

А. Д. Калихман

СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА:
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТЫ

Часть 2

ОСВЕЩЕНИЕ
ЗДАНИЙ



Учебное пособие

А. Д. Калихман

**СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА:
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТЫ**

Часть 2

**ОСВЕЩЕНИЕ
ЗДАНИЙ**

Учебное пособие

Иркутск
2011

УДК 69:53
ББК М113я73-5
К100

Рецензенты: **Б. И. Пинус**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций Иркутского государственного технического университета;
Н. П. Коновалов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Иркутского государственного технического университета

Калихман А. Д.
Строительная физика: проектирование и расчеты. Часть 2. Освещение зданий: учебное пособие / А. Д. Калихман. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. – 198 с.

Учебное пособие «Строительная физика: проектирование и расчеты» состоит из трех частей, которые называются «Тепловая защита зданий», «Освещение зданий», «Акустика и защита от шума». Содержание каждой из частей обеспечивает основными сведениями об изучаемых физических средах зданий, дает навыки проектирования и расчета важных для жизнедеятельности характеристик зданий с использованием современных материалов и технологий.

Предназначено для студентов строительных и инженерно-проектировочных специальностей, для системы переподготовки и повышения квалификации в областях проектирования и строительства зданий, обеспечения необходимых условий для формирования комфортных физических сред.

© Калихман А.Д.
© Иркутский государственный
технический университет, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Естественное и искусственное освещение	8
1.1. Физическая природа света	8
1.1.1. Фотометрия и освещенность	10
1.1.2. Восприятие света, психофизические законы, цветность	15
1.2. Естественное освещение зданий	22
1.2.1. Моделирование естественного освещения	23
1.2.2. Расчет естественного освещения	28
1.3. Искусственное освещение зданий	30
1.3.1. Источники искусственного освещения	30
1.3.2. Светильники и регулирование свет	35
1.3.3. Расчет искусственного освещения	57
2. Нормирование освещения зданий	67
2.1. Требования к уровню освещения здания	68
2.1.1. Естественное и совмещенное освещение	68
2.1.2. Искусственное освещение	72
2.2. Методы расчета и проектирования нормируемых параметров естественного освещения	79
2.2.1. Общие требования к проектированию	

естественного освещения	79
2.2.2. Методика расчета коэффициента естественного освещения	81
2.2.3. Общие требования и порядок расчета естественного освещения	94
2.2.4. Проектирование естественного освещения типовых помещений	112
2.3. Сравнение норм освещения зданий	129
3. Проектирование освещения зданий	139
3.1. Архитектурное освещение зданий	140
3.2. Искусственное освещение интерьеров зданий	151
Заключение	193
Рекомендуемая литература	195

ВВЕДЕНИЕ

Световая среда зданий, наряду с тепловой средой и комфортными параметрами микроклимата, является внутренней физической средой, изучение которой предусматривается во второй части учебного пособия «Строительная физика: проектирование и расчеты».

Проектирование световой среды зданий предусматривает в первую очередь решение задачи обеспечения условий достаточности освещения для выполнения зрительной работы. Требование достаточности освещения зданий является не только количественным, но и качественным и связано с рассмотрением систем естественного и искусственного освещения.

Свет как ощущение, вызываемое электромагнитным излучением в относительно узком интервале длин волн от 380 до 760 нм, является одним из важнейших факторов жизни и деятельности человека. Естественный или искусственный свет практически непрерывно сопровождает человека в работе и отдыхе. Суточные смены дня и ночи или ритм естественной освещенности во многом определяет образ жизни людей.

Получение разносторонних представлений о проектировании световой среды является важным для адекватного ее формирования, поскольку видимый мир – величайший источник информации. С первых лет жизни ребенка именно орган зрения в наибольшей степени способствует научению. Визуальные впечатления постепенно упорядочиваются, организуются в системы абстракций и обобщений, способствуя быстрому интеллектуальному развитию.

Свет воспринимается глазом человека, отображающим попадающее в поле зрения изображение на сетчатке, подобно фотокамере. Однако простое его сравнение с работой фотокамеры весьма ограничено. Процесс визуализации или процесс зрительного восприятия зависит главным образом от работы мозга. Восприятие прямо связано с опознанием. Прошлый опыт, вместе с данными других органов чувств, позволяет человеку связать образующееся на сетчатке глаза изображение с окружающей реальностью. Новые впечатления сравниваются с отложенными ранее в памяти, проверяются и выстраиваются либо в русле понятной логики, либо изменяя представления, сформированные на прежнем опыте. Совокупность прошлого опыта человека влияет на его восприятие. Понятно, что чем больше запас накопленных памятью образов, тем выше способность восприятия нового, поскольку шире ассоциативное и сравнительное поле объектов и явлений. Окружающее человека геометрическое пространство условно можно разделить на два, хотя и похожих, но различных. Одно – это объективное, или реальное пространство, а другое пространство создается в нашем сознании совместной работой глаза и мозга. Это пространство мы «видим», воспринимаем в нашем сознании, поэтому его называют субъективным или перцептивным (лат. *perceptio* – восприятие). Общая схема зрительного восприятия человека предполагает, что оптическая система глаза дает плоское изображение рассматриваемого пространства или объекта на сетчатке глаза. Опираясь на это изображение, в мозгу человека возникает

собственное пространство зрительного восприятия, которое и является «видимым». Это субъективное пространство зрительного восприятия существенно отличается от объективного.

Известные в теории зрительного восприятия механизмы константности обеспечивают компенсации при оптических преобразованиях изображений на сетчатке глаза. Так механизм константности формы позволяет, например, при взгляде на круг сбоку воспринимать его не как эллипс, а интерпретировать в виде круга. Искажения при оптических преобразованиях изображений, когда размер изображения предмета на сетчатке глаза будет обратно пропорционально расстоянию до него, компенсируются механизмом константности величины, как бы уменьшая видимые размеры слишком близких объектов (руки, поднесенной к глазу) и увеличивая размеры удаленных объектов. Изменяющаяся яркость сплошной поверхности большой площади, освещенной с одной стороны и зависящая от расстояния до источника, будет восприниматься однородной за счет компенсирующего механизма константности яркости.

Возвращаясь к проектированию освещения зданий, как физической световой среде, следует подчеркнуть необходимость анализа вопросов обеспечения адаптации зрительного анализатора человека по контрастной чувствительности глаза, остроте зрения, пропускной способности, оптимальности условий визуализации и общей эффективности работы органа зрения. На практике рекомендуемые или предписываемые характеристики освещенности, определяющие ее достаточность, связаны во многом с социально-экономическими и культурными факторами. Именно в этом заключаются наблюдаемые и в настоящее время расхождения нормативных требований разных стран, куда включаются также различия в привычках и ожидания пользователей, в обеспечении ресурсами, в оценках предпочтительности того или иного уровня освещенности.

Так еще в середине прошлого столетия в США ставилась задача достижения 99% - ной эффективности освещения, а в Великобритании примерно 90% - ной. Во второй половине прошлого столетия Японии удалось выйти на уровень 100% - ной эффективности освещения в производственных помещениях, превзойденный затем в США в конце столетия.

Проектирование зданий с достаточным уровнем естественного освещения функциональных пространств сопровождается обязательным анализом соответствия имеющихся в распоряжении современных строительных технологий, позволяющих реализовывать самые смелые проектные решения. Особенно очевидными кажутся сохраняющиеся до настоящего времени в России проблемы с организацией верхнего и комбинированного освещения для вновь возводимых зданий.

Рассмотрению физической природы свет, принципам фотометрии и законам освещенности посвящена первая глава, где также приведена полезная информация о восприятии света, психофизических законах восприятия, сложных вопросах определения цветности. В этой же главе дается изложение

основных изучаемых разделов моделирования и расчета естественного освещения, организации и расчета искусственного освещения.

Нормативные требования к уровню освещения зданий содержатся во второй главе. Дается анализ принятого в настоящее время подхода к регламентированию организации естественного, искусственного и совмещенного освещения, детально рассматриваются методы расчета и проектирования нормируемых параметров естественного освещения, порядка расчета коэффициентов естественного освещения, дается сравнение российских норм с европейскими.

В третьей главе сделана попытка представить современные подходы к проектированию освещения зданий.

Глава 1. Естественное и искусственное освещение

1.1. Физическая природа света

Солнце является природным источником света. Под светом подразумевают, если говорить строго, электромагнитное излучение оптической области спектра, включающее ультрафиолетовое – от 10 до 380 нм, видимое – от 380 до 760 нм и инфракрасное – от 760 нм до 1-2 мм. Раздел физики, изучающий физическую природу света, закономерности его распространения, а также явления, наблюдаемые при взаимодействии света и вещества, называется оптикой. Оптика подразделяется на геометрическую, физическую и физиологическую. Физическая оптика изучает задачи, связанные с волновой и корпускулярной природой света и световыми явлениями, такими, например, как дифракция, интерференция, поляризация. Методы геометрической оптики позволяют отвлечься от природы света при выполнении расчетов и в процессе конструирования оптических приборов – от линз очков до объективов телескопов и микроскопов. Физиологическая оптика, близкая к биофизике и психологии, изучает закономерности восприятия света человеческим глазом.

На светочувствительной поверхности человеческого глаза, называемой также сетчатой оболочкой, возникает изображение внешнего пространства, в некоторой окрестности оптической оси глаза. Сетчатая оболочка, выстилающая дно глаза, содержит два вида окончаний зрительного нерва, по форме напоминающих колбочки и палочки, чувствительные к разным условиям освещения. При высоких уровнях освещения возбуждаются колбочки, обеспечивающие цветоразличительную способность глаза. Палочки различают только контрасты черно-белого и позволяют ориентироваться при малом освещении.

При световых измерениях необходимо учитывать основную характеристику глаза, связанную с его различной чувствительностью к излучениям видимого спектра в интервале от 380 до 760 нм. Известно, что коротковолновое излучение создает впечатление фиолетового цвета, а длинноволновое – красного. При непрерывном увеличении длины волны происходит плавный переход от одного цвета к другому, поэтому можно указать только примерные границы цветовых полос:

Фиолетовый	380 – 450 нм
Синий	450 – 480 нм
Сине-зеленый	480 – 510 нм
Зеленый	510 – 550 нм
Желто-зеленый	550 – 575 нм
Желтый	575 – 585 нм
Оранжевый	585 – 620 нм
Красный	620 – 760 нм

Количественная характеристика спектральных свойств глаза определяется сложнее, поскольку равные по мощности излучения различных

участков видимого спектра оказываются разными по своему воздействию. В течение долгого времени проводились исследования спектральной чувствительности глаза, и была получена некоторая средняя кривая, характеризующая восприятие нормального глаза человека. Усредненная кривая глаза определена при поле зрения в 2° , что соответствует угловому размеру желтого пятна сетчатки. На рис.1 приведена усредненная кривая спектральной чувствительности глаза (обозначена цифрой 1), разработанная Международной комиссией по освещенности (МКО) в 1924 году, которая используется и в настоящее время. Максимум кривой, условно принимаемый за единицу, приходится на длину волны 555 нм, а при длинах волн 510 и 610 нм чувствительность падает в два раза. Спектральная чувствительность палочкового зрения (обозначена цифрой 2) характеризует работу глаза при очень малом количестве света, которого не хватает для возбуждения колбочек. Максимум этой кривой, также принятый за единицу, приходится на длину волны 507 нм, а уменьшение чувствительности палочек в два раза наблюдается около длин волн 455 и 550 нм.

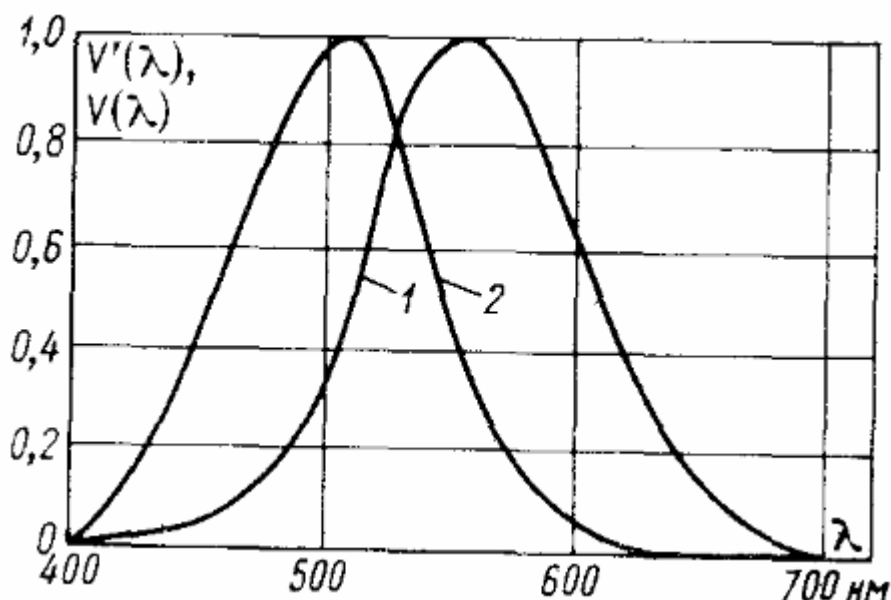


Рис. 1. Кривые относительной спектральной чувствительности глаза, разработанные МКО: 1 – кривая для дневного освещения, 2 – кривая для сумеречного освещения

Приведение максимумов кривых к единице является условным, а в действительности палочковый аппарат намного чувствительнее колбочкового и для восприятия предельно малого светового сигнала палочкам необходима примерно в пятьсот раз меньшая мощность, чем колбочкам. Большое значение имеет и переходная область уровней освещения, которая наблюдается обычно в естественных условиях после захода или перед восходом солнца, когда и палочки и колбочки функционируют одновременно. Происходящее при этом изменение спектральной чувствительности глаза ведет к ряду явлений,

например, эффекту Пуркинье. Суть его в том, что красные и синие поверхности, которые при дневном освещении кажутся примерно одинаково светлыми, в глубоких сумерках заметно отличаются: синие поверхности кажутся гораздо светлее красных, которые представляются близкими к черным.

Для фотометрии, изучающей световое воздействие излучений, важно правильно учитывать особенности, связанные со спектральной чувствительностью глаза и ее изменчивостью.

1.1.1. Фотометрия и освещенность

Принцип фотометрии. Для характеристики пространственной направленности светового излучения полезным является понятие телесного угла. Телесным или пространственным углом определяется часть пространства, ограниченная конической поверхностью, рис. 2.

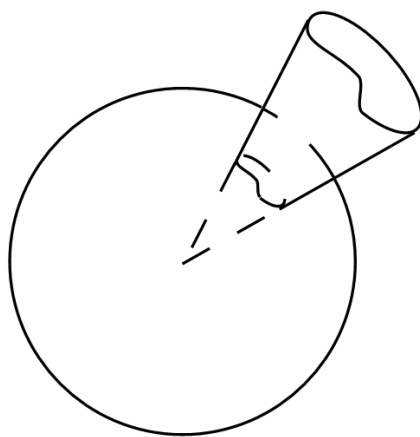


Рис. 2. Иллюстрация определения телесного угла

Выразить количественно телесный угол Ω можно отношением площади σ той части сферы с центром в вершине конуса, которая вырезается этим телесным углом, к квадрату радиуса r сферы:

$$\Omega = \frac{\sigma}{r^2} . \quad (1)$$

Телесный угол измеряется встерадианах, **ср**. Сфера образует телесный угол, равный $\Omega = 4\pi \cdot r^2 / r^2 = 4\pi$ ср, или 12.57 ср.

Световое излучение источника можно оценить по его потоку или энергии потока, выраженного посредством средней мощности излучения за время, существенно превосходящее период волны излучения. Количественно поток излучения, обозначаемый как Φ_e , характеризуется количеством энергии dQ в Вт, переносимой излучением в единицу времени через какую-либо поверхность:

$$\Phi_e = \frac{dQ}{dt} . \quad (2)$$

Распределение энергии светового излучения в пространстве можно характеризовать с использованием величины, производной от мощности излучения и называемой силой излучения I_e , Вт/ср, равной отношению потока излучения $d\Phi_e$, распространяющегося от источника внутри телесного угла, к величине $d\Omega_e$ этого телесного угла:

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega_e} . \quad (3)$$

Для зрительного ощущения подобная энергетическая характеристика сама по себе имеет ограниченный смысл. Поэтому наряду с энергетическими характеристиками светового излучения важными являются характеристики, получаемые с учетом закономерностей восприятия излучения человеческим глазом. Такие величины принято называть фотометрическими, а раздел оптики, изучающий методы и приемы измерения световой энергии на основе зрительного ощущения называется фотометрией.

Основной принцип фотометрии можно иллюстрировать с помощью рис.3.

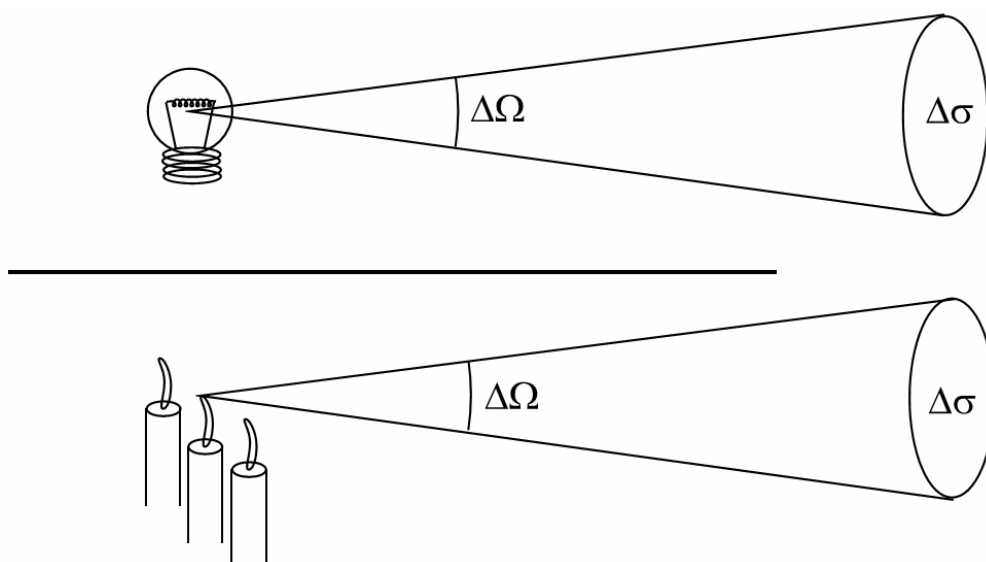


Рис. 3 Воображаемый способ сравнения силы света от лампы с эталонным источником в виде трех условных свечей, разделенных перегородкой, дающих на поверхностях площадью $\Delta\sigma$ одинаковой различимости образцы, например, печатного текста; тогда можно оценить силу света в три свечи (канделы), если текст на обеих поверхностях читается одинаково легко.

Сила излучения или сила света, как основа зрительного ощущения, определяется относительно эталонного светового источника, а единица

измерения называется кандела (candle – свеча), кд, или Международная стандартная свеча, соответствующая силе света, испускаемой с поверхности абсолютно черного тела площадью в $1/60 \text{ см}^2$, нагретого до температуры плавления платины 2042° К при нормальном атмосферном давлении. В приведенном на рис. 3 воображаемом способе сравнения источника с эталоном дается обоснование принципа фотометрии.

Самой простой физической моделью источника излучения является точечный источник, размеры которого малы в сравнении с расстоянием до места наблюдения и который посылает световой поток равномерно по всем направлениям. Следовательно, действие точечного источника света на приемник зависит только от расстояния между приемником и центром светящегося тела и не зависит от направления.

Световой поток Φ_v – это световая величина, оценивающая мощность видимого излучения по его действию на человеческий глаз, адаптированный к свету. Если силу точечного источника светового излучения обозначить как I_v , то световой поток $d\Phi_v$, заполняющий элементарный телесный угол $d\Omega_v$ будет равен:

$$d\Phi_v = I_v \cdot d\Omega_v . \quad (4)$$

Единица светового потока – люмен, лм, определяемый как световой поток, равномерно испускаемый точечным источником в телесном угле 1 ср при силе света 1 кд. Таким образом, общий световой поток, испускаемый источником силой света 1 кд, составляет 4π лм.

Важной величиной является световая эффективность излучения K , равная отношению светового потока к соответствующему потоку излучения, измеряемая в лм/Вт:

$$K = \frac{\Phi_v}{\Phi_e} . \quad (5)$$

Приемники светового излучения, такие как глаз, фотоэлемент, имеют разную чувствительность излучению на различных длинах волн. Поэтому в фотометрии используется понятие спектральной чувствительности приемника, которая определяется как отношение уровня реакции приемника к величине потока монохроматического излучения, вызывающего реакцию. Для характеристики спектральной чувствительности глаза принимается величина спектральной световой эффективности в виде отношения светового потока монохроматического излучения к соответствующему потоку излучения:

$$K(\lambda) = \frac{\Phi_v(\lambda)}{\Phi_e(\lambda)} . \quad (6)$$

Максимум световой эффективности располагается в среднем в желто-зеленой части видимого диапазона и на длине волны $\lambda = 555$ нм, что соответствует $K_{max} = 683$ лм/Вт. В максимуме чувствительность глаза обусловлена действием фоторецепторов сетчатки обоих типов: колбочек и палочек.

Для характеристики свойств протяженных источников нужно знать силу света, рассчитанную на единицу площади видимой поверхности источника. Эта величина носит термин яркость L и может быть представлена как сила исходящего от поверхности света. Единица яркости – кд/м², именуемая также нит, нт. Яркость характеризует уровень светового ощущения и определяется отношением силы света в данном направлении к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению.

$$L = \frac{dI_v}{d\sigma \cdot \cos \theta} , \quad (7)$$

где $d\sigma$ – площадь испускающей излучение поверхности, θ – угол между перпендикуляром к этому участку и направлением излучения. В литературе встречаются также следующие единицы яркости: 1 стильб = 10⁴ нт, 1 ламберт = 10⁴/π, 1 футоламберт = 3.43 нт.

Из всех световых величин яркость непосредственно связана со зрительными ощущениями, поскольку освещенность изображения предмета на сетчатке глаза пропорциональна яркости предмета. Поверхности с различной яркостью можно перечислить с включением: Солнца – 1 650 000 000 кд/м², нити лампы накаливания – 7 000 000 кд/м², полной Луны – 2500 кд/м², ясного неба в зените в полдень – 100 000 кд/м², наименьшая воспринимаемая яркость – 5 · 10⁻⁷ нт.

Освещенность – величина, характеризующая пространственное распределение падающего на освещаемую поверхность светового потока. Количественно освещенность определяется как отношение светового потока Φ_v к площади освещаемой поверхности σ . При равномерном распределении светового потока в пределах поверхности освещенность равна:

$$E = \frac{\Phi_v}{\sigma} . \quad (8)$$

Единица измерения освещенности – люкс, лк, равный освещенности, создаваемой световым потоком поверхностной плотности 1 лм/м². Освещенность в ясный солнечный день, под открытым небом на средних

широтах достигает 100 000 лк, достаточная освещенность на поверхности стола для работы с текстом равна 300 лк, средний уровень общего освещения комнаты порядка 100 лк, в ясную ночь в полнолуние под открытым небом достигает 0.1 лк.

Освещенность и сила света связаны рядом закономерностей, которые можно определить следующим образом. Пусть точечный источник света S освещает поверхность площадью σ , расположенную на расстоянии R от источника и на основе простой модели выделим следующие закономерности.

Первый закон освещенности (закон обратных квадратов). Освещенность поверхности световым потоком от точечного источника света прямо пропорциональна силе света и обратно пропорциональна квадрату расстояния до точечного источника. Очевидно, что если расстояние, например, удваивается, то площадь освещенной поверхности увеличивается вчетверо. По площади в 4 раза превышающей исходную распределяется тот же самый поток, что снижает освещенность в 4 раза. В используемых обозначениях следует:

$$E = \frac{I_v}{r^2} . \quad (9)$$

Сравнивая освещенности площадок, расположенных на расстояниях r_1 и r_2 от точечного источника, можно заключить, что:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} . \quad (10)$$

Закон обратных квадратов выполним при условии, что размеры источника пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием до освещаемой поверхности.

Второй закон освещенности (закон косинуса). Освещенность поверхности имеет наибольшее значение при перпендикулярном падении светового луча на поверхность, угол падения $\theta = 0^\circ$. В остальных случаях луч света будет освещать большую площадь, равную $\sigma/\cos\theta$. Если падающий на какую-либо поверхность световой поток равен Φ_v , освещенность этой поверхности в плоскости, перпендикулярной потоку, составит Φ_v/σ , а в наклонной плоскости составит $\Phi_v/(\sigma/\cos\theta)$, и тогда закон косинуса принимает вид:

$$E = \frac{I_v}{r^2} \cdot \cos\theta . \quad (11)$$

Третий закон освещенности (закон аддитивности) является следствием принципа суперпозиции электромагнитного излучения. Если на поверхность падают лучи нескольких источников, освещенность ее будет равна сумме освещенностей, создаваемой каждым источником в отдельности:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots \quad (12)$$

1.1.2. Восприятие света, психофизические законы, цветность

Восприятие света глазом человека относится к психофизиологии органов чувств, связанных с ощущением. Если известны структуры и физиологические механизмы работы органов чувств, то возможно выявление закономерностей ощущения и восприятия, что именно будет восприниматься, если в мозг поступают сигналы с теми или иными конкретными физическими свойствами. Ощущение поставляет своего рода «кирпичики» восприятия, из которых, если к ним привлечено внимание, «строится» и воспринимаемый нами образ. Если на сетчатку падает свет определенной интенсивности и определенной длины волны, то последовательность идентичных по величине физических переменных будет приводить к возникновению идентичных переменных восприятия. В психологической литературе часто встречается утверждение, что конечная цель восприятия – донести до сознания входной стимул. Если в поле зрения находится кошка, то конечная цель системы восприятия – создать точное изображение этой кошки и донести его до сознания. Когда поет птица, то цель восприятия – точно услышать ее пение. Если за пультом управления находится оператор, то цель восприятия – видеть уровень ртутного столбика в термометре или положение стрелки на шкале компрессора либо услышать звуковой сигнал тревоги, когда процесс выходит из-под контроля. Когда обсуждают проблему восприятия, то часто в качестве синонимов употребляют такие термины, как «анализ образа», «распознавание образа» или просто «восприятие», полагая при этом, что назначение восприятия – донести до сознания наблюдателя точное отображение состояния окружающей среды.

В действительности, назначение перцептивной системы (системы органов чувств) не в том, чтобы сформировать изображение в высших зрительных отделах мозга или представление звуков в высших отделах слуховой системы мозга. Назначение перцептивной системы – обеспечить достаточные условия для адаптивного поведения. Поэтому содержание процесса сознательного восприятия становится результатом операций, производимых наблюдателем над информацией, поставляемой мозговыми механизмами анализа, а не результат работы самих этих механизмов. Восприятие создается самим наблюдателем и не определяется параметрами одних лишь реальных физических сигналов, которые воспринимаются рецепторами органов чувств.

В психофизике восприятия одним из ключевых является определение абсолютного порога чувствительности, важного также и для проектировщиков. В этом смысле глаз может считаться обычным детектором и чтобы заметить,

например, вспышку света наблюдателю требуется порядка 6-10 квантов. На основе большого числа лабораторных экспериментов были получены такие хорошо известные психофизические законы, как закон Вебера – Фехнера и степенной закон Стивенса.

Эти законы определяют те границы, за которыми восприятие затрудняется, а задачей проектировщика является обеспечение таких условий, в которых эксплуатация оборудования пользователем не приводит к тому, что его зрительная система выходит за границы оптимума.

Полученный в результате большой экспериментальной работы, которая началась еще в XIX в. и которая составляет теперь основы современной психологии, закон Вебера – Фехнера определяет понятие «едва заметного различия», что стало и описанием относительной чувствительности. В общем виде закон можно кратко определить так: изменение физического стимула, которое может едва заметить наблюдатель, есть постоянная, равная некоторой части интенсивности стимула: $\Delta I/I = const$. Этот закон справедлив при условии, что интенсивность I никогда не выбирается ни слишком малой (близкой к абсолютному порогу чувствительности), ни слишком большой.

Для практических целей, вероятно, достаточно указать, что изменение интенсивности стимула на $\Delta I = 0.1 \cdot I$ всегда будет замечено наблюдателем. Для большинства пользователей не надо знать минимальную величину едва заметного различия. Все, что требуется при проектировании, – это выбрать такое различие стимулов, которое будет намного больше, чем соответствующая величина едва заметного различия.

Последующие работы по изучению характера психофизической функции, выполненные Стивенсом, привели к общему заключению, что она является степенной. В соответствии с этим используется степенной закон, который устанавливает зависимость величины интенсивности ощущения S от интенсивности стимула P : $S \approx P^k$, где k – показатель степени, характерный для данной сенсорики. Если $k = 1$, то ощущение изменяется прямо пропорционально величине стимула (например, кажущаяся длина линии очень близка к ее реальной длине). Если $k > 1$, то уровень ощущений возрастает гораздо быстрее, чем увеличивается интенсивность стимула. Если $k < 1$, то уровень ощущений увеличивается медленнее, чем интенсивность стимула, например, яркость белого света.

Наиболее отчетливо практическое применение идей психофизики можно проследить при описании цветового зрения. Если наблюдателю с нормальным цветовым зрением предложить классифицировать набор цветных образцов, то он, как правило, будет разделять их на группы с разным цветом: зеленым, синим, красным и т. д. Группы этих цветовых образцов можно затем расположить в виде цветового круга. Например, можно начать с синих цветов, за ними расположить сине-зеленые цветовые оттенки, затем зелено-синие, зеленые, желто-зеленые, желтые, оранжевые, красные, красносиние или пурпурные и таким образом вернуться снова к синим. Эти оттенки, однако, не

будут однородными. Некоторые красные цвета, например, будут выглядеть гораздо более «красными», чем остальные, такие, как темно-бордовые или бледно-розовые. Эти различия определяют чистоту цветов. Поэтому красные цвета можно расположить в соответствии со степенью их чистоты, причем самые чистые располагаются на границе цветового круга, а наименее чистые — в центре круга. Остальные оттенки располагаются вдоль радиуса, который можно определить как «красный радиус». Однако при данной системе классификации остается еще одна трудность: есть такие оттенки, например красного цвета, которые имеют одинаковую насыщенность, но отличаются по своей светлоте или яркости.

Известно, что цвет, – не свойство предмета, а следствие взаимодействия между излучаемой энергией со зрительной системой. По оригинальному определению Эрвина Шредингера, создателя квантовой физики, цвет есть свойство спектральных составов излучения, неразличимых человеком визуально в условиях наблюдения. Входящие в излучаемую источником света энергию длины волн изменяются в зависимости от избирательных спектральных характеристик тех предметов, от которых они отражаются или через которые проходят и попадают в зрительную систему. В свою очередь именно характеристики зрительной системы определяют ее реакцию на входную информацию.

Одной из известных цветовых систем является система Манселла. В системе Манселла каждому цвету приписывается положение в трехмерном пространстве, координатами которого являются цветовой тон, насыщенность и светлота. В соответствии с классификацией цветовых поверхностей по атласу Мансела различают три основных качества цвета, как показано на рис. 4.

1. Цветовой тон: понятие цвета, обозначаемое общепринятыми цветовыми терминами – синий, желтый, красный, зеленый и т.д., включая переходные цвета и дополнительные оттенки, обозначаемые цифрами.

2. Насыщенность: полнота или интенсивность цвета. Различается 10 (сине-зеленый) до 18 (красный) степеней насыщенности, поскольку сине-зеленый не может быть настолько же интенсивным, как красный.

3. Светлота V : субъективная мера отражательной способности, впечатление светлого или темного по шкале от 0 (абсолютно черный) до 10 (идеально белый). Значения светлоты можно перевести в коэффициент отражения: $\rho = V \cdot (V - 1) / 100$. Таким образом, светлота имеет непосредственное отношение к проектированию освещения.

Система обозначений Манселла предусматривает определение трех аспектов: цветовой тон – светлота/насыщенность, например, 5R – 4/10 означает красный цветовой тон, светлота 4, насыщенность 10.

Цвета, которые мы воспринимаем в повседневной жизни, можно считать смесью цветовых составляющих, каждая из которых характеризуется своей длиной волны. Цвет предмета – результат смешения этих составляющих, поскольку в зрении имеется некоторый механизм интеграции. Если следовать

логике, то надо рассматривать две разновидности процесса смешения цветов: субтрактивное и аддитивное смешение.

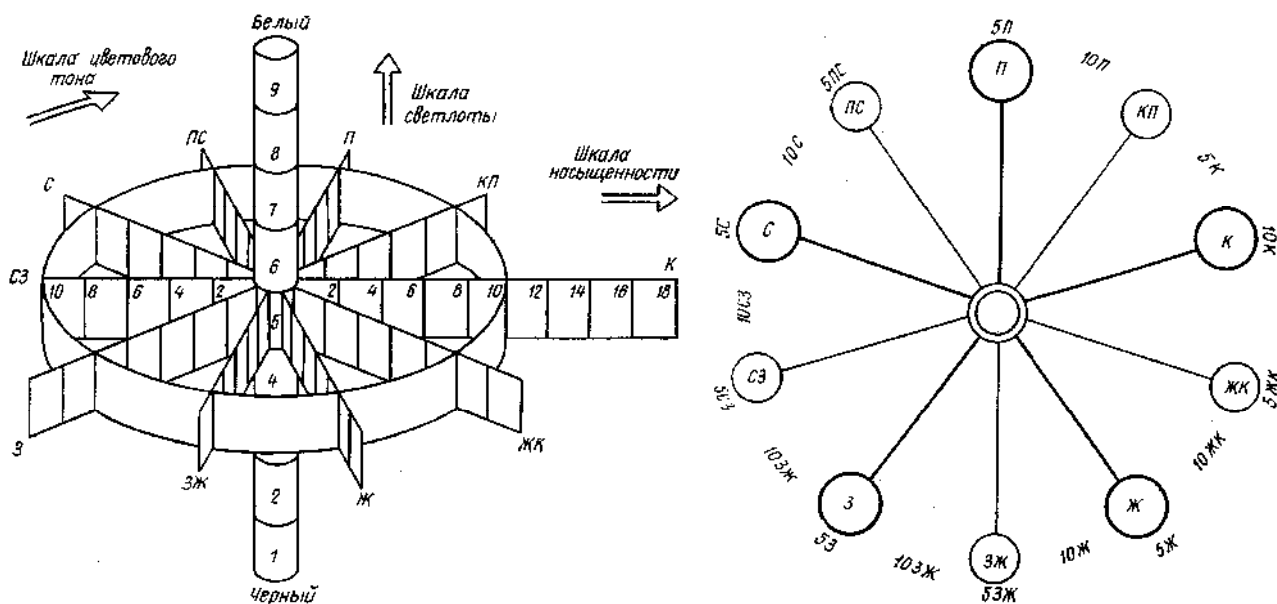


Рис. 4. Цветовое пространство системы Манселла:

К – красный, Ж – желтый, З – зеленый, С – синий, П – пурпурный, ЖК – желто-красный, СЗ – сине-зеленый, ПС – пурпурно-синий, КП – красно-пурпурный.

Субтрактивное смешение. Субтрактивный процесс – смешивание красок. Если смешать желтую и синюю краски, то получим зеленый цвет. Желтый пигмент красителя отражает свет в красном, желтом и зеленом диапазонах видимого спектра, а поглощает свет в остальных диапазонах. Синий пигмент отражает свет в синем, зеленом и фиолетовом диапазонах спектра, а в остальных поглощает. Если смешать два таких пигмента, то единственным диапазоном видимого спектра, световые лучи которого не будут поглощаться, будет зеленый. В этом случае мы и будем видеть зеленый цвет. Заметим, что смешение в этом случае фактически происходит в самом материале.

Аддитивное смешение. При аддитивном смешении или смешении окрашенных световых потоков процесс выполняется глазом наблюдателя. Пример аддитивного смешения – одновременное проецирование на одно и то же место экрана световых пучков разных цветов. Речь идет о предъявлении в непосредственной близости друг к другу небольших цветных точек или тонких линий, которые глаз не видит отдельно. Другой способ – вращение диска, имеющего несколько окрашенных секторов, с такой скоростью, что нельзя различить отдельные секторы (диск Максвелла). В указанных примерах аддитивного смешения световые лучи с разной длиной волны одновременно попадают в глаз или попадают в него последовательно с высокой частотой, в результате чего раздражаются либо одна и та же точка сетчатки, либо очень близко расположенные элементы сетчатки.

Процесс аддитивного смешения в виде трех простых законов еще в 1853 году сформулировал математик Грассман:

1. Любой цвет можно получить с помощью линейной комбинации трех основных цветов.

2. Световые лучи одного и того же цвета дают в смеси идентичный эффект независимо от их спектрального состава.

3. Если в смеси двух и большего числа составляющих одна или несколько составляющих постепенно изменяются, в то же время как остальные остаются неизменными, то цвет смеси меняется тоже постепенно.

Таким образом, законы, описанные Грассманом, позволяют обозначить любой цвет с помощью трех чисел. Однако для того чтобы сделать это основой системы спецификации цветов, некоторые условия должны быть стандартизованы, а именно основные цвета, источник освещения, а также стандартный наблюдатель, который представляет усредненные реакции большого числа испытуемых, выполнивших процедуру подборки цветов.

В 1931 МКО приняла систему, в которой подробно оговариваются все перечисленные выше требования. Любой цвет можно рассматривать как аддитивную смесь всех монохроматических составляющих, входящих в его спектр. Каждая монохроматическая составляющая в свою очередь может быть определена через три коэффициента заданных основных цветов, которые используются при ее подборе, красного, синего и зеленого: R, G, B . Трехкомпонентные коэффициенты цвета могут быть вычислены путем сложения соответствующих трехкомпонентных коэффициентов каждой монохроматической составляющей. Первый закон, сформулированный Грассманом, позволяет написать следующее соотношение между тестовым цветом U и основными цветами R, G, B :

$$u \cdot \bar{U} = r \cdot \bar{R} + g \cdot \bar{G} + b \cdot \bar{B} .$$

Тогда любой цвет можно рассматривать как вектор в трехмерном пространстве (обозначается добавлением черты над соответствующей буквой). Те количества основных цветов, которые необходимы, чтобы при смешении подобрать цвет, идентичный с тестовым, называются трехкомпонентными коэффициентами тестового цвета по отношению к данному набору основных цветов. Поэтому трехкомпонентные коэффициенты R, G, B тестового цвета U представляют собой координаты цветового вектора $u \cdot \bar{U}$ в цветовом пространстве, которое определяется тремя основными цветами.

Наличие сверхнасыщенных цветов и отрицательных значений коэффициентов функции смешения цветов привело к необходимости введения новой системы. В этой системе МКО основные цвета обозначаются X, Y, Z . Одновременно МКО определила три световых источника, относительные распределения энергии которых заданы в диапазоне видимого света. Важной особенностью системы является то, что любая вычисленная величина Y

непосредственно дает светимость источника света, либо отражательную способность предмета, либо степень поглощения света фильтром благодаря идентичности функции смещения цветов \bar{Y} функции эффективной светимости для стандартного наблюдателя. Если заданы трехкомпонентные коэффициенты, то координаты цветности x , y , z вычисляется следующим образом:

$$x = X/(X + Y + Z) , \quad y = Y/(X + Y + Z) .$$

Координаты цветности определяют тот или иной цвет в плоскости поперечного сечения цветового пространства.

График цветностей МКО построен в виде трехмерной системы координат: красноты по оси X , синевы по оси Y , зелени по оси Z . На каждой оси отложены значения от 0 до 1, причем для любого цвета $X + Y + Z = 1$. Поэтому с помощью двухмерного графика можно показать трехмерную систему, поскольку третье измерение всегда представляет собой разность $Z = 1 - (X + Y)$.

На рис. 5 показан график цветностей и его упрощенная интерпретация. Спектральные цвета расположены по периметру графика на кривой, по форме напоминающей параболу и называемой линией спектральных цветов. Неспектральные цвета размещены на прямой соединяющей концы параболы. Точка белого обозначена вблизи центра. Любая прямая, проведенная через точку белого, обозначит пару дополнительных цветов на противоположных сторонах линии спектральных цветов. На линии, проходящей между любым насыщенным цветом на периметре и точкой белого, цвет не изменяется, а меняется его насыщенность, постепенно переходя в белый. Кривые равной насыщенности можно вычертить в соответствии с кривизной линии спектральных цветов, а на графике показана одна из таких кривых.

На графике показана также линия цветовых температур по Планку, включающая возможные цвета излучения абсолютно черного тела, и отмечены некоторые цветовые температуры. Известно, что нагретое тело испускает электромагнитное излучение, спектральный состав которого зависит от температуры источника излучения. При температурах примерно до 1500°K длина волн этого излучения больше длины волн видимого участка спектра, это инфракрасное излучение, воспринимаемое как лучистое тепло. С увеличением температуры спектр излучения смещается в сторону видимого участка. При температуре около 6000°K , например, солнечная радиация, центр спектра излучения оказывается в области видимого света, поскольку весь диапазон спектра включает в себя как часть ультрафиолетового, так и часть инфракрасного участка спектра. Цвет излучения можно обозначить в соответствии с температурой излучателя или с помощью цветовой температуры в градусах К. Строго говоря, термин применим только в отношении излучения абсолютно черного тела. Излучение обычных объектов можно описать с использованием коррелированной цветовой температуры.

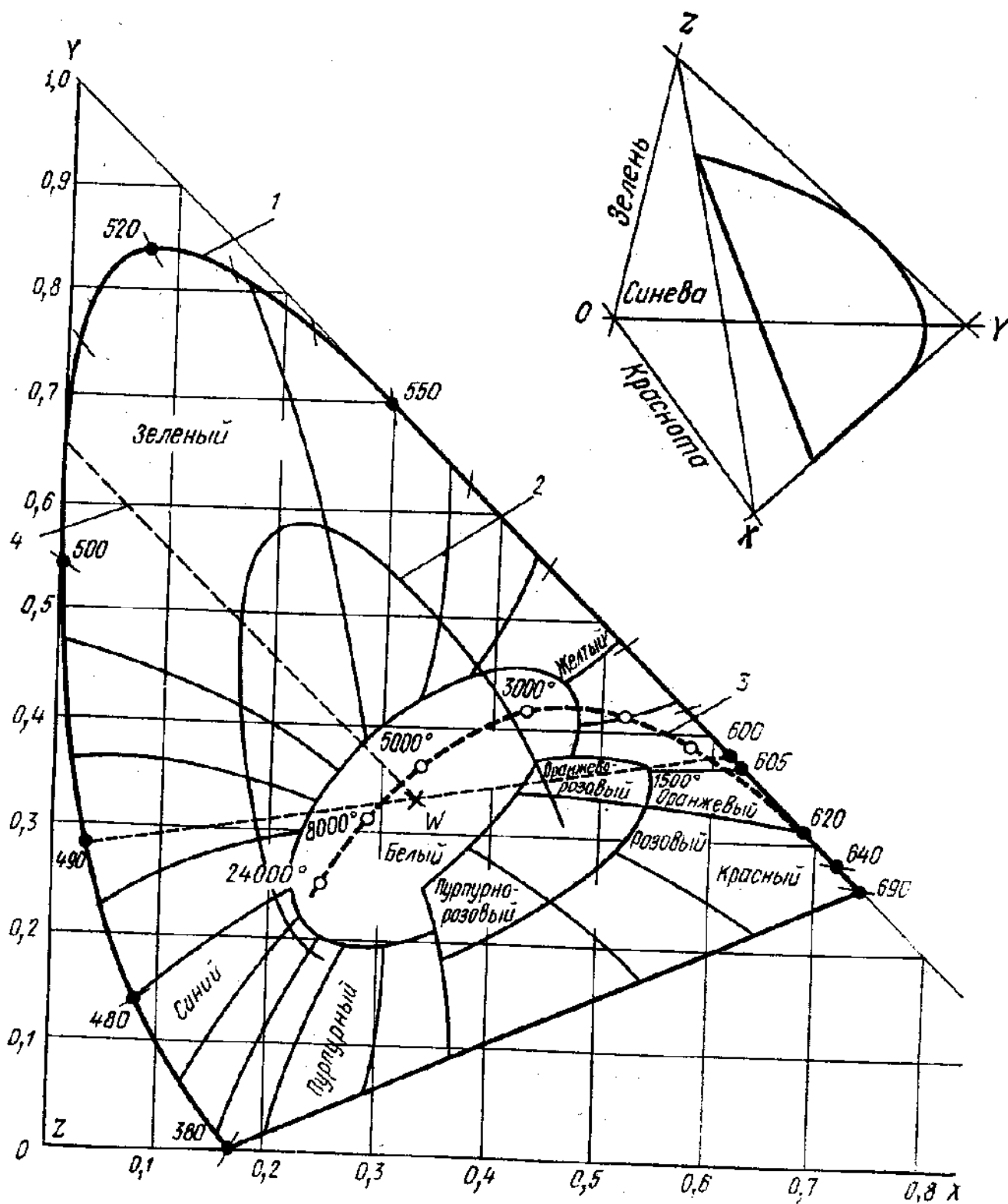


Рис. 5. График цветностей МКО и координатная система цветности:
 1 – линия спектральных цветностей, 2 – линии равной насыщенности, 3 – линия цветowych температур по Планку, 4 – линия равного цветового тона

1.2. Естественное освещение зданий

Естественное освещение, как привычный для человеческой деятельности атрибут, сложным образом связано со зданиями и их архитектурой. Под архитектурным освещением нередко подразумевают вид здания или застройки в условиях природного света. Источником природной световой энергии является солнечное излучение, которое, проходя через земную атмосферу, частично рассеивается, образуя диффузный свет неба. При отсутствии облаков прямые солнечные лучи достигают земной поверхности. Прямой и рассеянный свет, отражаясь от поверхности земли, увеличивает яркость неба, особенно у горизонта. Формирующее так называемый световой климат местности естественное освещение включает, таким образом, три составляющие: прямой солнечный свет, рассеянный или диффузный свет неба и отраженный от земной поверхности.

Дневным светом принято считать световой поток, излучаемый всей поверхностью закрытого облаками небосвода, когда облачность приводит к рассеиванию солнечного света. Солнечный свет, воспринимаемый непосредственно при отсутствии облачности, обычно не рассматривается при изучении естественного освещения, а включается в специальный раздел инсоляции и солнцезащиты зданий.

Наличие в зданиях световых проемов в виде окон и фонарей обеспечивает доступ естественного света в помещения, сохраняя для человека контакт с внешней средой, ощущение времени суток, свободу визуализации внутреннего пространства. Решение задач проектирования световых проемов зданий требует комплексного подхода с проведением оценок экономической эффективности устройства системы естественного освещения, снижения тепловой защиты и тепловой устойчивости, снижения прочности несущих конструкций. Выбор размеров, формы и расположения световых проемов должен способствовать подчеркиванию положительных и делать незаметными отрицательные стороны естественного освещения. Создаваемая проектировщиком световая среда должна соответствовать потребностям человека для условий выполнения работы и отдыха в насыщенности внутреннего пространства естественным светом, в простоте ориентации, в гармонии освещенных и затененных поверхностей. Сложной задачей является исключение прямой и отраженной блескости, в особенности в помещениях, оборудованных большим числом мониторов. Формируемая световая обстановка зависит от яркости внутренних поверхностей, дискомфорта действия слепящих ярких участков поверхностей на темном фоне, тенеобразования на объемных предметах, неравномерности распределения света в помещении.

Общие подходы к решению перечисленных задач рассматриваются в разделах, посвященных моделированию условий естественного освещения и методам расчета естественного освещения.

1.2.1. Моделирование естественного освещения

Решение проектных задач обеспечения естественного освещения во многом базируется на моделировании естественного освещения. В основе моделирования и последующего расчета лежат определенные представления и закономерности. Полезным является так называемый закон проекции телесного угла.

Из него следует, что освещенность в помещении, создаваемая небосводом с равномерной яркостью, прямо пропорциональна яркости неба и площади проекции на освещаемую поверхность телесного угла, под которым виден участок неба из данной точки помещения.

Предполагается что освещаемая поверхность горизонтальна, как видно из схемы на рис. 6. Рассматриваемая на поверхности точка М освещается малым участком полусферы dS . Силу света dI , излучаемую этим участком можно определить как $dI = L \cdot dS$, где L – яркость участка dS , кд/м². Согласно формуле (11) можно выразить освещенность в точке М через силу света:

$$dE_M = \frac{dI}{r^2} \cdot \cos \theta = \frac{L \cdot dS}{r^2} \cdot \cos \theta$$

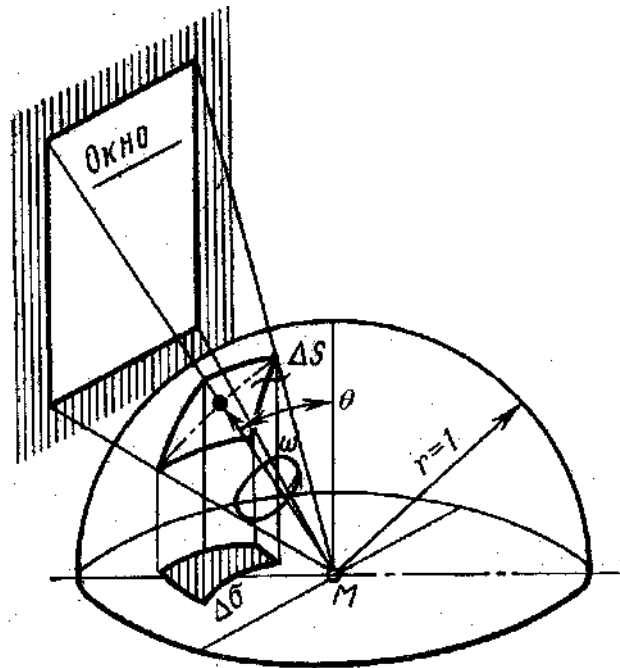


Рис. 6. Схема к представлению закона проекции телесного угла

В случае сферической светящейся поверхности с $r = 1$, $dE_M = L \cdot dS \cdot \cos \theta$. Пространственный угол ω с вершиной в точке М есть телесный угол, вырезающий на полусфере участок dS . Величина $dS \cdot \cos \theta = d\sigma$ – проекция телесного угла на горизонтальную плоскость. При равномерном

распределении яркости по полусфере, после интегрирования выражения для освещенности следует, что

$$E_M = L \cdot \sigma . \quad (13)$$

На основе этого закона разработаны графические способы расчета естественного освещения, графики I и II (графики Данилюка), предназначенные для практических расчетов.

Так называемый закон светотехнического подобия иллюстрируется на рис. 7. Из схемы видно, что различные по величине помещения и светопроемы могут иметь одну и ту же проекцию телесного угла. Следовательно, по закону проекции телесного угла в помещениях с такими светопроемами будет одинаковая освещенность. Формулировка закона: если различные светопроемы имеют одни и тот же телесный угол, то освещенность в какой-либо точке помещения не зависит от абсолютных размеров светопроемов.

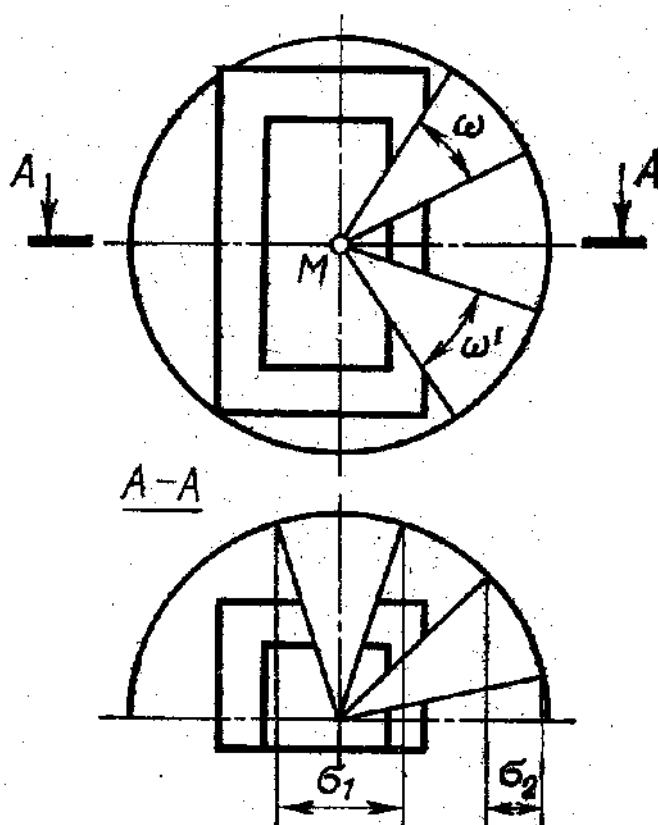


Рис. 7. Схема к представлению закона светотехнического подобия

Система естественного освещения помещений здания представляет собой один из трех возможных вариантов: боковое, верхнее и комбинированное освещение. Моделирование систем естественного освещения позволяет сделать выбор наиболее предпочтительной системы.

Боковое освещение. Боковое освещение реализуется с использованием световых проемов в виде окон и подразделяется на одно- , двух- ,

трехстороннее и круговое освещение. Одностороннее боковое освещение характеризуется выраженной направленностью световых потоков в помещении и возможностью появления теней. Ослабление теневого эффекта достигается двусторонним боковым освещением. На рис. 8 приведены примеры организации бокового освещения с различными видами окон.

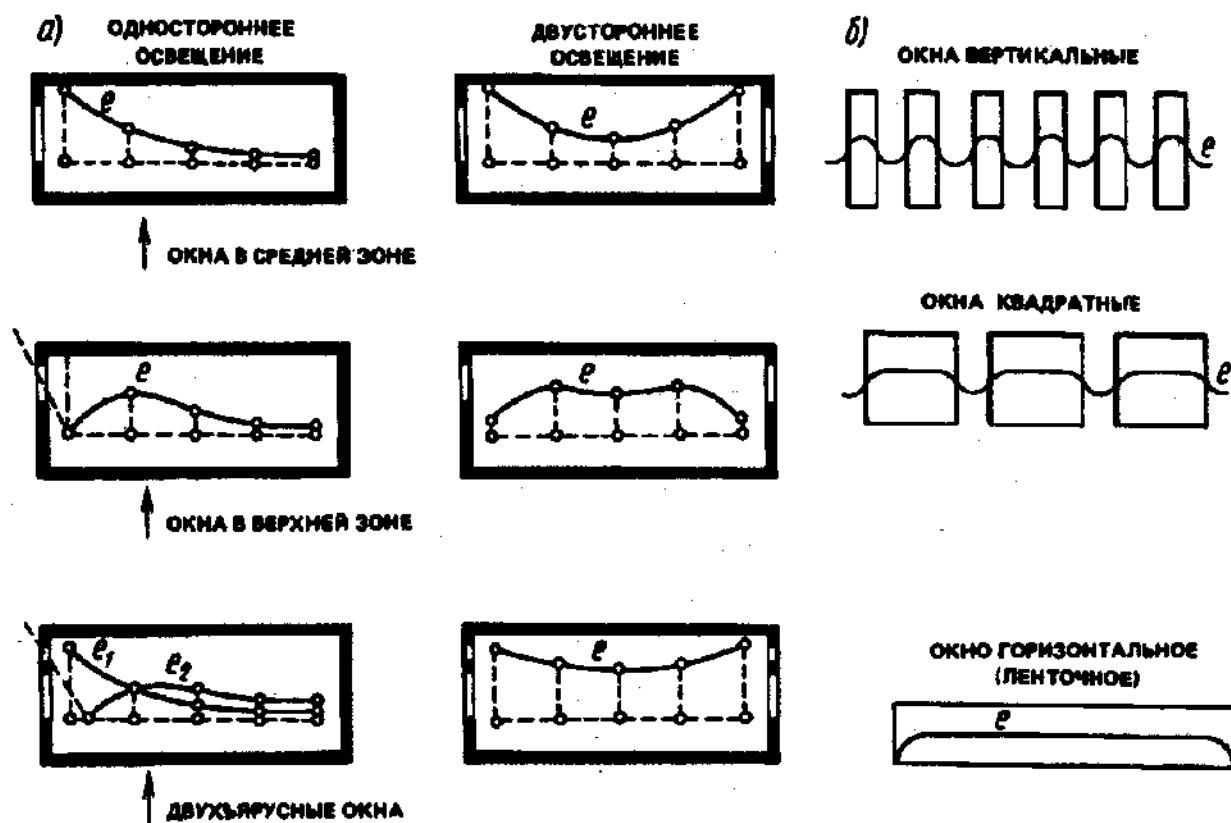


Рис. 8. Схемы организации бокового освещения:
а) размещение окон, б) виды окон

Верхнее освещение. Верхнее освещение обеспечивается световыми проемами в покрытии зданий, называемыми фонарями. Фонари обычно устраиваются в большепролетных и многопролетных зданиях, подразделяясь на зенитные, фонари-надстройки, пилообразные или шеды. Зенитные фонари подразделяются как по глубине светопроводной шахты, так на точечные и ленточные. Освещение обеспечивается за счет прямого света небосвода, отраженного света от вертикальных стенок шахт и отраженного света от пола на потолок. Фонари-надстройки подразделяются на прямоугольные и трапецевидные с двусторонним вертикальным или слабонаклонным остеклением, а также пилообразные фонари – шеды. Освещение обеспечивается отраженным светом от больших внутренних поверхностей, на которые также падает свет от прилегающих участков кровли.

Фонари можно разделить на два вида по характеру светораспределения в помещении. К первому виду относят фонари, обеспечивающие строгую направленность светового потока, например, точечные зенитные фонари, шеды.

При одинаковой площади зенитные фонари создают большую освещенность на горизонтальной плоскости, а шеды – на вертикальной и наклонной плоскости. Ко второму виду относятся фонари, обеспечивающие бестеневое освещение, например, фонари-надстройки с двусторонним остеклением и широкие зенитные ленточные фонари.

Особенности различных типов фонарей находят область применения в зданиях с различными требованиями к освещению и общему назначению. На рис. 9 приведена классификация и схемы устройства фонарей.

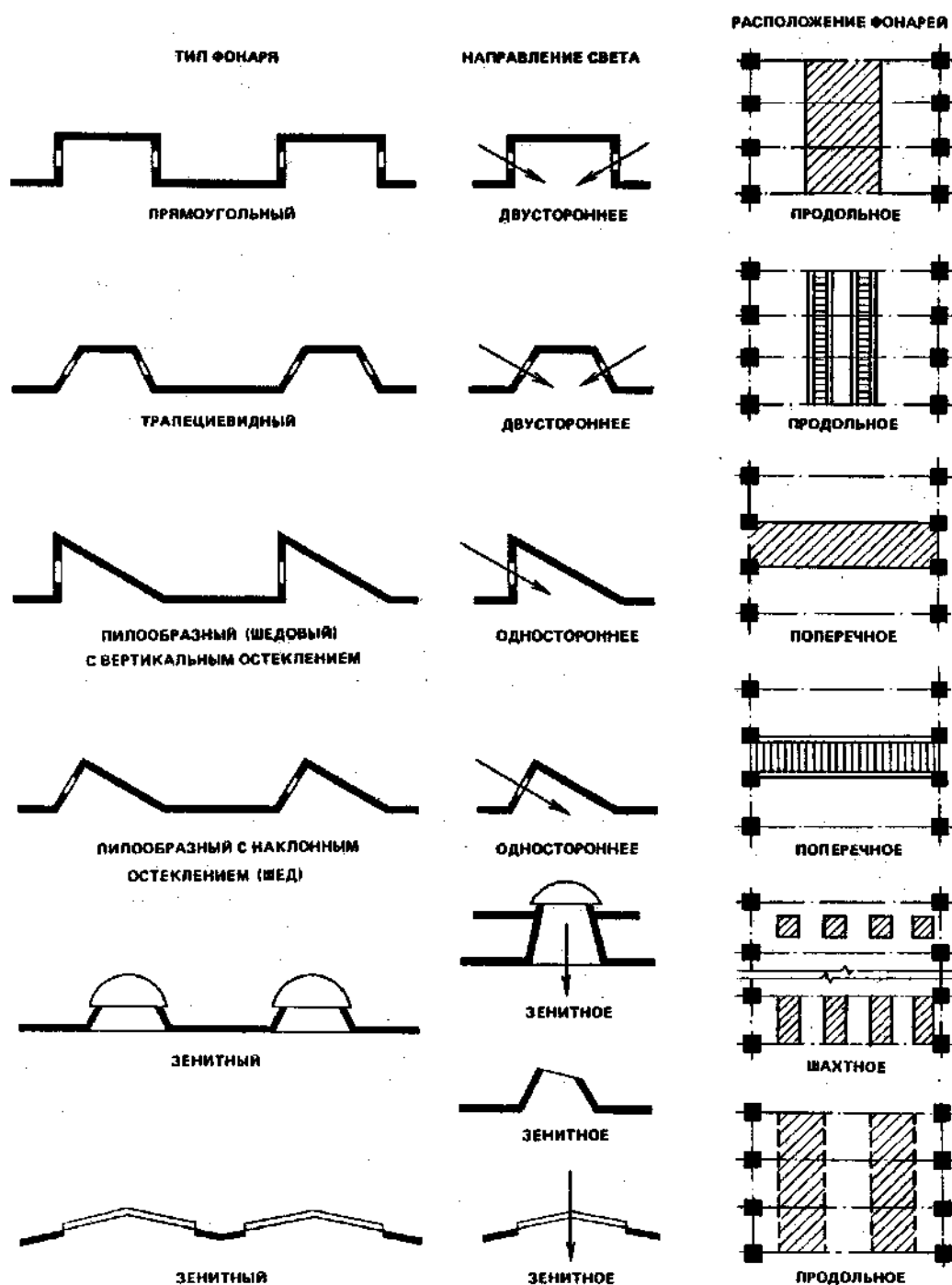


Рис. 9. Классификация и схемы устройства фонарей

Комбинированное освещение представляет сочетание бокового и верхнего освещения.

По характеру распределения прошедшего в помещение светового потока окна и фонари разделяются на три вида, показанные на рис. 10.

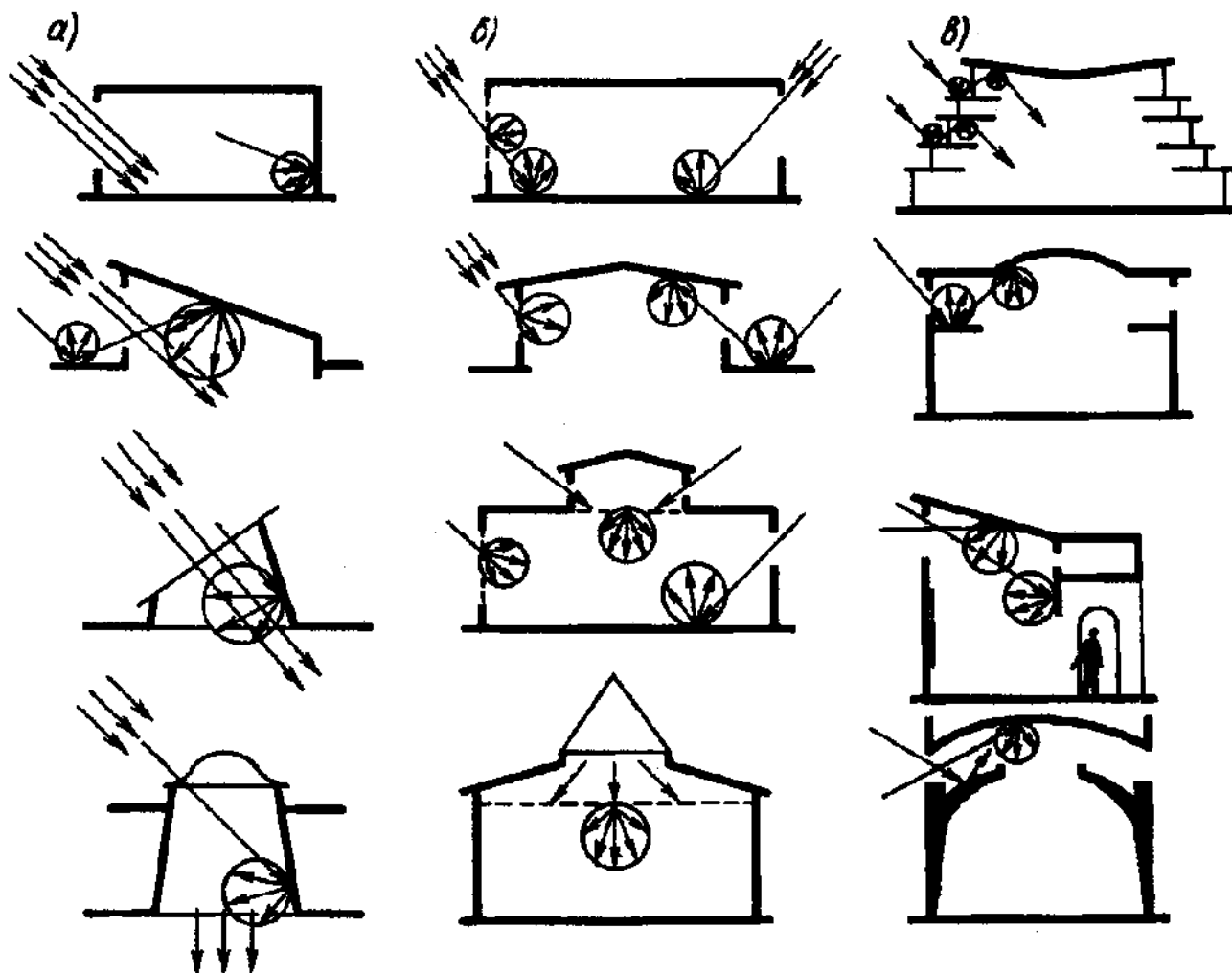


Рис. 10. Светораспределение и диаграммы диффузного отражения от внутренних поверхностей для различных систем освещения:

а) выраженная направленность светового потока с тенеобразованием, б) бестеневое освещение с применением светорассеивающих материалов, в) освещение в отраженном свете со скрытыми световыми проемами

Основными задачами моделирования естественного освещения зданий являются: выбор типа, размеров и расположения световых проемов в стенах и покрытиях, при которых помещения с заданными функциональными требованиями обеспечиваются достаточными показателями освещения; защита рабочих зон от слепящей яркости, прямой и отраженной блескости; согласование схемы светопроемов с архитектурными требованиями к освещению.

Простые модели организации естественного освещения учебных аудиторий приведены на рис. 11.

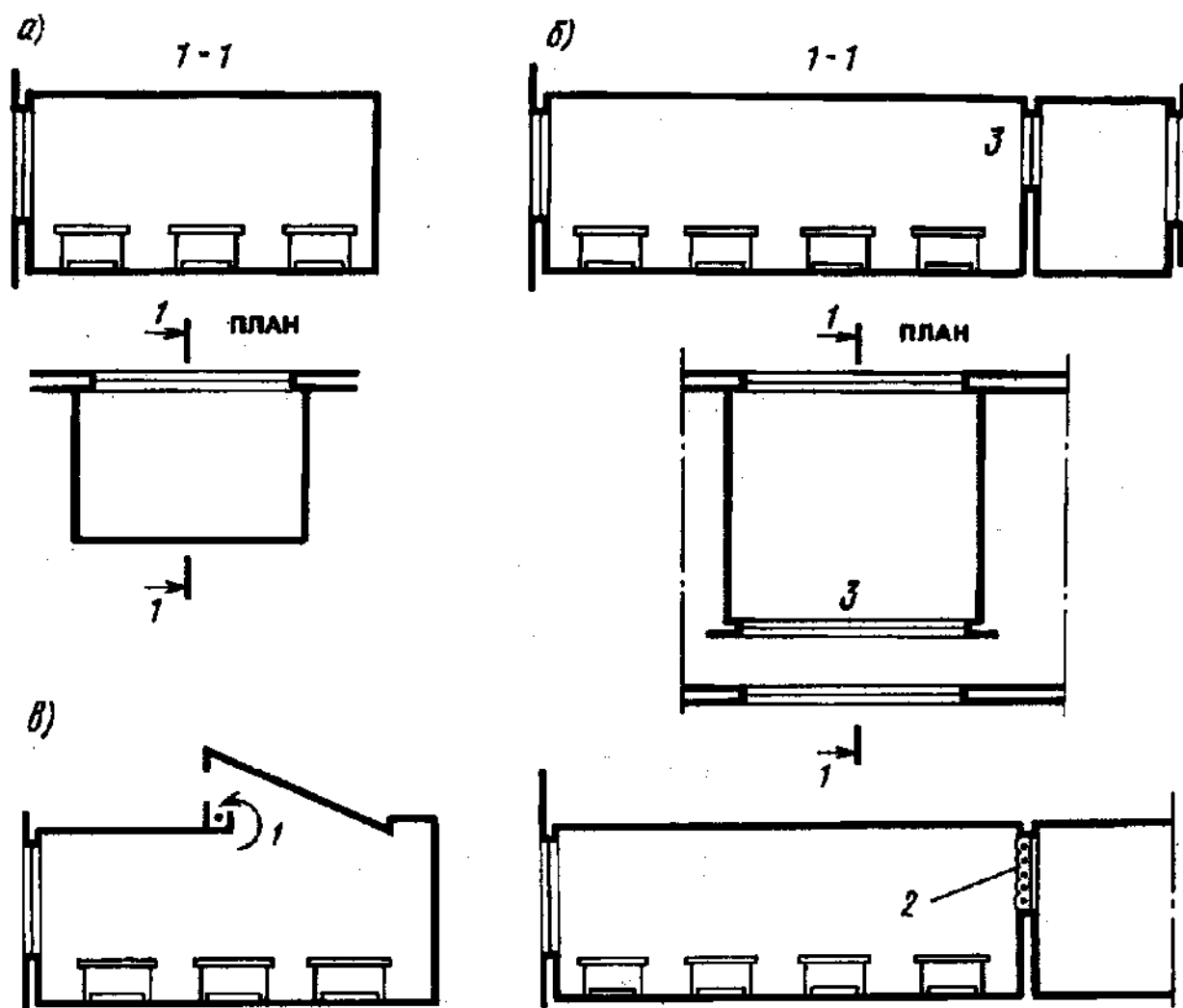


Рис. 11. Организация освещения учебных аудиторий:

- а) одностороннее освещение при небольшой глубине аудитории, б) двустороннее освещение аудитории с большой глубиной, в) варианты совмещенного освещения (1 – светящийся карниз, 2 – искусственное окно, 3 – второй свет)

1.2.2. Расчет естественного освещения

Количественную оценку условий естественного освещения можно дать двумя способами. Очевидным является способ анализа величин светового потока и освещенности, рассчитанных по данным наружной освещенности. Однако изменение условий наружного освещения в широких пределах делает такой способ достаточно трудоемким. Более распространенным способом, непосредственно связанным с величиной проектируемых или существующих световых проемов зданий, является анализ относительных величин, например, коэффициента естественной освещенности, определяемого отношением

освещенности в какой либо точке внутри помещения к наружной освещенности.

Коэффициентом естественной освещенности (КЕО) называется отношение освещенности, создаваемой дневным светом в какой-либо точке на рабочей поверхности внутри помещения непосредственно или после отражений $E_{\text{в}}$, к одновременной наружной освещенности, создаваемой на расправленной под открытым небом горизонтальной площадке излучаемым небесным полушарием при полной облачности $E_{\text{н}}$, выраженное в процентах:

$$e = \frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{н}}} \cdot 100 . \quad (14)$$

Существуют различные методы расчета коэффициента естественной освещенности. Они детально рассматриваются в книге С.В.Зоколя «Архитектурное проектирование, эксплуатация объектов, их связь с окружающей средой», а также в учебниках Н.М.Гусева «Основы строительной физики» и учебнике «Архитектурная физика». Методика расчета коэффициента естественного освещения в соответствии с существующими в России нормативными требованиями излагаются во второй главе.

Для аналитического решения задачи расчета КЕО удобно ввести понятие геометрического КЕО, обозначаемого как ε , и учитывающего исключительно размеры светового проема без учета толщины, остекления и переплетов проема. Аналитическое представление геометрического КЕО ε было дано А.М.Данилюком, который затем на этом основании разработал хорошо известные графики Данилюка, графики I, II и III, а по последним нормативным требованиям только графики I и II.

На рис. 12 дано схематическое изображение светового проема и освещаемого пространства внутри помещения для расчета геометрического КЕО. Величину ε можно найти с помощью следующего аналитического выражения, предложенного Данилюком, в процентах:

$$\varepsilon = \frac{\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1}{2} \cdot \frac{1}{\pi} \left(\frac{\gamma_2 - \gamma_1}{180^\circ} \cdot \pi + \sin \gamma_2 \cdot \cos \gamma_2 + \sin \gamma_1 \cdot \cos \gamma_1 \right) \cdot 100 . \quad (15)$$

Для условий достаточно большой длины светопроема, например, при ленточном остеклении, аналитическое выражение (15) упрощается к следующему виду:

$$\varepsilon = \frac{\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1}{2} \cdot 100 . \quad (16)$$

Последняя формула (16) по сути дает значения расчетного количества лучей, проходящих через светопроем в расчетную точку, которые без выполнения расчетов находятся с использованием графиков Данилюка.

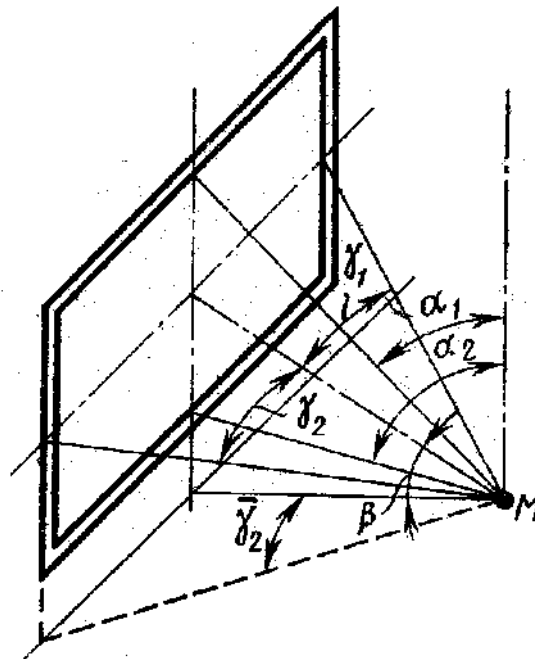


Рис. 12. Схематическое изображение светового проема и освещаемого пространства внутри помещения для расчета геометрического КЕО:

при пользовании планом помещения следует учесть, что $\gamma_2 = \arctg(\overline{\gamma_2} \cdot \cos \beta)$ и

$$\gamma_1 = \arctg(\overline{\gamma_1} \cdot \cos \beta)$$

1.3. Искусственное освещение зданий

1.3.1. Источники искусственного освещения

Организация и проектирование искусственного освещения предполагает знание и умение использовать источники света, преимущественно электрические. Электрическими источниками света принято называть устройства, преобразующие электрическую энергию в световую. До настоящего времени наибольшее распространение имеют два класса источников света – лампы накаливания и газоразрядные лампы. Эти источники различаются по механизму излучения, хотя основываются на процессе возбуждения электронов светящегося вещества и последующего испускания квантов света.

В лампах накаливания имеющая высокое сопротивление обычно вольфрамовая нить нагревается при прохождении через нее электрического тока до температуры 2500 – 3200° С. При этом до 95% излучаемой энергии

приходится на инфракрасный диапазон или лучистую теплоту, а световое излучение занимает участок спектра главным образом от желтого до красного. Нить накала помещается в стеклянную колбу с удалением воздухом и наполнением разреженным инертным газом. Колба может быть бесцветной или молочной с внутренним светорассеивающим покрытием белого цвета. Световая отдача таких ламп порядка 10-30 лм/Вт, срок службы до 1000 часов. Лампы обычного применения, предназначенные для общего освещения, имеют штыревой или резьбовой цоколь, однако существуют и другие, используемые в конструкциях ламп специального назначения.

Газоразрядные лампы, подразделяющиеся на натриевые, ртутные, неоновые и люминесцентные, используют электролюминесцентные свойства газов и паров. Электрический ток проходит через газ, вызывая его свечение. Газоразрядные лампы содержат небольшое количество инертного газа, например, неона или аргона. При подключении к электродам лампы электрического напряжения, под действием электрического поля ускоряется движение электронов к аноду. Сталкиваясь с молекулами газа, электроны возбуждают их и в результате чего внешние электроны молекул переходят на более высокий энергетический уровень. При достаточной кинетической энергии свободные электроны ионизуют газ, вызывая появление тока. Когда же возбужденные молекулы газа возвращаются в состояние равновесия, она излучает единицу энергии с длиной волны, характерной для молекул данного газа.

Натриевые лампы обычно представляют U-образные трубки, содержащие инертный газ и металлический натрий. При включении лампы через газ проходит небольшой ток, создающий слабосветящийся красный разряд. Через некоторое время натрий испаряется и полученные пары создают более 95% общего разряда. Лампы этого типа используются обычно для уличного освещения, их световая отдача 80-200 лм/Вт, срок службы 4000 – 5000 часов.

Разрядная лампа низкого давления другого типа — это натриевая лампа низкого давления. Эти лампы имеют самый высокий к.п.д. из всех искусственных источников света. Но они излучают почти монохроматический желтый свет. Цветопередача при освещении этими лампами очень плохая (иногда она вообще отсутствует), и поэтому натриевые лампы низкого давления пригодны лишь для некоторых приложений (например, для освещения шоссе-ных дорог), где различие цвета несущественно.

Применяются натриевые лампы низкого давления шире, чем лампы высокого давления. Натриевые лампы высокого давления обычно имеют меньшую световую эффективность, чем их аналоги низкого давления. Но цветопередача и чистота цвета ламп высокого давления значительно лучше. Так как для покрытия внутренних стенок стеклянной оболочки фосфор не используется, то площадь, освещаемая лампой (дуговой трубкой), может быть небольшой. Хотя это упрощает оптический контроль, при неправильном экранировании увеличивается возможность блескости. Другим недостатком

натриевых ламп высокого давления (а также и ламп низкого давления) является их высокая начальная стоимость.

Ртутные лампы используют длины волн резонансного излучения 185 и 254 нм, находясь в ультрафиолетовом участке спектра. При высоком давлении газ поглощает часть этого излучения и вновь испускает его в видимом диапазоне волн. Большая часть энергии сосредотачивается в узких полосах, в результате чего излучается фиолетово-сине-зеленый цвет с частичной примесью желтого. Поскольку в составе этого цвета отсутствует красный, восприятие многих цветов искажается. Световая эффективность и спектральные характеристики конкретной лампы зависят от плотности паров внутри лампы и свойств фосфора, если он используется для покрытия внутренней стенки колбы или трубки. Прозрачные лампы (без покрытия) создают линейчатый, а не сплошной спектр излучения. Следовательно, цветопередача при освещении прозрачными ртутными лампами плохая. Но срок службы ртутных ламп обычно очень велик – до 18 000 ч.

Лампы с галоидными соединениями металлов — это ртутные лампы высокого давления с добавками солей галогенов (натрия, тория, скандия и индия) в газоразрядную трубку. В этой модификации полезный световой поток типично металлогалогенной лампы приблизительно вдвое больше (по сравнению с обычной ртутной лампой) и цветопередача значительно лучше, благодаря более непрерывному спектральному распределению интенсивности излучения. Сочетание высокой световой эффективности с хорошей цветопередачей делает металлогалогенные лампы пригодными для многих приложений.

Так называемые люминесцентные лампы, по сути, являются ртутными лампами низкого давления. Испускаемое газом излучение находится в ультрафиолетовом участке спектра, преимущественно в полосе 254 нм. Оно поглощается и затем вновь испускается люминесцентным покрытием, нанесенным на внутреннюю поверхность стеклянной трубки, в различных видимых полосах длин волн оптического спектра. Флуоресцентное излучение возникает при одновременном возбуждении и повторном излучении. Когда повторное излучение происходит с задержкой после возбуждения, такое явление называется фосфоресценцией. Поскольку переменный ток имеет частоту колебаний 50 Гц, ультрафиолетовое излучение происходит в виде мерцаний частотой 100 Гц. В случае чистой флуоресценции видимое излучение также было бы мерцающим. Чтобы обеспечить непрерывное свечение и в те краткие промежутки времени, когда ток отсутствует, в лампах частично используется фосфоресценция.

Люминесцентные лампы (ртутные лампы низкого давления) относятся к наиболее широко используемым газоразрядным лампам, в частности для освещения торговых и производственных помещений. Внутренняя поверхность люминесцентных трубок покрыта фосфором, а в трубке содержатся ртуть и инертный газ. В отличие от некоторых других разрядных ламп люминесцентные лампы обеспечивают достаточно хорошую цветопередачу и

обладают высокой световой эффективностью. Цвет излучаемого люминесцентной лампой света зависит от фосфора, покрывающего стенки трубки. Существует семь стандартных цветов ламп, поставляемых всеми главными производителями: белый, холодный белый, матовый холодный белый, теплый белый, матовый теплый белый, естественный и дневной свет. Люминесцентные лампы различного типа сильно отличаются также по стоимости и световой эффективности.

Изменением состава покрытия получают разнообразные типы люминесцентных ламп. Улучшение спектрального состава обычно приводит к снижению световой отдачи. Люминесцентные лампы являются более эффективными источниками света по сравнению с лампами накаливания, поскольку они отличаются меньшим тепловыделением: лампы накаливания выделяют 5% света и 95% тепла, а люминесцентные лампы – 20% света и 80% тепла, их световая отдача составляет 50-80 лм/Вт, а срок службы достигает 5000 часов.

При выборе искусственного источника света для конкретной задачи освещения обычно принимаются во внимание две важные характеристики: световая эффективность (которая обратно пропорциональна стоимости эксплуатации) и цветопередача. К другим важным факторам относятся начальная стоимость и срок службы лампы, требования по уходу, включая очистку, и простота экранировки и управления направленностью света.

Характеристики шести наиболее часто применяемых искусственных источников света приведены в таблице 1. Диаграммы спектрального распределения энергии четырех из этих источников показаны на рис. 13. К сожалению, спектры наиболее эффективных источников света имеют один или несколько четко различимых пиков. Поэтому такие источники непригодны для задач, требующих точного различения цветов.

Индекс цветопередачи МКО (крайний правый столбец таблицы 1) является мерой соответствия зрительных восприятий цветного объекта, освещенного исследуемым источником света (т. е. «испытуемым» источником), по сравнению с тем, как он воспринимается при освещении стандартным или «эталонным» источником. Эталонным источником служат обычно различные виды ламп дневного света или лампа накаливания. Индекс испытуемого источника получают, вычисляя изменения положения восьми опорных измерительных цветов в цветовом пространстве МКО (см. раздел 1.1.2), возникающие при замене эталонного источника освещения испытуемым источником. Полученные величины соответствующим образом нормируются и осредняются так, чтобы индекс 100 представлял идеальную цветопередачу, т. е. чтобы испытуемые цвета зрительно воспринимались одинаково при освещении испытуемым и эталонным источниками.

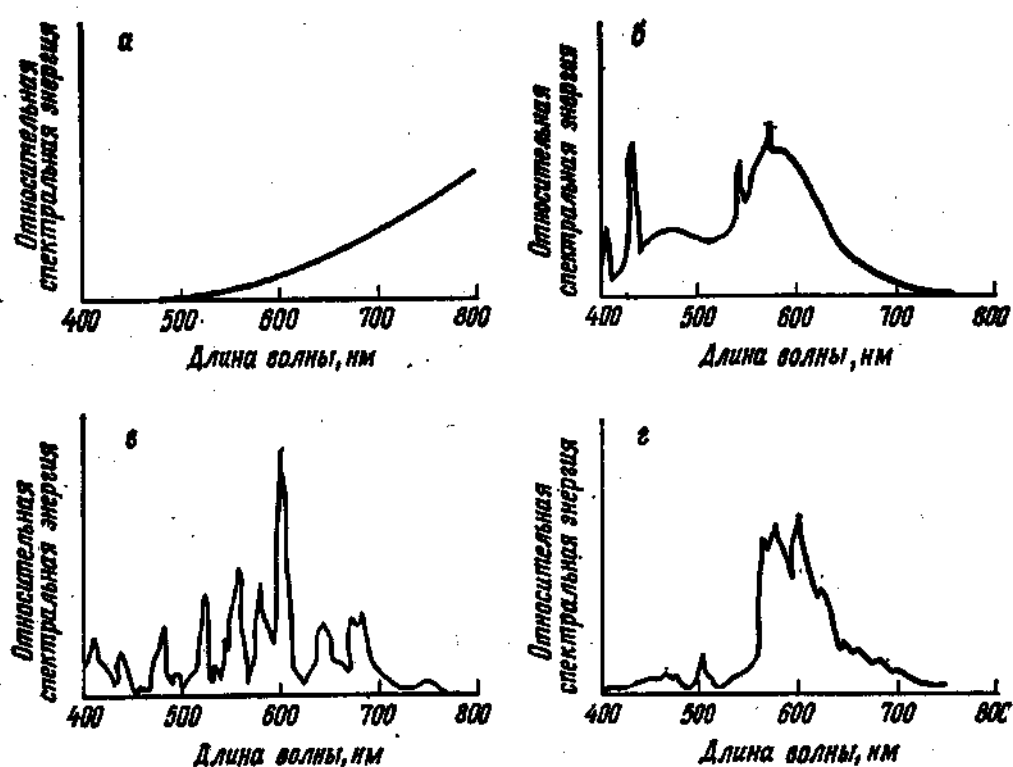


Рис. 13. Диаграммы спектрального распределения энергии для четырех обычно применяемых искусственных источников света.

а – лампа накаливания; б – люминесцентная лампа (холодная белая); в – металлогалогенная лампа; г – натриевая лампа высокого давления.

Таблица 1

Характеристики искусственных источников света

Тип источника	Стоимость лампы	Срок службы лампы, лет	Световая эффективность, лм/Вт	Индекс цветопередачи МКО (цветопередача)
Лампа накаливания	Низкая	менее 1	17 – 23	89 – 98 (очень хорошая)
Люминесцентная лампа	Низкая, либо умеренная	5 – 8	50 – 80	52 – 94 (от удовлетворительной до очень хорошей)
Ртутная лампа	Умеренная	9 – 12	50 – 55	15 – 51 (от плохой до удовлетворительной)
Металлогалогенная лампа	Умеренная	2 – 3	80 – 90	53 – 78 (от удовлетворительной до хорошей)
Натриевая лампа высокого давления	Высокая	3 – 5	85 – 125	21 – 29 (от плохой до удовлетворительной)
Натриевая лампа низкого давления	Высокая	4 – 5	100 – 180	Непригодна для цветопередачи (очень плохая)

Предложены также и другие индексы цветопередачи. Индекс Кроуфорда основан на сравнении спектрального распределения энергии испытуемого и эталонного источников. Индекс различения цвета (ИРЦ) позволяет описать распознаваемость группы опорных цветов при освещении данным источником. Объем цветопередачи (ОЦП) – это показатель, связанный с количеством разных цветов поверхности, которые можно различить, когда единственным источником освещения является испытуемый источник.

1.3.2. Светильники и регулирование света

Устройства, в которые заключены искусственные источники света и связанная с ними электрическая арматура, называют светильниками. Основное назначение светильника связано с обеспечением попадания основной части светового потока на заданные поверхности. Достигается такое рациональное перераспределение с использованием осветительной арматуры, которая обеспечивает также защиту глаз от блескости источника света, предохраняет лампу от воздействия среды и механических повреждений., содержит необходимые переходные устройства для присоединения лампы к электрической сети. Совокупность приспособлений, предназначенных для выполнения этих функций, называется осветительной арматурой, а комплект из осветительной арматуры и источника света называется светильником.

Согласно известной книге Н.В.Волоцкого «Светотехника», светильники являются осветительными приборами ближнего действия, так как они применяются для освещения объектов с расстояний не более 15-20 м. Осветительные приборы дальнего действия носят название прожекторы.

Основными параметрами светильника являются: класс светораспределения, кривая распределения силы света, коэффициент полезного действия, защитный угол и конструктивное исполнение. Название класса светильника дает общее представление о его светораспределении, но не позволяет судить о точном характере распределения силы света, величине и направлении максимума излучения.

Распределение силы света (в канделах) светильника обычно представляют в виде одного или нескольких графиков в полярных координатах. Если распределение симметрично во всех вертикальных плоскостях, проходящих через центр, то для описания распределения силы света этого светильника достаточно одного графика, в остальных случаях необходимо несколько графиков. На рис. 14 представлены диаграммы распределения силы света для двух светильников, хотя показан только правый нижний квадрант распределения силы света. Левый верхний угол графика (начало координат) представляет центр светильника, надир определяется как прямая, идущая вниз из этой точки, а сила света изображается радиальным расстоянием от начала координат. На рис. 14 а показана диаграмма силы света в канделах для светильника, который направляет весь полезный свет вниз в конусе с углом 140° . Но область максимальной силы света ограничена конусом с углом 100° .

На рис. 14 б показано распределение силы света в канделях для светильника, имеющего диаграмму в форме двустороннего крыла летучей мыши (распределение не обладает симметрией во всех вертикальных плоскостях). На этой диаграмме внутренняя кривая соответствует вертикальной плоскости, параллельной оси светильника, а внешняя кривая (т. е. «крыло летучей мыши») – вертикальной плоскости, перпендикулярной оси светильника.

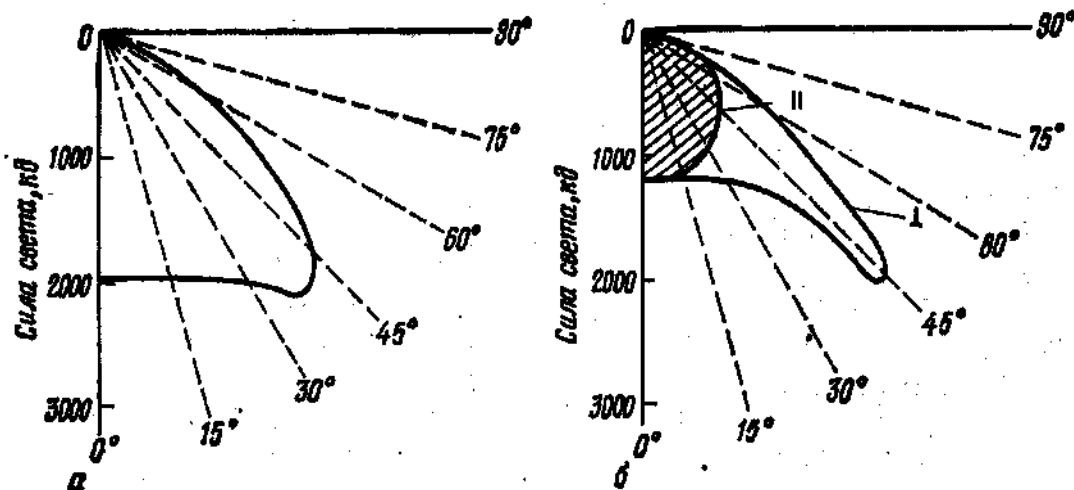


Рис. 14. Диаграммы распределения силы света для двух светильников. Сила света представлена радиальным расстоянием от начала координат.

а – распределение симметрично на всех вертикальных плоскостях, проходящих через центр светильника; б – несимметричное двустороннее распределение в форме крыла летучей мыши (внутренняя кривая соответствует вертикальной плоскости, параллельной оси светильника, внешняя кривая – вертикальной плоскости, перпендикулярной оси светильника).

Светильники можно классифицировать по относительной доле света, соответствующей верхней и нижней полусферам их диаграмм распределения силы света (Более точный термин — верхний (нижний) полусферический световой поток, т. е. световой поток, излучаемый выше (ниже) горизонтальной плоскости, проходящей через центр светильника). В системе классификации МКО существует пять категорий светильников: светильники прямого света, преимущественно прямого света, рассеянного света, отраженного света и преимущественно отраженного света. Если светильник направляет вниз не менее 90% светового потока, он называется осветительным устройством прямого света. Если светильник направляет не менее 90% светового потока вверх, он называется осветительным устройством отраженного света. Светильники преимущественно прямого света направляют непосредственно на расчетную плоскость от 60 до 90% светового потока, преимущественно отраженного света — от 10 до 40%, а при рассеянном (диффузном) освещении свет, достигающий рабочей поверхности или освещаемого объекта, практически не имеет преимущественного направления. В таблице 2 приведена классификация светильников по светораспределению.

Таблица 2.
Классификация светильников по светораспределению

КЛАСС СВЕТИЛЬНИКА	ДОЛЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА, НАПРАВЛЕННОГО, %		СХЕМА РАСПРЕ- ДЕЛЕНИЯ СВЕТА СВЕТИЛЬ- НИКОМ	СХЕМА СВЕТИЛЬНИКОВ					ХАРАКТЕРНЫЕ КРИВЫЕ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ А - УЗКОГО Б - СРЕДНЕГО В - ШИРОКОГО
				С ЛАМПАМИ НАКАЛИВАНИЯ					
	ВНИЗ	ВВЕРХ		М	Н	П	Л	ПА	
ПРЯМОГО СВЕТА	> 90	< 10							
ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ПРЯМОГО СВЕТА	60-90	40-10							
РАСЧЕРННОГО СВЕТА	40-60	60-40							
ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ОТРАЖЕННОГО СВЕТА	10-40	90-60							
ОТРАЖЕННОГО СВЕТА	< 10	> 90							

Основные принципы организации искусственного освещения. Выбор удовлетворительной освещенности данного рабочего места требует сбалансированного учета различных факторов. Требуется рассматривать трудность зрительного восприятия (например, контраст и размер наименьшей детали), норму, частоту и располагаемое время, необходимые для выполнения каждого задания и его элементов. Минимальный уровень освещенности рабочего места должен быть достаточным для выполнения наиболее трудных заданий. Желательно рассмотреть индивидуальные различия отдельных работников (например, возраст). Следует учитывать удобство рабочего места, внешний вид рабочей площади, психологические факторы и ощущения, а также настроение работающего. Существенными факторами являются также возможность реализации и экономичность системы освещения.

Между перечисленными выше факторами существует сложное взаимодействие, и проектировщик должен рассматривать различные проектные решения, позволяющие удовлетворить цели проектирования. Можно ограничиться меньшим уровнем освещенности, если уменьшить трудность задания или если использовать для выполнения наиболее трудных заданий дополнительное освещение, называемое также «освещением рабочей зоны». Обычно это уменьшает стоимость эксплуатации. Требования к освещенности рабочего места можно снизить также, улучшая качество освещения. Регулирование освещенности рабочей зоны также является хорошим методом приспособления к индивидуальным различиям при выполнении зрительной работы и к личным предпочтениям. Важным фактором является внешний вид рабочего места, так как он может повлиять на мотивацию работника.

Наконец, возможность реализации и экономичность системы освещения определяются в значительной степени технологией производства и стоимостью энергии, которые постоянно изменяются и различны в разных местностях. Взаимодействие этих факторов и ожидания пользователей (зависящие от культурного уровня пользователя) помогают понять, почему вплоть до последнего времени рекомендуемые уровни освещенности рабочего места постоянно возрастали.

Это объясняет также, почему в историческом плане рекомендуемые уровни освещенности в США, Нидерландах и Швейцарии были выше, чем в Германии, Англии и Франции. В России нормирование осветительных установок выполняется по строительным нормам и правилам, глава 2.

Рассмотренные выше сложные обстоятельства затрудняют выработку точных рекомендаций по уровням освещенности. Основные принципы формирования диапазонов освещенности, которые согласуются с международными рекомендациями, изложенными в требованиях МКО, и учитывающие некоторые из обсуждавшихся выше факторов, приведены в таблице 3. Видно, что для каждого вида деятельности приведена не одна величина освещенности, а диапазон этих величин. Наилучшим образом соответствующая заданию конкретная величина освещенности в данном диапазоне зависит от условий выполнения задания (например, от требований к

скорости и точности зрительной работы и коэффициента отражения фона) и от зрительных способностей индивидуальных работников.

Таблица 3

Рекомендуемые диапазоны освещенности для выполнения различных видов заданий

Вид деятельности или помещения	Диапазон освещенности, лк
А Темные общественные помещения Простая ориентировка при кратковременных посещениях Рабочие помещения, в которых зрительные задания выполняются лишь изредка	20 — 50 50 — 100 100 — 200
В Выполнение зрительных заданий с большим контрастом или с большими размерами элементов: чтение печатных материалов, машинописных оригиналов, рукописей, написанных чернилами, ксерокопий хорошего качества; грубые слесарные и механические работы; обыкновенный осмотр; грубые монтажно-сборочные работы	200 — 500
Выполнение зрительных заданий со средним контрастом или с малыми размерами элементов: чтение рукописей, написанных карандашом, и печатных материалов с плохим качеством печати или копирования; слесарные или механические работы средней трудности; трудный визуальный осмотр, монтажно-сборочные работы средней трудности	500 — 1000
Выполнение зрительных заданий с малым контрастом или с очень малыми размерами элементов: чтение рукописей, написанных простым карандашом на плохой бумаге, печатных материалов с очень плохим качеством копирования; очень трудный визуальный осмотр	1000 — 2000
С Выполнение зрительных заданий с малым контрастом и очень малыми размерами элементов в течение длительного времени: точные монтажно-сборочные работы, очень трудный визуальный осмотр, точные слесарные и механические работы	2000 — 5000
Выполнение очень длительных и точных зрительных заданий: наиболее трудный визуальный осмотр, сверхточные слесарные и механические работы, сверхточные монтажно-сборочные работы	5000 — 10 000
Выполнение специальных зрительных заданий с крайне малым контрастом и малыми размерами элементов: некоторые хирургические операции	10 000—20 000
Выбор конкретной величины освещенности в данном диапазоне зависит от условий выполнения задания и зрительных способностей работника. Примечание. А – общее освещение всего рабочего помещения; В – освещение рабочей зоны; С – освещение рабочей зоны, получаемое комбинацией общего и местного (дополнительного) освещения.	

Определение диапазонов освещенности в соответствии с видом деятельности обладает рядом преимуществ перед ранее применявшимся подходом в определении рекомендаций по типу помещений и условий (например, административных помещений, библиотек, торговых помещений, производственных помещений заводов и фабрик, шоссейных дорог, розничной торговли). В ранее применявшемся подходе предполагалось равномерное освещение всей рабочей площади. Поэтому требовалась достаточно высокая освещенность, чтобы она соответствовала способности наиболее пожилых работников выполнять самые трудные зрительные задания. Современный подход является более гибким. Рекомендации предназначены для каждого конкретного задания. Освещенность различных участков рабочего пространства может быть ниже или выше, т. е. такой, какая требуется. При неравномерном освещении возможности сбережения энергии выше, и обычно такое рабочее пространство является более эстетичным и привлекательным (Эстетический уровень цветоцветовой композиции в рабочей зоне и ее гармоничность определяют путем оценки в баллах).

Освещение рабочей зоны (или местное освещение) – термин, который относится к настольным светильникам или рабочим светильникам, дополняющим освещенность, создаваемую источниками общего освещения, например встроенными потолочными люминесцентными светильниками и дневным светом. При использовании освещения рабочей зоны можно уменьшить общее освещение (для сбережения энергии) и увеличить освещенность для выполнения трудных или критических зрительных задач (с целью повышения производительности или уменьшения ошибок). Например, в недавнем прошлом большое административное помещение в целом освещалось равномерно при высоком уровне освещенности 1200 лк. В настоящее время общая освещенность той же площади может быть снижена до 500 лк при введении местного освещения на рабочих местах. Местное освещение особенно эффективно, когда небольшое число работников занимают сравнительно большое рабочее пространство.

Но освещение рабочей зоны нельзя считать лучшим решением задачи. Если не принимать специальных мер, могут возникать тени от предметов, неравномерность освещенности и отраженная блескость. Элементы местного освещения, находящиеся прямо перед работающим (например, встроенные в мебель административного помещения), могут создавать серьезные проблемы, если они расположены в запретной зоне (первичная зона отраженной блескости).

Теоретически проблему зеркального отражения, связанную с местным освещением, можно решить, размещая источники так, чтобы свет приходил слева и справа от рабочего места. Но практически такой метод не всегда приемлем для пользователей. Более надежный метод состоит в применении протяженного источника (например, настольной лампы с прямой люминесцентной трубкой), имеющего шарнирное сочленение. Тогда источник местного освещения можно разместить непосредственно над рабочей деталью и

при необходимости сдвинуть его в любое другое место, чтобы свести блескость к минимуму. Шарнирное сочленение позволяет изменять также уровень дополнительной освещенности, поднимая или опуская источник местного освещения. Вместо этого можно регулировать силу света с помощью реостата. Местное освещение уменьшит также загромождение рабочей поверхности.

Задания, выполняемые в обычном административном помещении, редко требуют освещенности более 500 – 700 лк. Любое необходимое дополнительное освещение можно обеспечить с помощью местного освещения рабочей зоны. Для рабочих мест с видеотерминалами может быть достаточным меньший уровень общего освещения, но при уменьшении освещенности ниже 300 лк рабочая световая обстановка будет казаться слишком мрачной, и вызывать негативные эмоции у работающих. Точно так же для того, чтобы достичь разумного соотношения между освещенностью от общего и местного источников света, иногда рекомендуется уменьшать общую освещенность административного помещения до уровня менее 300 лк.

В организации системы освещения помещений здания принципиально различаются случаи использования исключительно либо прямого, либо отраженного освещения. Преимущества и недостатки систем прямого и отраженного освещения рассматриваются в сравнительной таблице 4.

Таблица 4

Преимущества и недостатки прямого и отраженного освещения

Преимущества	Недостатки
Прямое освещение Простота конструкции с предсказуемыми результатами Более высокая степень приемлемости для пользователей Обычно более высокая эффективность по показателю люмен/ватт	Большая вероятность появления блескости Проблемы, связанные с неравномерностью освещенности и затенением
Отраженное освещение Вероятность появления блескости и затенений сильно уменьшается	Труднее получить высокий уровень освещенности, необходимый для выполнения некоторых заданий Чаше реализуется меньшая эффективность по показателю люмен//ватт Удовлетворительные системы отраженного освещения труднее проектировать Обычно требуются высокие потолки

Из представленных в таблице 4 факторов становится ясно, почему доминируют системы прямого освещения. Но в последнее время увеличился интерес к системам отраженного освещения, в особенности для освещения административных помещений, в которых используются видеотерминалы. В этих помещениях, вероятно, одной из наиболее трудных проблем при создании освещения является блескость, и в некоторых случаях система отраженного

освещения позволяет решить проблему компьютерных мониторов. Кроме того, при существующих усовершенствованных компьютерных программах системы отраженного освещения, удовлетворяющие необходимым требованиям, стало легче проектировать.

Некоторые проектировщики используют конструкции с применением светильников отраженного освещения, в которых с целью повышения коэффициента полезного действия объединены разрядные лампы большой интенсивности со специальными оптическими устройствами. При этом для улучшения цветопередачи можно в одном и том же осветительном приборе использовать лампы разного типа, например, металлогалогенные и натриевые лампы высокого давления. Если рассматривать экономичность системы в целом, стоимость систем отраженного освещения увеличивается часто не больше, чем стоимость обычных люминесцентных систем прямого освещения.

Измерение и регулирование блескости во многом определяют качество проектируемой световой среды. Наличие в пространстве помещения светящегося объекта или источника света может создавать и прямую блескость, и отраженную блескость, которые в свою очередь могут приводить к дискомфорту и снижению работоспособности.

Блескость – ощущение, связанное с наличием в поле зрения яркости, значительно превышающей яркость, к которой может адаптироваться глаз, и вызывающей раздражение, дискомфорт или потерю зрительной работоспособности и ухудшение видения. В русском языке термин «блескость» обычно относят к свойствам источников света, нарушающих условия видения, а не к условиям видения, ухудшенным из-за неблагоприятного распределения яркости в поле зрения.

Блескость можно классифицировать либо в соответствии с ее воздействием – возникновением физического дискомфорта или ухудшением зрительной работоспособности, т. е. дискомфортная блескость или слепящая блескость, либо в зависимости от ее источника: прямая блескость или отраженная блескость. Прямая блескость может быть вызвана наличием одного или нескольких ярких источников света в поле зрения (т. е. ярких источников, светящих прямо в глаза). Примерами источников прямой блескости являются солнечный свет и лампы накаливания. С другой стороны, отраженная блескость вызвана светом, отраженным от объекта или объектов, которые видит наблюдатель. Отражения могут быть зеркальными или диффузными. Диффузное отражение часто называют вуалированным отражением. Примерами отраженной блескости являются отражения, часто возникающие на экранах мониторов компьютеров и видеотерминалов, и отражения от страниц книг. Отраженная блескость обычно уменьшает видимый контраст элементов выполняемого задания на рабочем месте и, если ее не контролировать, может воздействовать на работоспособность при выполнении задания.

Воздействие прямой блескости обычно сводится к раздражению и дискомфорту. Но в крайних случаях, к которым относится выполнение очень

трудных зрительных заданий, может ухудшиться и работоспособность. Это иллюстрируется результатами исследований, когда источником блескости служила 100-ваттная лампа накаливания с вольфрамовой нитью, располагавшаяся на различных угловых расстояниях от линии зрения наблюдателя. Если источник блескости размещался очень близко к линии зрения наблюдателя, был смещен на 5° , видение испытуемого объекта уменьшалось на 84%, но если источник блескости смещался на 40° от линии зрения, видение испытуемого объекта уменьшалось всего на 42%.

Для административных и производственных помещений дискомфортная блескость (вызывающая неприятные ощущения) обычно представляет собой более серьезную проблему, чем слепящая блескость (неблагоприятным образом действующая на работоспособность). Слепящей принято называть блескость, ограничивающую возможность визуализации, при этом абсолютная слепящая яркость может достигать порядка $225\ 000\ \text{кд/м}^2$.

В ситуациях присутствия блескости контраст критических элементов интерьера часто намного больше порогового, поэтому уменьшение работоспособности, вызванное снижением видимости, очень мало и остается в значительной мере незамеченным. Существенным исключением является визуальный осмотр, когда критические элементы задания могут быть близкими к пороговым. С другой стороны, дискомфортная блескость, по определению, никогда не проходит незамеченной.

Причины появления дискомфортной и слепящей блескостей совершенно разные. Дискомфортная блескость, по-видимому, связана с работой мышц радужной оболочки глаза, регулирующих диаметр зрачка. С другой стороны, слепящая блескость имеет две известные причины: рассеяние света, идущего от источника блескости, оптической средой, которое уменьшает видимый контраст наблюдаемых объектов и фона, и фотохимическое и нервное торможение сетчатки и нервных путей глаза.

Для оценки возможности появления дискомфортной блескости разработано несколько методов. Существуют два широко распространенных метода: оценка вероятности зрительного комфорта, применяемая в Северной Америке, и система Британского индекса блескости. Имеется также метод, называемый Европейским методом предельной блескости. Четвертый метод оценки возможности появления блескости состоит в вычислении отношений яркостей объектов, находящихся в поле зрения наблюдателя. В России нормативы блескости регламентируются СНиП.

В первых двух методах оценкой вероятности зрительного комфорта и индекса блескости вычисляют ощущения блескости по четырем физическим величинам: яркости источника блескости, угловому размеру источника блескости в глазу наблюдателя, яркости фона и отклонению источника блескости от линии зрения. Значения вероятности зрительного комфорта выражают в виде относительной доли лиц, которые не испытывали дискомфорт при заданных условиях наблюдения. Приемлемой обычно считается величина вероятности зрительного комфорта не менее 70%. Эта величина не согласуется

со стандартными эргономическими рекомендациями, рассчитанными на приемлемость лишь при 90%. Предельные величины индекса блескости изменяются в зависимости от условий его применения.

Методы, используемые для оценки отраженной блескости (вызванной отражениями от объектов, расположенных в поле зрения) и вероятности появления слепящей блескости, обычно относятся к более сложным. Один из методов оценки отраженной блескости заключается в определении эквивалентной освещенности светомерного шара. Эквивалентная освещенность светомерного шара для рассматриваемых задания и условий зрительной работы представляет собой величину освещенности, которая потребовалась бы для выполнения задания внутри фотометрического (светомерного) шара при точно таких же условиях видения, как в реальной среде. Так как ЭОШ обычно меньше, чем освещенность на рабочем месте, то разность этих двух величин дает указание об уровне отраженной блескости. Внутренняя поверхность полого светомерного шара или шара Ульбрихта, покрыта белой матовой краской с минимальной селективностью, что практически исключает отраженную блескость. Экран, расположенный внутри шара, защищает наблюдаемое поле от прямых лучей источника. В России применяются светомерные шары диаметром от 1 до 3 м и более. Существуют две другие полезные единицы измерения: коэффициент воспроизведения контраста и коэффициент слепящей блескости. Первый из них можно использовать для количественной характеристики влияния вуалированных отражений на выполнение задания, а второй – для количественной характеристики влияния неравномерности яркости в поле зрения вокруг наблюдаемого объекта. Яркостью эквивалентной вуали принято называть яркость, которую нужно наложить на фон и объект для того, чтобы пороговый контраст при отсутствии слепящей блескости стал таким же, какой наблюдается в условиях слепящей блескости.

Свет, излучаемый светильником в зоне $45^\circ - 90^\circ$ относительно оси светильника, с большей вероятностью вызывает появление прямой блескости, а свет, излучаемый в зоне $0^\circ - 45^\circ$, с большей вероятностью падает в запретную область и вызывает появление отраженной блескости. На рис. 15 показаны зоны прямой и отраженной блескостей для светильника, а на рис. 16 приведена схема, показывающая запретную область отраженной блескости.

Следовательно, рассматривая диаграмму распределения силы света в канделах для данного светильника, например, на рис. 14, можно сделать приближенную оценку вероятности появления прямой и отраженной блескостей. В процессе проектирования следует решить, какая блескость, прямая или отраженная, создает более серьезные трудности для выполнения поставленной задачи, и соответствующим образом выбрать светильники. Расположение светильника также является решающим, особенно в случаях, когда пытаются удерживать падающий свет вне запретной области, чтобы свести отраженную блескость к минимуму, рис. 16. На рис. 17 приведены варианты появления отраженной блескости с различной вероятностью.

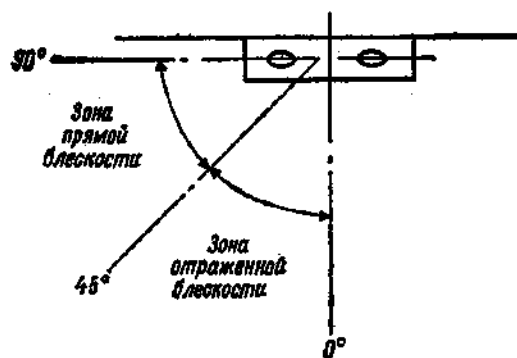


Рис. 15. Зоны прямой и отраженной блескостей для светильника

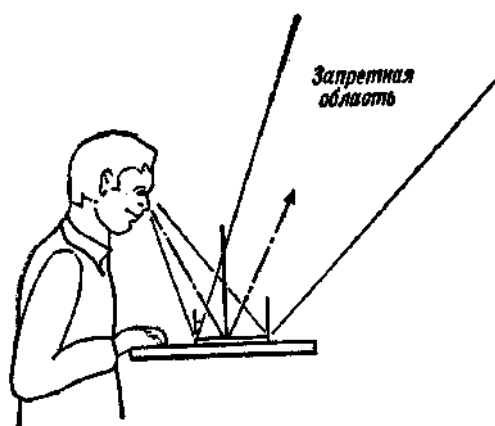


Рис. 16. Запретная область для отраженной блескости [25].

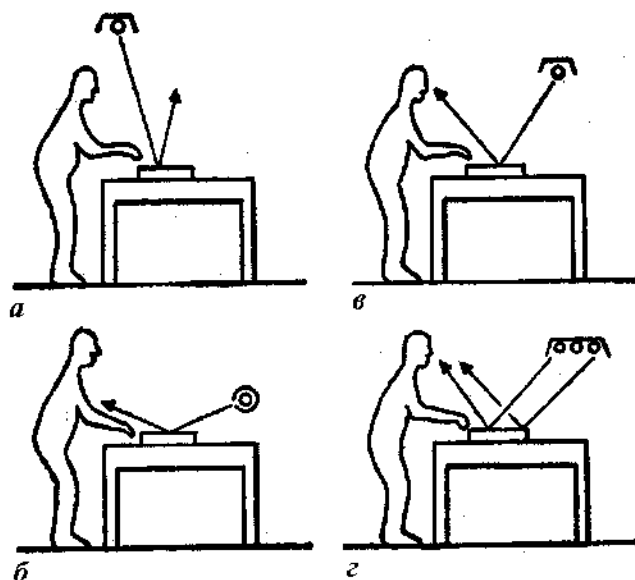


Рис. 17. Варианты соотношения между положением светильника и вероятностью появления отраженной блескости.

а, б – вероятность появления отраженной блескости невелика, малый угол падения света (б) удобен для выявления неоднородностей поверхности в некоторых видах зрительной работы по различению деталей; в, г – вероятность появления отраженной блескости больше, но в некоторых видах зрительной работы по различению деталей такое расположение светильников приносит пользу

Можно сделать вывод, наиболее оптимальным вариантом является использование источника для освещения рабочей зоны, оборудованного шарнирным сочленением или другими средствами изменения его расположения.

В обсуждении, изложенном выше, были изложены практические методы уменьшения и регулирования блескости. Эти и другие методы, которые можно считать практически применимыми, сведены в таблице 5.

Таблица 5

Методы регулирования блескости

Регулирование прямой блескости	Регулирование отраженной блескости
<p>Расположение светильников как можно дальше от линии зрения оператора</p> <p>Использование нескольких малых светильников с небольшой силой света вместо одного светильника с большой силой света</p> <p>Использование светильников с минимальной силой света в зоне прямой блескости (рис. 14 и 15), например приборов отраженного освещения или приборов прямого освещения с параболическими жалюзи или с распределением света в виде «крыла летучей мыши»</p> <p>Увеличение яркости площади, окружающей какой-либо источник блескости</p> <p>Использование освещения рабочей зоны с регулируемой силой света и какого-либо метода изменения положения светильника относительно объекта</p> <p>Изменение при необходимости положения рабочего места</p> <p>Использование экранов, колпаков и козырьков, если непригодны другие методы</p>	<p>Расположение светильников таким образом, чтобы отраженный свет (рис. 17) не попадал или почти не попадал прямо в глаза</p> <p>Использование светильников с рассеивающими или поляризующими линзами</p> <p>Использование поверхностей, рассеивающих свет, например с однотонной окраской, неглянцевой бумагой, тканой отделкой</p> <p>Изменение ориентации рабочего места или объекта, угла зрения или линии зрения, насколько это необходимо для улучшения видения при выполнении задания</p> <p>Поддержание минимально возможного уровня освещенности</p> <p>Использование отраженного освещения</p> <p>Использование комбинированного – верхнего и бокового освещения</p>

Влияние организации освещения на поведение людей рассматривается в многочисленных лабораторных исследованиях и исследованиях в естественных условиях. Результаты ряда исследований имеют фундаментальное значение и являются основой для многих современных практических решений в осветительной технике. Знание этих результатов имеет существенное значение для понимания принципов, положенных в основу решения задач организации освещения и проектирования освещаемых пространств.

Уровень и достаточность освещения существенно сказывается на работоспособности при выполнении заданий разного характера. Степень трудности зрительного восприятия при выполнении какого-либо задания тесно связана с размером наименьшего критического элемента и контрастом между

фоном и элементами задания. В общем случае работоспособность улучшается как с увеличением размера элементов, так и с увеличением контраста. В некоторых случаях полезно увеличивать время наблюдения или уровень освещенности.

Размер наименьшего критического элемента при выполнении задания обычно определяют как угловой размер – угол зрения, стягивающий дугу, равную этому элементу. Контраст же можно определить различными способами. Наиболее распространенным соотношением для определения контраста являются, вероятно, следующие:

$$C = (L_o - L_{\phi}) / L_o ,$$

где L_o – яркость объекта, а L_{ϕ} – яркость фона. Если элементы при выполнении задания имеют периодический характер, то контраст (или модуляцию контраста) можно определить следующим образом:

$$C = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}}$$

где L_{\max} и L_{\min} – соответственно наибольшая и наименьшая яркости.

В экспериментах была обнаружена связь между размером, контрастом, освещенностью и работоспособностью. Испытуемые субъекты рассматривали карты с рядами колец Лэндольта, различающимися по размеру и контрасту. Задание состояло в идентификации всех колец, имеющих заданную ориентацию. Некоторые из результатов показаны на рис. 18. Размер выражен углом зрения, стягивающим ширину промежутка, наименьшего критического элемента кольца Лэндольта, а средняя работоспособность представляет собой сложный показатель, учитывающий время выполнения задания и допущенные ошибки.

На рис. 18 показаны основные соотношения, которые необходимо принимать во внимание при определении или изменении заданий и расчете освещения, используемого при выполнении этих заданий. Во-первых, видно, что работоспособность улучшается с ростом освещенности, но ее относительное улучшение снижается при каждом последующем увеличении освещенности. После некоторого предела дальнейшее увеличение освещенности не приносит пользы. Уровень освещенности, при котором возникает этот переход, зависит от размера и контраста объекта наблюдения. Например, для объектов со средним и большим контрастом, когда угловой размер промежутка между кольцами равен 4.5', асимптотическая работоспособность достигается при освещенности около 100 лк. Но если угловой размер промежутка равен 1.5', работоспособность продолжает

улучшаться при увеличении освещенности до 1000 лк и более. Во-вторых, путем изменения задания, увеличения размера или контраста, можно получить большее улучшение работоспособности, чем при увеличении освещенности. В-третьих, независимо от уровня освещенности работоспособность при выполнении легких заданий, использующих зрительное восприятие, например, большой размер, высокий контраст, намного превосходит работоспособность при выполнении трудных заданий с малыми размерами и низким контрастом. Таким образом, можно сделать вывод, что простое увеличение освещенности не превращает трудные зрительные задания в легкие.

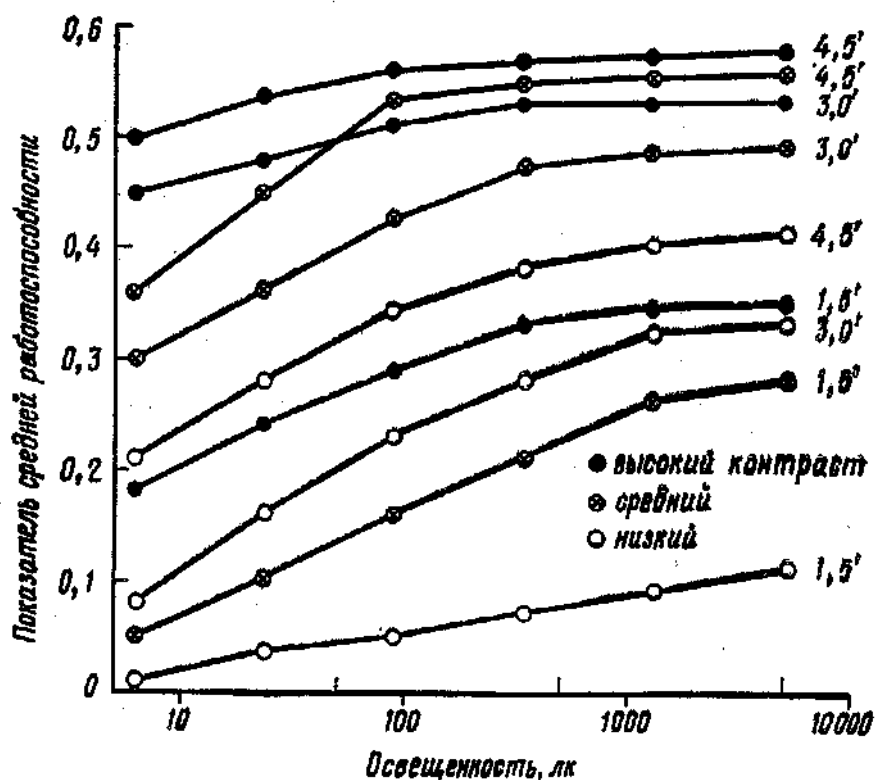


Рис. 18. Соотношения между контрастом при выполнении задания, размером наименьшего критического элемента задания, выраженным в угловых минутах, освещенностью и работоспособностью (скорость и точность выполнения) для задания идентификации колец Лэндольта

При выполнении заданий в административных помещениях большинство исследований указывают на некоторое улучшение производительности с увеличением освещенности. Важно определить насколько это изменение производительности связано с улучшением зрительного восприятия задания и насколько они обусловлены факторами мотивации. Отмечается повышение производительности при выполнении заданий, требующих зрительного восприятия, обычно у работников в возрасте старше 45 лет. Улучшение намного меньше у работников в возрасте до 45 лет или при выполнении заданий с меньшими требованиями к зрительному восприятию.

При выполнении заданий в производственных помещениях известны результаты исследований, показывающие возрастание производительности при выполнении производственных заданий, последовавшее после увеличения освещенности. Эти задания охватывали разнообразные виды деятельности, например изготовление металлических подшипников, механическую обработку стали, сборку карбюраторов, осмотр роликовых подшипников, ткачество и сортировку писем. В большинстве случаев увеличение производительности труда было умеренным – менее 15% при возрастании освещенности от 2 до 10 раз. Учитывая, что первоначальный уровень освещенности был в большинстве случаев ниже 55 лк и что не все задания требовали острого зрительного восприятия, наблюдавшееся возрастание производительности не следует считать чрезмерно высоким. Но следует учитывать, что результаты любых исследований в естественных условиях, сделанных путем сравнения результатов, полученных до и после воздействия, но без использования соответствующей контрольной группы субъектов, трудно интерпретировать, ибо наблюдаемые изменения могут быть обусловлены кроме освещения и другими факторами.

Глаз человека в возрасте за 40 лет претерпевает некоторые необратимые изменения. Возрастает поглощение света хрусталиком из-за увеличения размера желтого пятна. Это уменьшение прозрачности хрусталика и связанное с возрастом рассеяние света в оптических средах существенно уменьшают количество света, достигающее сетчатки. Третье изменение состоит в постепенном удалении ближней точки аккомодации и сопутствующем снижении диапазона аккомодации. Четвертое изменение состоит в уменьшении среднего диаметра зрачка.

Влияние этих изменений очень существенно. Известны данные, согласно которым освещенность сетчатки в возрасте 60 лет составляет обычно лишь 1/3 ее освещенности в возрасте 20 лет. По данным, приведенным в книге «Эргономика», Л., 1988 г., если в возрасте 30 лет для максимально точного восприятия деталей требуется освещенность около 1000 лк, то в возрасте 50 лет она возрастает до 2000 лк. Это объясняет, почему пожилым людям иногда полезно увеличивать освещенность. Увеличение рассеивания может снизить остроту зрения и контрастную чувствительность и ухудшить воздействие блескости ярких источников света в поле зрения. Поэтому пожилые люди часто имеют более низкую приспособляемость к блескости.

Результаты исследования чтения текстов показывают соотношение между освещенностью и работоспособностью молодых и пожилых людей при выполнении трудного и легкого вариантов одного и того же задания, рис. 19. Из рисунка следует, что увеличение освещенности до величины, превышающей 100 лк, оказывает слабое влияние на работоспособность. Видно также, что различие в работоспособности молодого и пожилого читателя текста намного меньше при хорошем качестве печати. Эти результаты наводят на мысль, что высокий уровень освещенности, часто рекомендуемый для работников пожилого возраста, не всегда необходим и что различие в работоспособности

молодого и пожилого работников можно уменьшить, изменяя характер задания. Различение цвета также ухудшается с возрастом, что может быть связано с описанными выше изменениями поглощения света хрусталиком, неоднородными в видимой области спектра.

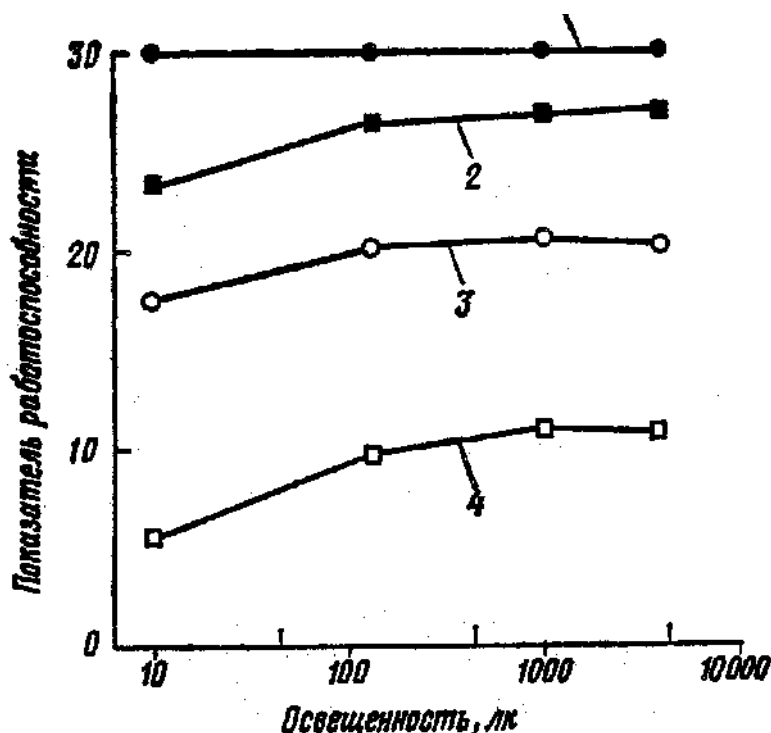


Рис. 19. Соотношения между освещенностью и работоспособностью при выполнении задания (чтения текста) молодыми и пожилыми работниками в случаях хорошего и плохого качества печати.

1 – молодой работник, хорошее качество печати; 2 – пожилой работник, хорошее качество печати; 3 – молодой работник, плохое качество печати; 4 – пожилой работник, плохое качество печати.

Выше было показано, что освещенность может воздействовать на работоспособность, но это воздействие зависит от характера задания и от исполнителя. Чем труднее задание, тем больше требуется света, и пожилым работникам увеличение освещенности приносит больше пользы, чем молодым. Работоспособность в данный момент времени в сильной степени зависит от побудительных причин, заставляющих работника трудиться. Если труд не мотивирован должным образом, исполнители не будут хорошо работать, каким бы ни было освещение. По этой причине в лабораторных исследованиях (где мотивация обычно очень велика) можно получить более высокие начальные оценки минимальных уровней освещения, необходимых для выполнения тех или иных конкретных заданий. Но лабораторные исследования не дают окончательного ответа, так как не требуют от испытуемых субъектов выполнения задания в течение длительных периодов времени, чего они не смогут сделать в плохих условиях. Следовательно, для определения требований

к системе освещения необходимы как лабораторные исследования, так и исследования на рабочих местах.

При организации искусственного освещения необходимо учитывать, что зрительный комфорт и зрительная работоспособность зависят от соотношения между яркостью наблюдаемого объекта и яркостью фона, непосредственно окружающего объект. Если отношение этих двух яркостей достаточно велико, наблюдатель испытывает зрительный дискомфорт. Кроме того, может ухудшиться работоспособность.

В течение многих лет считалось в соответствии с данными специалистов в области освещения, что для сохранения зрительного комфорта и высокой зрительной работоспособности необходимо устанавливать отношение яркости объекта при выполнении задания к яркости фона не более 3:1 (или по крайней мере не более 5:1). Если при выполнении задания объект темнее фона, то максимальное рекомендуемое отношение яркостей 1:3. Обоснование этих рекомендаций можно найти в ряде исследований, проведенных в 1920 – 1930 гг. Эти исследования относились к влиянию яркости фона на пороговое восприятие, например на остроту зрения (острота зрения – способность воспринимать раздельно предметы, расположенные в угловой мере очень близко друг к другу, т. е. величина, обратная предельно малому углу между двумя объектами, например, точками, линиями и т. п., которые еще воспринимаются раздельно.), а не на упомянутую выше пороговую работоспособность при выполнении задания служащими и промышленными рабочими.

В настоящее время известны исследования влияние яркости фона на остроту зрения, где объектами служили кольца Лэндольта, а яркость фона можно было регулировать от величины, намного меньшей яркости заданного объекта, до величины, намного превышающей ее, утверждающие, что наибольшая острота зрения достигается в случае, когда яркость фона равна или немного меньше яркости заданного объекта. Эти данные показывают также, что работоспособность снижается больше, когда фон светлее заданного объекта, чем в случае, когда фон темнее объекта. Но так как экспериментальных данных мало, возможны и другие интерпретации. Согласно другим данным считается, что наибольшая острота зрения достигается, когда яркость фона составляет 1/10 – 1/100 яркости наблюдаемого объекта. Тем не менее можно сослаться на ряд исследований, подтверждающих рекомендацию, что наибольшее отношение яркостей не должно превышать 3:1 .

Различные уровни освещенности, распределения света и цвета вызывают неодинаковые настроения и другие субъективные ощущения. К исследованиям, внесшим один из наиболее заметных вкладов в изучение влияния освещения на субъективные ощущения, относится ряд работ Флинна и сотрудников. Эти исследователи для получения богатой полезной информации применили два метода – факторно-аналитический метод и метод многофакторного шкалирования.

В одной из своих первых работ они классифицировали освещение помещения для проведения конференций, введя шесть различных категорий: 1) освещение верхним дневным светом малой интенсивности, 2) периферическое настенное освещение на всех стенах, 3) верхнее диффузное освещение малой интенсивности, 4) комбинированное освещение – сочетание верхнего дневного освещения (малой интенсивности) и периферического освещения на боковых стенах, 5) верхнее диффузное освещение большой интенсивности и 6) комбинированное освещение – сочетание верхнего дневного освещения (малой интенсивности), периферического настенного освещения и верхнего диффузного освещения.

Субъекты оценивали каждое помещение, пользуясь семантическими (смысловыми) дифференциальными оценочными шкалами (непрерывные шкалы, концам которых присвоен противоположный смысл). Например, испытуемым субъектам предлагалось оценить каждое помещение по шкале «годное» – «негодное», где «годное» находится на одном конце шкалы, а «негодное» – на другом. Рассматриваемая группа методов является одной из модификаций широко используемого в психологических исследованиях метода семантического дифференциала Оsgуда.). Всего применялось более 20 шкал, включающих следующие пары ощущений от типа освещения: приятное – неприятное, мягкое – резкое, интересное – скучное, яркое – тусклое, светлое – темное, простое – сложное, просторности – тесноты, правильное – неправильное.

Применение факторно-аналитического метода выявило пять величин, лежащих в основе восприятия, и были установлены шкалы, наиболее тесно связанные с каждой из них. Эти величины в опытным порядке были идентифицированы как общая оценка, ясность восприятия, пространственная сложность, просторность и правильность. Как и ожидалось, получено большое разнообразие оценок шести помещений. Помещения с комбинированным освещением доски и стен получили наивысшие показатели оценочных величин (годное, приятное, удобное, мягкое, интересное, привлекательное и т. п.), а помещения с одним лишь верхним диффузным освещением – низшие оценки. По ощущению яркости помещения с большей освещенностью получили более высокие оценки. Наконец, наблюдалось отличие оценок по ощущению просторности. Помещения с освещением только доски воспринимались как маленькие и тесные, а помещения с настенным освещением и освещением доски или только с настенным освещением воспринимались как более просторные. Более высокий уровень освещенности доски также способствовал усилению ощущения просторности.

В ходе последующей работы были опрошены испытуемые по их ощущениям от освещения помещения при различных сочетаниях общего и настенного освещения с использованием искусственных источников света четырех различных типов. Освещенность поддерживалась в достаточной степени постоянной. Освещение холодными белыми люминесцентными лампами вызывало ощущения яркости и отчетливости, а использование

натриевых ламп высокого давления оказывало противоположное действие, вызывая ощущения тусклости и нечеткости. Освещение помещения люминесцентными лампами воспринималось как более приятное, чем освещение ртутными лампами. Дополнительное настенное освещение люминесцентными лампами даже увеличивало этот разрыв в ощущениях.

В таблице 6 приведена краткая сводка результатов этого исследования, позволяющая сформулировать ряд важных для проектировщиков освещения принципов, основанных на научных исследованиях ощущений, вызываемых освещением. Применимость этих данных естественно ограничена, так как они относятся лишь к некоторым типам внутренних помещений.

Таблица 6

*Сводка результатов исследований о субъективных ощущениях по оценке
освещения*

Субъективное ощущение	Освещение
Яркости	Яркое равномерное (настенное освещение или стены с высокой отражательной способностью)
Просторности	Равномерное настенное
Мягкости	Неравномерное (настенное освещение более интенсивное, чем верхнее)
Уединенности	Неравномерное (малая сила света вблизи пользователя и большая – в остальных местах)
Приятности	Неравномерное (настенное освещение или стены с высокой отражательной способностью)

Виды систем освещения, типы источников света, светильников и их расположения оказывают влияние на наше восприятие искусственно освещенных внутренних помещений. Вероятно, наиболее широко применяемым видом освещения является освещение горизонтальной рабочей плоскости. Его легко рассчитать, и, если применяется равномерное освещение всей рабочей площади, пользователю предоставляются наибольшие возможности приспособления к любым условиям, так как подводящие устройства можно перемещать, не изменяя надлежащие условия освещения.

Известны данные о предпочтительной световой обстановке (световой обстановкой называют физиологическую и психологическую среду, создаваемую взаимодействием света и цвета с формой и архитектурой помещения) в административных помещениях. Освещенность в 200 лк рассматривается как малоприспособная. Уровни освещенности от 600 лк и более считаются хорошими. Но увеличение освещенности свыше 600 лк оказывает очень малое влияние на субъективные оценки, т. е. оценки при освещенности 1600 лк остаются примерно такими же, как при освещенности 600 лк.

По-видимому, индивидуальная оценка предпочтительной освещенности при выполнении определенного задания является компромиссом между характеристиками видения, блескости, адаптации, привычности и

индивидуальных особенностей личности. Появляются исследования, посвященные возможности работающим самостоятельно регулировать освещенность своего рабочего места и некоторые из имеющегося ограниченного числа экспериментальных данных подтверждают, что иногда работоспособность может улучшиться. Показано также, самостоятельное регулирование освещенности улучшает работоспособность, но этот эффект проявляется в большей мере у лиц с дефектами зрения. Самостоятельное регулирование уровня освещенности – понятие, которое согласуется с последними эргономическими соображениями о том, что рабочие места должны быть обеспечены возможностями приспособления к индивидуальным различиям отдельных работников.

Интересными и пока недостаточно исследованными можно считать проблемы освещения административных помещений с рабочими местами, оборудованными экранами компьютерных мониторов и экранами видеотерминалов.

Административное помещение традиционно проектируется так, чтобы оно было приспособлено к работе с информацией, записанной на бумаге. Для такого помещения часто рекомендуют высокий уровень общей освещенности (например, 700 лк и более), который годится для выполнения таких заданий, как работа с клавиатурой компьютера, работа с картотекой, чтение репродуцированных на бумаге текстов и рукописей.

Задания, выполняемые в компьютеризированном административном помещении, имеют совершенно другой характер. Первичной информацией является не документация на бумаге, а изображение на мониторе или видеотерминале, и требования к освещению мониторов и видеотерминалов сильно отличаются от обычных, так как отличается способ подачи информации. Трудности возникают из-за того, что экраны мониторов и видеотерминалов имеют следующие характеристики.

1. Поверхность экрана вертикальна или слабонаклонная. Линия зрения оператора расположена по крайней мере на 20° выше, чем при работе с документацией на бумаге, лежащей на горизонтальной поверхности. Поэтому увеличивается вероятность появления прямой блескости от светильников и окон.

2. Любой уровень освещенности экрана уменьшает контраст между изображением (или графическим материалом) и фоном, так как яркость темных участков (обычно фона) увеличивается сильнее, чем яркость светлых участков (обычно изображения).

3. Экран монитора и видеотерминала бывает искривленным и часто имеет высокий коэффициент отражения. Экран играет роль зеркала, вызывая блескость, так как свет от ярких объектов, расположенных за оператором и над ним, отражается от экрана и попадает оператору в глаза. Эти отражения уменьшают контраст экрана и могут частично или полностью затемнять часть информации на экране.

Основные принципы освещения рабочих мест с экранами мониторов и видеотерминалов можно сформулировать пока только в общих чертах. Существуют различные точки зрения относительно подходящего уровня освещенности рабочих мест мониторами и видеотерминалами. Известны рекомендации по уровню освещенности, существенно различающиеся, от 200 до 1000 лк и более. Странными кажутся рекомендации Северо-американского светотехнического общества: 50 – 100 лк для рабочих мест с мониторами и видеотерминалами, что ниже любого из существующих или предлагаемых стандартов.

У изображения на экране монитора и видеотерминала есть несколько отличий от изображения нанесенного на бумагу:

- компьютерное изображение – самосветящееся, а не отраженное;
- оно имеет значительно меньший контраст, который уменьшается еще более за счет внешнего освещения;
- не является непрерывным и состоит из отдельных точек – пикселей;
- является мерцающим (мелькающим), т.е. эти точки с определенной частотой зажигаются и гаснут;
- не имеет таких четких границ, как изображение на бумаге, потому, что у пикселей не ступенчатый, а плавный перепад яркости с фоном.

Примерные пределы освещения рабочих мест с экранами мониторов и видеотерминалов, основанные на разумных компромиссах и возникающих взаимозависимостях следующие.

Нижний диапазон 150 – 400 лк является идеальным для заданий, исключающих перенос информации с бумаги на монитор с использованием клавиатуры. Освещенность достаточно низкая, обычно обеспечивается хороший контраст без использования усиливающих приборов. Но, как упоминалось выше, если уровень общей освещенности меньше 300 лк, работающие могут испытывать дискомфорт. Максимальный уровень освещенности 550 лк предполагается для заданий, включающих перенос информации с бумаги на экран монитора с использованием клавиатуры, например, ввод данных и обработка словесной информации. Увеличение общего уровня освещенности выше 550 лк может существенно уменьшить контраст экрана монитора, что затруднит выполнение задания.

Если документ имеет плохой контраст, то освещенность 550 лк может оказаться недостаточной для чтения информации на бумаге. Можно воспользоваться дополнительным местным освещением рабочей зоны, когда свет направлен только на бумагу с записанной на ней информацией, но уровень дополнительной освещенности не должен превышать действительно необходимой величины.

При проектировании любого рабочего помещения, где используются экраны компьютерных мониторов и видеотерминалов, прежде всего следует рассмотреть регулирование блескости. Правильно выполненный первоначальный проект исключает необходимость последующей

дорогостоящей подгонки и реконструкции рабочих мест с размещенными мониторами и видеотерминалами.

Прямую блескость от приборов люминесцентного освещения можно исключить, снабдив их параболическими зеркальными экранирующими решетками. Панели решетки с небольшими ячейками (4x4 см или меньше) более эффективны, чем панели с крупными ячейками. Иногда можно приспособить имеющиеся светильники, оборудовав их параболическими экранирующими решетками с очень малыми ячейками (например, 1.5x1.5 см). Другие эффективные методы регулирования прямой блескости от люминесцентных светильников заключаются в использовании некоторых видов акриловых окрашенных линз, черных металлических панелей, состоящих из непараболических экранирующих решеток, и призматических линз, создающих двустороннее светораспределение типа крыла летучей мыши в случаях, когда можно ориентировать рабочие места так, чтобы получить преимущество от характеристик направленного света.

Системы отраженного освещения уменьшают как прямую, так и отраженную блескость и фактически исключают появление теней. Чтобы избежать блескости от дневного света, рабочие места с мониторами и видеотерминалами можно ориентировать в любом направлении и расположить их таким образом, чтобы операторы не опасались проблем, связанных с возникновением блескости. Светильники могут быть либо незакрепленными, либо прикрепленными к перегородкам помещения, к мебели и другим неподвижным предметам.

Необходимо также регулировать блескость от окон и блескость, отраженную от стен и других поверхностей с использованием следующих способов:

1. Покрытие окна шторами, портьерами, жалюзи или другими затемняющими занавесями.
2. Окраска стен неглянцевой, тусклой краской или закрытие их коврами.
3. Использование мебели с матовой или тканой отделкой.

Иногда невозможно спроектировать идеальную рабочую зону для использования мониторов и видеотерминалов или изменить ее надлежащим образом. Например, владельцы помещения не могут получить разрешение на установку новых осветительных систем или на замену драпировки окон и цветовых схем. Хотя выбор вариантов ограничен, тем не менее, часто можно найти удовлетворительные решения проблемы освещения.

Эффективные методы реконструкции рабочих мест с мониторами и видеотерминалами, уменьшающие блескость, состоят в следующем:

1. Расположение рабочего места так, чтобы в поле зрения оператора не было источников прямой блескости или раздражающих отражений на экране монитора и видеотерминала. Во многих случаях это можно осуществить, ориентируя мониторы и видеотерминалы так, чтобы их экраны располагались перпендикулярно окнам и светильникам верхнего освещения.

2. Наклонить экран вверх или вниз или повернуть его на несколько градусов по часовой стрелке или в противоположном направлении, исключив блики, возникающие на экране.

3. Рассмотреть возможность установки козырька, защищающего экран от окружающих источников света.

В настоящее время в России действуют несколько государственных стандартов, в которых сформулированы жесткие требования к визуальным эргономическим параметрам экранов мониторов и видеотерминалов, а в санитарных правилах и нормах СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» сформулированы гигиенические требования к видеомониторам.

1.3.2. Расчет искусственного освещения

Проектирование искусственного освещения, обеспечивающего заданной точке внутри помещения требуемые характеристики светового поля, обычно сводится к расчету так называемых светотехнических параметров осветительной установки. Параметры осветительной установки определяются:

- выбором системы освещения и типа источника света,
- категорией светильников,
- размещением светильников,
- количеством источников света.

При этом следует учитывать две составляющие освещенности внутри помещения: прямую, создаваемую непосредственно светильниками, и отраженную, которая образуется отраженным от потолка и стен световым потоком.

Расчет искусственного освещения, называемый также светотехническим расчетом, сводится к определению параметров осветительной установки, необходимых для обеспечения заданных характеристик освещения.

Исходными данными для светотехнических расчетов являются:

- нормируемое значение минимальной или средней освещенности,
- тип источника света и светильника,
- высота установки светильника,
- геометрические размеры освещаемого помещения или открытого пространства,
- коэффициенты отражения потолка, стен и расчетной поверхности помещения.

Существуют различные методы расчета искусственного освещения, которые можно свести к двум основным: точечному и методу светового потока, называемому также методом коэффициента использования светового потока.

Точечный метод предназначен для нахождения освещенности в расчетной точке путем расчета освещения произвольно расположенных поверхностей при любом распределении освещенности. Отраженная

составляющая освещенности в этом методе учитывается приближенно. Точечным методом рассчитывается общее локализованное освещение, а также общее равномерное освещение при наличии существенных затенений.

Наиболее распространенным в проектной практике является метод расчета искусственного освещения по методу коэффициента использования светового потока, приемлемого для расчета общего равномерного освещения поверхностей без заметного затенения. В методе учитывается прямой и отраженный свет, переход от средней освещенности к минимальной выполняется приближенно. Средняя освещенность может быть рассчитана для произвольно расположенной поверхности, но наиболее распространенный вариант этого метода предусматривает в основном расчет горизонтальной освещенности.

Использование метода коэффициента использования целесообразно в случаях, когда расчет ведется по средней освещенности, а его упрощенные варианты с использованием таблиц и графиков широко применяются при отсутствии требований высокой точности результатов. Понятно, что общее равномерное освещение может рассчитываться любым методом, хотя в случае, например, светильников прямого света предпочтительнее более строгий точечный метод.

Расчет освещения по методу коэффициента использования светового потока. Освещаемый объем помещения ограничивается ограждающими поверхностями, отражающими значительную часть светового потока, попадающего на них от источников света. В установках внутреннего освещения отражающими поверхностями являются пол, стены, потолок и оборудование, установленное в помещении. В тех случаях, когда поверхности, ограничивающие пространство, имеют высокие значения коэффициентов отражения, отраженная составляющая освещенности может иметь также большое значение и ее учет необходим, поскольку отраженные потоки могут быть сравнимы с прямыми и их недооценка может привести к значительным погрешностям в расчетах. Рассматриваемый метод позволяет производить расчет осветительной установки с учетом прямой и отраженной составляющих освещенности и применяется для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей, равновеликих полу, при светильниках любого типа.

Под коэффициентом использования светового потока, или осветительной установки U_{oy} принято понимать отношение светового потока, падающего на расчетную плоскость, к световому потоку источников света:

$$U_{oy} = \frac{\Phi_p}{n \cdot \Phi_l}, \quad (17)$$

где Φ_p – световой поток, падающий на расчетную плоскость, Φ_l – световой поток источника света, n – число источников света.

Коэффициент использования осветительной установки, характеризующий эффективность использования светового потока источников света, определяется, с одной стороны, светораспределением и размещением светильников, а с другой – соотношением размеров освещаемого помещения и отражающими свойствами его поверхностей.

Основное расчетное уравнение, позволяющее определить необходимое для создания нормированного уровня освещенности количество источников света, имеет следующий вид:

$$\Phi_l = \frac{E_n \cdot K_z \cdot S \cdot z}{n \cdot U_{oy}}, \quad (18)$$

где E_n – нормируемое значение освещенности, K_z – коэффициент запаса, S – освещаемая площадь, $z = E_{cp} / E_{мин}$, E_{cp} , $E_{мин}$ – среднее и минимальное значение освещенности, n – число источников света, Φ_p – коэффициент использования светового потока. Входящий в формулу коэффициент z характеризует неравномерность освещения и зависит главным образом от отношения расстояния L между светильниками к расчетной высоте подвеса h_p светильников.

При L/h_p , не превышающих рекомендуемых значений $L/h_p \leq 0.5 \cdot h_p$, принимается $z = 1.15$ для ламп накаливания и ртутных ламп высокого давления, и $z = 1.1$ для люминесцентных ламп при расположении светильников в виде светящихся линий. Для отраженного освещения принимается $z = 1.0$, а для случая расчета средней освещенности коэффициент z не учитывается.

Коэффициент запаса K_z при использовании для освещения ламп накаливания принимается равным 1.3, при использовании люминесцентных ламп – 1.5. Для помещений с системами отраженного света, с тяжелыми условиями труда, в условиях повышенной влажности и пыли коэффициент запаса может быть увеличен на 0.3.

Суммарная длина n светильников сопоставляется с длиной помещения, причем возможны следующие случаи:

- суммарная длина светильников превышает длину помещения: необходимо или применить более мощные лампы, у которых поток на единицу длины больше, или увеличить число рядов;
- суммарная длина светильников равна длине помещения и задача решается устройством непрерывного ряда светильников;

– суммарная длина светильников меньше длины помещения и принимается ряд с равномерно распределенными вдоль него разрывами между светильниками. Рекомендуется, чтобы разрывы превышало примерно 0.5 расчетной высоты (кроме случая использования многоламповых светильников в помещениях общественных и административных зданий).

Соотношение размеров освещаемого помещения и высота подвеса светильников характеризуются индексом помещения i_n , выражаемого как:

$$i_n = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)}, \quad (19)$$

где A – длина помещения, B – ширина помещения, h_p – расчетная высота подвеса светильников. В ряде справочных изданий приводятся таблицы для упрощенного определения индекса, например, в наиболее полном справочнике Кнорринга Г. М. и других «Справочная книга для проектирования электрического освещения».

Для помещений практически не ограниченной длины можно считать $i_n = \frac{B}{h_p}$. Во всех случаях i_n округляется до ближайших табличных значений;

при $i_n > 5$ принимается $i_n = 5$. С увеличением значения индекса помещения повышается коэффициент использования светового потока, так как при этом возрастает доля светового потока, непосредственно падающего на освещаемую поверхность. Коэффициент использования также повышается с увеличением коэффициентов отражения потолка, стен, расчетной поверхности, которые можно ориентировочно определить по характеристикам материалов.

Коэффициенты отражения расчетной поверхности или пола помещения в большинстве случаев принимаются равными $\rho = 0.1$, но можно использовать предлагаемую справочником таблицу 7.

Таблица 7

Приближенные значения коэффициентов отражения стен и потолков

Отражающая поверхность	Коэффициент отражения
Побеленный потолок; побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	0.7
Побеленные стены при незавешенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях; чистый бетонный и светлый деревянный потолок	0.5
Бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонный стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями	0.3
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный кирпич неоштукатуренный; стены с темными обоями	0.1

По определенным для заданного пространства значениям индекса помещения i_n и коэффициентам отражения: расчетного ρ_p , потолка ρ_n , стен ρ_c , для выбранного типа светильника определяется коэффициент использования U_{oy} . В справочнике приводятся таблица цифровых значений коэффициентов использования для светильников с типовыми диаграммами или кривыми распределения силы света. Для общих оценок U_{oy} достаточно приведенных на рис. 20 кривых зависимости коэффициента использования для светильника рассеянного света от индекса помещения.

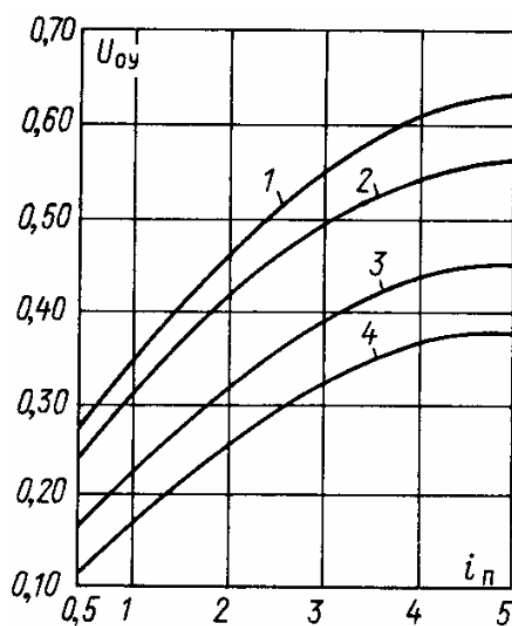


Рис. 20. Графики зависимости коэффициента использования U_{oy} от индекса помещения i_n :

кривая	1	2	3	4
ρ_n	0.7	0.7	0.3	0.3
ρ_c	0.5	0.5	0.1	0.1
ρ_p	0.3	0.1	0.1	0.1

Таким образом, возможен следующий порядок расчета осветительной установки с использованием метода коэффициента использования:

1. Определяется h_p , тип и число светильников n в помещении.
2. Принимается значение коэффициента запаса K_z , поправочный коэффициент z , нормированная освещенность E_n с учетом точности зрительной работы, характерной для помещения.
3. Вычисляется значение индекса помещения по формуле (19).
4. Определяется коэффициент использования светового потока ламп U_{oy} .

5. По формуле (18) рассчитывается световой поток Φ_L в светильнике, необходимый для создания на рабочих поверхностях освещенности, не ниже нормируемой на все время эксплуатации осветительной установки.

6. По значению светового потока Φ_L выбирается лампа с близким по величине световым потоком, не отличающиеся на $-10 - +20\%$ от найденного. Возможна также корректировка числа источников света n , либо высота подвеса светильников h_p .

В случае люминесцентного освещения первоначально планируется число рядов светильников, которое определяют из формулы (18), где вместо числа источников считается число рядов. Величину потока Φ_L обеспечивает тогда один ряд светильников. Суммарная длина ряда светильников сопоставляется с длиной помещения, причем: если суммарная длина светильников превышает длину помещения, возможно либо использование более мощных ламп, либо увеличение числа рядов; если суммарная длина светильников равна длине помещения, устанавливается непрерывный ряд светильников; если суммарная длина светильников меньше длины помещения, возможно равномерное их распределение в ряду с разрывами (разрывы не должны превышать $0.5 h_p$).

Упрощенные варианты метода коэффициента использования. К известным упрощенным вариантам расчета освещенности с использованием коэффициента использования относятся расчеты по удельной мощности, по удельному числу светильников, по условной удельной мощности.

Расчет освещенности по удельной мощности. Удельной мощностью W принято называть частное от деления общей мощности установленных в помещении ламп к площади помещения:

$$W = P_L \cdot n / S, \quad (20)$$

где P_L – мощность одной лампы, Вт, n – число ламп, S – площадь помещения.

Формулу (20) можно привести к виду, подобному формуле (18), но уже для мощности P_L , если ввести определение световой отдачи η и учесть, что световой поток источника $\Phi_L = \eta \cdot P_L$:

$$W = \frac{E_n \cdot K_z \cdot z}{U_{oy} \cdot \eta}, \quad (21)$$

Формула (21) показывает, что W зависит от тех же показателей, которые определяют коэффициент использования. В справочнике в ряде подробных

таблиц приведены данные об удельной мощности для светильников прямого света с типовыми диаграммами распределения силы света.

Показатель удельной мощности является важной характеристикой осветительной установки и используется на начальных стадиях проектирования. Допускается замена полного светотехнического расчета оценкой мощности и числа ламп по таблицам удельной мощности при условии общего равномерного освещения и отсутствия затенений. Таблицами удельной мощности рекомендуется пользоваться в пределах данных, для которых они составлены. Известно, что для люминесцентных ламп существует прямая пропорциональность между создаваемым уровнем освещенности E и удельной мощностью W . Порядок расчета по удельной мощности для ламп накаливания и ртутных ламп высокого давления включает определение: высоты подвеса светильника h_p , типа и числа светильников n в помещении, значения нормированного уровня освещенности E_n , удельной мощности W , мощности лампы и подбор ближайшей по показателям лампы.

Точечный метод расчета освещенности. Метод основан на зависимости

Глава 2. Нормирование освещения зданий

Естественное и искусственное освещение зданий должно обеспечивать в общем случае процесс визуализации объектов, а в рабочих и производственных помещениях – отчетливое различение объектов зрительной работы при необходимом уровне производительности и качества труда с минимальной зрительной нагрузкой. Для соблюдения перечисленных условий требуется учет нормируемых параметров освещения, включающих освещенность рабочей поверхности, показатели дискомфорта, коэффициенты пульсации, а также дополнительных факторов, например, снижение влияния прямой и отраженной блескости, правильное тенеобразование, устранение затенений рабочего места.

Основным документом для установления регламентов освещения зданий является действующий в настоящее время раздел строительных норм и правил СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение», принятый взамен СНиП II-4-79, и утвержденный с изменениями Постановлением Госстроя РФ от 29.05.2003 N 44. Документ устанавливает нормы естественного, искусственного и совмещенного освещения зданий и сооружений, а также нормы искусственного освещения жилых зон, площадок предприятий и мест производства работ вне зданий. В отличие от предшествующих норм и правил действующий СНиП 23-05-95* не содержит методов расчета обеспечиваемого световыми проемами зданий естественного освещения и соответствующих коэффициентов естественного освещения.

В развитие СНиП 23-05-95* разработан Свод правил «Естественное освещение жилых и общественных зданий», СП 23-102-2003, который дает основные принципы проектирования и методы расчета, обеспечивающие выполнение обязательных требований СНиП 23-05-95* по разделу естественного и совмещенного освещения жилых и общественных зданий.

В Своде правил приведены методы расчета нормируемых параметров естественного освещения помещений с боковой и верхней системами освещения для открытых пространств и с учетом городской застройки с различными схемами размещения зданий относительно друг друга, приведены также методы расчета светотехнических параметров, входящих в основные формулы расчета коэффициента естественной освещенности. Свод правил содержит рекомендации по проектированию совмещенного освещения, выбору уровней искусственного освещения в совмещенной системе в зависимости от времени использования естественного света в помещении.

При проектировании естественного освещения зданий следует руководствоваться требованиями, установленными СНиП 23-05-95* и указаниями Свода правил, а также других документов, утвержденных в установленном порядке. При проектировании освещения следует предпочитать варианты, которые позволяют обеспечивать нормативные требования с наименьшими энергетическими и материальными затратами.

Система естественного освещения должна обеспечивать:

- нормированные значения коэффициента естественной освещенности (КЕО) на рабочих местах или в расчетной точке помещения;
- регламентируемые требования к равномерности распределения КЕО в рабочих зонах помещения;
- нормированное значение коэффициента запаса;
- максимальное время использования естественного света.

На территории Российской Федерации по ресурсам светового климата выделено пять групп административных районов, перечень которых с перечислением каждого из входящих в группу приведен в СНиП 23-05-95* и Своде правил.

2.1. Требования к уровню освещения зданий

2.1.1. Естественное и совмещенное освещение

Помещения с постоянным пребыванием людей должны, как правило, иметь естественное освещение. Без естественного освещения допускается проектировать помещения, которые определены соответствующими главами СНиП на проектирование зданий и сооружений, нормативными документами по строительному проектированию зданий и сооружений отдельных отраслей промышленности, утвержденными в установленном порядке, а также помещения, размещение которых разрешено в подвальных этажах зданий и сооружений.

Естественное освещение принято разделять на боковое, верхнее и комбинированное (верхнее и боковое).

Нормированные значения КЕО, e , для зданий, располагаемых в различных административных районах следует определять по формуле

$$e_N = e_n \cdot m_N, \quad (111)$$

где N – номер группы административного района по ресурсам светового климата, e_n – значение КЕО, m_N – коэффициент светового климата по соответствующим таблицам СНиП 23-05-95*. Полученные по формуле (111) значения следует округлять до десятых долей.

При двустороннем боковом освещении помещений любого назначения нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено в расчетной точке в центре помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза и рабочей поверхности.

В жилых и общественных зданиях при одностороннем боковом освещении:

а) жилых помещений в жилых зданиях нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено в расчетной точке, расположенной на пересечении

вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов: в одной комнате для 1-, 2- и 3-комнатных квартир и в двух комнатах для 4-комнатных и более квартир.

В остальных жилых помещениях многокомнатных квартир и в кухне нормируемое значение КЕО при боковом освещении должно обеспечиваться в расчетной точке, расположенной в центре помещения на плоскости пола;

б) жилых помещений общежитий, гостиных и номеров гостиниц нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;

в) групповых и игровых помещений детских дошкольных учреждений, изоляторах и комнатах для заболевших детей – в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;

г) в учебных и учебно-производственных помещениях – школ, школ-интернатов, профессионально-технических и средних специальных учебных заведений – в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1.2 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;

д) в палатах больниц учреждений здравоохранения, в палатах и спальнях комнат санаториев и домов отдыха и пансионатов – в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;

е) в кабинетах врачей, ведущих прием больных, в смотровых, в приемно-смотровых боксах, перевязочных – в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;

ж) в остальных помещениях жилых и общественных зданий – в расчетной точке, расположенной в центре помещения на рабочей поверхности.

В производственных помещениях глубиной до 6.0 м при одностороннем боковом освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1.0 м от стены или линии максимального заглубления зоны, наиболее удаленной от световых проемов.

В крупногабаритных производственных помещениях глубиной более 6.0 м при боковом освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке на условной рабочей поверхности, удаленной от световых проемов:

- на 1.5 высоты от пола до верха светопроемов для зрительных работ I—IV разрядов;
- на 2.0 высоты от пола до верха светопроемов для зрительных работ V—VII разрядов;
- на 3.0 высоты от пола до верха светопроемов для зрительных работ VIII разряда.

При верхнем или комбинированном естественном освещении помещений любого назначения нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола). Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности стен (перегородок) или осей колонн.

Допускается деление помещений на зоны с боковым освещением (зоны, примыкающие к наружным стенам с окнами) и зоны с верхним освещением.

Нормирование и расчет естественного освещения в каждой зоне производится независимо друг от друга.

В производственных помещениях со зрительными работами I—III разрядов следует применять совмещенное освещение. Допускается применение верхнего естественного освещения в крупнопролетных сборочных цехах, в которых работы выполняются в значительной части объема помещения на разных уровнях пола и на различно ориентированных в пространстве рабочих поверхностях. При этом нормированные значения КЕО применяются для разрядов I—III соответственно 10, 7, 5%.

Расчет естественного освещения помещений производится без учета мебели, оборудования, озеленения и других затеняющих предметов, а также при 100%-ном использовании светопрозрачных заполнений в светопроемах. Расчетные значения КЕО следует округлять до сотых долей.

Допускается снижение расчетного значения КЕО e_p от нормируемого КЕО e_n не более чем на 10%.

Расчетные значения средневзвешенного коэффициента отражения внутренних поверхностей помещения следует принимать равными 0.5 в жилых и общественных помещениях и 0.4 в производственных помещениях.

При расчете естественного освещения помещений в условиях застройки коэффициент отражения строительных и облицовочных материалов ρ_m для фасадов противостоящих зданий (без остекленных проемов фасада) следует принимать:

- для строящихся зданий – по данным, приведенным в сертификате на отделочный материал фасада или по данным измерений;
- для существующей застройки – по таблице 21* СНиП 23-05-95*.

Средневзвешенный коэффициент отражения остекленных проемов фасада с учетом переплетов $\rho_{ок}$ в расчетах принимается равным 0.2.

Средневзвешенный коэффициент отражения фасада ρ_{ϕ} с учетом остекленных проемов следует рассчитывать по формуле

$$\rho_{\phi} = \frac{\rho_{\text{м}} \cdot S_{\text{м}} + \rho_{\text{ок}} \cdot S_{\text{ок}}}{S_{\text{м}} + S_{\text{ок}}}, \quad (111)$$

где $\rho_{\text{м}}$, $\rho_{\text{ок}}$ – коэффициент отражения материала отделки фасада и коэффициент отражения остекленных проемов фасада в учетом переплетов соответственно, $S_{\text{м}}$, $S_{\text{ок}}$ – площадь фасада без светопроемов соответственно.

В учебных помещениях общего начального и среднего специального образования независимо от типа освещения следует располагать рабочие места учащихся так, чтобы свет от естественного освещения падал на них, как правило, с левой стороны.

Неравномерность естественного освещения производственных и общественных зданий с верхним или комбинированным освещением не должна превышать 3:1. Расчетное значение КЕО при верхнем и комбинированном естественном освещении в любой точке на линии пересечения условной рабочей поверхности и плоскости характерного вертикального разреза должно быть не менее нормированного значения КЕО при боковом освещении для работ соответствующих разрядов.

Неравномерность естественного освещения не нормируется для помещений с боковым освещением, для производственных помещений, в которых выполняются зрительные работы VII и VIII разрядов, при верхнем и боковом освещении вспомогательных помещений и помещений общественных зданий, в которых выполняются зрительные работы разрядов Г и Д.

Совмещенное освещение. Совмещенное освещение помещений производственных зданий следует предусматривать:

а) для производственных помещений, в которых выполняются работы I - III разрядов;

б) для производственных и других помещений в случаях, когда по условиям технологии, организации производства или климата в месте строительства требуются объемно-планировочные решения, которые не позволяют обеспечить нормированное значение КЕО (многоэтажные здания большой ширины, одноэтажные многопролетные здания с пролетами большой ширины и т.п.), а также в случаях, когда технико-экономическая целесообразность совмещенного освещения по сравнению с естественным подтверждена соответствующими расчетами;

в) в соответствии с нормативными документами по строительному проектированию зданий и сооружений отдельных отраслей промышленности, утвержденными в установленном порядке.

Совмещенное освещение помещений жилых, общественных и административно-бытовых зданий допускается предусматривать в случаях, когда это требуется по условиям выбора рациональных объемно-планировочных решений, за исключением жилых комнат домов и общежитий, гостиных и номеров гостиниц, спальных помещений санаториев и домов отдыха, групповых и игровых детских дошкольных учреждений, палат лечебно-профилактических учреждений.

При совмещенном освещении для помещений общественных зданий с боковым освещением при расчетном значении КЕО, равном или менее 80% нормируемого значения, освещенность от общего искусственного освещения следует повышать на одну ступень по шкале освещенности.

При совмещенном освещении учебных и учебно-производственных помещений школ, школ-интернатов, профессионально-технических и средних специальных учебных заведений следует предусматривать раздельное включение рядов светильников, расположенных параллельно светопроемам.

При совмещенном освещении помещений жилых и общественных зданий, расположенных в центральной части и исторических зонах города, нормируемую освещенность от искусственного освещения следует повышать на одну ступень по шкале освещенности.

2.1.2. Искусственное освещение

Принято выделять две системы искусственного освещения: общую и комбинированную. При общем освещении светильники размещаются преимущественно на потолке и на достаточно удаленном расстоянии от расчетной плоскости, освещая все помещение. Система общего освещения подразделяется на равномерное и локализованное освещение в зависимости от расположения светильников общего освещения. Обычно при общем освещении светильники размещаются с определенным шагом по потолку, обеспечивая равномерное распределение освещенности по всему помещению. При общем локализованном освещении светильники устанавливаются с целью выбора самого удобного направления светового потока на рабочую поверхность, учитывая структуру технологического процесса и расположения оборудования. При этом возможна неравномерность освещенности по всему помещению, однако улучшается качество освещения рабочей поверхности и снижается потребление электроэнергии в случаях малой плотности оборудования.

Комбинированная система освещения подразумевает наличие общего и местного освещения. Местное освещение реализуется чаще всего с помощью светильников, устанавливаемых непосредственно на рабочем месте и предназначенных для освещения исключительно рабочей поверхности. Местное освещение способствует повышению уровня видимости объектов зрительной работы. При этом общее освещение служит для освещения проходов и выравнивания яркости в поле зрения работающих. Выбор системы освещения должен основываться на характере зрительной работы,

выполняемой в помещении, с учетом вероятности возникновения прямой и отраженной блескости, затенения рабочего места людьми и оборудованием.

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное. Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное.

Рабочее освещение обеспечивает нормируемую освещенность для заданной категории зрительной работы и предусматривается во всех помещениях и проходах. Аварийное освещение предусматривает возможность продолжения работы при выходе из строя рабочего освещения. Дежурное освещение помещений не нормируется по величине освещенности и для него можно использовать часть светильников рабочего или эвакуационного освещения с выделением для него самостоятельного выключателя.

Для общего искусственного освещения помещений следует использовать, как правило, разрядные источники света, отдавая предпочтение при равной мощности источникам света с наибольшими световой отдачей и сроком службы.

Искусственное освещение может быть двух систем – общее освещение и комбинированное освещение. Рабочее освещение следует предусматривать для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта. Для помещений, имеющих зоны с разными условиями естественного освещения и различными режимами работы, необходимо раздельное управление освещением таких зон. При необходимости часть светильников рабочего или аварийного освещения может использоваться для дежурного освещения. Нормируемые характеристики освещения в помещениях и снаружи зданий могут обеспечиваться как светильниками рабочего освещения, так и совместным действием с ними светильников освещения безопасности и (или) эвакуационного освещения.

Для освещения помещений производственных и складских зданий следует использовать, как правило, наиболее экономичные разрядные лампы. Использование ламп накаливания для общего освещения допускается только в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности использования разрядных ламп. Для местного освещения кроме разрядных источников света следует использовать лампы накаливания, в том числе галогенные. Нормы освещенности следует повышать на одну ступень шкалы освещенности в следующих случаях:

а) при работах I–IV разрядов, если зрительная работа выполняется более половины рабочего дня;

б) при повышенной опасности травматизма, если освещенность от системы общего освещения составляет 150 лк и менее (работа на дисковых пилах, гильотинных ножницах и т.п.);

в) при специальных повышенных санитарных требованиях (на предприятиях пищевой и химико-фармацевтической промышленности), если освещенность от системы общего освещения – 500 лк и менее;

г) при работе или производственном обучении подростков, если освещенность от системы общего освещения – 300 лк и менее;

д) при отсутствии в помещении естественного света и постоянном пребывании работающих, если освещенность от системы общего освещения – 750 лк и менее;

е) при наблюдении деталей, вращающихся со скоростью, равной или более 500 об/мин, или объектов, движущихся со скоростью, равной или более 1.5 м/мин;

ж) при постоянном поиске объектов различения на поверхности размером 0.1 м² и более;

з) в помещениях, где более половины работающих старше 40 лет.

В помещениях, где выполняются работы IV–VI разрядов, нормы освещенности следует снижать на одну ступень при кратковременном пребывании людей или при наличии оборудования, не требующего постоянного обслуживания. При выполнении в помещениях работ I–III, IVa, IVб, IVв, Va разрядов следует применять систему комбинированного освещения. Предусматривать систему общего освещения допускается при технической невозможности или нецелесообразности устройства местного освещения, что конкретизируется в отраслевых нормах освещения, согласованных с Государственным комитетом санитарно-эпидемиологического надзора. При наличии в одном помещении рабочих и вспомогательных зон следует предусматривать локализованное общее освещение (при любой системе освещения) рабочих зон и менее интенсивное освещение вспомогательных зон, относя их к разряду VIIa.

Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10% нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк при разрядных лампах, не менее 75 лк – при лампах накаливания. Создавать освещенность от общего освещения в системе комбинированного более 500 лк при разрядных лампах и более 150 лк при лампах накаливания допускается только при наличии обоснований.

В помещениях без естественного света освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, следует повышать на одну ступень.

Отношение максимальной освещенности к минимальной не должно превышать для работ I–III разрядов при люминесцентных лампах 1.3, при других источниках света – 1.5, для работ разрядов IV–VII – 1.5 и 2.0 соответственно. Неравномерность освещенности допускается повышать до 3.0

в тех случаях, когда по условиям технологии светильники общего освещения могут устанавливаться только на площадках, колоннах или стенах помещения.

В производственных помещениях освещенность проходов и участков, где работа не производится, должна составлять не более 25% нормируемой освещенности, создаваемой светильниками общего освещения, но не менее 75 лк при разрядных лампах и не менее 30 лк при лампах накаливания.

В цехах с полностью автоматизированным технологическим процессом следует предусматривать освещение для наблюдения за работой оборудования, а также дополнительно включаемые светильники общего и местного освещения для обеспечения необходимой освещенности при ремонтно-наладочных работах.

Для местного освещения рабочих мест следует использовать светильники с непросвечивающими отражателями. Светильники должны располагаться таким образом, чтобы их светящие элементы не попадали в поле зрения работающих на освещаемом рабочем месте и на других рабочих местах. Местное освещение рабочих мест, как правило, должно быть оборудовано регуляторами освещения. Местное освещение зрительных работ с трехмерными объектами различения следует выполнять:

при диффузном отражении фона – светильником, отношение наибольшего линейного размера светящей поверхности которого к высоте расположения ее над рабочей поверхностью составляет не более 0,4 при направлении оптической оси в центр рабочей поверхности под углом не менее 30° к вертикали;

при направленно-рассеянном и смешанном отражении фона – светильником, отношение наименьшего линейного размера светящей поверхности которого к высоте расположения ее над рабочей поверхностью составляет не менее 0,5, а ее яркость – от 2500 до 4000 кд/м².

Для освещения помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий предусматривается использование, как правило, разрядных ламп. В случае технико-экономической нецелесообразности или невозможности применения разрядных ламп, а также для обеспечения архитектурно-художественных требований допускается использование ламп накаливания.

Предусмотренные СНиП 23-05-95* (Таблица 2) нормы освещенности следует повышать на одну ступень шкалы освещенности в следующих случаях:

а) при работах А–В разрядов при специальных повышенных санитарных требованиях (например, в некоторых помещениях общественного питания и торговли);

б) при отсутствии в помещении с постоянным пребыванием людей естественного света;

в) при повышенных требованиях к насыщенности помещения светом для зрительных работ разрядов Г–Е (зрительные и концертные залы, фойе уникальных зданий и т.п.);

г) при применении системы комбинированного освещения административных зданий (кабинеты, рабочие комнаты, читальные залы библиотеки);

д) в помещениях, где более половины работающих старше 40 лет.

Предусмотренные СНиП 23-05-95* (Таблица 2) нормы освещенности следует снижать по шкале освещенности в следующих случаях:

а) на одну ступень для разрядов Г–Е при использовании люминесцентных ламп улучшенной цветопередачи (ЛЕЦ, ЛТБЦЦ, ЛТБЦТ, КЛТБЦ) при условии сохранения нормы по коэффициенту пульсации;

б) на две ступени для всех разрядов при использовании ламп накаливания, в том числе галогенных.

В установках декоративно-художественного освещения помещений общественных зданий с разрядами зрительных работ Г–Е допускается выбор уровня освещенности в соответствии с архитектурными требованиями, при этом для обеспечения возможности свободной ориентировки в помещении наименьшая освещенность условной горизонтальной поверхности должна быть не менее 75 лк при разрядных лампах и 30 лк при лампах накаливания.

В помещениях, где необходимо обеспечить цилиндрическую освещенность, средневзвешенный по поверхности коэффициент отражения стен должен быть не менее 40%, а потолка — не менее 50%.

В помещениях общественных зданий, как правило, следует применять систему общего освещения. Допускается применение системы комбинированного освещения в помещениях административных зданий, где выполняется зрительная работа А–В разрядов (например, кабинеты, рабочие комнаты, читальные залы библиотек и архивов и т.п.). При этом нормируемая освещенность на рабочей поверхности повышается, а освещенность от общего освещения должна составлять не менее 70% значений по СНиП 23-05-95* (Таблица 2).

На предприятиях бытового обслуживания в сопутствующих помещениях производственного характера, где выполняются зрительные работы I–IV разрядов (например, помещения ювелирных и граверных работ, ремонта часов, теле- и радиоаппаратуры и т.д.) следует применять систему комбинированного освещения. Нормируемые освещенности и качественные показатели принимаются по СНиП 23-05-95* (Таблица 1).

Показатель дискомфорта, регламентируемый для ограничения слепящего действия в осветительных установках по СНиП 23-05-95* (Таблица 2), должен обеспечиваться у торцевой стены на центральной оси помещения на высоте 1.5 м от пола. Показатель дискомфорта не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты установки светильников над полом. Коэффициент пульсации освещенности следует принимать по СНиП 23-05-95* (Таблица 2).

Освещение лестничных клеток жилых зданий высотой более 3 этажей должно иметь автоматическое или дистанционное управление, обеспечивающее

отключение части светильников или ламп в ночное время с таким расчетом, чтобы освещенность лестниц была не ниже норм эвакуационного освещения.

Архитектурное, витринное и рекламное освещение имеют свою специфику организации. Среднюю яркость при архитектурном освещении фасадов зданий и сооружений следует принимать в пределах от 3 до 8 кд/м² в зависимости от расположения зданий и сооружений и категории улиц (дорог, площадей) общегородского, районного и местного значения. При расположении объекта освещения вне городской территории, а также на территории парка, сада, бульвара и наблюдении его на фоне неба или неосвещенной зелени расчетная яркость принимается равной 3 кд/м². При расположении объекта вблизи зданий с большими светящимися поверхностями (например, с большими площадями остекления, через которые видны освещенные интерьеры и др.) расчетную яркость следует принимать 8 кд/м². Яркости допускается увеличивать на 50 % при освещении зданий, обозреваемых с расстояния более 1 км, а также зданий с архитектурными деталями малых размеров, имеющих существенное значение для восприятия архитектуры здания в целом. Нормы яркости принимаются одинаковыми при любых источниках света. При равномерном освещении фасадов с гладкой поверхностью отношение максимальной яркости к минимальной не должно превышать 3:1; а при рельефной отделке – 5:1. При акцентировании светом отдельных элементов фасадов или при системе неравномерного их освещения величина неравномерности яркости не регламентируется.

При освещении наружных витрин среднюю вертикальную освещенность на высоте 1.5 м от уровня тротуара следует принимать в пределах от 100 до 300 лк в зависимости от категории улиц (дорог, площадей). Для выделения светом отдельных экспонатов следует предусматривать дополнительное освещение приборами с концентрированной кривой силы света.

Величину средней яркости рекламной панели из светорассеивающего материала, подсвечиваемого изнутри, следует принимать не менее 300 кд/м², при этом отношение максимальной яркости к минимальной должно быть не более 3:1. Величину средней освещенности поверхности освещаемой афиши, плаката или стенда следует принимать 200 лк при коэффициенте отражения полотна 0.4–0.2 и 100 лк при коэффициенте 0.8–0.5. Отношение максимальной освещенности к минимальной должно быть не более 5:1.

Аварийное (освещение безопасности и эвакуационное), охранное и дежурное освещение имеют свою специфику организации. Освещение безопасности следует предусматривать в случаях если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать:

- взрыв, пожар, отравление людей;
- длительное нарушение технологического процесса;

- нарушение работы таких объектов, как электрические станции, узлы радио- и телевизионных передач и связи, диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения, канализации и теплофикации, установки вентиляции и кондиционирования воздуха для производственных помещений, в которых недопустимо прекращение работ и т.п.;

- нарушение режима детских учреждений независимо от числа находящихся в них детей.

Эвакуационное освещение в помещениях или в местах производства работ вне зданий следует предусматривать:

- в местах, опасных для прохода людей;
- в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей, при числе эвакуирующихся более 50 чел.;
- по основным проходам производственных помещений, в которых работают более 50 чел.;
- в лестничных клетках жилых зданий высотой 6 этажей и более;
- в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, где выход людей из помещения при аварийном отключении нормального освещения связан с опасностью травматизма из-за продолжения работы производственного оборудования;
- в помещениях общественных и вспомогательных зданий промышленных предприятий, если в помещениях могут одновременно находиться более 100 чел.;
- в производственных помещениях без естественного света.

Освещение безопасности должно создавать на рабочих поверхностях в производственных помещениях и на территориях предприятий, требующих обслуживания при отключении рабочего освещения, наименьшую освещенность в размере 5 % освещенности, нормируемой для рабочего освещения от общего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий, не менее 1 лк для территорий предприятий. При этом создавать наименьшую освещенность внутри зданий более 30 лк при разрядных лампах и более 10 лк при лампах накаливания допускается только при наличии соответствующих обоснований.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов (или на земле) и на ступенях лестниц: в помещениях – 0.5 лк, на открытых территориях – 0.2 лк. Неравномерность эвакуационного освещения (отношение максимальной освещенности к минимальной) по оси эвакуационных проходов должна быть не более 40 : 1. Светильники освещения безопасности в помещениях могут использоваться для эвакуационного освещения.

Для аварийного освещения (освещения безопасности и эвакуационного) следует применять:

- лампы накаливания;
- люминесцентные лампы в помещениях с минимальной температурой воздуха не менее 5° С и при условии питания ламп во всех режимах напряжением не ниже 90 % номинального;

– разрядные лампы высокого давления при условии их мгновенного или быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии после кратковременного отключения питающего напряжения, так и в холодном состоянии.

Осветительные приборы аварийного освещения (освещения безопасности, эвакуационного) допускается предусматривать горящими, включаемыми одновременно с основными осветительными приборами нормального освещения и не горящими, автоматически включаемыми при прекращении питания нормального освещения.

Охранное освещение (при отсутствии специальных технических средств охраны) должно предусматриваться вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время. Освещенность должна быть не менее 0.5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости или на уровне 0.5 м от земли на одной стороне вертикальной плоскости, перпендикулярной к линии границы. При использовании для охраны специальных технических средств освещенность следует принимать по заданию на проектирование охранного освещения. Для охранного освещения могут использоваться любые источники света, за исключением случаев, когда охранное освещение нормально не горит и автоматически включается от действия охранной сигнализации или других технических средств. В таких случаях должны применяться лампы накаливания.

2.2. Методы расчета и проектирования нормируемых параметров естественного освещения

Свод правил СП 23-102-2003 «Естественное освещение жилых и общественных зданий», сопровождающий СНиП 23-05-95* "Естественное и искусственное освещение", содержит методы проектирования и расчета нормируемых параметров естественного освещения помещений с боковой и верхней системами освещения, для открытых пространств и с учетом городской застройки с различными схемами размещения зданий относительно друг друга, а также методы расчета светотехнических параметров, входящих в основные формулы расчета коэффициента естественной освещенности.

2.2.1. Общие требования к проектированию естественного освещения

Проектирование естественного освещения зданий должно базироваться на изучении трудовых процессов, выполняемых в помещениях, а также на светоклиматических особенностях места строительства зданий. При этом должны быть определены следующие параметры:

- характеристика и разряд зрительных работ;
- группа административного района, в котором предполагается строительство здания;

- нормированное значение КЕО с учетом характера зрительных работ и светоклиматических особенностей места расположения зданий;
- требуемая равномерность естественного освещения;
- продолжительность использования естественного освещения в течение суток для различных месяцев года с учетом назначения помещения, режима работы и светового климата местности;
- необходимость защиты помещения от слепящего действия солнечного света.

Проектирование естественного освещения здания следует выполнять в следующей последовательности:

1-й этап:

- определение требований к естественному освещению помещений;
- выбор систем освещения;
- выбор типов световых проемов и светопропускающих материалов;
- выбор средств для ограничения слепящего действия прямого солнечного света;
- учет ориентации здания и световых проемов по сторонам горизонта;

2-й этап:

- выполнение предварительного расчета естественного освещения помещений (определение необходимой площади световых проемов);
- уточнение параметров световых проемов и помещений;

3-й этап:

- выполнение проверочного расчета естественного освещения помещений;
- определение помещений, зон и участков, имеющих недостаточное по нормам естественное освещение;
- определение требований к дополнительному искусственному освещению помещений, зон и участков с недостаточным естественным освещением;
- определение требований к эксплуатации световых проемов;

4-й этап:

- внесение необходимых корректив в проект естественного освещения и повторный проверочный расчет (при необходимости).

Систему естественного освещения здания (боковое, верхнее или комбинированное) следует выбирать с учетом следующих факторов:

- назначения и принятого архитектурно-планировочного, объемно-пространственного и конструктивного решения здания;
- требований к естественному освещению помещений, вытекающих из особенностей технологии производства и зрительной работы;
- климатических и светоклиматических особенностей места строительства;
- экономичности естественного освещения (по энергетическим затратам).

Верхнее и комбинированное естественное освещение следует применять преимущественно в одноэтажных общественных зданиях большой площади (крытые рынки, стадионы, выставочные павильоны и т. п.).

Боковое естественное освещение следует применять в многоэтажных общественных и жилых зданиях, одноэтажных жилых зданиях, а также в одноэтажных общественных зданиях, в которых отношение глубины помещений к высоте верхней грани светового проема над условной рабочей поверхностью не превышает 8.

При выборе световых проемов и светопропускающих материалов следует учитывать:

- требования к естественному освещению помещений;
- назначение, объемно-пространственное и конструктивное решение здания;
- ориентацию здания по сторонам горизонта;
- климатические и светоклиматические особенности места строительства;
- необходимость защиты помещений от инсоляции;
- степень загрязнения воздуха.

При боковом естественном освещении общественных зданий с повышенными требованиями к постоянству естественного освещения и солнцезащите (например, картинные галереи) световые проемы следует ориентировать на северную четверть горизонта (С-СЗ-С-СВ).

Выбор устройств для защиты от слепящего действия прямого солнечного света следует производить с учетом:

- ориентации световых проемов по сторонам горизонта;
- направления солнечных лучей относительно человека в помещении, имеющего фиксированную линию зрения (ученик за партой, чертежник за чертежной доской и т. п.);
- рабочего времени суток и года в зависимости от назначения помещения;
- разницы между солнечным временем, по которому построены солнечные карты, и декретным временем, принятым на территории Российской Федерации.

При односменном рабочем (учебном) процессе и при эксплуатации помещений в основном в первую половину дня (например, лекционные аудитории), когда помещения ориентированы на западную четверть горизонта, применение солнцезащитных средств необязательно.

2.2.2. Методика расчета коэффициента естественного освещения КЕО

Предлагаемая Сводом правил СП 23-102-2003 «Естественное освещение жилых и общественных зданий» методика предназначена для расчета коэффициента естественной освещенности КЕО применительно к боковой системе освещения с различными схемами расположения зданий в условиях застройки, а также для расчета КЕО в помещениях с верхней (через фонари

различных конструкций) и комбинированной (верхней и боковой) системами естественного освещения.

Порядок расчета коэффициента естественной освещенности. Расчет коэффициента естественной освещенности КЕО следует производить:

а) при боковом освещении по формуле:

$$e_p^b = \left(\sum_{i=1}^L \varepsilon_{bi} \cdot q_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{3Дj} \cdot b_{\phi j} \cdot K_{3Дj} \right) \cdot r_o \cdot \tau_o / K_3 ; \quad (\text{Б.1})$$

б) при верхнем освещении по формуле

$$e_p^v = \left(\sum_{i=1}^T \varepsilon_{vi} + \varepsilon_{cp} (r_2 \cdot k_{\phi} - 1) \right) \cdot \tau_o / K_3 ; \quad (\text{Б.2})$$

в) при комбинированном (верхнем и боковом) освещении по формуле

$$e_p^k = e_p^v + e_p^b ; \quad (\text{Б.3})$$

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

ε_{bi} – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет от i -го участка неба, определяемый по формуле (Б.9);

q_i – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость i -го участка облачного неба МКО, определяемый по таблице Б1;

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

T – число световых проемов в покрытии;

$\varepsilon_{3Дj}$ – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий свет, отраженный от i -го участка фасадов зданий противостоящей застройки, определяемый по формуле (Б.10);

$b_{\phi j}$ – средняя относительная яркость j -го участка противостоящего (экранирующего) здания, расположенного параллельно исследуемому зданию (помещению), определяемая по таблице Б.2.;

r_o – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и

подстилающего слоя, прилегающего к зданию, принимаемый по таблицам Б.4 и Б.5;

K_3 – коэффициент запаса, определяемый по таблице 3 СНиП 23-05-95* ;

ε_{6i} – геометрический КЕО в расчетной точке при верхнем освещении от i -го проема, определяемый по графикам на рис. 25, 26.

При расчете средней относительной яркости фасадов $b_{\phi j}$ по таблице Б.2 коэффициент отражения строительных и облицовочных материалов ρ для фасадов противостоящих зданий без оконных проемов, а также средневзвешенный коэффициент отражения фасадов ρ_{ϕ} с учетом оконных проемов следует принимать по таблице Б.3. Для строящихся зданий допускается принимать ρ_{ϕ} по данным, приведенным в сертификате на отделочный материал фасада или по данным измерений.

Средневзвешенный коэффициент отражения оконных проемов с учетом переплетов $\rho_{ок}$ в расчетах принимают равным 0.20.

Средневзвешенный коэффициент отражения фасадов ρ_{ϕ} с отделочными материалами, отличающимися от приведенных в таблице Б.3, с учетом оконных проемов следует определять по формуле

$$\rho_{\phi} = \frac{\rho_{ок} \cdot A_{ок} + \rho \cdot A_{фас}}{A_{ок} + A_{фас}} ; \quad (Б.4)$$

где ρ и $\rho_{ок}$ – коэффициент отражения отделочного материала фасада и заполнений оконных проемов с учетом переплетов соответственно;

$A_{фас}$ и $A_{ок}$ – площадь фасада без светопроемов и площадь светопроемов соответственно.

τ_o – общий коэффициент пропускания света, определяемый по формуле

$$\tau_o = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (Б.6)$$

здесь τ_1 – коэффициент светопропускания материала, определяемый по таблице Б.7;

τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема, определяемый по таблице Б.7.

Размеры светопроема принимают равными размерам коробки переплета по наружному обмеру;

τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях, определяемый по таблице Б.8 (при боковом освещении $\tau_3 = 1$);

τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, определяемый в соответствии с таблицей Б.8;

τ_5 – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями, принимаемый равным 0.9;

ε_{cp} – среднее значение геометрического КЕО при верхнем освещении на линии пересечения условной рабочей поверхности и плоскости характерного вертикального разреза помещения, определяемое из соотношения

$$\varepsilon_{cp} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \varepsilon_{vi}, \quad \text{Б.7)}$$

здесь N – число расчетных точек.

Среднее значение КЕО e_{cp} при верхнем или комбинированном освещении определяют по формуле

$$e_{cp} = \frac{1}{N-1} \cdot \left(\frac{e_1 + e_N}{2} + \sum_{i=2}^{N-1} e_i \right), \quad \text{(Б.8)}$$

где e_1 и e_N – значения КЕО при верхнем или комбинированном освещении в первой и последней точках характерного разреза помещения;

e_i – значения КЕО в остальных точках характерного разреза помещения ($i = 2, 3, \dots, N-1$).

Геометрический коэффициент естественной освещенности, учитывающий прямой свет неба от равномерного небосвода в какой-либо точке помещения при боковом освещении, определяют по формуле

$$\varepsilon_{\bar{oi}} = 0.01 \cdot (n_1 \cdot n_2), \quad \text{(Б.9)}$$

где n_1 – число лучей по графику I, проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на поперечном разрезе помещения, рис. 25;

n_2 – число лучей по графику II, проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на плане помещения, рис. 26.

Геометрический коэффициент естественной освещенности $\varepsilon_{3Дj}$, учитывающий свет, отраженный от противостоящего здания при боковом освещении, определяют по формуле

$$\varepsilon_{3Дj} = 0.01 \cdot (n'_1 \cdot n'_2)_j, \quad (\text{Б.10})$$

где n'_1 – число лучей по графику I, проходящих от противостоящего здания через световые проемы в расчетную точку на поперечном разрезе помещения;

n'_2 – число лучей по графику II, проходящих от противостоящего здания через световой проем в расчетную точку на плане помещения.

Расчетные значения КЕО e_p , полученные по формулам (Б.1) – (Б.3), (Б.7), (Б.8), следует округлять до сотых долей. Допускается снижение расчетного значения КЕО e_p от нормированного КЕО на 10 %.

Геометрический коэффициент естественной освещенности ε_{vi} в какой-либо точке помещения от неба МКО при верхнем освещении определяют по формуле

$$\varepsilon_{vi} = 0.01 \cdot (n_1 \cdot n_2 \cdot q_i), \quad (\text{Б.11})$$

где n_1 – число лучей по графику I, проходящих от неба в расчетную точку через i-й световой проем на поперечном разрезе помещения;

n_2 – число лучей по графику II, проходящих от неба в расчетную точку через i-й световой проем на продольном разрезе помещения;

r_2 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при верхнем освещении, благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения, принимаемый по таблице Б.9;

k_ϕ – коэффициент, принимаемый в зависимости от типа фонаря и определяемый по таблице Б.10;

e_p^k – расчетное значение КЕО при комбинированном освещении.

Таблица Б.1

Значения коэффициента q_i

Угловая высота среднего луча участка небосвода, видимого из расчетной точки через световой проем в разрезе помещения, град.	Значения коэффициента q_i
2	0.46
6	0.52
10	0.58
14	0.64
18	0.69
22	0.75
26	0.80
30	0.86
34	0.91
38	0.96
42	1.00
46	1.04
50	1.08
54	1.12
58	1.16
62	1.18
66	1.21
70	1.23
74	1.25
78	1.27
82	1.28
86	1.28
90	1.29

Примечания

1. При значениях угловых высот среднего луча, отличных от приведенных в таблице, значения коэффициента q_i определяют интерполяцией.

2. В практических расчетах угловую высоту среднего луча участка небосвода, видимого из расчетной точки через световой проем в разрезе помещения, следует заменять угловой высотой середины участка небосвода, видимого из расчетной точки через световой проем.

Таблица Б.2

Значения средней относительной яркости фасадов экранирующих (противостоящих) зданий b_{ϕ} с параллельным их расположением

Средневзвешенный коэффициент отражения фасада ρ_{ϕ}	Отношение расстояния между зданиями l к длине противостоящего здания a	Значения средней относительной яркости фасада b_{ϕ} противостоящего здания при отношении длины противостоящего здания a к его расчетной высоте H_p						
		0.25 и менее	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00 и более
0.6	2.00 и более	0.29	0.33	0.37	0.39	0.40	0.41	0.41

0.6	1.00	0.24	0,27	0,32	0,34	0,35	0,36	0.36
0.6	0.50	0.20	0,21	0,25	0,28	0,30	0,32	0.33
0.6	0.25 и менее	0.17	0,17	0,18	0,21	0,23	0,27	0.29
0.5	2.00 и более	0.24	0,27	0,31	0,32	0,33	0,34	0.34
0.5	1.00	0.19	0,22	0,26	0,28	0,28	0,29	0.30
0.5	0.50	0.15	0,16	0,19	0,22	0,24	0,26	0.27
0.5	0.25 и менее	0.12	0,12	0,14	0,16	0,18	0,21	0.23
0.4	2.00 и более	0.19	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0.27
0.4	1.00	0.15	0,17	0,20	0,22	0,22	0,23	0.24
0.4	0.50	0.11	0,12	0,15	0,17	0,19	0,20	0.21
0.4	0.25 и менее	0.09	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0.18
0.3	2.00 и более	0.14	0,16	0,18	0,19	0,20	0,20	0.20
0.3	1.00	0.11	0,12	0,15	0,16	0,17	0,17	0.18
0.3	0.50	0.08	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15	0.15
0.3	0.25 и менее	0.06	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0.13
0.2	2.00 и более	0.09	0,11	0,12	0,13	0,13	0,13	0.14
0.2	1.00	0.07	0,08	0,10	0,10	0,11	0,11	0.12
0.2	0.50	0.05	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0.10
0.2	0.25 и менее	0.04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0.08
Примечание — При значениях параметров ρ_{ϕ} , l/a , a/H_p , отличных от приведенных в таблице, коэффициент b_{ϕ} определяют интерполяцией.								

Таблица Б.3

Значения коэффициента отражения некоторых строительных материалов ρ и средневзвешенного коэффициента отражения фасада ρ_{ϕ}

Материал	Коэффициент отражения материала ρ	Средневзвешенный коэффициент отражения фасада ρ_{ϕ}
Белая фасадная краска, белый мрамор	0.70	0.55
Светло-серый бетон, белый силикатный кирпич, очень светлые фасадные краски	0.60	0.48
Серый бетон, известняк, желтый песчаник, светло-зеленая, бежевая, светло-серая фасадная краска, светлые породы мрамора	0.50	0.41
Серый офактуренный бетон, серая фасадная краска, светлое дерево, серый силикатный кирпич	0.40	0.34
Розовый силикатный кирпич, темно-голубая, темно-бежевая, светло-коричневая фасадная краска, потемневшее дерево	0.30	0.27
Темно-серый мрамор, гранит, темно-коричневая, синяя, темно-зеленая, красная фасадная краска	0.20	0.20

Таблица Б.4

Значения r_o для условной рабочей поверхности

Отношение глубины помещения d_n к высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна h_{01}	Отношение расстояния расчетной точки от внутренней поверхности наружной стены l_T к глубине помещения d_n	Средневзвешенный коэффициент отражения пола, стен и потолка ρ_{cp}											
		0.60			0.50			0.45			0.35		
		Отношение длины помещения a_n к его глубине d_n											
		0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
1.00	0.10	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01
1.00	0.50	1,66	1,59	1,46	1,47	1,42	1,33	1,37	1,34	1,26	1,19	1,17	1,13
1.00	0.90	2,86	2,67	2,30	2,33	2,19	1,93	2,06	1,95	1,74	1,53	1,48	1,37
3.00	0.10	1,10	1,09	1,07	1,07	1,06	1,05	1,06	1,05	1,04	1,03	1,03	1,02
3.00	0.20	1,32	1,29	1,22	1,23	1,20	1,16	1,18	1,16	1,13	1,09	1,08	1,06
3.00	0.30	1,72	1,64	1,50	1,51	1,46	1,36	1,41	1,37	1,29	1,20	1,18	1,14
3.00	0.40	2,28	2,15	1,90	1,91	1,82	1,64	1,73	1,66	1,51	1,37	1,33	1,26
3.00	0.50	2,97	2,77	2,38	2,40	2,26	1,98	2,12	2,01	1,79	1,56	1,51	1,39
3.00	0.60	3,75	3,47	2,92	2,96	2,76	2,37	2,57	2,41	2,10	1,78	1,71	1,55
3.00	0.70	4,61	4,25	3,52	3,58	3,32	2,80	3,06	2,86	2,44	2,03	1,93	1,72
3.00	0.80	5,55	5,09	4,18	4,25	3,92	3,27	3,60	3,34	2,82	2,30	2,17	1,91
3.00	0.90	6,57	6,01	4,90	4,98	4,58	3,78	4,18	3,86	3,23	2,59	2,43	2,11
5.00	0.10	1,16	1,15	1,11	1,12	1,11	1,08	1,09	1,08	1,07	1,05	1,04	1,03
5.00	0.20	1,53	1,48	1,37	1,38	1,34	1,27	1,30	1,27	1,21	1,15	1,14	1,11
5.00	0.30	2,19	2,07	1,84	1,85	1,77	1,60	1,68	1,61	1,48	1,34	1,31	1,24
5.00	0.40	3,13	2,92	2,49	2,52	2,37	2,07	2,22	2,10	1,85	1,61	1,55	1,43
5.00	0.50	4,28	3,95	3,29	3,34	3,11	2,64	2,87	2,68	2,31	1,94	1,84	1,66
5.00	0.60	5,58	5,12	4,20	4,27	3,94	3,29	3,61	3,35	2,83	2,31	2,18	1,92
5.00	0.70	7,01	6,41	5,21	5,29	4,86	4,01	4,44	4,09	3,40	2,72	2,55	2,20
5.00	0.80	8,58	7,82	6,31	6,41	5,87	4,79	5,33	4,90	4,03	3,17	2,95	2,52
5.00	0.90	10,28	9,35	7,49	7,63	6,96	5,64	6,30	5,77	4,71	3,65	3,39	2,86

Таблица Б.5

Значения r_o на уровне пола

Отношение глубины помещения d_n к высоте	Отношение расстояния расчетной точки от внутренней	Средневзвешенный коэффициент отражения пола, стен и потолка ρ_{cp}			
		0,60	0,50	0,45	0,35
		Отношение ширины помещения b_n к его глубине d_n			

от уровня условной рабочей поверхности до верха окна h_{01}	поверхности наружной стены l_T к глубине помещения d_n	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
1.00	0.10	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03
1.00	0.50	1,46	1,41	1,31	1,31	1,27	1,20	1,23	1,20	1,14	1,08	1,06	1,03
1.00	0.90	2,32	2,17	1,88	1,89	1,79	1,57	1,68	1,59	1,42	1,25	1,21	1,12
3.00	0.10	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
3.00	0.20	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02
3.00	0.30	1,32	1,29	1,23	1,22	1,20	1,16	1,17	1,16	1,12	1,08	1,07	1,05
3.00	0.40	1,85	1,77	1,59	1,60	1,54	1,41	1,47	1,42	1,32	1,21	1,09	1,14
3.00	0.50	2,51	2,36	2,05	2,06	1,95	1,73	1,84	1,75	1,57	1,38	1,34	1,25
3.00	0.60	3,21	2,98	2,53	2,55	2,39	2,06	2,22	2,09	1,83	1,56	1,50	1,37
3.00	0.70	3,90	3,60	3,00	3,04	2,83	2,40	2,61	2,44	2,09	1,74	1,66	1,49
3.00	0.80	4,60	4,23	3,48	3,53	3,26	2,73	2,99	2,78	2,36	1,92	1,82	1,61
3.00	0.90	5,29	4,85	3,96	4,02	3,70	3,06	3,38	3,12	2,62	2,10	1,98	1,72
5.00	0.10	1,09	1,09	1,09	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06
5.00	0.20	1,06	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03
5.00	0.30	1,53	1,48	1,38	1,38	1,34	1,27	1,30	1,27	1,22	1,15	1,13	1,10
5.00	0.40	2,45	2,30	2,01	2,02	1,92	1,71	1,81	1,73	1,56	1,39	1,35	1,27
5.00	0.50	3,57	3,31	2,79	2,82	2,63	2,26	2,44	2,29	2,00	1,69	1,62	1,47
5.00	0.60	4,74	4,36	3,60	3,65	3,38	2,83	3,10	2,88	2,45	2,01	1,90	1,68
5.00	0.70	5,92	5,42	4,42	4,48	4,12	3,41	3,76	3,48	2,91	2,32	2,18	1,90
5.00	0.80	7,09	6,47	5,23	5,31	4,87	3,98	4,42	4,07	3,36	2,64	2,46	2,11
5.00	0.90	8,26	7,52	6,04	6,14	5,61	4,56	5,08	4,66	3,81	2,96	2,75	2,32

Примечания к таблицам Б.4 и Б.5

1 При промежуточных значениях d_n/h_{01} , l_T/d_n , b_n/d_n и ρ_{cp} коэффициент r_o определяют интерполяцией.

2 Средневзвешенный коэффициент отражения помещения (пола, стен и потолка) рассчитывают по формуле

$$\rho_n = \frac{\rho_{пол} \cdot A_{пол} + \rho_{ст} \cdot A_{ст} + \rho_{пот} \cdot A_{пот}}{A_{пол} + A_{ст} + A_{пот}},$$

где $\rho_{пол}$, $\rho_{ст}$, $\rho_{пот}$ — коэффициенты отражения материала пола, стен и потолка соответственно;

$A_{пол}$, $A_{ст}$, $A_{пот}$ — площадь пола, стен и потолка соответственно.

Если отделка поверхности помещения неизвестна, то для помещений жилых и общественных зданий средневзвешенный коэффициент отражения ρ_{cp} следует принимать равным 0.50.

Таблица Б.7

Значения коэффициентов τ_1 и τ_2

Вид светопропускающего материала	Значения τ_1	Вид переплета	Значения τ_2
Стекло оконное листовое: одинарное двойное тройное Стекло витринное толщиной 6—8 мм Стекло листовое армированное Стекло листовое узорчатое Стекло листовое со специальными свойствами: солнцезащитное контрастное Органическое стекло: прозрачное молочное Пустотелые стеклянные блоки: светорассеивающие светопрозрачные Стеклопакеты	0.9 0.8 0.75 0.8 0.6 0.65 0.65 0.75 0.9 0.6 0.5 0.55 0.8	Переплеты для окон и фонарей промышленных зданий: деревянные: одинарные спаренные двойные раздельные стальные: одинарные открывающиеся одинарные глухие двойные открывающиеся двойные глухие Переплеты для окон жилых, общественных и вспомогательных зданий: деревянные: одинарные спаренные двойные раздельные с тройным остеклением металлические: одинарные спаренные двойные раздельные с тройным остеклением Стекложелезобетонные панели с пустотелыми стеклянными блоками при толщине шва: 20 мм и менее более 20 мм	0.75 0.7 0.6 0.75 0.9 0.6 0.8 0.8 0.75 0.65 0.5 0.9 0.85 0.8 0.7 0.9 0.85
Примечание — Значения коэффициентов τ_1 и τ_2 для светопропускающего материала и переплетов, не указанных в таблице Б.7, следует определять по ГОСТ 26602.4.			

Таблица Б.8

Значения коэффициентов τ_3 и τ_4

Несущие конструкции покрытий	Коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях, τ_3	Солнцезащитные устройства, изделия и материалы	Коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, τ_4
Стальные фермы	0.9	Убирающиеся регулируемые жалюзи и шторы (межстекольные, внутренние, наружные)	1.0
Железобетонные и деревянные фермы и арки	0.8	Стационарные жалюзи и экраны с защитным углом не более 45° при расположении пластин жалюзи или экранов под углом 90° к плоскости	

		окна: горизонтальные вертикальные	0.65 0.75
Балки и рамы сплошные при высоте сечения: 50 см и более менее 50 см	0.8 0.9	Горизонтальные козырьки: с защитным углом не более 30° с защитным углом от 15° до 45° (многоступенчатые)	0.8 0.9-0.6
		Балконы глубиной: до 1.20 м 1.50 м 2.00 м 3.00 м	0.90 0.85 0.78 0.62
		Лоджии глубиной: до 1.20 м 1.50 м 2.00 м 3.00 м	0.80 0.70 0.55 0.22

Таблица Б.9

Значения коэффициента r_2

Отношение высоты помещения, принимаемой от условной рабочей поверхности до нижней границ остекления, h_{ϕ} к ширине пролета l_1	Значения r_2								
	Средневзвешенный коэффициент отражения пола, стен и потолка								
	$\rho_{cp} = 0,5$			$\rho_{cp} = 0,4$			$\rho_{cp} = 0,3$		
	Число пролетов								
	1	2	3 и более	1	2	3 и более	1	2	3 и более
2	1.7	1.5	1.15	1.6	1.4	1.1	1.4	1.1	1.05
1	1.5	1.4	1.15	1.4	1.3	1.1	1.3	1.1	1.05
0.75	1.45	1.35	1.15	1.35	1.25	1.1	1.25	1.1	1.05
0.5	1.4	1.3	1.15	1.3	1.2	1.1	1.2	1.1	1.05
0.25	1.35	1.25	1.15	1.25	1.15	1.1	1.15	1.1	1.05
Примечания									
1. В помещениях с зенитными и шахтными фонарями h_{ϕ} соответствует h_p (расчетная высота) от условной рабочей поверхности до нижней грани остекления фонаря).									
2. В однопролетных помещениях ширина пролета l_1 соответствует ширине помещения b_n .									

Таблица Б.10

Значения коэффициента k_{ϕ}

Тип фонаря	Значения k_{ϕ}
Световые проемы в плоскости покрытия, ленточные	1,0
Световые проемы в плоскости покрытия, штучные	1,1
Фонари с наклонным двусторонним остеклением (трапецевидные)	1,15
Фонари с вертикальным двусторонним остеклением (прямоугольные)	1,2
Фонари с односторонним наклонным остеклением (шеды)	1,3
Фонари с односторонним вертикальным остеклением (шеды)	1,4

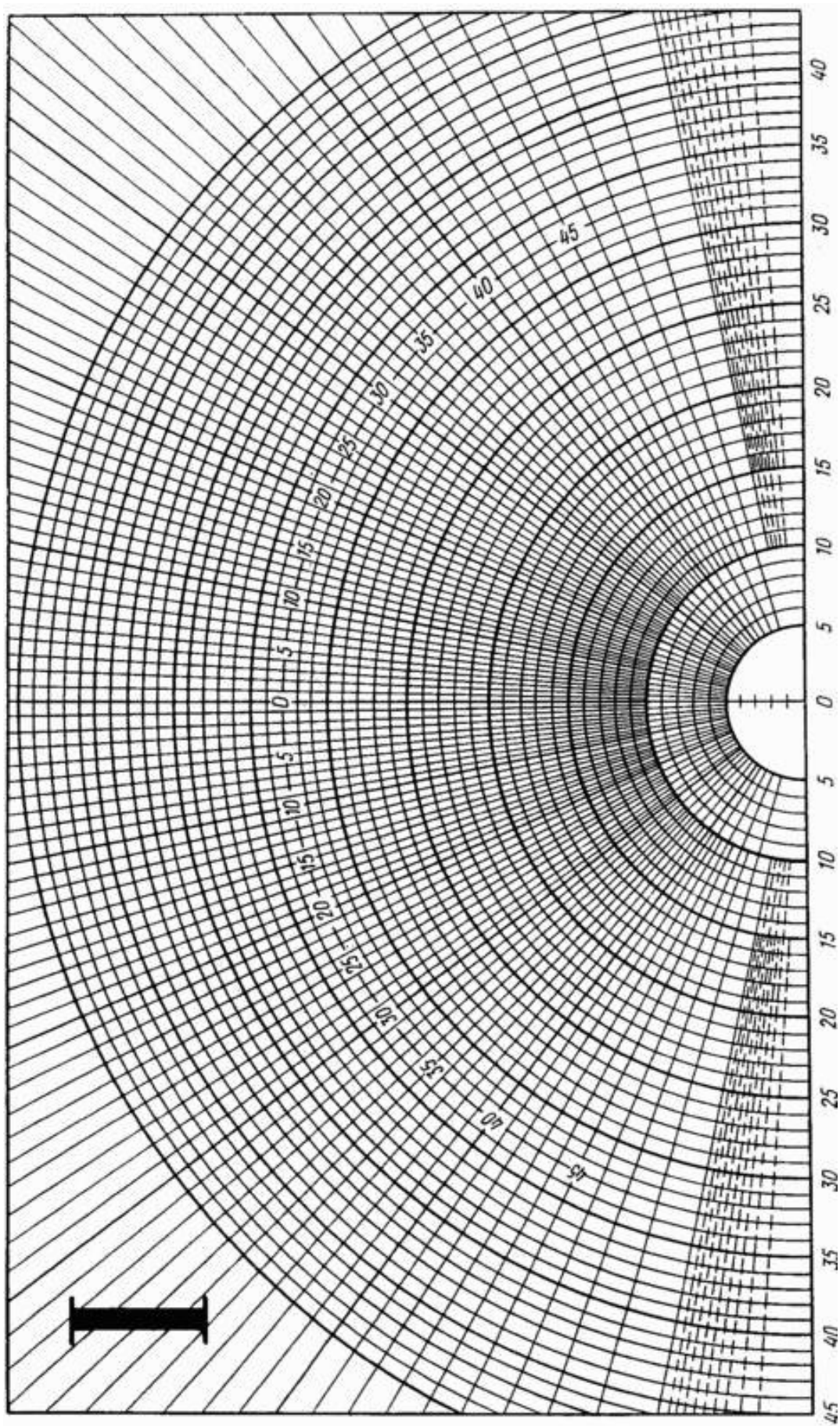


Рис. 25. График I для расчета геометрического КЕО

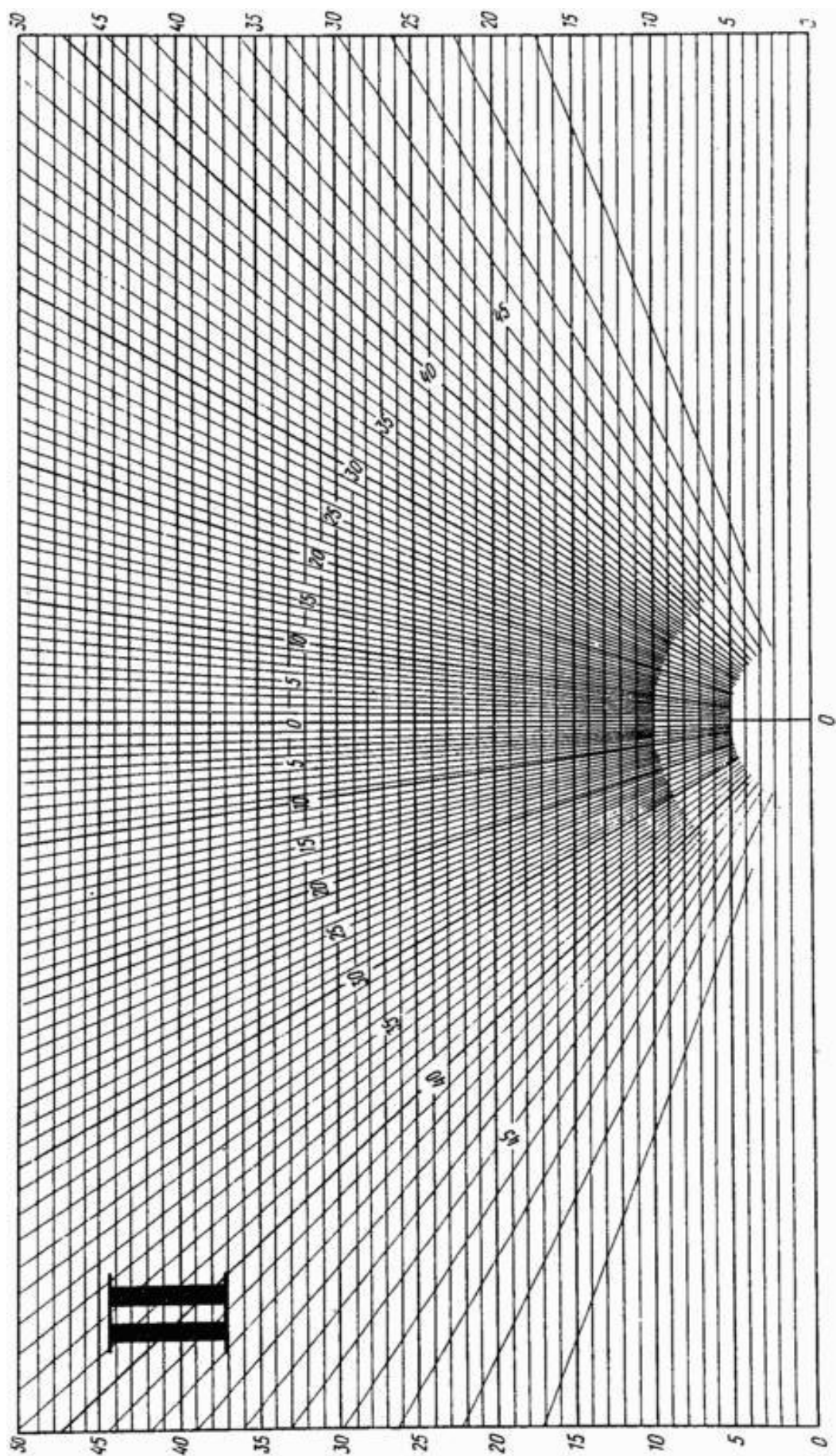


Рис. 26. График II для расчета геометрического КЕО

2.2.3. Общие требования и порядок расчета естественного освещения

Размеры и расположение световых проемов в помещении, а также соблюдение требований норм естественного освещения помещений определяют в два этапа. На первом этапе выполняется предварительный расчет площади световых проемов, а на втором этапе выполняется проверочный расчет коэффициентов естественного освещения в расчетных точках.

Предварительный расчет площади световых проемов и КЕО при боковом освещении. Предварительный расчет размеров световых проемов при боковом освещении без учета противостоящих зданий следует проводить с применением графиков, приведенных для помещений жилых зданий на рис. 27, для помещений общественных зданий – на рис. 28, для школьных классов – на рис. 29. Расчет следует производить в следующем порядке:

а) в зависимости от разряда зрительной работы или назначения помещения и группы административных районов по ресурсам светового климата Российской Федерации по приложению И СНиП 23-05-95* определяют нормированное значение КЕО для рассматриваемого помещения;

б) определяют глубину помещения d_n , высоту верхней грани световых проемов над уровнем условной рабочей поверхности h_{01} и отношение d_n/h_{01} ;

в) на оси абсцисс графика (рис. 27, 28 или 29) определяют точку, соответствующую определенному значению d_n/h_{01} , и через найденную точку проводят вертикальную линию до пересечения с кривой, соответствующей нормированному значению КЕО. По ординате точки пересечения определяют значение отношения суммарной площади световых проемов окон к освещаемой площади пола помещения $A_{c.o}/A_n$;

г) разделив найденное значение $A_{c.o}/A_n$ на 100 и умножив на площадь пола, находят площадь световых проемов в m^2 .

В случае когда размеры и расположение световых проемов в проекте зданий были выбраны по архитектурно-строительным соображениям, предварительный расчет значений КЕО в помещениях следует производить по рис. 27 – 29 в следующей последовательности:

а) по строительным чертежам находят суммарную площадь световых проемов (в свету) $A_{c.o}$ и освещаемую площадь пола помещения A_n и определяют отношение $A_{c.o}/A_n$;

б) определяют глубину помещения d_n , высоту верхней грани световых проемов над уровнем условной рабочей поверхности h_{01} и отношение d_n/h_{01} ;

в) с учетом типа помещений выбирают соответствующий график (рис. 111, 111 или 111);

г) по значениям $A_{c.o}/A_n$ и d_n/h_{0I} на графике находят точку с соответствующим значением КЕО.

Графики (рис. 27 – 111) разработаны применительно к наиболее часто встречающимся в практике проектирования габаритным схемам помещений и типовому решению светопрозрачных конструкций – деревянным спаренным открывающимся переплетам.

Если в проекте здания приняты другие типы заполнения световых проемов, то найденные по рис. 27 – 29 значения относительной площади световых проемов следует делить, а значение КЕО умножать на коэффициент запаса, приведенный в таблице 111.

Таблица 111

Значение коэффициента запаса для различных типов заполнения световых проемов

Тип заполнения	Значения коэффициента K_I для графиков на рисунках	
	1	2. 3
Один слой оконного стекла в стальных одинарных глухих переплетах	—	1.26
То же, в открывающихся переплетах	—	1.05
Один слой оконного стекла в деревянных одинарных открывающихся переплетах	1.13	1.05
Три слоя оконного стекла в раздельно-спаренных металлических открывающихся переплетах	—	0.82
То же, в деревянных переплетах	0.63	0.59
Два слоя оконного стекла в стальных двойных открывающихся переплетах	—	0.75
То же, в глухих переплетах	—	—
Стеклопакеты (два слоя остекления) в стальных одинарных открывающихся переплетах*	—	1.00
То же, в глухих переплетах*	—	1.15
Стеклопакеты (три слоя остекления) в стальных глухих спаренных переплетах*	—	1.00
Пустотелые стеклянные блоки	—	0.70
* При применении других видов переплетов (ПВХ, деревянные и др.) коэффициент K_I принимают по таблице до проведения соответствующих испытаний.		

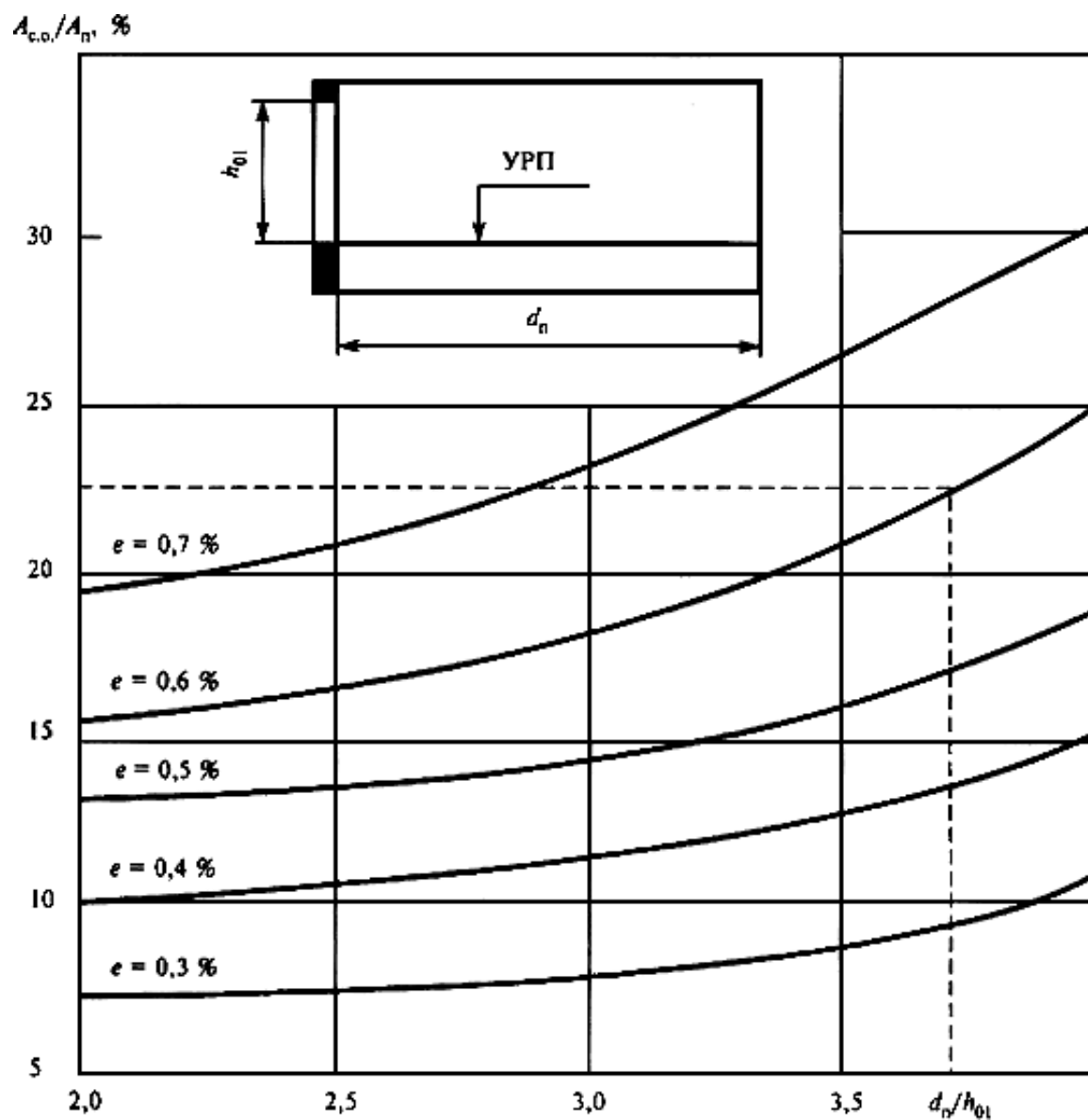


Рис. 27. График для определения относительной площади световых проемов $A_{c.o.}/A_n$ при боковом освещении жилых помещений

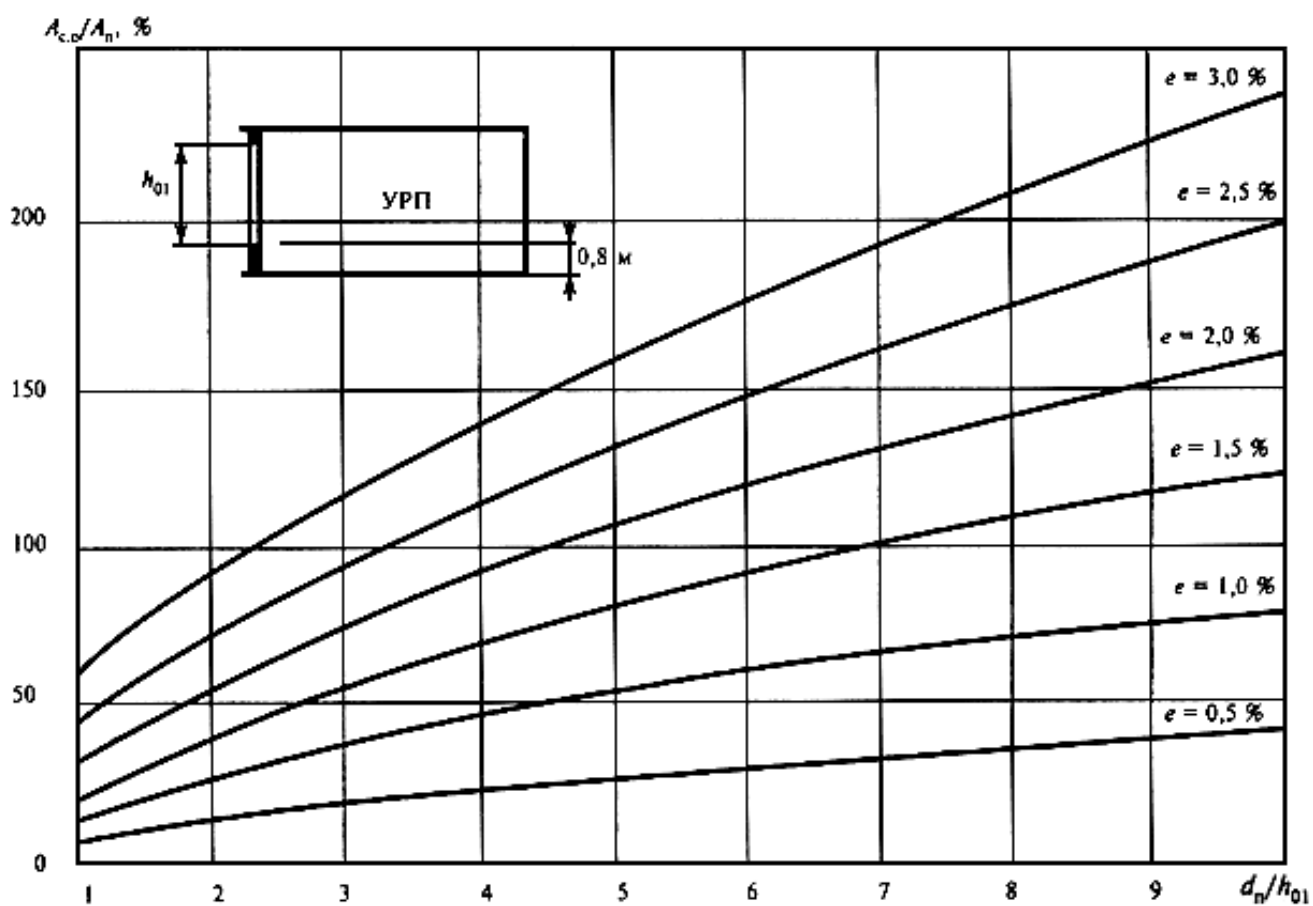


Рис. 28. График для определения относительной площади световых проемов $A_{c.o}/A_n$ при боковом освещении помещений общественных зданий

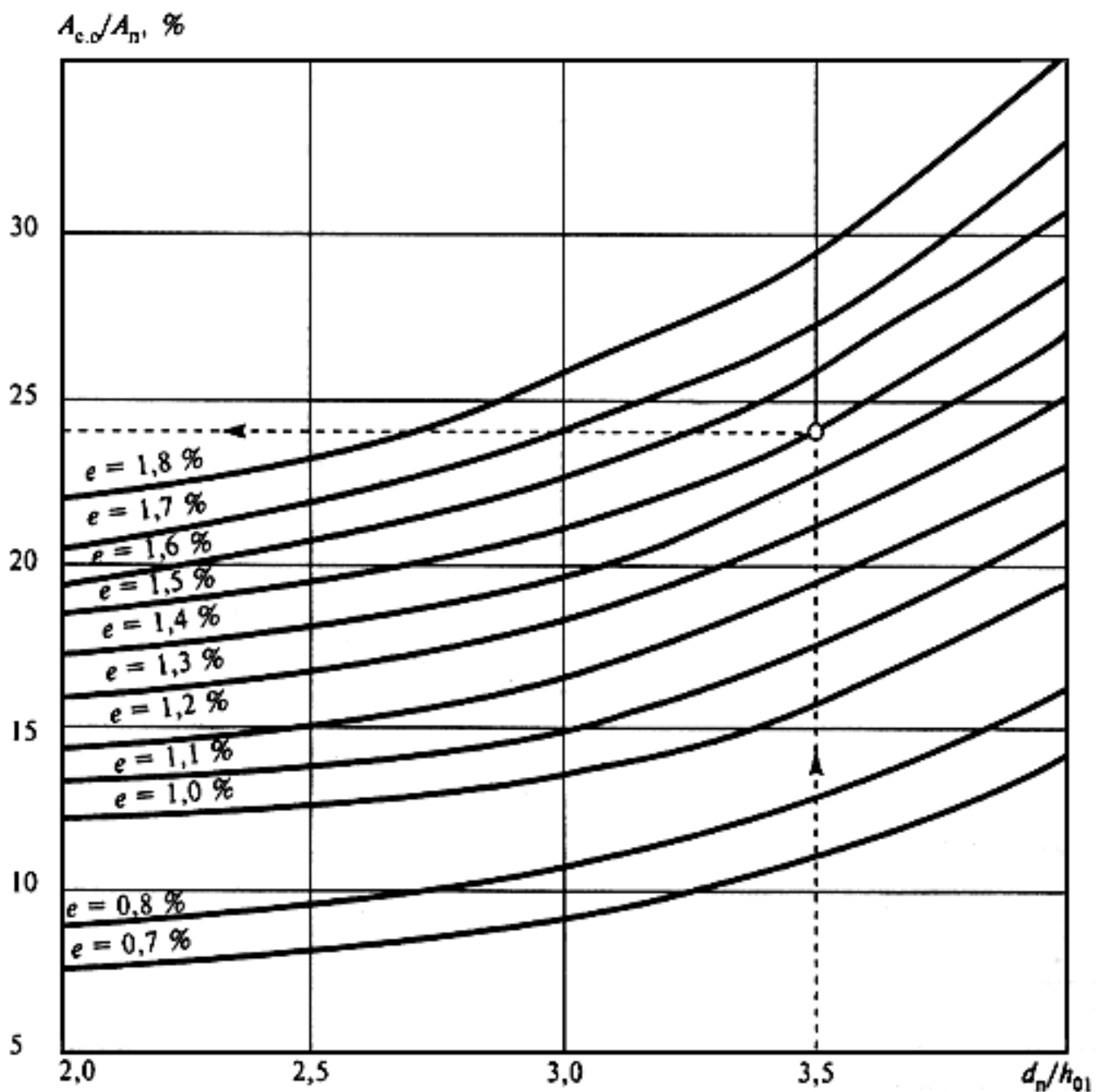


Рис. 29. График для определения относительной площади световых проемов $A_{c.o}/A_n$ при боковом освещении школьных классов

Предварительный расчет площади световых проемов и КЕО при верхнем освещении. Предварительный расчет площади световых проемов при верхнем освещении следует проводить с применением следующих графиков: для зенитных фонарей с глубиной проема (светопроводной шахты) до 0.7 м – по рис. 30; для шахтных фонарей – по рис. 31, 32; для фонарей прямоугольных, трапециевидных, шед с вертикальным остеклением и шед с наклонным остеклением – по рис. 33.

Площадь световых проемов фонарей $A_{с.ф}$ определяют по графикам на рис. 4 – 7 в следующем порядке:

а) в зависимости от разряда зрительной работы или назначения помещения и группы административных районов по ресурсам светового климата Российской Федерации по приложению И СНиП 23-05-95* или по формуле (1) определяют нормированное значение КЕО для рассматриваемого помещения;

б) на ординате графика определяют точку, соответствующую нормированному значению КЕО, через найденную точку проводят горизонталь до пересечения с соответствующей кривой графика (рис. 30 – 33), по абсциссе точки пересечения определяют значение $A_{с.ф}/A_n$;

в) разделив значение $A_{с.ф}/A_n$ на 100 и умножив на площадь пола, находят площадь световых проемов фонарей в м².

Предварительный расчет значений КЕО в помещениях следует производить с применением графиков на рис. 30 – 33 в следующем порядке:

а) по строительным чертежам находят суммарную площадь световых проемов фонарей $A_{с.ф}$, освещаемую площадь пола помещения A_n и определяют отношение $A_{с.ф}/A_n$;

б) с учетом типа фонаря выбирают соответствующий рисунок (4, 5, 6 или 7);

в) на выбранном рисунке через точку с абсциссой $A_{с.ф}/A_n$ проводят вертикальную линию до пересечения с соответствующим графиком; ордината точки пересечения будет равна расчетному среднему значению коэффициента естественной освещенности $e_{ср}$.

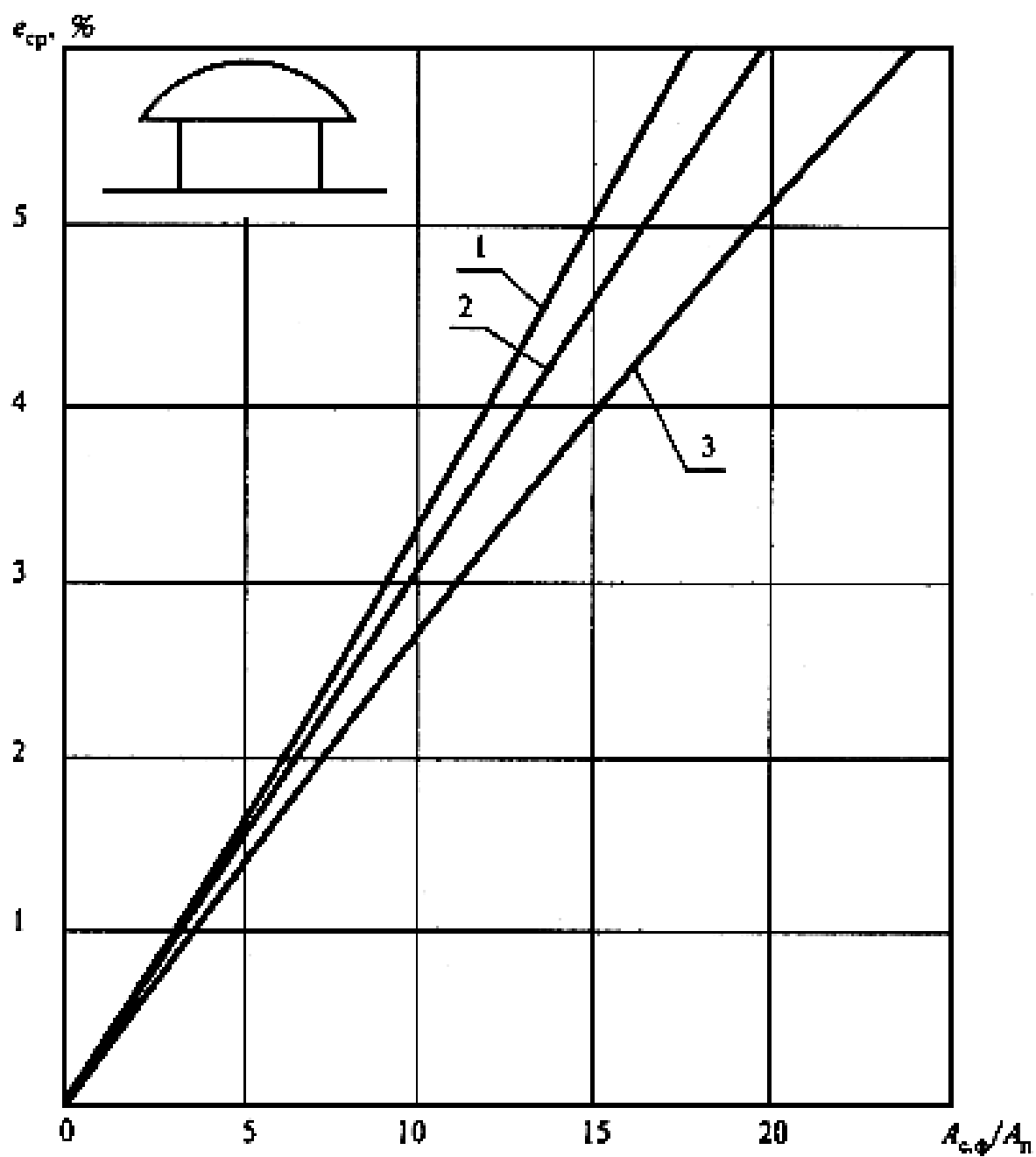


Рис. 30. График для определения среднего значения КЕО e_{cp} в помещениях с зенитными фонарями с глубиной проема до 0.7 м и размерами в плане, м:
 1 – 2.9 x 5.9; 2 – 2.7 x 2.7; 2.9 x 2.9; 1.5 x 5.9; 3 – 1.5 x 1.7

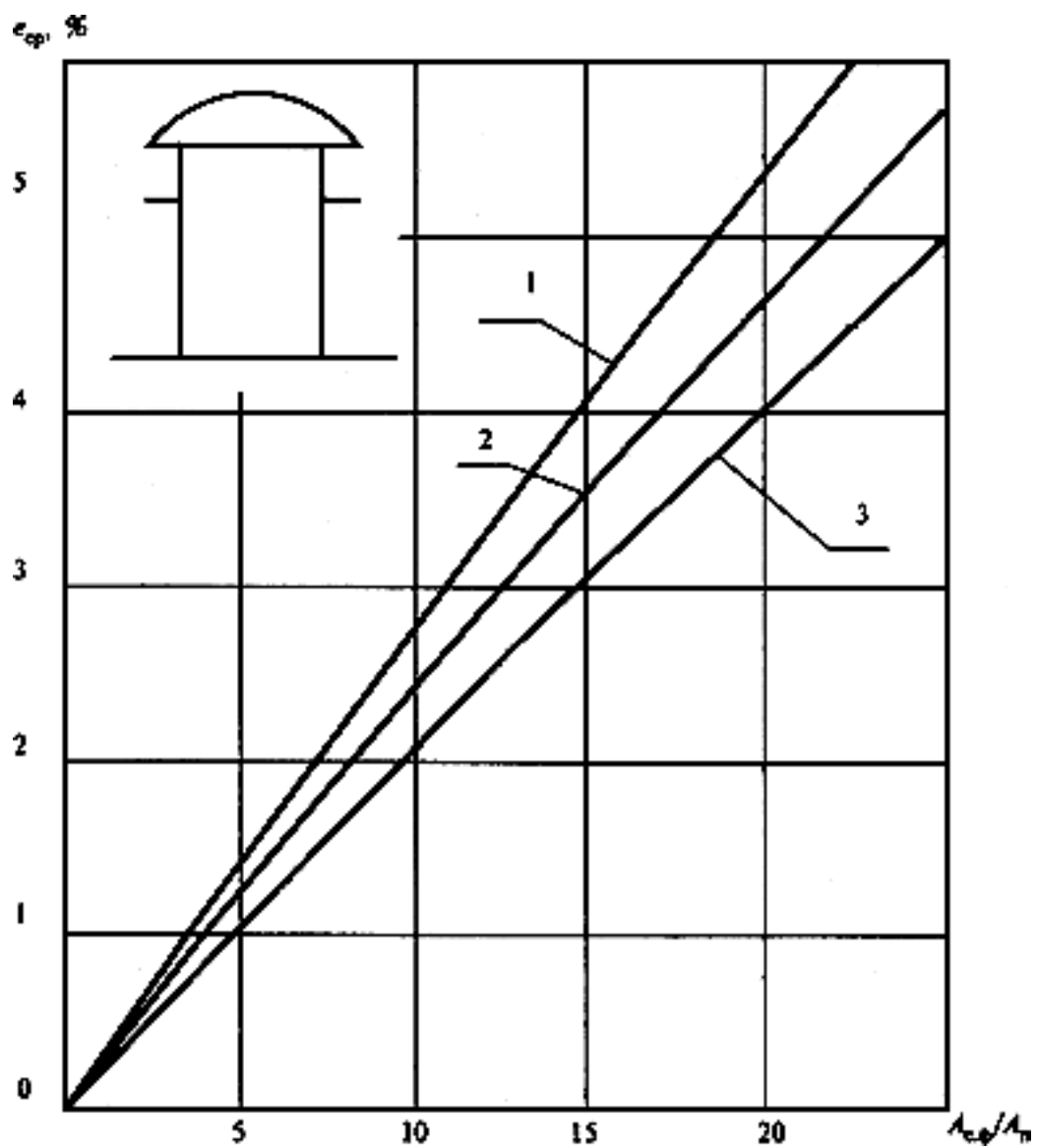


Рис. 31. График для определения среднего значения КЕО e_{cp} в общественных помещениях с шахтными фонарями с глубиной светопроводной шахты 3.5 м и размерами в плане, м:
 1 – 2.9 x 5.9; 2 – 2.7 x 2.7; 2.9 x 2.9; 1.5 x 5.9; 3 – 1.5 x 1.7

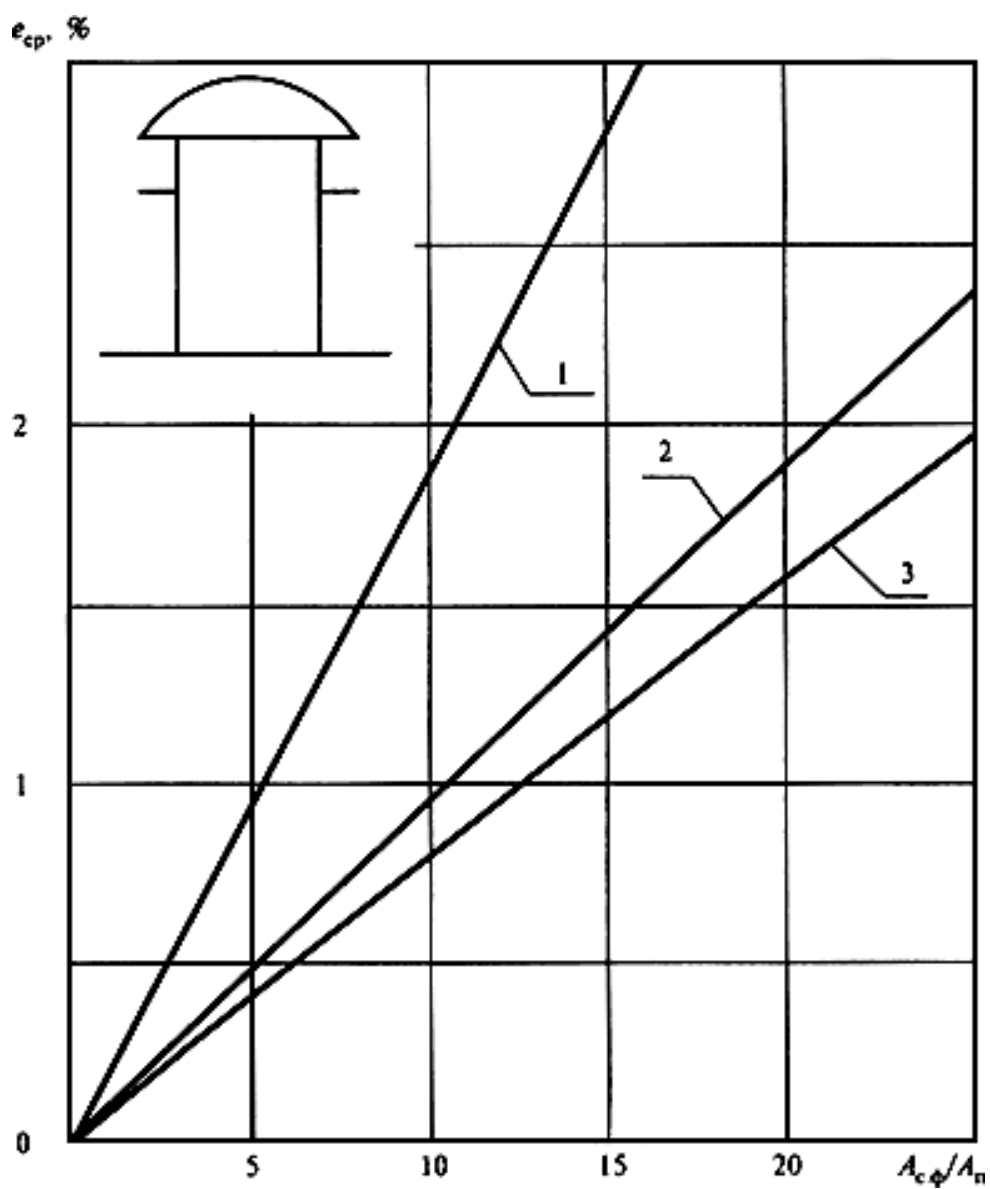


Рис. 32. График для определения среднего значения КЕО e_{cp} в общественных помещениях с шахтными фонарями диффузного света с глубиной светопроводной шахты 3.5 м и размерами в плане, м: 1 – 2.9 x 5.9; 2 – 2.7 x 2.7; 2.9 x 2.9; 1.5 x 5.9; 3 – 1.5 x 1.7

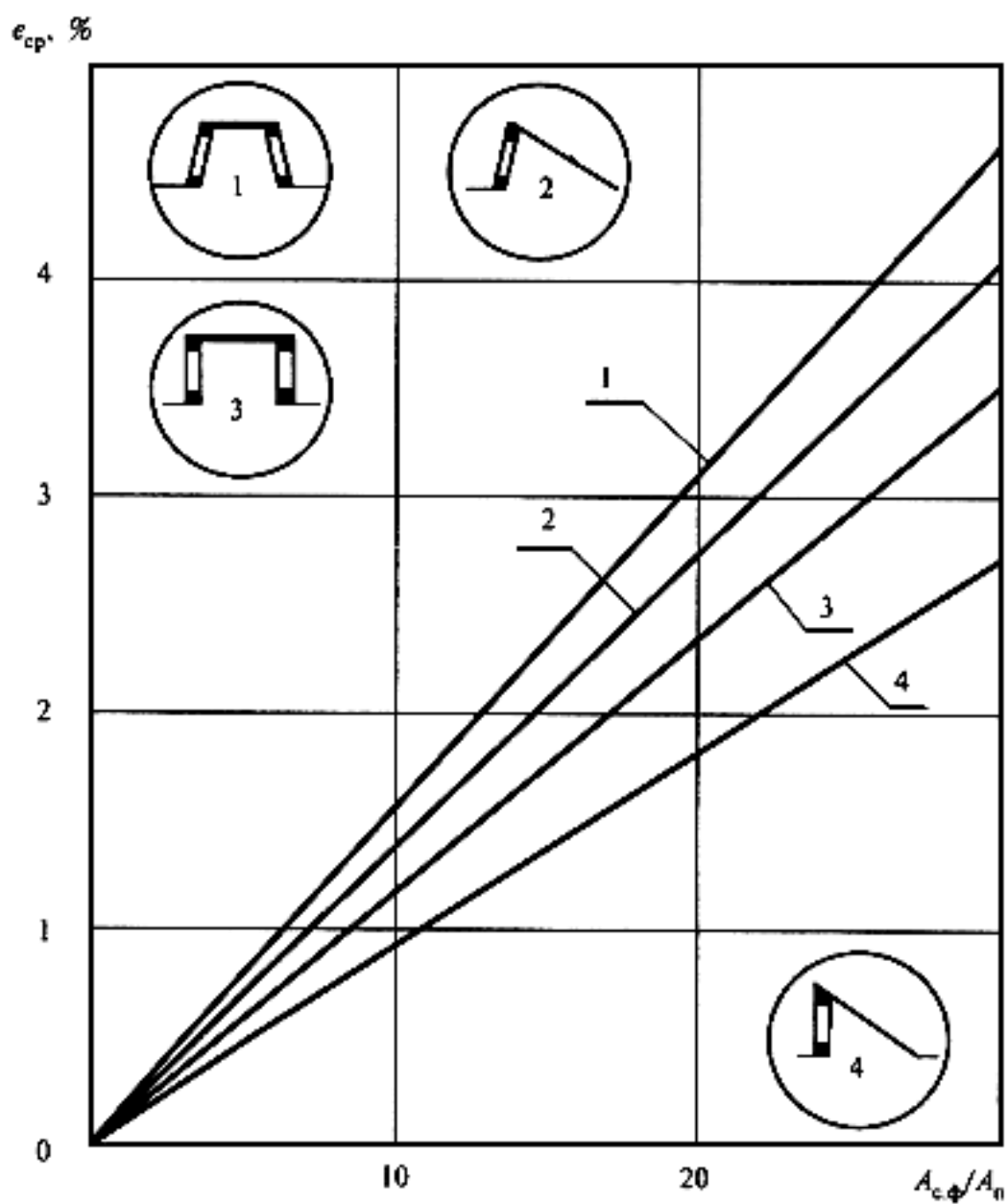


Рис. 33. График для определения среднего значения КЕО e_{cp} в общественных помещениях

с фонарями:

- 1 – прямоугольный фонарь; 2 – шед, имеющий наклонное остекление, 3 – прямоугольный фонарь; 4 – шед, имеющий вертикальное остекление

Проверочный расчет КЕО при боковом освещении. Проверочный расчет КЕО в точках характерного разреза помещения при боковом освещении следует выполнять в соответствии с методикой, изложенной в разделе 2.2.2 по формуле (Б.1).

Расчет КЕО следует производить в следующей последовательности:

а) график I (рис. 25) накладывают на поперечный разрез помещения таким образом, чтобы его полюс (центр) 0 совместился с расчетной точкой А (рис. 9), а нижняя линия графика – со следом рабочей поверхности;

б) по графику I подсчитывают число лучей, проходящих через поперечный разрез светового проема от неба n_1 и от противостоящего здания в расчетную точку А;

в) отмечают номера полуокружностей на графике I, совпадающих с серединой C_1 участка светопроема, через который из расчетной точки видно небо, и с серединой C_2 участка светопроема, через который из расчетной точки видно противостоящее здание (рис. 34);

г) график II (рис. 26) накладывают на план помещения таким образом, чтобы его вертикальная ось и горизонталь, номер которой соответствует номеру концентрической полуокружности (пункт «в»), проходили через точку C_1 (рис. 9);

д) подсчитывают число лучей n_2 по графику II, проходящих от неба через световой проем на плане помещения в расчетную точку А;

е) определяют значение геометрического КЕО ε_6 , учитывающего прямой свет от неба, по формуле (Б.9);

ж) график II накладывают на план помещения таким образом, чтобы его вертикальная ось и горизонталь, номер которой соответствует номеру концентрической полуокружности (пункт «в»), проходили через точку C_2 ;

з) подсчитывают число лучей n'_2 по графику II, проходящих от противостоящего здания через световой проем на плане помещения в расчетную точку А;

и) по формуле (Б.10) определяют значение геометрического коэффициента естественной освещенности $\varepsilon_{ЗД}$, учитывающего свет, отраженный от противостоящего здания;

к) определяют значение угла θ , под которым видна середина участка неба из расчетной точки на поперечном разрезе помещения (рис. 9);

л) по значению угла θ и заданным параметрам помещения и окружающей застройки в соответствии с методикой раздела 2.2.2 определяются значения коэффициентов q_i , b_ϕ , $K_{ЗД}$, r_o , τ_o и K_3 , подставляются в формулу (Б.1) и вычисляется значение КЕО в расчетной точке помещения.

Следует учитывать следующее:

1 Графики I и II применимы только для световых проемов прямоугольной формы.

2 План и разрез помещения выполняются (вычерчиваются) в одинаковом масштабе.

При наличии в помещении различно ориентированных световых проемов расчет КЕО в точках характерного разреза производят для каждого светового проема отдельно, а полученные значения КЕО для каждой точки суммируют.

При наличии в помещении балкона или лоджии проверочный расчет выполняют так же, как и для помещений без балкона или лоджии, а наличие балкона или лоджии учитывают понижающим коэффициентом τ_4 из таблицы Б.8, который входит составной частью в общий коэффициент светопропускания τ_o .

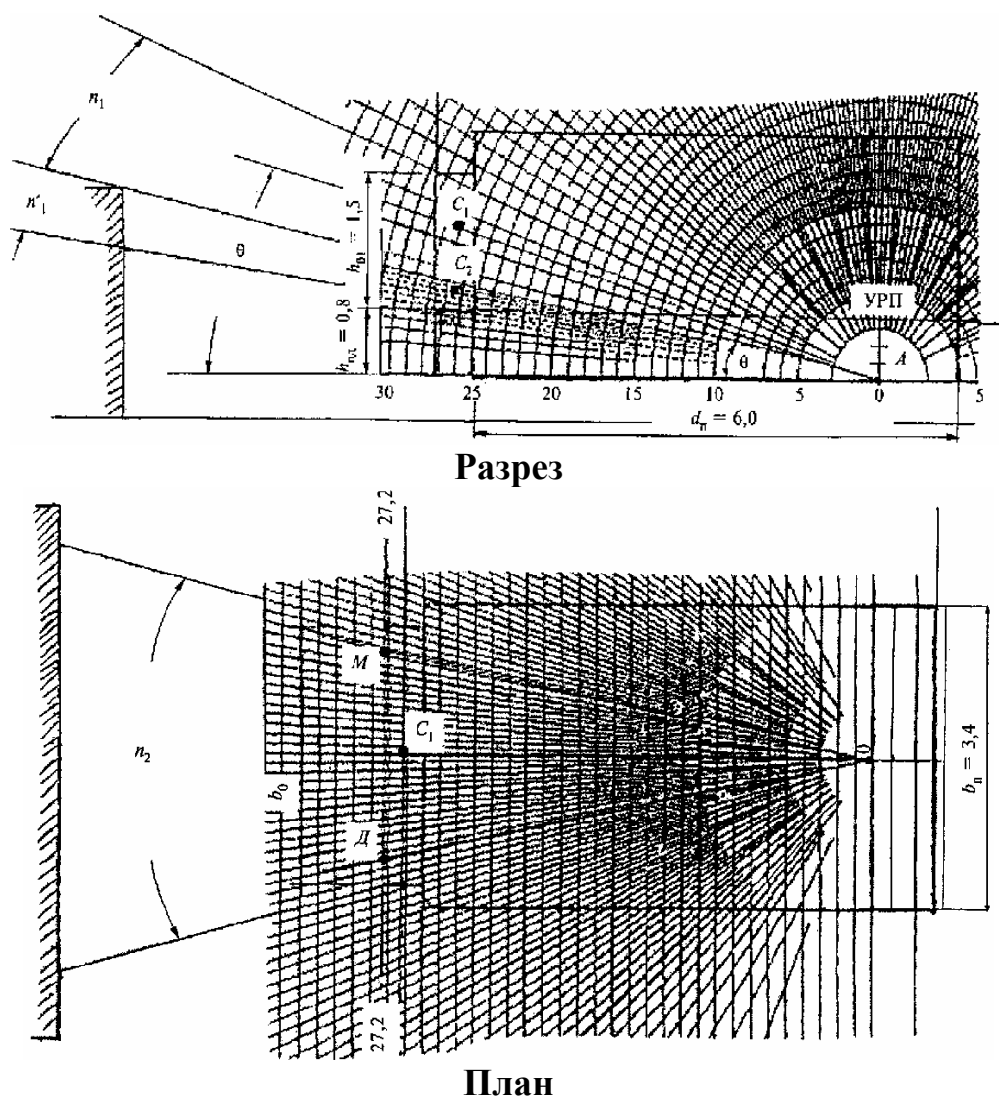


Рис. 34. Пример использования графика I для подсчета числа лучей от неба и противостоящего здания

А – расчетная точка; 0 – полюс графика I; C_1 – середина участка светового проема, через который из расчетной точки видно небо; C_2 – середина участка светового проема, через который из расчетной точки видно противостоящее здание

Проверочный расчет КЕО при верхнем освещении. Проверочный расчет КЕО в точках характерного разреза помещения при верхнем освещении через фонари прямоугольные, шед и трапециевидные выполняется в соответствии с методикой, изложенной в разделе 2.2.2 по формуле (Б.2).

Расчет КЕО производится в следующем порядке:

а) график I (рис. 25) накладывается на поперечный разрез помещения таким образом, чтобы полюс (центр) 0 графика совмещался с расчетной точкой, а нижняя линия графика – со следом рабочей поверхности. Подсчитывается число радиально направленных лучей графика I, проходящих через поперечный разрез первого проема $(n_1)_1$, второго проема – $(n_1)_2$, третьего проема – $(n_1)_3$ и т. д.; при этом отмечаются номера полуокружностей, которые проходят через середину первого, второго, третьего проемов и т. д.;

б) определяются углы $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ и т. д. между нижней линией графика I и линией, соединяющей полюс (центр) графика I с серединой первого, второго, третьего проемов и т. д.;

в) график II (рис. 26) накладывается на продольный разрез помещения; при этом график располагается так, чтобы его вертикальная ось и горизонталь, номер которой должен соответствовать номеру полуокружности на графике I, проходили через середину проема (точка С).

Подсчитывается число лучей по графику II, проходящих через продольный разрез первого проема $(n_2)_1$, второго проема – $(n_2)_2$, третьего проема – $(n_2)_3$ и т. д.;

г) вычисляется значение геометрического КЕО $\varepsilon_{\theta 1}$, в первой точке характерного разреза помещения по формуле

$$\varepsilon_{\theta i} = 0.01 \cdot [(n_1 \cdot n_2 \cdot q)_1 + (n_1 \cdot n_2 \cdot q)_2 + (n_1 \cdot n_2 \cdot q)_3 + \dots + (n_1 \cdot n_2 \cdot q)_P], \quad (3)$$

где P – число световых проемов;

q – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость участка небосвода, видимого из первой точки соответственно под углами $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ и т.д.;

д) повторяют вычисления в соответствии с пунктами «а», «б», «в», «г» для всех точек характерного разреза помещения до N включительно (где N – число точек, в которых производят расчет КЕО);

е) определяют среднее значение геометрического КЕО ε_{cp} по формуле (Б.7);

ж) по заданным параметрам помещения и световых проемов в соответствии с методикой определяются значения r_2, k_{ϕ}, τ_o ;

з) последовательно для всех точек вычисляют расчетное значение КЕО по формуле (Б.2).

Проверочный расчет значений КЕО в точках характерного разреза помещения при верхнем освещении от зенитных и шахтных фонарей выполняется с использованием формулы

$$e_p^6 = 100 \cdot A_{\phi.v} \cdot \tau_o \cdot \sum_{j=1}^{N_{\phi}} [q(\alpha_i) \cdot \cos^{(2+2/K_c)} \cdot \alpha_i / \pi \cdot h_p^2 \cdot K_3] + \varepsilon_{cp} (r_2 - 1) \cdot \tau_o / K_3 \quad (4)$$

где $A_{\phi.v}$ – площадь входного верхнего отверстия фонаря;

N_{ϕ} – число фонарей;

$q(\alpha_i)$ – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба МКО и определяемый по рис. 35;

α_i – угол между прямой, соединяющей расчетную точку с центром нижнего отверстия фонаря, и нормалью к этому отверстию;

ε_{cp} – среднее значение геометрического КЕО;

K_c – коэффициент светопередачи фонаря, определяемый для фонарей с диффузным отражением стенок по рис. 36, а для фонарей с направленным отражением стенок – по рис. 37 по значению индекса светового проема шахтного фонаря i_{ϕ} ;

K_3 – расчетный коэффициент, учитывающий снижение КЕО и освещенности в процессе эксплуатации вследствие загрязнения и старения светопрозрачных заполнений в световых проемах, а также снижение отражающих свойств поверхностей помещения (коэффициент запаса).

Индекс светового проема фонаря с отверстиями в форме прямоугольника i_{ϕ} определяется по формуле

$$i_{\phi} = 2(A_{\phi.v} + A_{\phi.n}) / [\sqrt{\pi} \cdot h_{c.\phi} (P_{\phi.v} + P_{\phi.n})] , \quad (5)$$

где $A_{\phi.n}$ – площадь нижнего отверстия фонаря, м²;

$A_{\phi.v}$ – площадь верхнего отверстия фонаря, м²;

$h_{c.\phi}$ – высота светопроводной шахты фонаря, м.

$P_{\phi.v}$, $P_{\phi.n}$ – периметр верхнего и нижнего отверстий фонаря соответственно, м.

То же, с отверстиями в форме круга по формуле

$$i_{\phi} = (r_{\phi.в} + r_{\phi.н}) / 2 \cdot h_{с.ф}, \quad (6)$$

где $r_{\phi.в}$, $r_{\phi.н}$ – радиус верхнего и нижнего отверстий фонаря соответственно.

Коэффициент τ_o определяется по формуле (Б.6), r_2 – по таблице Б.9, коэффициент запаса K_3 – по таблице 3 СНиП 23-05*.

Вычисляется значение геометрического КЕО в первой точке характерного разреза помещения по формуле

$$\varepsilon_1 = 100 \cdot A_{\phi.в} \cdot \sum_{i=1}^{N_{\phi}} q(\alpha_i) \cdot \cos^{(2+2/K_c)} \cdot \alpha_i / \pi \cdot h_p^2. \quad (7)$$

Повторяются вычисления для всех точек характерного разреза помещения до N_j включительно (где N_j – число точек, в которых производят расчет КЕО).

Определяется $\varepsilon_{ср}$ по формуле

$$\varepsilon_{ср} = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_{N_j}) / N_j. \quad (8)$$

Последовательно для всех точек вычисляется прямая составляющая КЕО $\sigma_{пр}$ по формуле

$$\sigma_{пр} = \varepsilon_j \cdot \tau_o / K_3. \quad (9)$$

Определяется отраженная составляющая КЕО $\sigma_{отр}$, значение которой одинаково для всех точек, по формуле

$$\sigma_{отр} = \varepsilon_{ср} \cdot (r_2 - 1) \cdot \tau_o / K_3. \quad (10)$$

Определяют расчетное значение КЕО e_p^6 в каждой точке характерного разреза с учетом отраженного от поверхностей помещения и прямого света по формуле

$$e_p^6 = \sigma_{np} + \sigma_{отр} . \quad (11)$$

Проверочный расчет среднего значения КЕО в плоскости характерного разреза помещения при верхнем освещении следует выполнять по формуле (Б.8) приложения Б. Число расчетных точек в плоскости характерного разреза помещения должно быть не менее пяти.

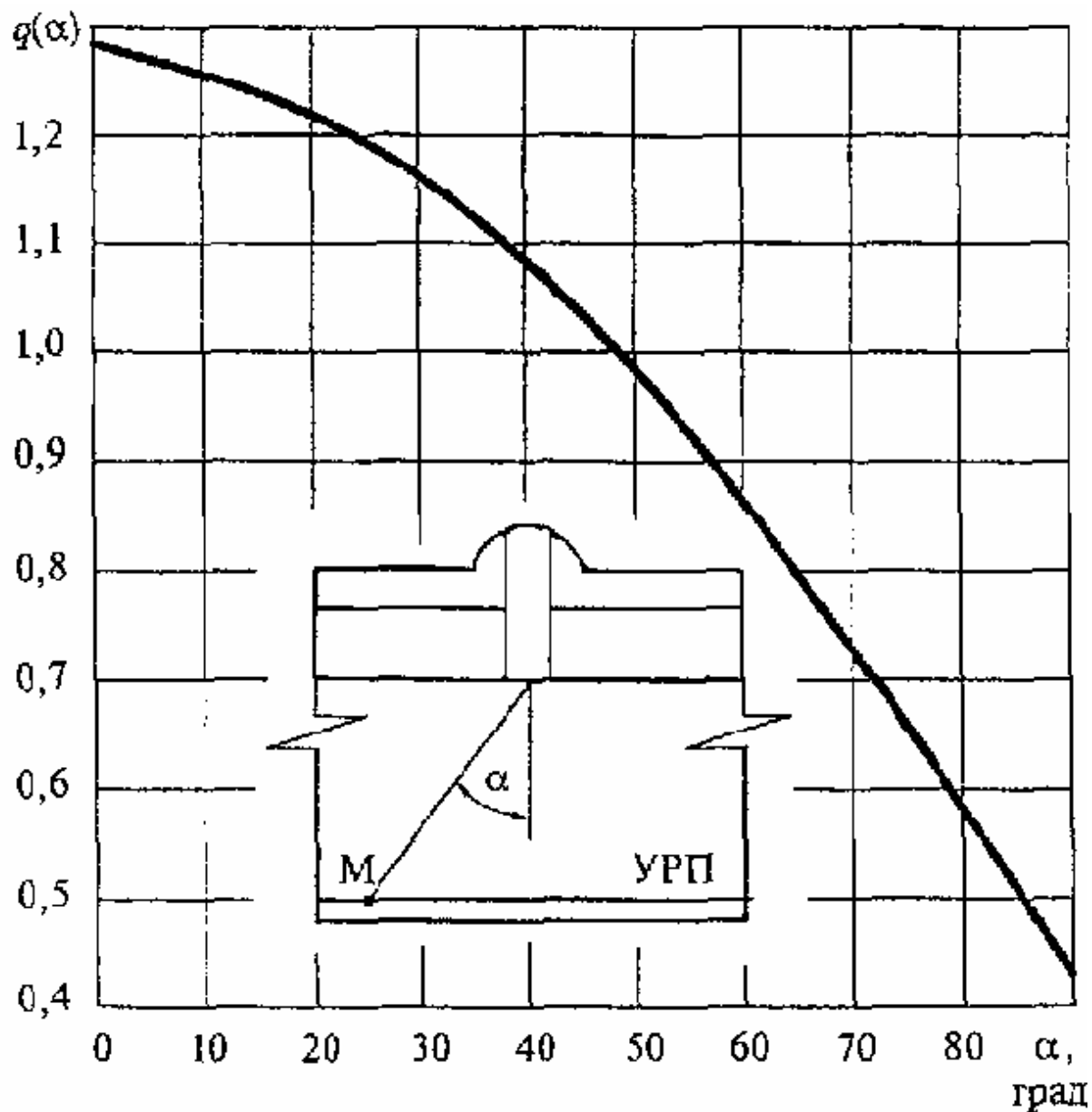


Рис. 35. График для определения коэффициента $q(\alpha)$ в зависимости от угла α

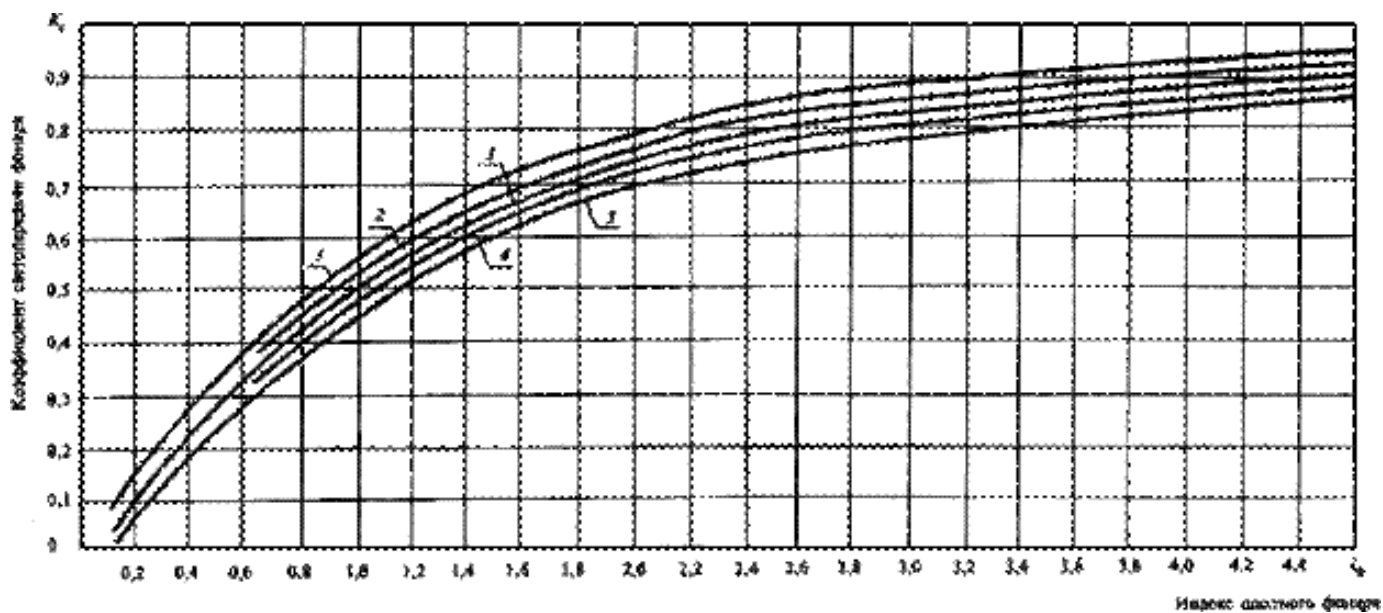


Рис. 36. График для определения коэффициента светопередачи K_c фонарей с диффузным отражением стенок шахты

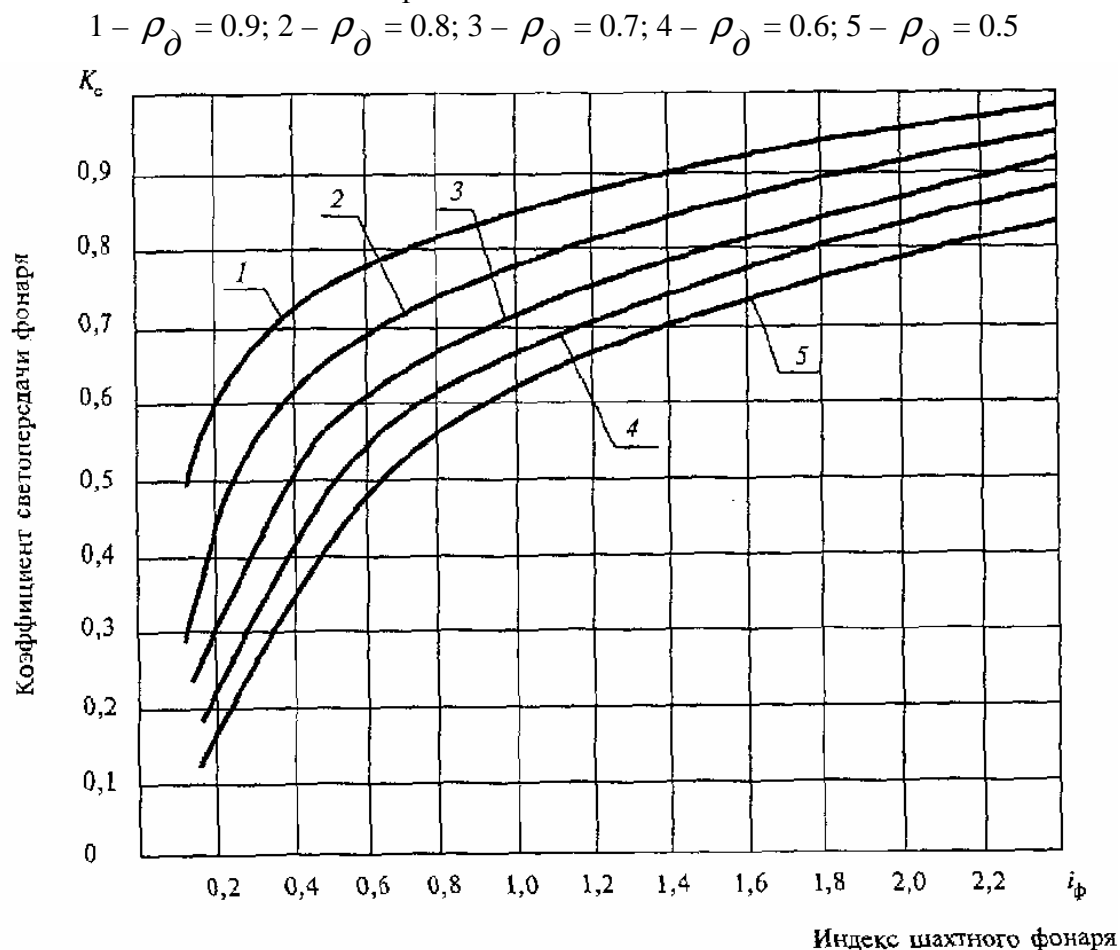


Рис. 37. График для определения коэффициента светопередачи K_c фонарей с направленным отражением стенок шахты при различных значениях коэффициента диффузного отражения стенок шахты

1 – $\rho_n = 0.9$; 2 – $\rho_n = 0.8$; 3 – $\rho_n = 0.7$; 4 – $\rho_n = 0.6$; 5 – $\rho_n = 0.5$

Расчет КЕО от световых проемов, имеющих форму, отличную от прямоугольника. При расчете КЕО в помещениях со световыми проемами в наружных стенах круглой, полукруглой или эллиптической формы возможна замена таких светопроемов на светопроемы прямоугольной формы одинаковой площади. Для этого световой проем описывают прямоугольником и определяют его размеры, рис. 38.

В помещениях со световыми проемами круглой формы в покрытии значение геометрического КЕО ε_{gi} , %, следует определять по формуле

$$\varepsilon_{gi} = 100 \cdot \sin^2 \cdot (\theta/2) , \quad (12)$$

где θ – угол, образуемый линиями, проведенными из расчетной точки А к границам светопроема, рис. 39, град.

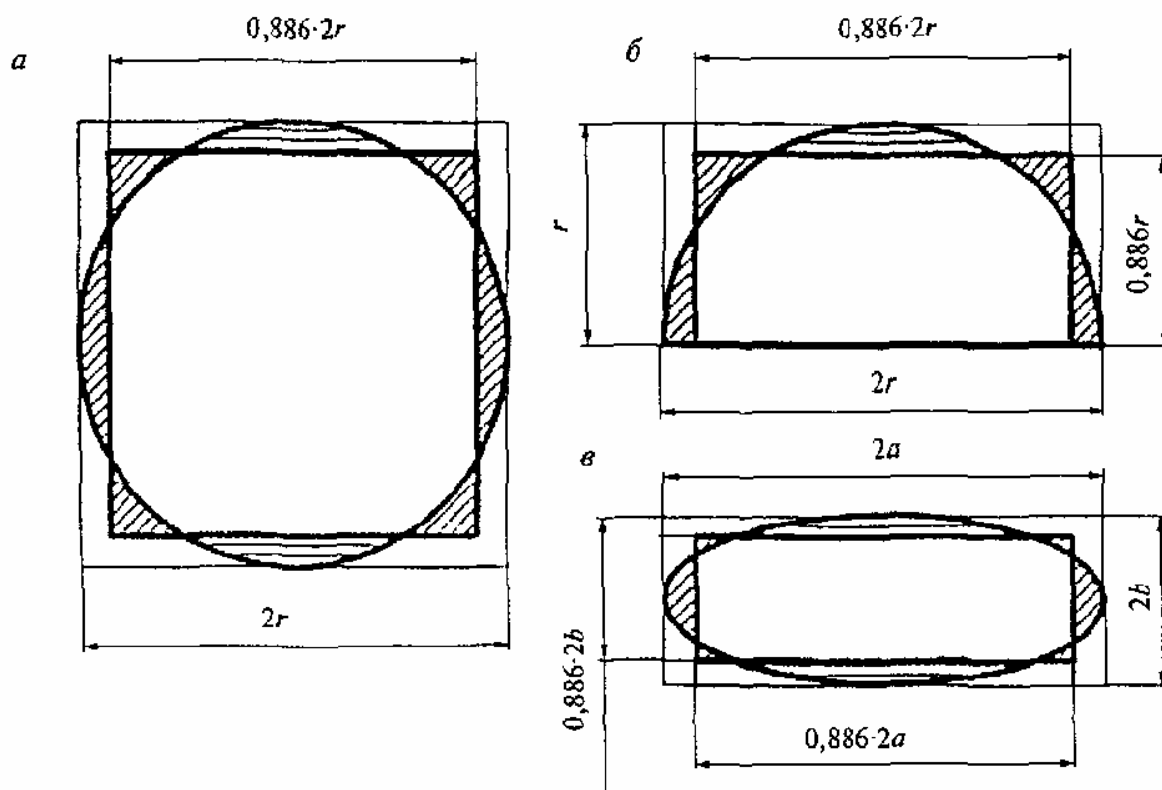


Рис. 38. Замена круглого (а), полукруглого (б) и эллиптического (в) светопроемов эквивалентными прямоугольными

r – радиус окружности; a – большая полуось эллипса; b – малая полуось эллипса

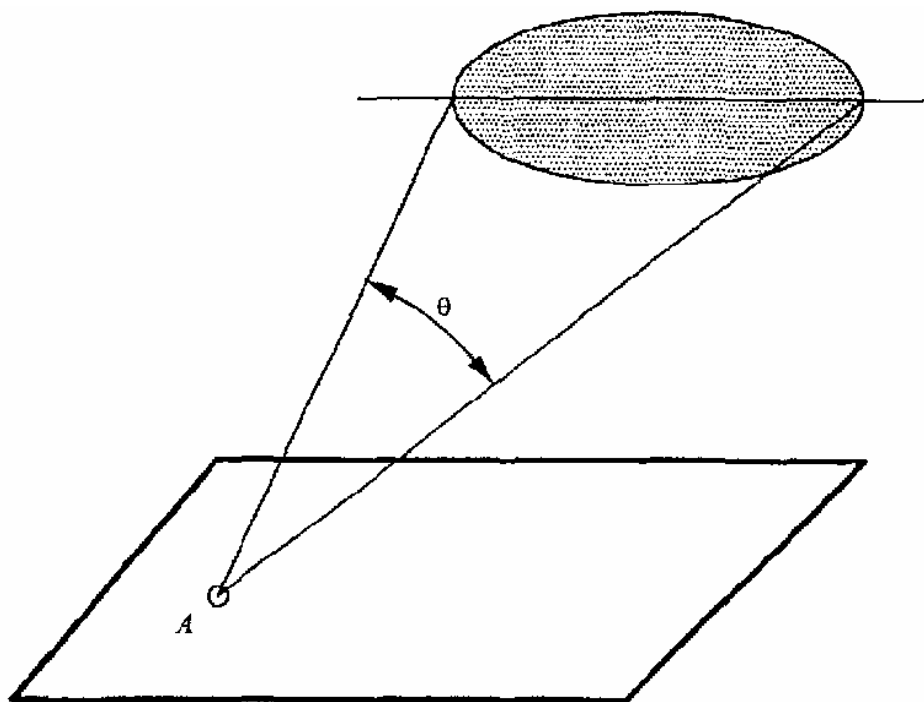


Рис. 39. Схема для определения КЕО от светопроемов круглой формы в покрытии
 θ – угол, под которым виден диаметр светопроема из расчетной точки А

2.2.4. Проектирование естественного освещения типовых помещений

Жилые помещения. Для обеспечения естественного освещения жилых помещений, отвечающего требованиям СНиП 23-05*, отношение глубины помещения d_n к высоте верхней грани светового проема над уровнем пола h_{02} , рис. 40, как правило, не должно превышать 2.5.

Нормированные значения КЕО при боковом освещении в жилых зданиях, располагаемых в административных районах различных групп по ресурсам светового климата, следует принимать по таблице 4.

При разработке типовых проектов жилых зданий, предназначенных для расположения в административных районах второй, третьей, четвертой и пятой групп по ресурсам светового климата, ориентация которых по сторонам горизонта неизвестна, значение КЕО следует определять по формуле (111), при этом коэффициент светового климата m_N следует принимать для северной ориентации световых проемов по сторонам горизонта.

При разработке типовых проектов жилых зданий, когда неизвестно расположение противостоящих зданий, значение КЕО, полученное по формуле (Б.1) для открытого горизонта (без противостоящего здания), необходимо умножать на коэффициент $K_{3Д2} = K_{3Д} \cdot b_\phi$ согласно таблице 5, учитывающий среднестатистическое затенение световых проемов в жилых помещениях первого или второго (в случае расположения на первом этаже магазинов, библиотек, ателье и т. п.) этажа противостоящими зданиями.

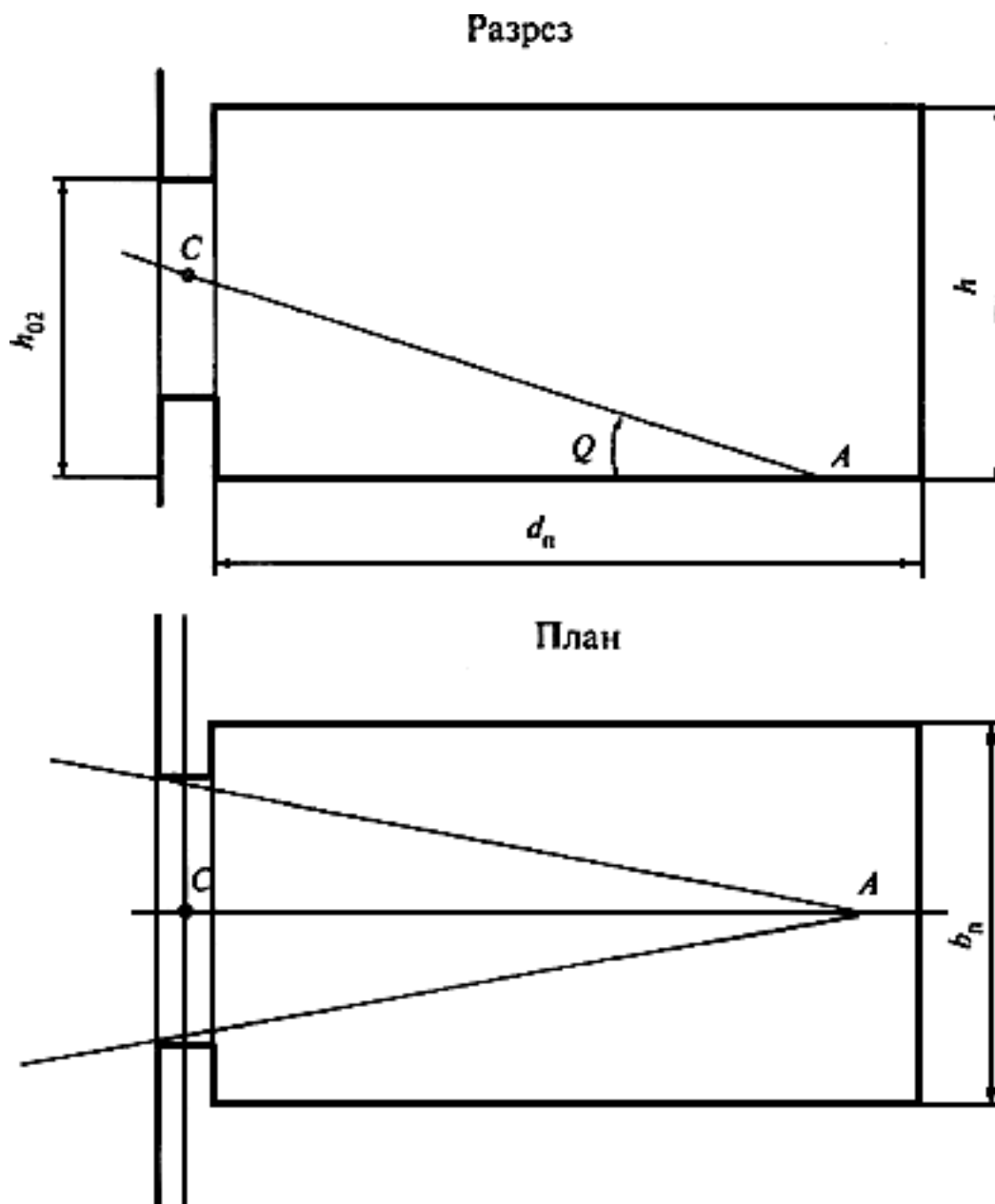


Рис. 40. Расчетные параметры на плане и разрезе жилой комнаты

Для увеличения коэффициента использования естественного освещения следует принимать, как правило, светлую отделку фасадов зданий и поверхностей жилых помещений, располагаемых на нижних этажах зданий. В жилых зданиях высотой в 3 этажа и более, располагаемых в III и IV климатических районах Российской Федерации, световые проемы, а в IV районе также проемы лоджий и веранд, обращенные на сектор горизонта 200° – 290° , должны быть оборудованы наружными регулирующими солнцезащитными устройствами.

Таблица 4

Нормированные значения КЕО при боковом естественном освещении в основных помещениях жилых и общественных зданий в различных группах административных районов по ресурсам светового климата

Группы административных районов по ресурсам светового климата	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта, град.	Нормированные значения КЕО, %					
		в рабочих кабинетах зданий управления, офисах	в школьных классах	в жилых помещениях	в выставочных залах	в читальных залах	в проектных залах, чертежно-конструкторских бюро
1	69-113 249-293	1,00	1,50	0,50	0,70	1,20	1,50
	114-158 204-248	1,00	1,50	0,50	0,70	1,20	1,50
	159-203	1,00	1,50	0,50	0,70	1,20	1,50
	294-68	1,00	—	0,50	0,70	1,20	1,50
2	69-113 249-293	0,90	1,40	0,50	0,60	1,10	1,40
	114-158 204-248	0,90	1,30	0,40	0,60	1,10	1,30
	159-203	0,90	1,30	0,40	0,60	1,10	1,30
	294-68	0,90	—	0,50	0,60	1,10	1,40
3	69-113 249-293	1,10	1,70	0,60	0,80	1,30	1,70
	114-158 204-248	1,00	1,50	0,50	0,70	1,20	1,50
	159-203	1,00	1,50	0,50	0,70	1,20	1,50
	294-68	1,10	—	0,60	0,80	1,30	1,70
4	69-113 249-293	1,10	1,70	0,60	0,80	1,30	1,70
	114-158 204-248	1,10	1,70	0,60	0,80	1,30	1,70
	159-203	1,10	1,70	0,60	0,80	1,30	1,70
	294-68	1,20	—	0,60	0,80	1,40	1,80
5	69-113 249-293	0,80	1,20	0,40	0,60	1,00	1,20
	114-158 204-248	0,80	1,20	0,40	0,60	1,00	1,20
	159-203	0,80	1,10	0,40	0,50	0,90	1,10
	294-68	0,80	—	0,40	0,60	0,90	1,20

Значения коэффициента $K_{ЗД2}$

Глубина помещения, м	От 2 до 3	От 3 до 4	От 4 до 5	От 5 до 6
Значение коэффициента $K_{ЗД2}$	1,00	0,75	0,60	0,50

Задача 2.1. Помещение жилого дома в городе Иркутске имеет следующие исходные данные: глубина помещения $d_n = 6.0$ м, ширина помещения $b_n = 3.4$ м, площадь пола помещения $A_n = 20.4$ м², толщина наружной стены 0.64 м, высота подоконника $h_{нд} = 0.8$ м, высота светового проема окна $h_o = 1.5$ м; переплеты спаренные деревянные с двумя слоями остекления; средневзвешенный коэффициент отражения поверхностей помещения $\rho_{ср} = 0.5$, коэффициент запаса $K_з = 1.2$; здание располагается в первой группе административных районов по ресурсам светового климата

Определить:

- предварительный расчет площади светового проема помещения в жилом доме в городе Иркутске,
- ширину оконного проема при заданной высоте,
- проверочный расчет выбранной площади оконного проема,
- дать окончательное решение.

Решение:

1. По приложению И СНиП 23-05* определяется нормированное значение КЕО e_n , равное 0.5 %.

2. Выполняется предварительный расчет естественного освещения: по глубине помещения $d_n = 6.0$ м и высоте верхней грани светового проема над условной рабочей поверхностью $h_{0I} = 1.5$ м определяют, что $d_n/h_{0I} = 4.0$.

3. На рисунке 1 на соответствующей кривой $e = 0.5$ % находится точка с абсциссой 4.0; по ординате этой точки можно определить, что необходимая относительная площадь светового проема $A_{с.о}/A_n$ 19 %.

4. Площадь светового проема определяют по формуле

$$A_{с.о} = 0.19 \cdot A_n = 0.19 \cdot 20.4 = 3.88 \text{ м}^2.$$

Следовательно, ширина светового проема при высоте 1.5 м должна составлять $b_{c.n} = 3.88/1.5 = 2.58$ м.

Принимается оконный блок размерами 1.5 x 2.7 м.

5. Производится проверочный расчет по формуле (Б.1) с учетом необходимости умножения полученного выражения на коэффициент $K_{3Д2} = K_{3Д} \cdot b_{\phi}$ согласно таблице 5

$$e_n = \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot q_i \cdot r_o \cdot \tau_o \cdot K_{3Д} \cdot b_{\phi}}{100 \cdot K_3}$$

6. По СНиП 23-05* определяется коэффициент запаса: $K_3 = 1.2$.

7. Для расчета коэффициента естественной освещенности методом А.М. Данилюка на график I накладывается выполненный на кальке поперечный разрез помещения, рис. 19, совмещением полюса графика 0 с точкой А, а нижней линии графика – с полом; подсчитывается число лучей по графику I, проходящих через поперечный разрез светового проема: $n_1 = 3.4$.

8. Отмечается проходящая через точку С середины окна на разрезе помещения концентрическая полуокружность 27.2 графика I.

9. На поперечном разрезе помещения определяется угол θ , под которым видна середина светового проема из расчетной точки А, равный 16.4° ; по таблице Б.1 линейной интерполяцией находится соответствующий этому углу коэффициент $q_i = 0.67$.

10. По размерам помещения находятся, $l_T/d_n = 0.83$; $b_n/d_n = 0.57$.

11. По значениям d_n/h_{01} , l_T/d_n , b_n/d_n , $\rho_{ср}$ линейной интерполяцией находится $r_o = 4.5$.

12. С учетом глубины помещения $d_n = 60$ м, по таблице 5 определяется значение $K_{3Д2} = 0.5$.

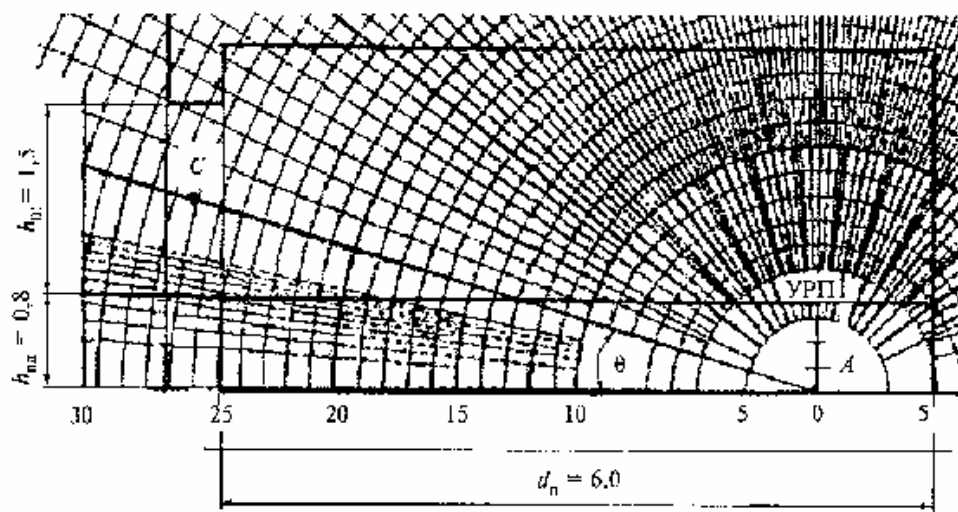
13. Для спаренного деревянного переплета с двойным остеклением определяется общий коэффициент светопропускания: $\tau_o = 0.8 \times 0.75 = 0.60$.

14. По формуле пункта 5 задачи, подставляя значения коэффициентов e_n , K_3 , $K_{3Д2}$ и τ_o , определяется значение n_2 :

$$n_2 = 100 \cdot 0.5 \cdot 1.2 / (3.4 \cdot 0.67 \cdot 4.5 \cdot 0.5 \cdot 0.6) = 19.5.$$

Разрез

M1:50



План

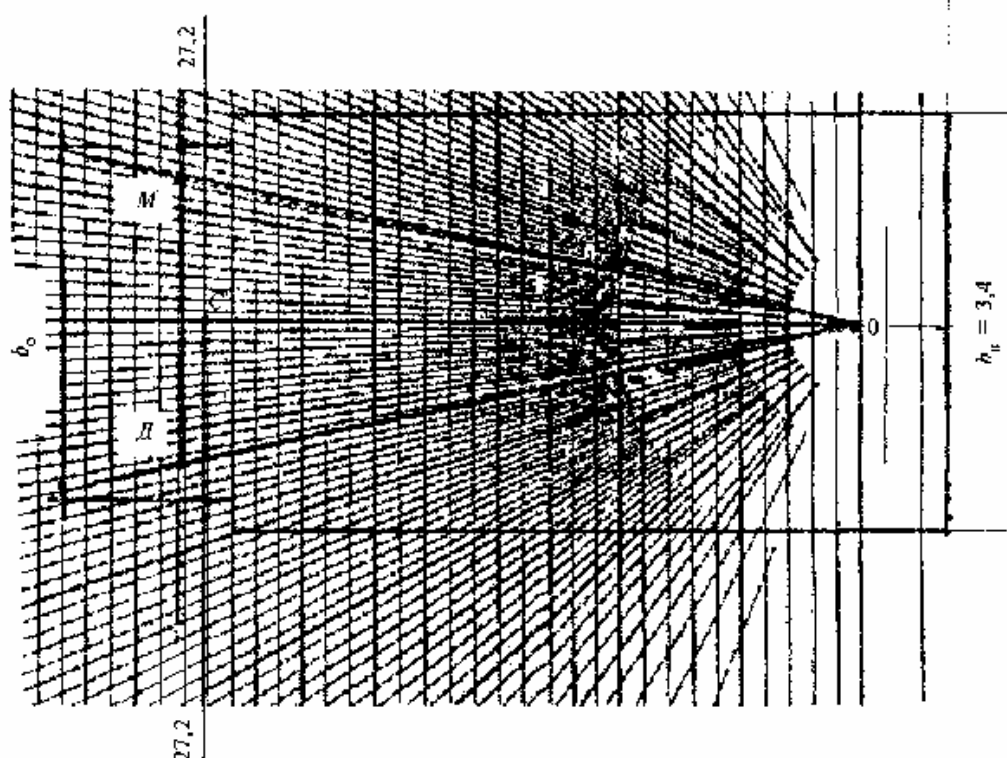


Рис. 41. Совмещение графиков I и II с поперечным разрезом и планом жилого помещения

15. На график II для расчета КЕО методом А.М. Данилюка накладывается выполненный на кальке план помещения, рис. 41, таким образом, чтобы ось графика и горизонталь 27.2 проходили через точку С; на внешней поверхности наружной стены отмечают точки пересечения луча 13.6 выше (точка М) и ниже оси графика (точка Д) с линией X—X; измеряют расстояние между точками М и Д т. е. $d' = 4.6$ см.

16 С учетом того, что жилое помещение изображено на рис. 19 в масштабе 1:50, определяет требуемая ширина окна $b_o = 50 \times d' = 2.3$ м.

Окончательно принимается решение об использовании стандартного оконного блока размером 1.5 x 2.4 м.

Рабочие кабинеты и офисы. Освещение рабочих кабинетов, офисов должно проектироваться на основе следующих требований:

а) создание необходимых условий освещения на рабочих столах, расположенных в глубине помещения при выполнении разнообразных зрительных работ (чтение типографского и машинописного текстов, рукописных материалов, различение деталей графических материалов и т. п.);

б) обеспечение зрительной связи с наружным пространством;

в) защита помещений от слепящего и теплового действия инсоляции;

г) благоприятное распределение яркости в поле зрения.

Боковое освещение рабочих кабинетов должно осуществляться, как правило, отдельными световыми проемами (одно окно на каждый кабинет). С целью снижения необходимой площади световых проемов высоту подоконника над уровнем пола рекомендуется принимать не менее 1 м.

При расположении здания в административных районах Российской Федерации первой, третьей и четвертой групп по ресурсам светового климата нормированное значение КЕО следует принимать: при глубине рабочих кабинетов (офисов) 5 м и более – по таблице 6 применительно к совмещенной системе освещения; менее 5 м – по таблице 4 применительно к естественной системе освещения.

Для обеспечения зрительного контакта с наружным пространством заполнение световых проемов должно, как правило, выполняться светопрозрачным оконным стеклом.

Для ограничения слепящего действия солнечной радиации в рабочих кабинетах и офисах необходимо предусматривать шторы и легкие регулируемые жалюзи. При проектировании зданий управления и зданий под офисы для III и IV климатических районов Российской Федерации следует предусматривать оборудование световых проемов, ориентированных на сектор горизонта в пределах 200°–290° солнцезащитными устройствами.

В помещениях значения коэффициента отражения поверхностей ρ должны быть не менее:

– потолка и верхней части стен	0.70
– нижней части стен	0.50
– пола	0.30.

Таблица 6

Нормированные значения КЕО при боковом совмещенном освещении в основных помещениях жилых и общественных зданий в административных районах различных групп по ресурсам светового климата

Группы административных районов по ресурсам светового климата	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта, град.	КЕО, %				
		в рабочих кабинетах зданий управления, офисах	в школьных классах	в выставочных залах	в читальных залах	в проектных залах, чертежно-конструкторских бюро
1	69-113 249-293	0.60	1.30	0.40	0.70	0.90
	114-158 204-248	0.60	1.30	0.40	0.70	0.90
	159-203	0.60	1,30	0,40	0,70	0.90
	294-68	0.60	—	0,40	0,70	0.90
2	69-113 249-293	0.50	1,20	0,40	0,60	0.80
	114-158 204-248	0.50	1,10	0,40	0,60	0.80
	159-203	0.50	1,10	0,40	0,60	0.80
	294-68	0.50	—	0,40	0,60	0.80
3	69-113 249-293	0.70	1,40	0,50	0,80	1.00
	114-158 204-248	0.60	1,30	0,40	0,70	0.90
	159-203	0.60	1,30	0,40	0,70	0.90
	294-68	0.70	—	0,50	0,90	1.00
4	69-113 249-293	0.70	1,40	0,50	0,80	1.00
	114-158 204-248	0,70	1,40	0,50	0,80	1.00
	159-203	0.70	1,40	0,50	0,80	1.00
	294-68	0.70	—	0,50	0,80	1.10
5	69-113 249-293	0.50	1,00	0,30	0,60	0.70
	114-158 204-248	0.50	1,00	0,30	0,60	0.70
	159-203	0.50	1,00	0,30	0,50	0.70
	294-68	0.50	—	0,30	0,60	0.70

Задача 2.2. Помещение рабочего кабинета здания банка в городе Иркутске имеет следующие исходные данные: глубина помещения $d_n = 5.9$ м, высота $h = 2.9$ м, ширина $b_n = 3.0$ м, высота светового проема окна $h_o = 1.8$ м, площадь пола помещения $A_n = 17.7$ м², толщина наружной стены 0.35 м. Заполнение световых проемов двойным остеклением по спаренным алюминиевым переплетам. Коэффициент отражения потолка $\rho_{nom} = 0.7$, стен $\rho_{cm} = 0.4$, пола $\rho_n = 0.25$. Затенение противостоящими зданиями отсутствует.

Определить:

- предварительный расчет площади светового проема рабочего кабинета в здании банка в городе Иркутске,
- ширину оконного проема,
- проверочный расчет выбранной площади оконного проема,
- итоговый вывод расчетов.

Решение:

1. При глубине помещения d_n свыше 5 м, по таблице 6 находится нормированное значение КЕО e_n , равное 0.6 %.

2. Производится предварительный расчет естественного освещения по исходной глубине помещения $d_n = 5.9$ м и высоте верхней грани светового проема над условной рабочей поверхностью $h_{OI} = 1.9$ м; определяется, что $d_n/h_{OI} = 3.1$.

3. На рисунке 2 на соответствующей кривой $e_n = 0.6$ % находится точка с абсциссой $d_n/h_{OI} = 3.1$. По ординате этой точки определяется, что необходимая относительная площадь светового проема $A_o/A_n = 21.5\%$.

4. Площадь светового проема определяют по формуле

$$A_o = 0.215 \cdot A_n = 0.215 \cdot 17.7 = 3.81 \text{ м}^2.$$

Следовательно, ширина светового проема должна составлять $b_o = 3.81/1.8 = 2.12$ м.

Принимается оконный блок размерами 1.8 х 2.1 м.

5. Производится проверочный расчет КЕО в точке М, на расстоянии 4.9 м от светового проема, по формуле

$$e_p^{\bar{o}} = \varepsilon_{\bar{o}} \cdot q_i \cdot r_o \cdot \tau_o / K_3 \cdot$$

Учитывая, что противостоящих зданий нет, $\varepsilon_{3Д} \cdot K_{3Д} = 0$.

6. Накладывается на график I для расчета КЕО методом А.М. Данилюка выполненный на кальке поперечный разрез помещения, рис. 21, совмещением полюса графика I – 0 с точкой М, а нижней линии – с условной рабочей поверхностью; подсчитывается число лучей по графику I, проходящих через поперечный разрез светового проема: $n_1 = 2.96$.

7. Отмечается проходящая через точку С середины окна на разрезе помещения, рис. 42, концентрическая полуокружность 26 графика I.

8. Накладывается на график II для расчета КЕО выполненный на кальке план помещения таким образом, чтобы его вертикальная ось и горизонталь 26 графика II проходили через точку С; подсчитывается по графику II число лучей, проходящих от неба через световой проем: $n_2 = 24$.

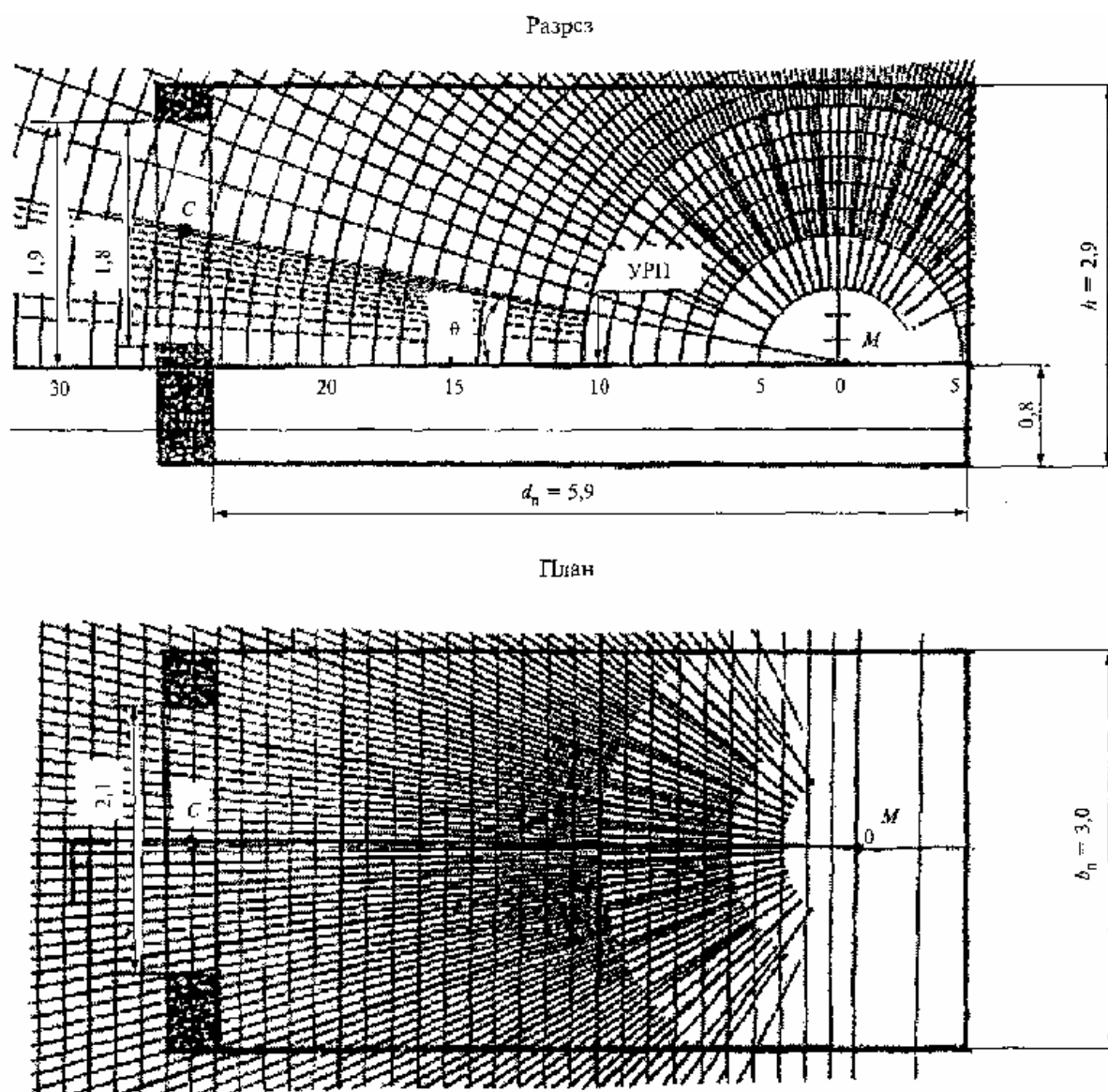


Рис. 42. Совмещение графиков I и II с поперечным разрезом и планом рабочего кабинета

9. Определяется значение геометрического КЕО по формуле

$$\varepsilon_{\bar{\theta}} = 0.01 \cdot n_1 \cdot n_2 = 0.01 \cdot 2.96 \cdot 24 = 0.71.$$

10. С учетом того, что поперечный разрез помещения выполнен в масштабе 1:50 определяется, что середина участка неба, видимого из расчетной точки М через световой проем, находится под углом $\theta = 11^\circ$; по значению угла θ линейной интерполяцией находится коэффициент q_i , учитывающий неравномерную яркость облачного неба МКО: $q_i = 0.59$.

11. Из размеров помещения и светового проема следует, что $d_n/h_{01} = 3.1$; $l_T/d_n = 0.83$; $b_n/d_n = 0.51$.

12. Определяются площади поверхностей потолка A_{nom} , стен A_{cm} и пола A_n и определяется средневзвешенный коэффициент отражения ρ_{cp} по формуле

$$\rho_{cp} = \rho_{nom} \cdot A_{nom} + \rho_{cm} \cdot A_{cm} + \rho_n \cdot A_n / A_{nom} + A_{cm} + A_n = 0.41.$$

13. По найденным значениям d_n/h_{01} ; l_T/d_n ; b_n/d_n по таблице Б.4 определяется $r_o = 2.95$.

14. Для спаренного алюминиевого переплета с двойным остеклением находят общий коэффициент пропускания света τ_o : $\tau_o = \tau_1 \cdot \tau_2 = 0.68$.

15. По СНиП 23-05* находится коэффициент запаса для окон общественных зданий $K_3 = 1.2$.

16. Определяется значение КЕО в точке М после подстановки значений коэффициентов $\varepsilon_{\bar{\theta}}$, q_i , r_o , τ_o и K_3 в формулу пункта 5:

$$e_p^{\bar{\theta}} = 0.71 \cdot 0.59 \cdot 2.95 \cdot 0.68 / 1.2 = 0.70 \ %.$$

Следовательно, выбранные размеры светового проема обеспечивают требования норм по совмещенному освещению рабочего кабинета.

Школьные классы. При проектировании естественного освещения учебных помещений в общеобразовательных школах должны обеспечиваться нормированные значения КЕО, благоприятная световая среда, направление светового потока с левой стороны, зрительная связь с наружным пространством, минимизация слепящего и теплового действия прямой солнечной радиации, оптимальная цветовая отделка помещений с учетом

ориентации и климатических условий, снижение теплопотерь через световые проемы.

В школьных классах следует применять левостороннее боковое освещение, при котором окна в наружных стенах располагают с левой стороны от учащихся.

Во всех остальных помещениях (включая рекреации) следует предусматривать, как правило, боковое освещение через световые проемы в наружных стенах, которые должны обеспечивать зрительную связь с наружным пространством. Кабинеты черчения и рисования, а также кабинеты, оборудованные техническими средствами обучения, расположенные на верхних этажах зданий, допускается проектировать с одним верхним освещением через световые проемы в покрытии.

Нормированные значения КЕО в классах следует принимать по таблице 4 при естественном освещении и по таблице 6 при совмещенном освещении.

При разработке типовых проектов школ, ориентация которых по сторонам горизонта при строительстве может быть разной, нормированное значение КЕО следует определять по формуле (1), а коэффициент светового климата m_N – по таблице 2 для ориентации световых проемов на западный (восточный) сектор горизонта.

Нормированное значение КЕО в классах обеспечивается выбором размеров и расположения световых проемов.

В учебных помещениях значения коэффициента отражения поверхности должны быть не менее:

- потолков, верхней части стен и оконных откосов 0.70;
- панелей стен 0.55;
- пола 0.40.

Для цветовой отделки поверхностей интерьера рекомендуются зеленый, желтый, сине-зеленый и белый цвета. При южной ориентации световых проемов рекомендуются холодные тона, при северной – более теплые. В лабораториях, кабинетах черчения и рисования, где важно правильное различение цвета, пол, стены и мебель должны быть окрашены в ахроматические цвета.

В школах, проектируемых для строительства в южных районах Российской Федерации, должны предусматриваться солнцезащитные устройства для устранения слепящего действия прямой и отраженной блескости и перегрева от проникающей солнечной радиации.

Задача 2.3. Помещение класса здания школы в городе Иркутске имеет следующие исходные данные: школа располагается во второй группе административных районов по ресурсам светового климата, глубина помещения $d_n = 7.74$ м, высота $h = 3.0$ м, ширина $b_n = 7.04$ м, высота световых проемов $h_o = 2.1$ м, высота подоконника $h_{nd} = 0.9$ м. Остекление

двойное в отдельных деревянных переплетах. Средневзвешенный коэффициент отражения стен, пола и потолка $\rho_{cp} = 0.5$.

Определить:

- предварительный расчет площади световых проемов помещения класса здания школы в городе Иркутске,
- размеры оконных проемов,
- итоговый вывод расчетов.

Решение:

1. По приложению И СНиП 23-05* определяется нормированное значение КЕО e_n , равное 1.5 %.

2. Определяется площадь пола: $A_n = 7.74 \cdot 7.04 = 54.5 \text{ м}^2$.

3. Находится отношение глубины помещения d_n к высоте окна от уровня условной рабочей поверхности $d_n/h_{01} = 76.74/2.2 = 3.5$.

4. По графику на рис. 3 на соответствующей кривой $e_n = 1.5 \%$ находится точка с абсциссой $d_n/h_{01} = 3.5$, а по ординате этой точки определяется отношение $A_{c.o}/A_n = 24 \%$.

5. Находится площадь световых проемов $A_{c.o} = A_n \cdot 0.24 = 54.5 \cdot 0.24 = 13.1 \text{ м}^2$, а затем суммарная ширина окон $b_{c.o} = 13.1/2.1 = 6.2 \text{ м}$.

6. Принимаются два оконных блока размерами 2.1 х 2.4 м и один блок размером 2.1 х 1.8 м.

При необходимости выполняется проверочный расчет.

Выставочные помещения. Одной из главных задач освещения выставочных помещений является обеспечение благоприятных условий визуализации экспонатов, определяемых как освещением самих экспонатов, так и освещением окружающего пространства. Освещение экспонатов характеризуют средним значением КЕО, равномерностью освещенности в выставочной зоне помещения и направлением падения светового потока на плоскость выставочной зоны. При освещении окружающего пространства должны обеспечиваться требуемое распределение освещенности в помещении; ограничение слепящего действия световых проемов; устранение инсоляции помещения; требуемое распределение яркости в помещении.

Среднее значение КЕО e_{cp} и предельно допустимое значение неравномерности освещенности в выставочной зоне в зависимости от вида экспозиции устанавливают в соответствии с таблицей 7. Направление падения светового потока на выставочную зону зависит от расположения световых

проемов относительно выставочной зоны и характеризуется показанным на рис. 43 углом φ . Угол падения прямого света на плоские экспонаты (картины, плакаты, гравюры, ткани и т. п.) при расположении их на стенах помещения или вертикальных стендах выбирают в пределах от 45° до 75° по отношению к горизонтали. При углах, больших 75° , на экспонатах создаются тени (от рамок и фактуры), искажающие облик экспонатов; при углах менее 45° отблески от экспонатов с блестящей фактурой будут попадать в глаза посетителей.

Угол падения прямого света на объемные экспонаты выбирают в пределах от 30° до 50° ; такое направление падения света в наилучшей степени выявляет форму и детали объемных экспонатов.

Таблица 7

Средние значения КЕО в экспозиционных помещениях

Экспозиционные помещения	Средние значения КЕО e_{cp} , %	Отношение максимального значения КЕО к минимальному, не более
Выставки монументальной и станковой живописи, гравюр, плакатов, ковров, тканей и т.п.	1.5	1.3
Выставки скульптуры, архитектуры, мебели	1.5	2.0
Антропологические, археологические, этнографические выставки	1.0	2.0
Исторические и военно-исторические выставки	1.0	3.0
Машины, агрегаты, установки и т.п.	3.0	3.0

В выставочных помещениях световые проемы по возможности не должны попадать в поле зрения посетителей при обзоре экспонатов; для ограничения слепящего действия световых проемов необходимо применять жалюзи и экраны. При нормальном удалении посетителя от экспонатов (равном 1.5 высоты экспозиционной зоны) и ориентации глаз на середину выставочной зоны угол β , под которым виден нижний край светопроема, должен быть не менее 30° . При высоте подоконников 1.2 м от пола и менее наружная стена и простенки не должны использоваться для экспозиции. В помещениях, предназначенных для экспозиции живописи, графики, тканей, ковров, гобеленов и т. п., прямой солнечный свет должен быть исключен вследствие его разрушающего действия на красители, ткани и бумагу.

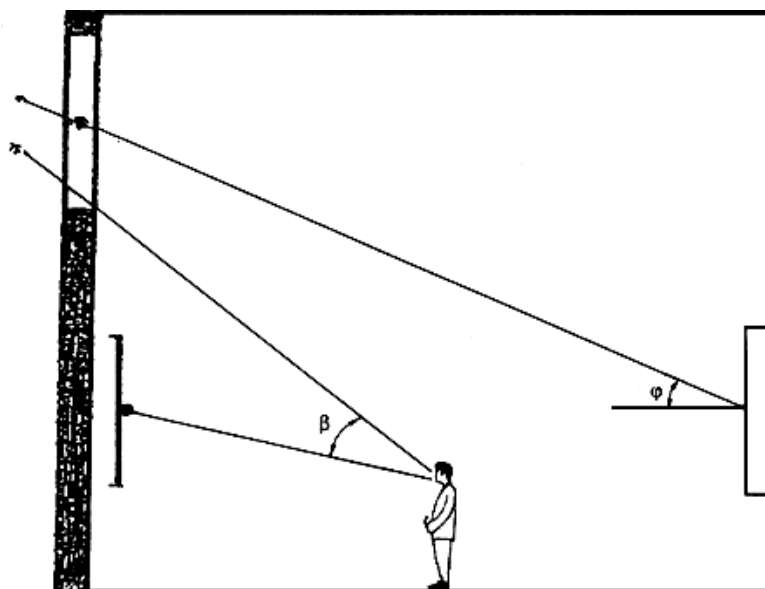


Рис. 43. Поперечный разрез выставочного помещения
 β – защитный угол; φ – угол падения прямого света на середину выставочной зоны

Для устранения инсоляции в этих помещениях целесообразно выбирать ориентацию световых проемов на СВ, С, СЗ. При другой ориентации световых проемов в этих помещениях необходимо применять регулируемые внутренние (междурамные) или наружные жалюзи.

В экспозиционных помещениях с объемными экспонатами (скульптурами, макетами, машинами и т. п.) инсоляция желательна, так как прямой солнечный свет в наилучшей степени выявляет форму и детали экспонатов. Для этих помещений ориентацию световых проемов следует выбирать на ЮВ, Ю, ЮЗ.

Дополнительное искусственное освещение целесообразно использовать в следующих случаях:

- а) при недостаточном естественном освещении;
- б) при необходимости интенсивного местного освещения экспонатов (машины, агрегаты, витрины и стеклянные шкафы с мелкими экспонатами);
- в) при необходимости выделить световыми акцентами отдельные экспонаты или их группы из общего объема интерьера (скульптуры, панно, картины и т. п.);
- г) при неблагоприятном распределении естественной освещенности в помещении (например, когда часть экспозиционной площади находится в тени).

Искусственное освещение необходимо осуществлять преимущественно источниками света, излучение которых по спектру приближается к дневному. Для подсвета должна применяться специальная осветительная арматура, которую размещают, как правило, скрыто от посетителей (за подвесными потолками, встраивают в мебель или экспозиционное оборудование). При этом необходимо тщательно выбирать направление световых потоков, чтобы

исключить возможность попадания в поле зрения посетителей незащищенных источников света и появления ярких бликов на экспонатах с полированными поверхностями.

При подсвете неравномерность распределения яркости в поле зрения не должна превышать 40:1.

Отделка внутренних поверхностей экспозиционных помещений должна отвечать следующим требованиям:

а) соответствовать назначению помещения, содержанию и характеру экспозиции: нейтральная в картинных галереях, акцентирующая в помещениях промышленных, сельскохозяйственных и строительных выставок;

б) быть увязанной с выбранной системой освещения, при этом поверхности, находящиеся в тени, должны иметь более светлую отделку по сравнению с интенсивно освещенными;

в) создавать необходимый контрастирующий фон для экспонатов (резкие контрасты нежелательны). В оформлении помещения не должно быть пестроты.

Отделку внутренних поверхностей выставочных помещений следует производить с учетом значений коэффициента отражения поверхности, приведенных в таблице 8.

Таблица 8

Значения коэффициента отражения для отделки внутренних поверхностей выставочных помещений

Выставочное помещение	Значения коэффициента отражения ρ		
	потолка	стен	пола
Картинные галереи и выставки	0.70	0.20-0.40	0.10-0.30
Скульптурные залы	0.70	0.30-0.50	0.30-0.40
Политехнические и научные музеи	0.70-0.80	0.20-0.70	0.20-0.50
Промышленные и сельскохозяйственные выставки	0.70-0.80	0.70-0.80	0.20-0.50

Помещения с зенитными и шахтными фонарями. В одноэтажных общественных зданиях с межферменным этажом с недостаточным боковым естественным освещением и большими по площади помещениями рекомендуется устраивать зенитные и шахтные фонари. К таким помещениям могут быть отнесены читальные, лекционные, спортивные, выставочные, торговые и обеденные залы и помещения верхних этажей общественных зданий.

Размещать фонари следует с учетом конструктивных элементов покрытия, инженерных коммуникаций и инженерного оборудования, размещаемых в межферменном этаже или пространстве подвесного потолка, а также в увязке с предполагаемым расположением светильников и с учетом требований равномерности освещения:

а) квадратные в плане и круглые фонари рекомендуется размещать по углам квадрата, а прямоугольные – по углам прямоугольника с соотношением

сторон в поперечном и продольном направлениях, соответствующим соотношению сторон основания опорного стакана или выходного отверстия светопроводной шахты;

б) в целях обеспечения равномерности освещения размеры выходных отверстий фонарей должны быть не более 0.25–0.50 высоты помещения, а расстояние между крайним рядом фонарей и стеной не должно превышать 0.50 расстояния между средними рядами фонарей;

в) фонари рекомендуется размещать между фермами или балками покрытия на площади, свободной от инженерных коммуникаций и оборудования.

Шахтные фонари рекомендуется устраивать на базе типовых решений зенитных фонарей. Верхнее отверстие светопроводной шахты стыкуется с нижним отверстием опорного стакана зенитного фонаря; нижнее отверстие светопроводной шахты должно быть на уровне потолка основного помещения. Отделку внутренних полостей опорного стакана зенитных фонарей и светопроводную шахту шахтных фонарей диффузного света выполняют белыми красками по тщательно подготовленной, выровненной грунтовкой поверхности. Светопроводные шахты шахтных фонарей направленного света облицовывают алюминиевой технической фольгой толщиной от 0.05 до 0.20 мм в зависимости от конструктивного решения светопроводной шахты.

Выбор фонарей в зависимости от типа зданий рекомендуется производить согласно таблице 9.

Таблица 9

Характеристики фонарей в зависимости от типа здания

Тип здания	Тип фонаря	Характеристика фонаря		
		Вид отражения опорного стакана и светопроводной шахты	Форма опорного стакана и светопроводной шахты	Размеры входного отверстия в плане, м
Инженерно-административное без подвесных потолков	Зенитный	Диффузное	Прямоугольный параллелепипед	1.5 x 1.7; 2.7 x 2.7
То же, с подвесным светопрозрачным потолком	»	Направленное	То же	То же
То же, с подвесным непрозрачным потолком	Шахтный	Диффузное	Усеченная пирамида	»
Общественное с техническим этажом	»	Направленное	Прямоугольный параллелепипед Цилиндр	1.5 x 1.7; 2.7 x 2.7 Диаметр 1.2; 1.5
Общественное с подвесным светопрозрачным потолком	Зенитный	»	Усеченная пирамида Усеченный конус	То же
То же, с подвесным непрозрачным потолком	Шахтный	Диффузное	Усеченная пирамида Усеченный конус	»

В зданиях с кондиционированным режимом выходное отверстие опорного стакана зенитного фонаря или светопроводной шахты шахтного фонаря рекомендуется заполнять армированным стеклом.

Суммарная площадь фонарей в зданиях не должна превышать, как правило, 20 % освещаемой площади пола.

2.3. Сравнение норм освещения зданий

Появление стабильных электрических источников света во второй половине 19-го столетия заметно сказались на промышленном производстве. Улучшения условий освещения привело к росту производительности труда, снижению брака и повышению качества изделий. Научные и практические потребности в численных оценках уровня освещения производственных помещений и рабочих мест привели с одной стороны, к созданию рекомендаций по достаточности освещения, а с другой стороны, к переходу на нормирование оптимальных условий освещения, обеспечивающих рабочие пространства.

Решение проблем нормирования освещения продолжается уже более ста лет назад, но до сих пор трудно считать их закрытыми окончательно. В 1999 году Европейский комитет по стандартизации после двенадцатилетней работы принял новые нормы освещенности EN 12464-1, получившие статус общеевропейских, и с 2003-го года началось введение этих норм в действие в странах Европейского Союза. Международная комиссия по стандартизации (ISO) на основе этих норм приняла международные нормы внутреннего освещения ISO 8995:2002.

В связи с готовящимся вступлением России во Всемирную торговую организацию (ВТО) проводится работа по согласованию российских и международных стандартов, и требования международных норм должны будут востребованы и у нас.

В России главным документом, устанавливающим параметры освещения, являются Строительные нормы и правила СНиП 23-05-95*. Кроме этих норм, имеются Санитарные правила и нормы СанПиН 2.21/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий», Московские городские строительные нормы МГСН 2.06-99 и множество отраслевых документов, в которых подробно расписаны требования к освещению различных рабочих мест.

В Европе, кроме недавно принятых новых европейских норм освещенности, имеется несколько десятков специализированных норм (например, для дорожного, уличного и туннельного освещения, для освещения спортивных сооружений и т.п.), а также многие Национальные нормы и правила. Во всех нормативных документах регламентируются те же параметры, что и в России. Нормируемые величины различаются в разных странах, но эти различия не носят принципиального характера.

В СНиП 23-05-95* даны нормы освещенности в зависимости от класса зрительных работ. Этот класс определяется по минимальным размерам деталей, с которыми приходится работать на данном рабочем месте, и по контрасту деталей и фона. Контраст – это отношение яркостей предметов, которые нужно видеть, к яркости поверхности (фона), на которой эти предметы находятся. Очевидно, что чем меньше угловые размеры рассматриваемых деталей и чем меньше контраст, тем выше должна быть освещенность, обеспечивающая нормальную работу.

По характеру работы, выполняемой внутри помещений, выделено 7 классов точности: наивысшей, очень высокой, высокой, средней и малой точности, грубая работа и работа с самосветящимися или раскаленными объектами. Нормируемые уровни освещенности для этих классов – от 5000 до 100 лк.

Работы, выполняемые на открытых местах, относятся к 9 – 14 классам. Конкретные значения нормируемой освещенности для конкретных рабочих мест приводятся не в СНиП, а в многочисленных отраслевых нормах. Для общественных помещений в СНиП даются значения нормируемой освещенности в зависимости от назначения помещений и характера выполняемых в них работ.

В европейских нормах EN 12464 приведен список более 280 конкретных рабочих мест и требования к их освещению. Освещение общественных помещений нормируется аналогично СНиП.

Для всех рабочих мест внутри помещений и для рабочих мест вне помещений, на которых выполняется конкретная работа – железнодорожные станции, аэропорты, карьеры и т.п., основной нормируемой величиной является освещенность на рабочем месте. Хотя глаз реагирует не на освещенность, а на яркость предметов, нормируемой величиной является именно освещенность, так как она значительно проще рассчитывается и измеряется.

При освещении улиц, автомобильных туннелей, проезжих дорог основной нормируемой величиной служит яркость дорожного покрытия. Она устанавливается в зависимости от категории улиц (дорог), интенсивности движения, характера окружающей обстановки. Освещенность и яркость характеризуют количественную сторону освещения. Остальные нормируемые параметры определяют качество освещения.

Как показано в первой главе, одна и та же освещенность может быть создана множеством разных способов, которые будут различаться между собой весьма существенно. Каждый человек знает, что присутствие в поле его зрения каких-либо ярких предметов (лампочек, Солнца) или их отражений («зайчиков») сильно затрудняет работу глаза, а иногда делает ее просто невозможной — глаз перестает видеть нужные предметы и особенно их детали. Как говорится в научно-технической литературе, в таких случаях у людей возникает ощущение дискомфорта, то есть зрительного неудобства, а в особо неблагоприятных случаях — чувство ослепленности. Эти ощущения зависят от яркости мешающих «зайчиков», их размеров и расположения относительно

линии зрения. А свойство ярких предметов вызывать у глаза неприятные ощущения называется блескостью. Имеются различные методики оценки блескости, создаваемой яркими источниками света или их отражениями.

В осветительных установках промышленных предприятий нормируется показатель ослепленности 5, равный отношению пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения. Для расчета показателя ослепленности разработаны инженерные методики, которые приведены в СНиП 23-05-95* в виде приложения.

Для общественных зданий вместо коэффициента ослепленности нормируется показатель дискомфорта М. Величина М зависит от характера выполняемой работы и может принимать значения от 15 до 90.

Величина допустимого значения дискомфорта или ослепленности является вторым нормируемым параметром освещения.

В новых европейских нормах освещенности нормируется обобщенный показатель дискомфорта UGR. В таблице 24 приведены соотношения между показателями дискомфорта по российским и европейским нормам.

Соотношение между показателями дискомфорта

М	15	25	40	60	90
UGR	14	19	22	25	27

В ряде случаев род работы требует четкого различения цвета предметов и их деталей. Это особенно необходимо там, где именно цвет является важнейшим критерием качества продукции – в полиграфии, текстильной промышленности, в некоторых магазинах и т.п. Поэтому для целого ряда рабочих мест (а в новых Европейских нормах освещенности – практически для всех рабочих мест) нормируется еще один качественный показатель освещения – общий индекс цветопередачи, обозначается R_a .

Зрительный аппарат человека сформировался за многие тысячи лет эволюции в условиях, когда единственным источником света было Солнце. Естественным кажется считать правильными те цвета предметов, которые они имеют при солнечном освещении. С конца 19-го века в жизнь людей стали активно внедряться электрические источники света. Существующие сравнительно долго тепловые источники света, именуемые лампами накаливания, имеют сплошной спектр излучения и зрительный аппарат человека подсознательно вносит коррективы в восприятие цветов при искусственном освещении. Проблем с оценкой качества цветопередачи при этом не возникает. Положение стало меняться с появлением и массовым внедрением газоразрядных источников света, имеющих не сплошной, а линейчатый или полосчатый спектр излучения. Люди стали замечать, что при освещении таким светом цвет предметов изменяется, и иногда изменение цвета бывает настолько сильным, что привычные предметы становятся трудно распознавать. Поэтому в 70-е годы минувшего века была выработана методика оценки качества цветопередачи при освещении искусственным светом.

Международными организациями было выбрано и согласовано несколько типов предметов, цвет которых оценивался при освещении их различными источниками света: человеческая кожа, зеленые листья растений, специальные выкраски. Оценки качества цветопередачи каждого из таких предметов при освещении их оцениваемым источником света по сравнению с освещением «стандартным» источником были названы «частными индексами цветопередачи, а средняя из полученных 14-ти оценок — «общим индексом цветопередачи R_a ». За «стандартный» источник был принят свет тепловых излучателей, то есть ламп накаливания – их общий индекс цветопередачи по соглашению близок к 100.

В первой главе рассматривалась принятая МКО система оценки качества цветопередачи: $R_a > 90$ – отличное; $90 > R_a > 80$ – очень хорошее; $80 > R_a > 70$ – хорошее; $70 > R_a > 60$ – удовлетворительное; $60 > R_a > 40$ – приемлемое; $R_a < 40$ – плохое.

В российских нормах освещения установлено, что для предприятий полиграфической, текстильной, лакокрасочной отраслей промышленности, а также для хирургических отделений больниц R_a должен быть не ниже 90.

В европейских нормах EN 12464 почти для всех видов работ и типов общественных помещений нормируется индекс цветопередачи не ниже 80; для контроля цвета в полиграфической и текстильной промышленности, для хирургических кабинетов, для некоторых торговых залов, требуется индекс цветопередачи не ниже 90. Для высоких производственных помещений допускается применение источников света с плохой цветопередачей (в частности, натриевых ламп высокого давления).

Кроме общего индекса цветопередачи, европейские нормы регламентируют и цветовую температуру источников света. По цветности излучения все источники света разделены на три группы: теплые $T_{цв} < 3500$ К, средние $T_{цв} = 3500 - 5300$ К и холодные $T_{цв} > 5300$ К. Для большинства видов работ и помещений рекомендуются «средние» источники света $T_{цв} = 4000$ К. В СНиП 23-05-95* на этот счет указано, что при архитектурно-художественном освещении для «холодных» поверхностей рекомендуются источники света с $T_{цв}$ не ниже 4000 К, а для «теплых» поверхностей – с $T_{цв}$ меньше 3500 К. Регламентируется также цветовая температура источников света для витринного освещения (для тканей, галантереи, обуви, мехов 2800 – 5000 К при $R_a > 80$, для посуды-хозяйственных товаров, электротоваров, хлеба, бакалеи – 2800 – 3000 К при $R_a > 70$, для мясных и молочных продуктов, гастрономии, овощей и фруктов – 2800 – 3500 К, для рыбных продуктов – 4500 – 6500 К при R_a также не ниже 80.

Еще одним нормируемым параметром освещения является распределение яркости в поле зрения. Так как яркость рассчитывается достаточно сложно, то и в этом случае нормируют неравномерность распределения освещенности. В зависимости от характера выполняемой работы соотношение освещенности на рабочем месте и в ближайшем окружении должно быть не более 1:0.3 – 1:0.7. Европейские нормы выделяют на рабочем месте зону выполнения задания и окружающую зону. Освещенность в этих зонах должна соотноситься примерно так же, как по СНиП 23-05-95* освещенность рабочих мест и ближайшего окружения.

В России нормируется еще один качественный показатель освещения – коэффициент пульсации освещенности. Нормирование этого показателя также потребовалось в связи с повсеместным внедрением газоразрядных источников света, так как у света от ламп накаливания пульсации весьма незначительны и каких-либо неудобств от их существования люди не испытывали.

У газоразрядных источников света – люминесцентных, металлогалогенных, натриевых ламп – величина светового потока изменяется с удвоенной частотой тока сети. В России, странах СНГ, Европы и Азии частота переменного тока в электрических сетях равна 50 Гц; в США, Канаде и ряде других стран – 60 Гц. Следовательно, световой поток ламп изменяется («пульсирует») 100 или 120 раз в секунду и все газоразрядные лампы как бы мерцают с такой частотой. Глаз эти мерцания не замечает, но они воспринимаются организмом и на подсознательном уровне могут вызывать неприятные явления – повышенную утомляемость, головную боль и даже стрессы. Кроме этого, при освещении пульсирующим светом вращающихся или вибрирующих предметов возникает так называемый «стробоскопический эффект», когда при совпадении частоты вращения или вибрации с частотой пульсаций света предметы кажутся неподвижными, а при неполном совпадении – вращающимися с очень малыми скоростями. Это вызывает у людей ошибочные реакции и является одной из серьезных причин травматизма на производстве.

Глубина пульсаций измеряется коэффициентом пульсации освещенности:

$$K_n = (E_{\max} - E_{\min}) / (E_{\max} + E_{\min}) ,$$

где E_{\max} и E_{\min} – максимальное и минимальное значения освещенности за полупериод сетевого напряжения.

Российскими нормами установлено, что глубина пульсации освещенности на рабочих местах не должна превышать 20 %, а для некоторых видов производства – 15 %. По Санитарным правилам и нормам СанПиН 2.21/2.1.1/1278-03 в помещениях, оснащенных компьютерами, глубина пульсаций освещенности на рабочих местах должна быть не более 5 %.

В европейских нормах EN 12464 нет количественных показателей пульсации освещенности, хотя этому явлению посвящен специальный раздел.

Вместо значений коэффициента пульсации в этом разделе просто сказано, что в помещениях с длительным пребыванием людей пульсации освещенности и возникновение стробоскопического эффекта не допускаются.

Таким образом, в нормативных документах регламентируются пять параметров – величина освещенности, показатель дискомфорта, общий индекс цветопередачи, неравномерность освещенности и коэффициент пульсаций освещенности. Первый из этих параметров определяет количественную сторону освещения, четыре остальных – качественную.

В европейских нормах освещенности для ряда помещений введен еще один нормируемый параметр: для рабочих мест, оснащенных дисплеями, устанавливаются требования к максимальной яркости тех поверхностей светильников, которые могут отражаться в экранах. Для компьютеров 90-х годов эта яркость не должна превышать 200 кд/м^2 , а для современных мониторов с антибликовыми покрытиями экранов электронно-лучевых трубок или с жидкокристаллическими экранами яркость отражающихся в них светильников должна быть не более 1000 кд/м^2 .

Кроме светотехнических величин, СНиП 23-05-95* и другие российские нормативные документы регламентируют и энергетические параметры осветительных установок. С целью максимальной экономии электроэнергии нормируется удельная установленная мощность осветительной установки, то есть полная электрическая мощность (с учетом потерь в аппаратуре включения), деленная на площадь освещаемого помещения. Например, максимальная удельная установленная мощность осветительных установок административных зданий при нормируемой освещенности 500 лк составляет 42 Вт/м^2 . С этой же целью прямо оговариваются и параметры источников света. Так, указано, что для общего освещения должны использоваться газоразрядные лампы со световой отдачей не ниже 55 лм/Вт ; использование ламп накаливания допускается только для удовлетворения архитектурно-художественных требований и для освещения некоторых взрывоопасных помещений. Установлена взаимосвязь между общим индексом цветопередачи и световой отдачей источников света.

В СНиП 23-05-95* для некоторых типов помещений, кроме освещенности на рабочей плоскости, нормируется еще цилиндрическая освещенность, характеризующая насыщенность помещения светом. В европейских нормах такого показателя нет.

Российскими нормами предусматривается общее, местное, локальное и комбинированное освещение, причем нормируемые уровни освещенности при разных системах освещения существенно различаются. Например, для работ наивысшей точности при малом контрасте объекта, различаемого на светлом фоне, нормируемая освещенность составляет: при одном общем освещении – 750 лк, при комбинированном освещении – 2500 лк. Кроме этого, нормируемая освещенность зависит от типа источника света – при лампах накаливания или при люминесцентных лампах с отличной цветопередачей $R_a > 90$ уровень

освещенности должен понижаться на одну ступень. В европейских нормах такого деления нет; там нормируется освещенность в зоне выполнения задачи и в зоне непосредственного окружения. Нормируемая освещенность не зависит ни от системы освещения, ни от типа источника света.

Для наружного освещения улиц, дорог и площадей нормируемой величиной является средняя яркость дорожного покрытия, а для северных районов – средняя горизонтальная освещенность проезжей части. Улицы делятся на три категории: А – магистральные дороги и улицы общегородского значения; Б – магистральные улицы районного значения; В – улицы и дороги местного значения. Каждая из категорий делится на несколько групп в зависимости от интенсивности движения по ним автотранспорта. Для оживленных магистралей с интенсивностью движения более 3000 автомашин в час средняя яркость дорожного покрытия должна быть не менее 1.6 кд/м^2 , а для улиц местного значения с одиночными автомобилями – не менее 0.2 кд/м^2 . Кроме освещения проезжей части, нормируется освещенность тротуаров, пешеходных зон, подземных переходов, транспортных туннелей.

Помимо требования к рабочему (функциональному) наружному освещению, в СНиП 23-05-95* приводятся требования к архитектурному, витринному и рекламному освещению. Для архитектурного освещения нормируется средняя яркость фасадов зданий, а также средняя яркость элементов фасада, выделяемых акцентирующим светом. Для освещения зеленых насаждений и фасадов с «холодными» цветовыми оттенками рекомендуются источники света с цветовой температурой выше 4000 К, а для освещения объектов, окрашенных в «теплые» тона, – не выше 3500 К. Для освещения цветных архитектурных объектов рекомендуются источники света с R_a не менее 80.

Для витринного освещения нормируется не минимальная, а максимальная освещенность с учетом акцентирующего освещения. Это означает, что освещенность выделяемого светом объекта должна быть не более нормируемого значения, а нормируемое значение освещенности зависит от категории улиц, на которых располагается витрина.

В рекламном освещении регламентируется максимальный уровень яркости в зависимости от площади и расположения рекламных щитов и панелей. При этом требуется, чтобы уровень суммарной засветки окон жилых зданий или палат лечебных учреждений от осветительных приборов архитектурного, витринного и рекламного освещения не превышал установленных значений: 20 лк при нормируемой яркости дорожных покрытий $1.2 - 1.6 \text{ кд/м}^2$, 10 лк при $0.6 - 1.0 \text{ кд/м}^2$ и 7 лк при яркости покрытия меньше $0,4 \text{ кд/м}^2$.

Для освещения улиц и дорог с автомобильным движением предписывается применение газоразрядных ламп, прежде всего – натриевых ламп высокого давления.

Кроме рабочего освещения, в производственных, административных и других общественных зданиях и помещениях должно быть предусмотрено аварийное, дежурное и охранное освещение. В СНиП 23-05-95* аварийное освещение делится на освещение безопасности и эвакуационное. Освещение безопасности необходимо в случаях, когда отключение рабочего освещения может вызвать взрыв, пожар, отравление людей, длительное нарушение технологического процесса, нарушение режима детских учреждений и т.п. Эвакуационное освещение предусматривается: в местах, опасных для прохода людей; в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации более 50 человек; в проходах производственных зданий с числом работающих более 50 человек; на лестничных клетках жилых домов выше 6 этажей; в производственных помещениях с числом работающих более 100 человек; в производственных помещениях без естественного света.

Освещение безопасности должно создавать на рабочих местах не менее 5% от нормируемой рабочей освещенности от общего освещения, но не более 30 лк, при газоразрядных лампах и не более 10 лк при лампах накаливания. Эвакуационное освещение должно обеспечивать на полу проходов среднюю освещенность не менее 0.5 лк в помещениях и не менее 0.2 лк на открытых территориях.

В европейских нормах EN 12464 требований к аварийному освещению нет, так как они полностью изложены в более раннем нормативном документе EN 3881. Эти требования, в основном, совпадают с требованиями российских норм, но там аварийное освещение не зависит от количества людей, работающих в помещении.

Дежурное и охранное освещение применяется при необходимости. В качестве дежурного обычно используется небольшая часть светильников рабочего освещения.

В таблице 25 приведены фрагменты норм освещенности по СНиП 23-05-95* и по европейским нормам EN 12464-1.

В процессе эксплуатации параметры осветительных установок постепенно снижаются. Это вызвано, в первую очередь, спадом светового потока источников света в течение их срока службы. Кроме того, при работе осветительных приборов неизбежно происходит их запыление, приводящее к снижению коэффициентов отражения поверхностей и коэффициентов пропускания стекол, рассеивателей и защитных колпаков. Иногда запыление бывает настолько сильным, что изменяется характер светораспределения осветительных приборов, что также ведет к ухудшению освещения.

Неизбежный спад освещенности на рабочих местах в процессе эксплуатации учитывается при нормировании и проектировании осветительных установок в виде коэффициента запаса. Величина коэффициента запаса зависит от типа помещения и от характера выполняемых в нем работ. Для общественных зданий с нормальными условиями среды коэффициент запаса равен 1.2 – 1.4 в зависимости от типа применяемых осветительных приборов и их расположения; для производственных помещений с пыльной средой – 1.8 –

2.0. Для остальных помещений величина коэффициента запаса изменяется в пределах 1.4 – 1.8. Это означает, что при проектировании осветительных установок должна предусматриваться освещенность, равная нормируемому значению, умноженному на коэффициент запаса.

Коэффициент запаса показывает, какая освещенность должна быть предусмотрена при проектировании осветительных установок, чтобы в течение всего времени их эксплуатации был обеспечен нормируемый уровень. Завышение его приводит к увеличению требуемого количества светильников, повышает затраты на сооружение осветительной установки и увеличивает расход электроэнергии в процессе ее эксплуатации, а занижение может привести к тому, что через какое-то время после ввода установки в эксплуатацию освещенность будет ниже требуемой нормы.

Таблица 25

Сравнение норм освещения по СНиП 23-05-95 и по нормам EN 12464-1.*

Вид помещений, род деятельности	Нормы по EN 12464-1			Нормы по СНиП 23-05-95*	
	Е, лк	URG	R_a	Е, лк	М
Общественные помещения					
Административные бюро (офисы) в зданиях управл. и банковского типов	500	19	80	500	15
Проектно-конструкторское бюро	750	16	80	600	40
Машинописные и машиносчетные бюро	500	19	80	400	
Читальные залы	500	19	80	300	40
Рабочие места для компьютерного проектирования	500	19	80	500	15
Конференц-залы	500	19	80	300	60
Школьные классы: на партах в середине доски (вертикальная)	300	19	80	400	40
	500	19	80	500	
Столовые, буфеты	300	22	80	200	60
Торговые залы магазинов	300	22	80	400	40
Кассовые зоны магазинов	500	19	80	300	40
Гостиницы: бюро обслуживания гостиные, холлы номера	200	22	80	200	60
				150	
				150	
Санитарно-бытовые и другие вспом. помещения (уборные, курительные)	200	22	80	75	
Вестибюли в общественных зданиях	200	22	80	150	
Вестибюли в жилых домах				30	
Лестничные клетки, площадки, ступеньки	150	25	40	100	
Лифтовые холлы	100	22	80	75	
Склады, кладовые обычные	150	25	40	50	
Места упаковки	300	25	60	200	
Архивы	200	25	80	75	
Коридоры	100	28	40	75	
Зрительные залы театров, концертные залы				300	60
Выставочные залы				200	90
Залы спортивных игр				200	60

Залы плавательных бассейнов				150	60
Залы многоцелевого назначения				400	40
Производственные помещения					
Производство керамики и стекла: сушка					
шлифование, гравировка	50	28	20		
тонкие работы, ручная роспись	750	16	80		
	1000	16	90		
Электротехническая промышленность					
Намотка малых катушек					
Монтажные операции грубые	750	19	80		
Монтажные операции очень тонкие	300	25	80		
Производство электронной техники	1000	16	80		
	1500	16	80		
Литейные цеха	200	25	80		
Ручная сборка часов	1500	16	90		
Автоматическая сборка часов	500	19	80		
Погрузочно-разгрузочные зоны	150	25	40		

В европейских нормах EN 12464-1 нормируется не коэффициент запаса, а «эксплуатационный коэффициент» – величина, обратная коэффициенту запаса. Значения этого коэффициента – от 0.5 до 0.8, что полностью соответствует российским нормам.

Требования к электрической части осветительных установок (выбор типа и сечения проводов, необходимость заземляющих и защитных устройств, прокладка электропроводки и т.п.) изложены в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ).

Таким образом, можно заключить, что европейские нормы освещенности EN 12464-1 по существу мало отличаются от российских норм — в них регламентируются те же самые параметры освещения. Имеются некоторые различия в величинах нормируемых параметров. Как правило, в европейских нормах требования несколько выше, поэтому при возможности следует ориентироваться на них. В России основным нормативным документом, определяющим требования к освещению, являются Строительные нормы и правила СНиП 23-05-95*. Требования к освещению конкретных типов помещений, рабочих мест, видов деятельности изложены в многочисленных отраслевых нормах и в общероссийских Санитарных правилах и нормах СанПиН 2.21/2.1.1/1278-03.

Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному
освещению жилых и общественных зданий
(СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03)

Требования к освещению ряда производственных помещений представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Нормируемые параметры естественного и искусственного освещения

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО e_n , %		КЕО e_n , %		Освещенность, лк		
		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при комбинированном освещении		при общем освещении
						всего	от общего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>конструкторские и проектные организации, научно-исследовательские учреждения</i>								
1. Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	Г-0,8	3,0	1,0	1,8	0,6	400	200	300
2. Проектные залы и комнаты конструкторские, чертежные бюро	Г-0,8	4,0	1,5	2,4	0,9	600	400	500
3. Читальные залы	Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400
4. Помещения для работы с дисплеями и видеотерминалами, залы ЭВМ	Г-0,8 Экран монитора: В-1,2	3,5 -	1,2 -	2,1 -	0,7 -	500 -	300 -	400 200
5. Лаборатории органической и неорганической химии, препаративные	Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400
6. Аналитические лаборатории	Г-0,8	4,0	1,5	2,4	0,9	600	400	500
7. Лаборатории научно-технические	Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400
<i>Учреждения высшего специального образования</i>								
8. Аудитории, учебные кабинеты, лаборатории в высших учебных заведениях	Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	-	-	400

9. Кабинеты информатики и вычислительной техники	Г-0,8 Экран дисплея: В-1	3,5 -	1,2 -	2,1 -	0,7 -	500 -	300 -	400 200
--	--------------------------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	------------

- Прочерки в таблице означают отсутствие предъявляемых требований.

При отсутствии в таблице 6 нормативов для Вашего вида работ требуемые параметры естественного и искусственного освещения выбираются согласно данным табл. 4.2.

Таблица 4.2

Взаимосвязь нормируемых параметров естественного и искусственного освещения с характеристиками зрительных работ в жилых и общественных помещениях

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы, %	Освещенность на рабочей поверхности от системы общего искусственного освещения, лк	Средний КЕО при верхнем или верхнем и боковом освещении, %	Минимальный КЕО при боковом освещении, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Различение объектов при фиксированной линии зрения							
Очень высокой точности	0,1-0,3	А	1	≥70	500	4,0	1,5
			2	<70	400	3,5	1,2
Высокой точности	0,3-0,5	Б	1	≥70	300	3,0	1,2
			2	<70	200	2,5	1,0
Средней точности	>0,5	В	1	≥70	150	2,0	0,5
			2	<70	100	2,0	0,5
Обзор окружающего пространства							
Высокая насыщенность помещения светом	-	Г	-	-	300	3,0	1,0
Средняя насыщенность помещений светом	-	Д	-	-	200	2,5	0,7
Низкая насыщенность помещения светом	-	Е	-	-	150	2,0	0,5
Общая ориентировка в пространстве интерьера							
Большое скопление людей	-	Ж	1		75	-	-
Малое скопление людей	-	Ж	2		50	-	-
Общая ориентировка в зонах передвижения							
Большое скопление людей	-	З	1		30	-	-

Малое скопление людей	-	3	2		20	-	-
--------------------------	---	---	---	--	----	---	---