инженерными методами с использованием графиков А.М.Данилюка. Это очень упрощает проектирование, делает его доступным для оперативной оценки проектных решений инженерами-строителями и архитекторами.

Для того чтобы учитывать влияние отраженного света от внутренних поверхностей помещения можно использовать ту же методику, что и при расчетах КЕО по СНиП при верхнем освещении. Для этого предложена таблица значений коэффициента ρ , учитывающего отраженный свет. При этом в отличие от таблицы СНиП, где даются значения ρ для всего помещения, значения ρ приводятся для расчетных точек помещения. Это позволяет учитывать значительное увеличение доли отраженного света вблизи стен. Значения коэффициентов ρ должны уточняться в дальнейших исследованиях.

4. Традиционное представление относительных величин пространственных характеристик светового поля (КЕСО, КЕПО, КЕЦО) неприменимо в проектировании естественного освещения. Единицы, предлагаемые автором - условные КЕСО, КЕПО, КЕЦО, являющиеся отношениями пространственных характеристик к наружной горизонтальной освещенности под открытым небом, позволяют связать эти единицы с относительной величиной модуля светового вектора и с КЕО в единую систему, удобную для проектирования. Кроме того, это позволяет использовать данные по световому климату различных районов строительства для определения энергетической эффективности систем

естественного света, запроектированных по пространственным характеристикам светового поля.

5. Методика определения требуемых значений пространственных характеристик светового поля, а также контрастности освещения и направления светового вектора, предложенная автором, позволяет перейти к нормированию естественного освещения по пространственным характеристикам. Это дает возможность снизить требуемые уровни горизонтальной освещенности при улучшении видимости объектов различения. Следовательно, это позволяет значительно экономить энергию на осветительные цели. Кроме того, в дальнейшем это позволит перейти от двойного нормирования естественного освещения для бокового и верхнего освещения к единому нормированию.

6. Предложенный метод проектирования системы естественного освещения зданий с верхним и комбинированным освещением, рассмотренный на конкретном примере, Экскаваторном заводе в г. Ташкенте является шагом в направлении использования теории светового поля для проектирования систем естественного освещения зданий. Совершенствование метода, его упрощение позволят в дальнейшем более широко применять его в практике проектирования.

7. Экономия энергии за счет использования верхнего естественного освещения зданий достигается в основном за счет экономии электроэнергии на искусственное освещение путем устройства фонарей естественного света в покрытии. В то же время через остекление происходят повышенные потери тепла зимой и значительные теплопоступления летом. Это требует дополнительных расходов энергии на отопление, вентиляцию и охлаждение. Для сравнения различных систем верхнего естественного освещения хорошо подходит методика НИИСФ. Эта методика была дополнена автором формализацией расчета времени использования естественного света, которая позволяет с достаточной

степенью точности вести расчеты с помощью ЭВМ и оценивать большое количество вариантов. Для этой цели была разработана программа ZATEN.

8. Проверка энергии эффективности Норм естественного освещения показала, что, например, для г. Ташкента. Энергетически оптимальными могут считаться КЕО только для разрядов зрительных работ 16, Пб, и IIIa. Для остальных разрядов и под разрядов с точки зрения энергии эффективности нормируемые значения КЕО должны быть уменьшены, причем в некоторых случаях - более, чем в 2 раза. Эти значения рассчитаны и приведены в таблице. Эта же методика позволяет провести такое нормирование и для других свет климатических районов.

9. Разработанная в диссертации методика определения энергии затрат при автоматическом регулировании дополнительного искусственного освещения позволяет определить для любых климатических условий, при каких соотношениях значений нормируемой искусственной освещенности и КЕО автоматическое регулирование будет наиболее эффективным. Расчеты показали, что во всех районах, независимо от климатических условий максимум экономии достигается при постоянном соотношении $\epsilon = 238$. Эта величина может несколько уточняться в дальнейшем, но главный вывод заключается в том, что такое постоянное соотношение существует. Это позволяет соответствующим образом проектировать систему свет проемов верхнего света в зависимости от вида зрительной работы в здании.

10. В диссертации рассмотрены примеры проектирования систем естественного освещения зданий, которые показали, что при наличии АРСО можно отказаться от нормативного принципа равномерности распределения естественного света в помещениях с верхними свет проемами. При этом системы с неравномерным свет распределением могут оказаться более экономичными в том числе и с точки зрения экономии энергии на освещение. В рассмотренном примере эта экономия составляет 14%.

11. Предложенный автором метод расчета КЕО от свет оводов позволяет определять необходимое количество этих устройств для освещения помещений. При этом КЕО учитывает, как диффузный свет неба, так и прямой солнечный свет. Поэтому в расчетах времени использования естественного света необходимо использовать данные о ходе не диффузной, а суммарной наружной естественной освещенности. Расчеты показали, что наибольшую эффективность дают свет оводы в сочетании с плавным АРСО. В рассмотренном примере экономия энергии только на электроосвещение составляет в июне и июле 59 - 58%, в марте и сентябре — соответственно 36 и 31%. В декабре и январе эта экономия минимальна - 4.7 -3.5%. Но главным достоинством является то, что в помещения, в которых не могут быть устроены обычные системы естественного света, будет доставляться естественный свет со всеми его основными преимуществами.

В заключение следует подчеркнуть, что данная диссертация открывает новое поле деятельности для молодых ученых по совершенствованию нормирования, расчета и проектирования естественного света в зданиях с системами верхнего естественного света

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУР

1. Конституции Республики Узбекистан
2. Ўзбекистон Республикасининг “Энергиядан оқилона фойдаланиш тўғрисида”ги қонуни.
3. Ўзбекистон Республикаси шаҳар қурилиш кодекси.
4. “Ўзбекистон Республикасида архитектура ва шаҳар қурилишини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги Президент И.А.Каримов Фармони.15.09.2009 йил.
5. “Ижтимоий ва фуқаро объектларини лойиҳалаш ва қуришда тегишли тартиб ўрнатиш чора-тадбирлари тўғрисида” Президент И.А.Каримов Қарори. 2012 йил.
6. Указа Президента Республики Узбекистан И. Каримова, “О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии” определяет важность и перспективность использования для нашей страны возобновляемых источников энергии”. 1 марта 2013 года.
7. Электр ва иссиқлик энергиясидан фойдаланиш қоидаларини тасдиқлаш (Ўзбекистон Республикаси қонун ҳужжатлари тўплами 2012 й., 44-сон,507-модда).
8. Ёқилғи энергетик ресурсларни тежаш комиссияси таркибини тасдиқлаш тўғрисида(Ўзбекистон Республикаси Қонун ҳужжатлари тўплами, 2005 й., 8-сон, 67-модда).
9. “Жаҳон молиявий-иқтисодий инқирози, Ўзбекистон шароитида уни бартараф этишнинг йўллари ва чоралари.” И.А.Каримов Т., “Узбекистан”, март 2009 й.
10. Архитектура гражданских и промышленных зданий. Том II. Основы проектирования. Под общей редакцией д.т.н. В.М.Предтеченского. Учебник, М., Стройиздат, 1976.

11. Кондратенков А.Н., Соловьёв А.К., Шубин Л.Ф. Гл.Х1 «Естественное освещение». С.169 - 195. 22.68 пл., илл.
12. Александров Ю.П., Марантиди И.Н., Соловьёв А.К. Стецкий С.В.Проектирование свет прозрачных конструкций и естественного освещения зданий. Учебное пособие. М. 1984. С.3 - 114. 7.25 пл., илл.
13. Блази В., Соловьёв А.К. Справочник проектировщика. Строительная физика. Учебное пособие, М. «Техно сфера», 2005. Дополнение. Строительная светотехника-естественное освещение. С.476 - 533. 33.5 пл., илл.
14. Справочная книга по светотехнике. Под редакцией д.т.н., проф. Ю.Б.Айзенберга. Издание 3-е, переработанное и дополненное. Соловьёв А.К. Раздел XVIII. «Естественное освещение зданий». М. «Знак». 2006. С.9 - 940. 121.5 пл., илл.
15. СНиП 23-05-95*. «Естественное и искусственное освещение». Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно- коммунальному комплексу (Госстрой России). М. 2003.
16. СНиП 23-102-2003. «Естественное освещение зданий». Свод правил по проектированию и строительству. М.2005.
17. НИИСФ Госстроя СССР. Пособие по расчету и проектированию естественного, искусственного и совмещенного освещения (кСНиП П-4-79). Стройиздат. М. 1985,-382 с.
18. Глаголева Т.А. Естественное освещение промышленных зданий. М. Издательство ВЦСПС, Профиздат, 1961,-88с.
19. Данилюк А.М. Расчет естественного освещения. М.Стройиздат, 1941,-142 с.
20. Дарула С., Киттлер Р. Метод расчета естественного освещения и современные тенденции оценки естественного света. Светотехника. 2006. №1.
21. Бахарев Д.В. Естественное световое поле в помещении как оптическое изображение. Светотехника. 1992. №4.

22. Гусев Н.М., Киреев Н.Н. Освещение промышленных зданий. М. Стройиздат. 1968г, с. 1615. W.Tubbesing. Die Beleuchtung eines neuen Forschungsgebäudes in Muenchen. Lichttechnik, №5. 1970, s.25 7-261.
23. Гусев Н.М., Федосихин В.С. Метод определения эффективности системы естественного освещения цехов с повышенными тепловыделениями. Промышленное строительство. 1974. №7.
24. Гусев Н.М. Основы строительной физики. Учебник для вузов. М.Стройиздат. 1975.
25. Архитектурная физика. Под ред. Н.В.Оболенского. М. Стройиздат. 1997.
26. Завьялов Е.М. Совершенствование систем естественного освещения производственных зданий метизной промышленности (на основе пространственных характеристик светового поля). Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 1989.
27. Гусев Н.М., Эриванцев И.Н. Повышение свет активности окон и фонарей зданий. М. Стройиздат. 1976. 104 с.
28. Бахарев Д.В. Освещенность от неба конхoidalной яркости. Светотехника. 1989. №9.
29. Нуретдинов Х.Н. Уточненный инженерный метод расчета естественного освещения помещений с учетом неравномерной яркости небосвода. Гелиотехника №3. Ташкент. 1976.
30. Соловьев А.К. Оценка световой среды производственных помещений в условиях ясного неба. Светотехника №7. 1987.
31. Киреев Н.Н. Расчет естественного свечения помещений при ясном небе. Светотехника №7. М.1968.
32. Киреев Н.Н. Расчет естественного освещения производственных зданий с учетом солнечности климата. Промышленное строительство. №1. М.1970.

33. Оболенский Н.В. Учет прямого солнечного света при проектировании зданий в южных районах. Промышленное строительство. №1. М.1965.
34. Кучкаров Р.А. Оптимизация размеров свет проемов в условиях ясного неба. Диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук. М.1984.
35. Нуретдинов Х.Н. Расчет показателей естественного освещения помещений на основе зональных представлений. Гелиотехника №7. Ташкент. 1977.
36. Соловьев А.К. Теория светового поля и улучшение условий зрительной работы с объемными объектами различия. В kh.ACADEMIA. Архитектура и строительство. Российская Академия архитектуры и строительных наук. №5. М.2009.
37. Нуретдинов Х.Н. Пространственная оценка естественного освещения. Ташкент: Узбекистан. 1982.
38. Нуретдинов Х.Н. Пространственные критерии оценки естественного освещения при проектировании зданий. Гелиотехника №6. Ташкент. 1977.
39. Иванченко В.Т. Оценка естественного освещения зданий по качественным характеристикам светового поля. — Диссканд. тех.наук. М. 197,7.
40. Егорченков В.А., Соловьев А.К. Проектирование систем естественного освещения промышленных зданий с использованием пространственных характеристик световой среды. Промышленное строительство №7. М.1983.
41. Егорченков В.А. Эффективность систем комбинированного естественного освещения производственных зданий и ее оценка с использованием пространственных характеристик светового поля. - Дисс.канд. тех. наук. М.1982.
42. Хамидов К.А. Совершенствование естественного освещения в производственных зданиях с использованием пространственных

характеристик светового поля (на примере предприятий швейной промышленности): Дисс.канд.техн.наук. М. 1988.

43. Кондратенков А.Н., Соловьев А.К., Хамидов К.А. Оценка световой среды производственных помещений по характеристикам светового поля. // Светотехника. 1987. №4.

44. Соловьёв А.К. Эффективность применения автоматически регулируемого совмещенного освещения в производственных зданиях с равномерным верхним естественным освещением. // Светотехника, 2000, №3.

45. Нуретдинов Х.Н. Пространственная оценка естественногоосвещения при проектировании зданий. Дис.докт, техн. Наук,1. Ташкент, 1979.

46. ҚМҚ 2.01.01-94 Лойихалаш учун иклимий ва физикавий –геологик маълумотлар. Тошкент. 1994.

47. ҚМҚ 2.01.05. -98. Табий ва сунъий ёритилганлик.

48. Маракаев Р.Ю., Нуретдинов Х.Н., КучкаровР.А. Строительная физика. Учебное пособие. Часть 1.2.3.1996., 1998., 2000., 2001.г.

49. www.lex.uz. (Ўзбекистон Республикаси Хукуматининг қарорлари миллий веб сайти).

50. www.gov.uz

51. www.yandex.ru.

52. <http://www.renderx.com>.

53. www.google.ru