

**МОСКОВСКИЙ АРХИТЕКТУРНЫЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ)**

**КАФЕДРА "АРХИТЕКТУРНАЯ ФИЗИКА"**

**ДИСЦИПЛИНА  
"АРХИТЕКТУРНАЯ  
ФИЗИКА"**

**Раздел  
"АРХИТЕКТУРНАЯ  
СВЕТОЛОГИЯ"**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**



**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ  
ПОМЕЩЕНИЙ**

**МИГАЛИНА И.В. ШЕПЕТКОВ Н.И.**

**МОСКВА • МАРХИ • 2013**



Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО «Московский архитектурный институт  
(государственная академия)»

**И.В.Мигалина, Н.И.Щепетков**

# **Расчет и проектирование естественного освещения помещений**

*Учебное пособие*

Москва  
МАРХИ  
2013

**УДК 535-5**  
**ББК 38.113**  
**Р 24**

**Мигалина И.В., Щепетков Н.И.**

Расчет и проектирование естественного освещения помещений: учебное пособие / И.В.Мигалина, Н.И.Щепетков. — М.: МАРХИ, 2013. — 72 с.

Учебное пособие разработано на основе действующих и предшествовавших отечественных норм естественного освещения (СНиП, СанПиН, СП) и методик его расчета, адаптированных к нуждам учебного процесса архитектурного проектирования и образования по дисциплине «Архитектурная физика», раздел «Архитектурная светология». Оно является исправленным и дополненным вариантом «Учебно-методических указаний» (М., МАРХИ, 2010г.), дополняющим материалы учебника «Архитектурная физика» (часть II «Архитектурная светология», глава 4 «Архитектурное освещение») современными данными.

Пособие предназначено для выполнения курсовых расчетно-графических работ по архитектурной светологии, а также для соответствующих разделов дипломного проекта бакалавра или специалиста студентов дневного и вечернего факультетов, обучающихся по учебным программам ФГОС-2 и ФГОС-3.

© МАРХИ, 2013  
© Мигалина И.В., 2013  
© Щепетков Н.И., 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
<b>I.</b> Общие положения .....	6
<b>II.</b> Системы естественного света в зданиях .....	7
<b>III.</b> Светопронускающие материалы и изделия для световых проемов .....	17
<b>IV.</b> Нормирование естественного освещения .....	26
<b>V.</b> Расчет и проектирование естественного освещения.....	38
<b>V.1.</b> Предварительный расчет площади световых проемов и КЕО при боковом освещении.....	39
<b>V.2.</b> Предварительный расчет площади световых проемов и КЕО при верхнем освещении.....	42
<b>V.3.</b> Проверочный расчет коэффициента естественной освещенности.....	46
А. Проверочный расчет КЕО при боковой системе освещения .....	50
Б. Проверочный расчет КЕО при верхней системе освещения .....	64
В. Проверочный расчет КЕО при комбинированной системе освещения.....	69
<b>VI.</b> Контрольные вопросы.....	71
<b>VII.</b> Литература .....	71

## ВВЕДЕНИЕ

Исторически архитектура развивалась под воздействием двух определяющих ее качества объективных факторов – **конструктивных возможностей перекрытия** интерьерных пространств и **возможностей их естественного освещения**. Первый фактор получил в теории и практике архитектуры всестороннее осознание и развитие, второму уделено гораздо меньше внимания. История архитектуры как история формообразующей и образной роли света в архитектуре еще не написана, есть лишь некоторые ее фрагменты, получившие имя, далеко еще не общепризнанное, световой архитектуры. Тем не менее, в творчестве неизвестных и многих великих зодчих природный свет стал основой их творческой философии. В их шедеврах “давление” Божеского света на лепку архитектурной формы доминировало над влиянием других факторов, например, функции, которая в течение длительной жизни архитектурного сооружения могла неоднократно меняться, а его архитектурный образ, созданный животворящим светом из мертвого строительного материала, жил как константа в сознании людей подобно образу библейского Адама, созданного Богом из праха земного и дыхания жизни.

Римский император Адриан в 125 году воздвиг один из шедевров зодчества античного мира – Пантеон, ставший классическим образцом совершенной композиции материальных масс, гармонично организованного пространства и реально-символического света. Круглая композиция купольного объема языческого “Храма всех богов” в Древнем Риме спроектирована для выражения идеи царящего над землей солнца на небесном своде. Без гениального решения системы его естественного освещения через зенитный окулюс, обеспеченного оригинальным архитектурно-конструктивным решением, он не стал бы недостижимым в течение многих столетий примером единства материальной формы и света. Здесь вполне очевидно, что объем здания – это “тело” архитектуры, а свет – его “душа”. Тело без души – труп. Архитектура без света нема. Она не имеет образа, значит, перестает быть выразительным искусством. Можно представить архитектуру даже без воздуха (на Луне, под водой), а человека в скафандре, но ориентироваться в архитектурной среде и оценивать ее он может лишь при свете. Все оценки исторической (да и современной по инерции тоже) архитектуры подсознательно даны в условиях дневного, усреднено-глобального освещения, однако роль света как автономного средства художественной выразительности, обладающего к тому же индивидуальными качествами эмоционального воздействия в солнечные и пасмурные дни, в теории и истории зодчества отмечается чрезвычайно редко и ушербно.

Другой известный шедевр световой архитектуры древности – собор

Святой Софии в Константинополе. Император Юстиниан поставил своей целью превзойти в нем величие библейского Храма Соломона. Зодчие Антемий из Тралл и Исидор из Милета в 537 году построили христианский храм Божественной Мудрости, где впервые под куполом появился низкий барабан, прорезанный множеством окон. Это архитектурно-конструктивное новшество обеспечило не только достаточное освещение вместительного интерьера, но и волшебную игру господствующего в регионе солнечного света с роскошным мерцающим эффектом небесного парения 33-метрового купола, облицованного блистающей золотом смальтой. Идея божественности, а также иллюзорного расширения и мистического одухотворения пространства была воплощена столь убедительно, что на многие века служила образцом для многочисленных, но, увы, не столь удачных подражаний в христианском храмостроении.

Последующие эпохи романской и готической архитектуры, Ренессанса и барокко, ампира и модерна также оставили оригинальные произведения более или менее удачного синтеза материально-пространственных форм и естественного света, выделяющиеся своей образной выразительностью.

Ведущие мастера архитектуры XX века провозгласили свет в числе ее приоритетов. Райт и Салливен, Корбюзье и Перре, Гропиус и Мис ван дер Роэ, Сааринен и Аалто, Кан и Джонсон, Танге и Андо, Левренц и Суомалайнен с тем или иным успехом воплотили в своих постройках, по-разному и в меру своих возможностей, гимн Божественному или природному свету, хотя у человечества чуть более 100 лет назад появился его все более мужающий соперник – рукотворный электрический свет. Трое из корифеев – Корбюзье, Аалто и Кан – выразились на эту тему наиболее определенно. Первый утверждал, что материалами для архитектора служат солнце, пространство, растительность, сталь и бетон, подчеркивая, что их значение точно соответствует порядку перечисления. Второй, относясь к свету как к “великому дару природы”, в своих постройках продемонстрировал виртуозные приемы его трансформации элементами материальной архитектурно-пространственной формы в целях создания необходимой эмоциональной атмосферы в интерьерах. Для третьего свет, в первую очередь, солнечный – важнейшее структурное средство формирования архитектурного пространства. “Можно назвать архитектурным только то пространство, которое имеет свой свет и свою конструкцию”, говорил Л.Кан, подтверждая мысль, изложенную в начале “Введения”.

О продолжателях этих традиций упомянуто на стр. 16. И, хотя в данном пособии речь идет об элементарных гигиенических требованиях к созданию естественной световой среды в помещениях разного назначения и простейших методах расчета регламентируемых параметров этой среды, не следует забывать о высшем предназначении света в архитектуре, о свете, который делает архитектуру образным, выразительным искусством, об

архитектуре света или световой архитектуре.

Н. Щепетков.

## I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под **естественным освещением** в архитектурной науке понимают освещение рассеянным (диффузным) светом неба. Освещение прямыми солнечными лучами, называемое **инсоляцией**, в расчетах и измерениях естественного освещения не учитывается.

Критерием оценки переменного естественного освещения<sup>1</sup> служит **коэффициент естественной освещенности (КЕО)**, который представляет собой отношение естественной освещенности  $E_M$ , создаваемой в точке М на заданной рабочей поверхности внутри помещения диффузным светом неба (непосредственно или после отражения), к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности под открытым небосводом  $E_H$ . Значение КЕО показывает, какую долю составляет освещенность в данной точке М помещения от одновременно измеренной освещенности горизонтальной поверхности на открытом месте; КЕО выражается в процентах. Участие прямого солнечного света в определении  $E_M$  и  $E_H$  исключается. Значение КЕО, обозначаемого в формулах как  $e$ , находится из выражения:

$$e_M = (E_M / E_H) \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

Наряду с  $e$  в расчетах естественного освещения применяется **геометрический КЕО**, обозначаемый  $\epsilon$ . Он отличается от  $e$  тем, что не учитывает влияние остекления и света, отражаемого фасадами зданий, землей и внутренними поверхностями помещения с определенной отделкой, а также не учитывает неравномерной яркости небосвода.

Суммарное значение КЕО в той или иной точке помещения определяется следующими составляющими: долей естественного освещения, создаваемого прямым светом неба и оцениваемого значением геометрического КЕО; долей КЕО, обусловленной при боковом освещении отраженным светом фасадов противостоящих зданий (если они видны в окне из расчетной точки) и отражением подстилающего слоя земли; долей КЕО, обусловленной отражением света от внутренних поверхностей помещения.

$$e_M = \epsilon_H + \epsilon_{\text{пр.зд.}} + \epsilon_{\text{под.сл.}} + e_0 \quad , \quad (2)$$

где  $e_M$  – расчетный КЕО в данной точке помещения;

$\epsilon_H$  – КЕО от прямого света неба ( $\epsilon_H$ );

$\epsilon_{\text{пр.зд.}}$  – КЕО за счет отражения естественного света от фасада противостоящих зданий ( $\epsilon_{\text{зд.}}$ );

$\epsilon_{\text{под.сл.}}$  – доля КЕО за счет отражения от подстилающего слоя (альbedo земли) – в расчетах учитывается косвенно;

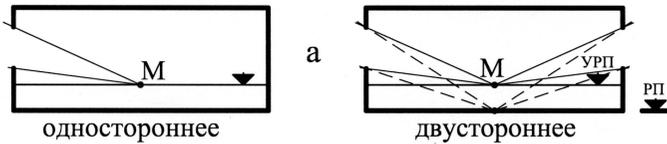
<sup>1</sup>Естественное освещение обладает, по сравнению с искусственным, той особенностью, что оно изменяется в течение года, сезона, дня в зависимости от погодных и климатических условий и по уровням освещенности, и по спектральному составу излучаемого небом света.

$e_0$  – доля КЕО в результате многократных отражений от внутренних поверхностей помещения, учитывается коэффициентом  $\gamma_0$ .

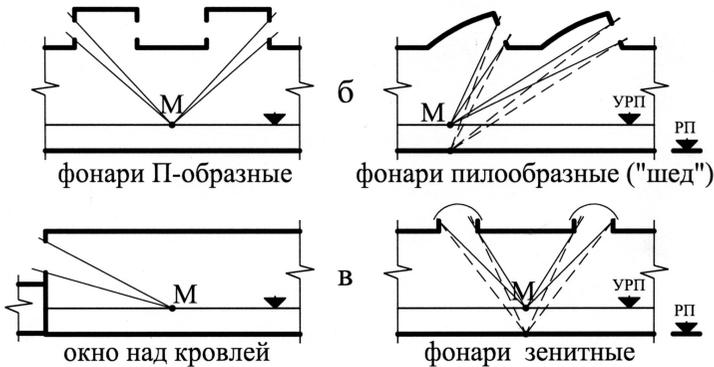
## II. СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОГО СВЕТА В ЗДАНИЯХ

Объемно-планировочное решение здания является одним из главных факторов, определяющих выбор систем естественного освещения помещений. Таких систем три: **бокового** (окна в наружных стенах – рис. 1а), **верхнего** (световые фонари в покрытии, а также проемы в стенах в местах перепада высот здания – рис. 1б, в) и **комбинированного** (бокового + верхнего) естественного освещения (рис. 1г). Нормирование естественного освещения непосредственно связано с выбором системы освещения.

### I. БОКОВОГО ОСВЕЩЕНИЯ



### II. ВЕРХНЕГО ОСВЕЩЕНИЯ



### III. КОМБИНИРОВАННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

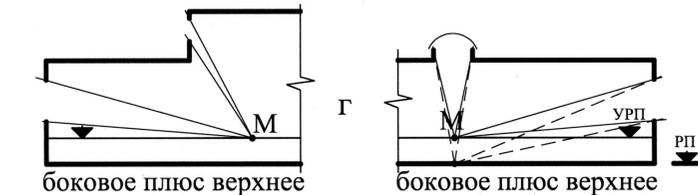


Рис.1. Схемы естественного освещения:

а – боковое освещение; б, в – верхнее освещение; г – комбинированное освещение; ▼ – условная рабочая поверхность (УРП) на высоте 0,8м над полом; РП - рабочая поверхность (пол и др.), М – расчетная точка.

На рис. 2 и 3 приведена классификация проемов бокового освещения

(2а) и типы окон (2б); классификация типов фонарей (рис.3), облегчающая проектировщику выбор типа и расположения светопроемов. При выборе типов окон и фонарей и их расположения в пространстве необходимо учитывать большую архитектурную роль этих деталей интерьера, которые вносят свой ритм в членение пространства, способствуют выявлению его глубины, пропорций и других качеств, что во многом определяет художественную тектонику и эмоциональную атмосферу в помещениях.

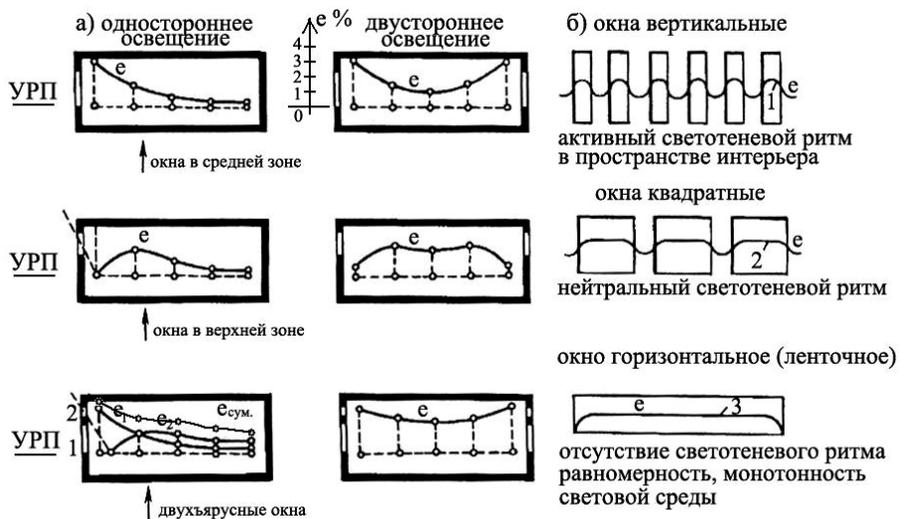


Рис.2. Классификация проемов бокового освещения и типы окон:

- 1, 2 – большая и средняя неравномерность освещения, заметный светотеневой ритм при движении вдоль светового фронта в интерьере;
- 3 – равномерное освещение (показано условной кривой КЕО).

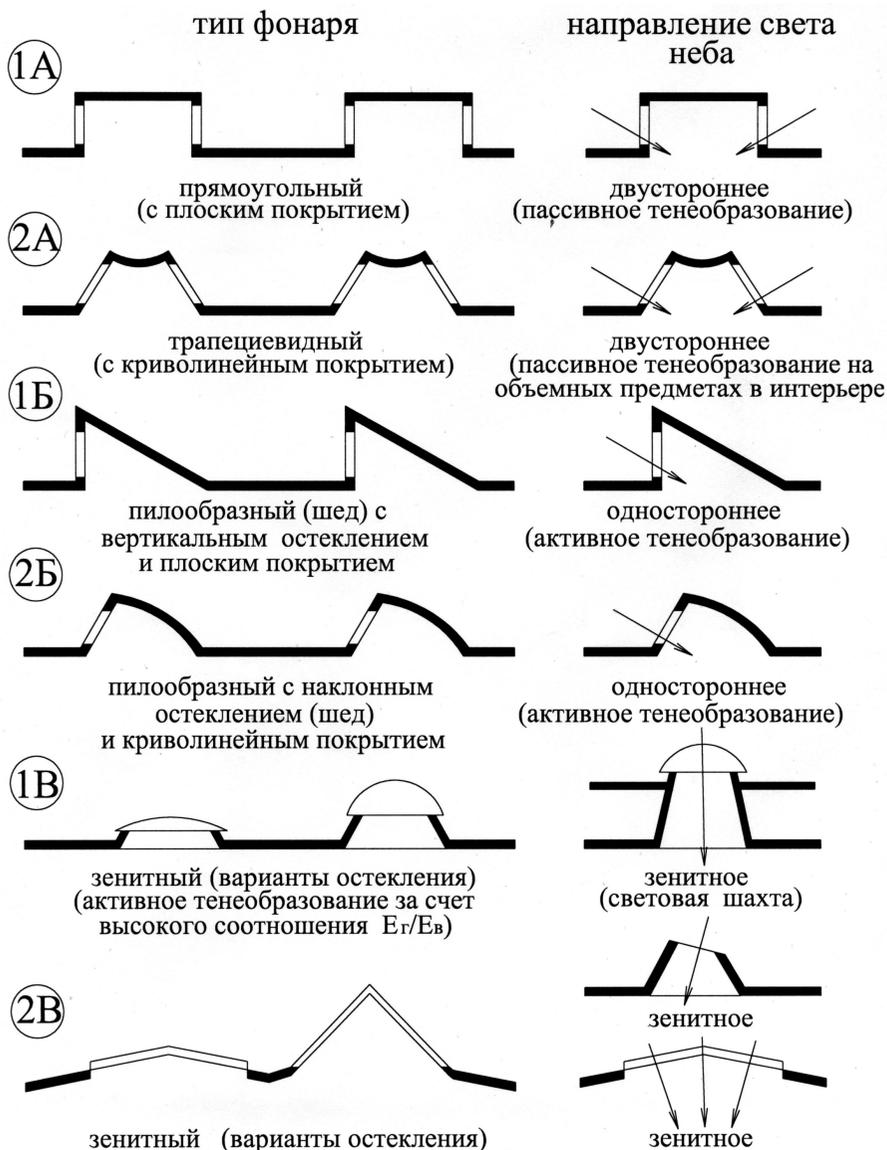


Рис.3. Классификация типов фонарей: А – П-образные, Б – пилообразные («шеды»), В – зенитные (точечные или линейные).

От степени наклона остекления зависит его внешнее запыление, учитываемое в расчетах коэффициентом запаса  $K_z$  (табл. 8).

- Системы бокового естественного освещения применяются, как правило, в

жилых и общественных зданиях. Они представляют собой обычные окна, ленточное остекление, витражи. Системы бокового естественного освещения применяются также в многопролетных производственных зданиях для освещения крайних пролетов, а также в многоэтажных производственных зданиях и зданиях павильонного типа, имеющих один большой пролет. Такие здания применяются не только в промышленности (самолетостроение, судостроение и т. п.), но и для выставочных залов, ярмарочных и торговых павильонов (рис. 4).

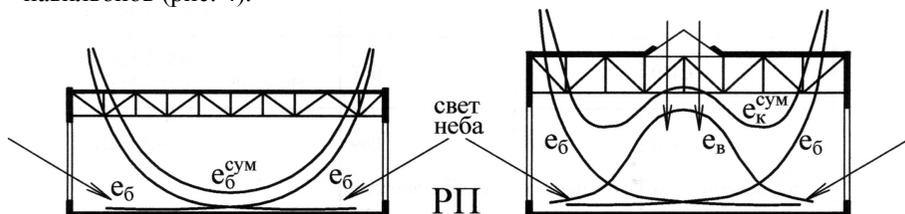


Рис. 4. Большепролетные здания павильонного типа:

- с двусторонним боковым естественным освещением;
- с комбинированным (двусторонним боковым плюс верхним) естественным освещением.

Боковые светопроемы обеспечивают высокую естественную освещенность на вертикальных поверхностях, обращенных к ним. На горизонтальной поверхности уровни освещенности меньше, чем от светопроемов верхнего естественного освещения. Освещенность на вертикальной поверхности, ориентированной в противоположную сторону от светопроемов, обеспечивается только за счет отраженного света и очень мала.

- **Системы верхнего естественного освещения** применяются в одноэтажных промышленных зданиях, в многоэтажных производственных зданиях для освещения средних пролетов верхнего этажа, а также в общественных помещениях зального типа (школы, библиотеки, торговые павильоны, спортивные залы, выставочные павильоны, вокзалы и др.).

### ***Основные типы систем верхнего естественного света.***

**А. Фонари-надстройки.** Среди них наиболее распространены светоаэрационные фонари. В зависимости от их формы, они могут быть прямоугольными (П-образными), трапециевидными или М-образными (рис. 5), которые можно объединить в родственную группу П-образных фонарей.

Из-за относительно невысокой светоактивности таких фонарей естественная освещенность может соответствовать только требованиям для зрительной работы средней и малой точности. Благодаря двустороннему расположению остекления обеспечивается удовлетворительное соотношение между освещенностями на вертикальной и горизонтальной поверхностях.

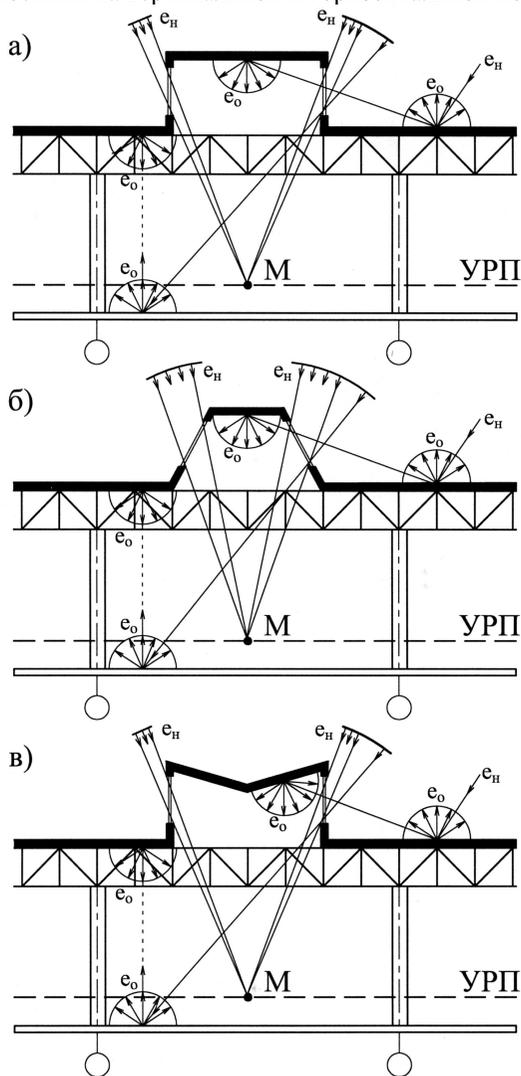


Рис. 5. Фонари-надстройки (однотипные П-образные):  
 а – прямоугольные; б – трапециевидные; в - М-образные. Наклон стекол и форма покрытия фонаря могут варьироваться в зависимости от архитектурного решения.

Для уменьшения инсоляции помещений (в производственных помещениях инсоляция противопоказана) остекление фонарей ориентируют на север-юг. При этом южное остекление рекомендуется оборудовать солнцезащитными устройствами. Этот тип систем естественного освещения применяется в основном для производств с повышенной влажностью и значительным тепловыделением. Использование таких фонарей для аэрации приводит к быстрому загрязнению остекления, т.к. частицы пыли в смеси с влагой и другими загрязняющими технологическими выделениями подхватываются потоками воздуха и осаждаются на стекле. Поэтому функции освещения и аэрации в таких фонарях следует разделять, применяя отдельно секции с не открывающимся остеклением только для освещения, обслуживаемые «персонально».

В фонарях-надстройках большое значение имеет свет, отраженный от прилегающих участков кровли на потолок фонаря. Высокая активность потолка фонаря при очень светлой кровле может в 1.5 раза увеличить освещенность в зоне рабочей поверхности под фонарем.

**Б. Пилообразные фонари или «шеды».** Эти фонари являются частью покрытия здания и могут выполняться как в железобетонных, так и в металлических конструкциях. При этом остекление может быть вертикальным или наклонным, а профиль покрытия – прямым или криволинейным. Естественное освещение в таких зданиях обычно обеспечивается для высоких разрядов зрительных работ, причем освещенность на вертикальных поверхностях, обращенных к остеклению фонаря, обычно в 2-3 раза выше, чем на вертикальных поверхностях, ориентированных в противоположную сторону, что создает хорошее тенеобразование. Соотношение освещенности на вертикальной плоскости, обращенной в сторону фонаря, к горизонтальной освещенности обычно близко к единице.

Такие системы наиболее целесообразны для ткацких и других цехов текстильной промышленности, а также для музейных помещений, где объекты зрительной работы расположены как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Пилообразная форма покрытия шеда дает опасность образования снеговых мешков в нижней части покрытия, что приводит к протечкам и неравномерной нагрузке на покрытие. Поэтому применение шедов целесообразно в малоснежных районах с преобладанием солнечных дней. В этом случае ориентация светопроемов на север обеспечит защиту от солнечной радиации и высокую освещенность за счет прямого света небосвода и отраженного света от кровли соседнего шеда.

**В. Зенитные фонари.** Эти фонари обладают наибольшей светоактивностью на горизонтальных поверхностях интерьера и создают четкую светотень от пластических элементов на вертикальных поверхностях.

Зенитные фонари традиционных типов целесообразно применять в северных районах и в районах с преобладанием пасмурного облачного неба, потому что они обладают существенным недостатком – почти беспрепятственно пропускают прямые солнечные лучи внутрь производственных цехов, мешающие зрительной работе. Другой недостаток в интерьере – большой контраст между светопроемом фонаря и потолком, кажущимся очень темным. Вследствие высокой светоактивности зенитные фонари применяют для всех разрядов зрительных работ. Естественная освещенность от зенитных фонарей на горизонтальной плоскости обычно в 1,5 – 2 раза выше, чем на вертикальных плоскостях. Это необходимо учитывать при проектировании. Кроме того, при проектировании необходимо обязательно учитывать расположение коробов, труб и других коммуникаций, проходящих в межферменном пространстве, как правило, во всех производственных зданиях (рис. 6). Они, как и несущие конструктивные элементы (фермы, балки и др.), оказывают затеняющее действие.

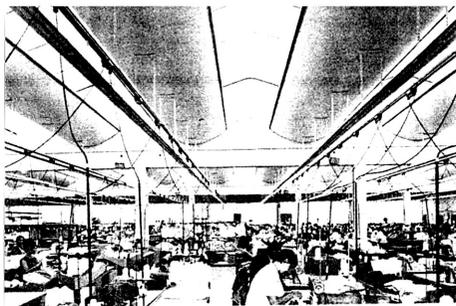


Рис. 6. Зенитные ленточные фонари (вид изнутри).

Для снижения дискомфортного яркостного контраста между световым проемом зенитного фонаря и темным потолком рекомендуется последний подсветить искусственным светом.

Зенитные фонари могут быть трех типов – ленточные, панельные и точечные.

*Зенитные ленточные.* Как правило, они располагаются вдоль пролета. В зависимости от ширины они могут иметь различные конструкции. Остекление таких фонарей может быть одинарным, двойным или тройным в зависимости от климата местности. Наклон остекления от  $15^\circ$  при ширине фонаря 1,5 - 3,0 м до  $30^\circ$  при большей их ширине.

*Зенитные панельные.* Эти фонари имеют размеры панелей покрытия и могут располагаться в линию или в шахматном порядке. Они обеспечивают высокую равномерность распределения освещенности по горизонтальной рабочей поверхности помещения. Наклон остекления - до  $15^\circ$ . Отраженный

свет от кровли на внутренние поверхности интерьера практического значения не имеет. В районах с избыточной солнечной радиацией остекление таких фонарей должно быть солнцезащитным или должны применяться специальные солнцезащитные устройства в виде сотовых пластин.

*Зенитные точечные* (рис. 7).

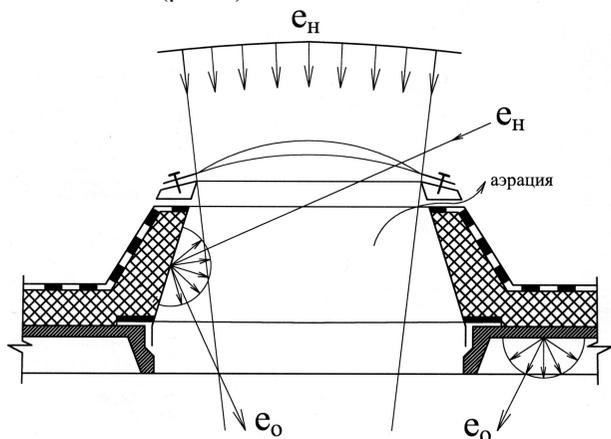


Рис. 7. Зенитные точечные фонари (купола с относительно глубокими шахтами-стаканами).

Эти фонари устанавливаются над точечными проемами в покрытии, изготавливаются на заводах как отдельные светотехнические изделия. Они имеют, как правило, небольшие размеры - от 1х1 м до 3х3 м, могут быть квадратными в плане, прямоугольными или круглыми. Фонари состоят из «стакана», светопрозрачного заполнения и системы крепления этих частей между собой, обеспечивающей надежную герметизацию и утепление. В некоторых случаях такие фонари оснащаются системами дистанционного открывания и используются для аэрации (рис.8).

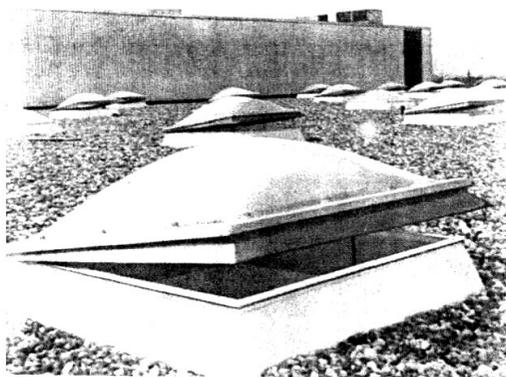


Рис. 8. Зенитные точечные купола с системами дистанционного открывания для аэрации.

При равномерном расположении таких фонарей в покрытии достигается высокая равномерность освещенности. Освещенность на горизонтальной рабочей плоскости в большой степени зависит от отраженного света от стенок «стакана» фонаря, что необходимо учитывать при расчете КЕО. В районах с избыточной солнечной радиацией возможно применение солнцезащитного светопрозрачного заполнения или увеличение высоты стенок «стакана», в том числе и с помощью полых световодов.

По характеру распределения прошедшего в помещение светового потока окна и фонари подразделяются на три вида (рис. 9).

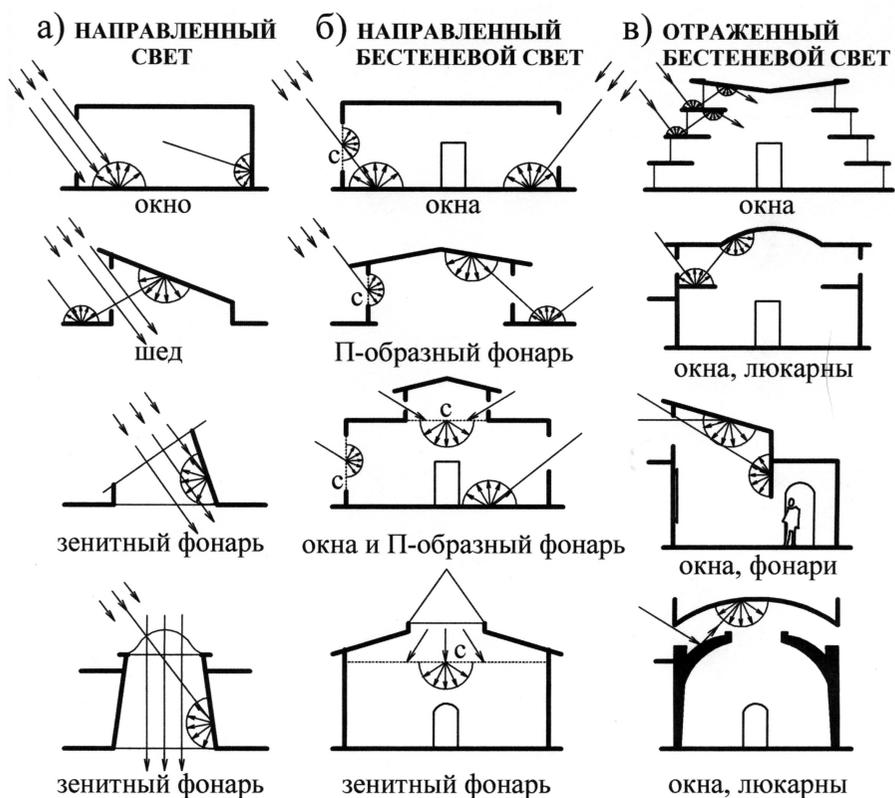


Рис.9. Классификация приемов естественного освещения по характеру светораспределения (с – светорассеивающее стекло).

Первый вид (рис. 9а) характеризуется отчетливо выраженной направленностью светового потока, который четко выделяет формы рассматриваемой детали благодаря образующимся собственной и падающей теням, т.е. обладает наилучшим светомоделирующим эффектом.

Световые проемы второго вида (рис. 9б) создают в помещениях так называемое бестеневое освещение благодаря двустороннему или многостороннему освещению объектов в интерьере или применению в светопроемах светорассеивающих материалов (стекла, пленки, решетки и т.п.; обозначены штриховыми линиями).

Для третьего вида естественного освещения (рис.9в) характерно использование отраженного света, который создается скрытыми от наблюдателя окнами; этот прием освещения создает иллюзию

второпланового светящего проема и эффект парения удаленного плана потолка с иллюзорным увеличением высоты помещения. Это – любимый прием световой архитектуры барокко.

Проектирование системы верхнего естественного освещения в современных зданиях – задача большой сложности; ее надо решать комплексно с учетом климатических условий района строительства и особенностей технологии производства.

В зданиях общественного и жилого назначения различные модификации систем бокового, верхнего и комбинированного естественного освещения используются более изобретательно, индивидуализировано, что приводит к оригинальным образно-световым решениям в интерьерах. Эта индивидуализация усиливается использованием различных ахроматических и цветных светопропускающих стекол, полимеров, материалов и изделий (сеток, перфорированных листов, стационарных и регулируемых солнцезащитных решеток и т.п.), которые обеспечивают необычные оптические эффекты, формируя новые структуры светового поля в интерьере и его новые зрительные образы. Многие известные мастера современной архитектуры (Ж.Нуэль, К. де Портзампарк, Д.Перро, Н.Фостер, Ф.Гери, Ж.Херцог и П. де Мерон, П.Зумтор, М.Фуксас, Н.Гримшоу, П.Андре, Х.Ян, М. фон Геркан, Р.Монео, Т.Ито, Ф.Маки, Р.Пьяно, С.Холл, Р.Мейер, Х.Ларсен, Р.Пиетиля, Ю.Левиска, Г.Асплунд и др.), используя новейшие светотехнические и строительные материалы и технологии, формируют в архитектуре все новые стилевые течения, все основательнее укрепляют теоретическую и практическую базу световой архитектуры.

### **III. СВЕТОПРОПУСКАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ СВЕТОВЫХ ПРОЕМОВ [1].**

Кроме традиционных типов световых проемов, таких как окна и фонари верхнего естественного освещения, в настоящее время широкое распространение получили большие плоскости остекления фасадов, светопрозрачные покрытия атриумов, остекленные оранжереи и зимние сады, формирующие современную архитектуру зданий. Эти новые архитектурные приемы стали возможны вследствие качественного скачка в производстве новых прочных светопропускающих материалов, обладающих не только высоким светопропусканием, но и высокими УФ- и теплозащитными, а также шумозащитными качествами.

Традиционным светопропускающим материалом является оконное стекло, производящееся методом растяжки («тянутое стекло») или проката жидкой стеклянной массы между вальцами («прокатное стекло»). Для изготовления витринных и зеркальных стекол тянутое и прокатное стекло подвергают шлифовке и полировке.

Кроме обычных прозрачных стекол в строительстве применяются специальные стекла — тонированные, т.е. окрашенные в массу, и стекла со специальным покрытием под общим названием «низкоэмиссионные стекла».

Окрашенное в массу стекло изготавливается при помощи добавления к обычной стеклянной массе различных веществ для получения желаемого цвета (промежуток между бронзовым и коричневым, серый, зеленый, синий и др.). Такие стекла известны как свето- и теплозащитные или абсорбирующие, поскольку они поглощают больше солнечной энергии и света, чем обычные прозрачные. Наряду с преимуществами такого стекла, позволяющего реализовать различные современные архитектурные решения фасадов, оно имеет и существенные недостатки, связанные с пониженным светопропусканием и нагревом стекла за счет поглощения тепловой солнечной радиации. Это следует учитывать при проектировании светопроемов, выбирая их размеры, форму и конструкцию.

Применение низкоэмиссионных стекол позволяет решить широкий спектр архитектурно-строительных задач и является одним из наиболее перспективных направлений мировой стекольной индустрии. Основным отличием таких стекол от обычных является напыление на поверхность стекла светопропускающего покрытия из цветных металлов или полупроводниковых оксидов.

Напыление может наноситься как на прозрачные стекла, так и на стекла, окрашенные в массу. Низкоэмиссионные стекла могут быть с «твердым» и «мягким» покрытием.

Твердые покрытия устойчивы к воздействию погодных условий и к эксплуатации (чистке) светопроемов. В отличие от них, мягкие покрытия ограничено устойчивы к погодным, температурным и эксплуатационным воздействиям. Однако, при установке в стеклопакете - покрытием в сторону

воздушной камеры - они имеют долговечность, сопоставимую с твердыми покрытиями.

При использовании стекла в светопрозрачных конструкциях с повышенными требованиями к безопасности (стеклянные крыши, наклонные остекленные плоскости фасадов и т.д.) применяются *закаленные* или *ламинированные* стекла (рис.10 и рис.11).

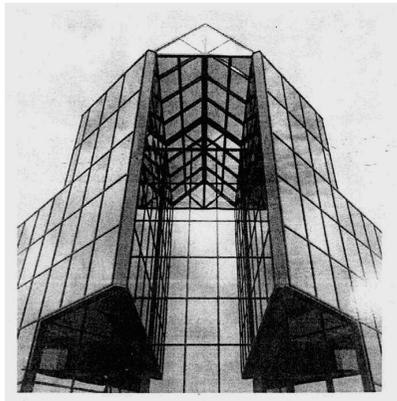


Рис. 10.  
Стекло́нные крыши и фасады.

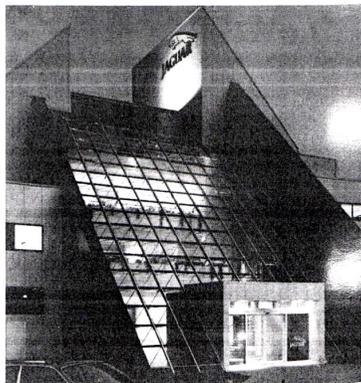


Рис. 11.  
Наклонная стекло́нная плоскость фасада

**Ламинирование** - изготовление многослойных конструкций из стекла с прослойками между слоями стекол из поливиниловой пленки или специальной смолы. Наиболее распространенным типом является так называемый «ТРИПЛЕКС» (два стекла и промежуточный слой). Основным достоинством многослойных конструкций из стекла является безопасность при разрушении.

Многослойные стекла, полученные с помощью обычного жидкостного ламинирования, мало отличаются с точки зрения пропускания видимого света от обыкновенного прозрачного стекла. За счет добавления пигментов в ламинирующую жидкость можно получить цветные жидкостноламинированные стекла.

При необходимости получения выразительных архитектурных решений стекло может быть подвергнуто *молированию* - изгибу. Для строительства, как правило, требуется выпускать гнутые стекла малыми и кратковременно выпускаемыми сериями; такие гнутые стеклянные элементы являются дорогими.

**Стеклопакетом** называется элемент, в котором два или более стекол герметично соединяются друг с другом при помощи одной или двух дистанционных рамок и внутреннего и внешнего герметиков. Между стеклами образуется одна или две полости - камеры, заполненные осушенным воздухом или другими газами (аргоном, криптоном, гексофторидом серы).

Первые два газа применяются для улучшения теплоизоляции, последний - для улучшения звукоизоляции стеклопакета. Стеклопакеты различной конструкции приведены на рис.12.

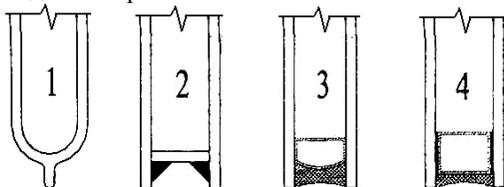


Рис. 12. Стеклопакеты различной конструкции:

1 – заваренный; 2 – паяный; 3 – клееный с одинарной герметизацией; 4 – клееный с двойной герметизацией.

В настоящее время налаживается производство стеклопакетов с вакуумом в камерах. Для того, чтобы стекла не прижимались друг к другу, в таких стеклопакетах между стеклами устанавливаются шайбы диаметром до 0,2 мм по сетке 10 x 10 см. Такие стеклопакеты обладают исключительно высокими теплозащитными свойствами, но также и определенным недостатком, связанным с тем, что при прямом солнечном освещении дистанционные шайбы, невидимые при диффузном освещении, становятся заметными в виде очень мелких черных точек.

По количеству воздушных камер стеклопакеты классифицируются как однокамерные (2 стекла) и двухкамерные (3 стекла). В маркировке стеклопакетов указываются толщина и тип стекол, ширина дистанционной рамки, количество воздушных прослоек, а также тип газа, используемого для их заполнения (рис. 13).

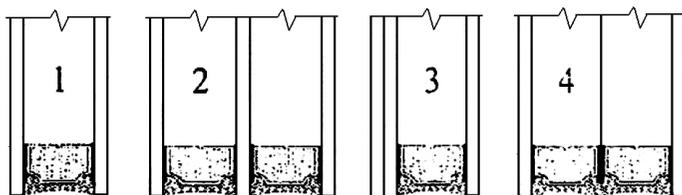


Рис. 13. Клееные стеклопакеты различной конструкции:

1 – однокамерный – двойное остекление ( $\tau_1 \cdot \tau_1$ );  
 2 – двухкамерный – тройное остекление ( $\tau_1 \cdot \tau_1 \cdot \tau_1$ );  
 3 – однокамерный с ламинированным защитным стеклом (триплексом  $\tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3$ );  
 4 – двухкамерный с перегородкой из светопрозрачной теплоотражающей пленки ( $\tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3$ ).

**Профильное стекло** представляет собой крупногабаритный элемент из рифленого, узорчатого или матированного стекла швеллерного или

коробчатого сечения (рис. 14). Основная область его применения в строительстве - заполнение световых проемов в производственных и общественных зданиях. Применение профильного стекла позволяет создавать беспереплетные светопропускающие конструкции, обладающие солнцезащитными свойствами.

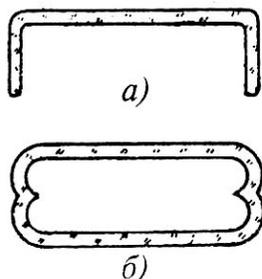


Рис. 14. Профильное стекло:  
а – стекло швеллерного сечения; б – стекло коробчатого сечения.

Существенным недостатком профильного стекла является невысокая светопрозрачность, что нарушает зрительную связь человека с внешним пространством. Для обеспечения такой связи, а также для обеспечения проветривания в больших плоскостях светопроемов из профильного стекла делаются открывающиеся вставки с прозрачным остеклением.

**Органическое стекло** по сравнению с силикатным обладает важными достоинствами - легкостью, прочностью, высоким светопропусканием, простотой обработки. Для изготовления светопрозрачных конструкций применяется листовое органическое стекло толщиной 3-5мм. При нагревании ему можно придать любую изогнутую форму, которая сохраняется при охлаждении. В США и Западной Европе широко распространены зенитные фонари в виде куполов из органического стекла. В России их применение сдерживалось пожарными требованиями. Однако, как показали исследования, быстрое разрушение куполов из органического стекла при пожаре резко снижает температуру в помещении, препятствуя распространению огня. В настоящее время у нас и за рубежом производятся купольные конструкции из органического стекла для зенитных фонарей, которые могут быть одно-, двух- и трехслойными.

В видимой части спектра органическое стекло имеет пропускание 92%, в УФ - 73% (у силикатного стекла в УФ-области пропускание не превышает 8%). Это свойство позволяет использовать органическое стекло в детских, учебных, лечебно-профилактических и др. зданиях.

К недостаткам органического стекла следует отнести его высокую стоимость, а также незначительное помутнение в первый период эксплуатации (около 4-5 месяцев) под воздействием трения о стекло частичек пыли и под воздействием УФ-радиации. Следует отметить, что это

помутнение быстро прекращается. При этом коэффициент светопропускания не становится ниже 90%.

**Поликарбонат** - эффективный светопрозрачный материал сплошной или ячеистой структуры, обладающий гораздо меньшим коэффициентом теплопроводности по сравнению с обычным стеклом. Поэтому поликарбонат, особенно ячеистой структуры, эффективен для применения при остеклении больших поверхностей в кровле. Применение поликарбоната ячеистой структуры для остекления проемов в стенах ограничивается светорассеянием, не позволяющим обеспечить зрительный контакт с внешней средой.

**Фотохромные стекла** являются новым перспективным светопрозрачным материалом с переменным светопропусканием. Заполнение световых проемов фотохромным стеклом в зданиях, строящихся в районах с избыточной солнечной радиацией, позволяет устранить слепящее действие солнца и уменьшить теплоступление в помещения без применения солнцезащитных устройств. Когда солнце закрыто облаками или невысоки уровни наружной освещенности в утренние или вечерние часы, фотохромное стекло пропускает максимальное количество света. При высоких уровнях наружной освещенности, а также при прямом попадании солнечных лучей на световой проем светопропускание фотохромного стекла резко уменьшается. Например, фотохромные стекла с галоидами серебра за одну минуту могут уменьшить светопропускание в 3-5 раз. Стоимость фотохромных стекол пока велика. Поэтому их применение в строительстве ограничено.

### **Светопрозрачные конструкции.**

Современные светопрозрачные конструкции подразделяются на *оконные, витражные, зенитные фанари* (точечные и панельные, а также с глубокими светопроводными шахтами и с трубчатыми световодами), *остекление светопрозрачных покрытий*.

**Оконные конструкции.** Стандартная конструкция оконного блока включает стационарную контурную обвязку - коробку (раму), подвижно закрепленные на ней элементы - переплеты (створки), а также элементы остекления (обычно в виде стеклопакета) и фурнитуру. В зависимости от площади проема и действующей ветровой нагрузки, в конструкцию коробки для обеспечения жесткости вводят промежуточные вертикальные импосты и горизонтальные поперечные. Дополнительно в оконном блоке могут быть установлены устройства для вентиляции и различные защитные экраны, жалюзи и сетки.

Коробка и переплеты выполняются из оконных профилей и поливинилхлорида (ПВХ), дерева, алюминия, стеклопластиков, а также в виде комбинированных систем (алюминий + дерево, ПВХ + алюминий).

По совокупности требований, предъявляемых к оконным конструкциям (доступность исходного сырья и простота обработки, химическая стойкость и удобство обслуживания, хорошие теплотехнические показатели), окна из

ПВХ являются наиболее перспективными для массового производства. Деревянные окна, трудоемкость производства которых намного выше, чем окон из ПВХ, могут рассматриваться в качестве элитного направления, ориентированного на индивидуальное строительство, реставрацию старых зданий и другие строительные задачи со специальными требованиями к окнам. Перспективным можно считать применение дерево-алюминиевых окон, сочетающих в себе теплоту дерева изнутри и защитные свойства алюминия снаружи.

*Витражные конструкции* можно разделить на два типа. К первому типу можно отнести остекление зимних садов, небольших торговых павильонов, сплошное остекление лестничных клеток и небольших участков стен, остекление лоджий, балконов, веранд и т.п. В этих случаях оконные профили не подвержены воздействию больших статических нагрузок. Поэтому в таких конструкциях могут применяться профили из ПВХ. Алюминиевые конструкции вследствие их более высокой стоимости здесь применяются реже. Ко второму типу относятся стеклянные фасады многоэтажных административных зданий. В таких конструкциях имеют место большие статические и динамические нагрузки. Поэтому в них используются алюминиевые профили, разнообразие которых представляет широкий набор возможностей для архитектора.

Различают стандартные фасады (рис. 15), которые характеризуются наличием выраженного поэлементного членения, и структурные фасады (рис. 16), представляющие собой сложные конструктивные системы, основным архитектурным мотивом которых является сплошная стеклянная поверхность с минимально выраженным членением. Они применяются в стилевом течении “растворяющаяся архитектура” (Ж. Нувель, Х. Ян и др.).

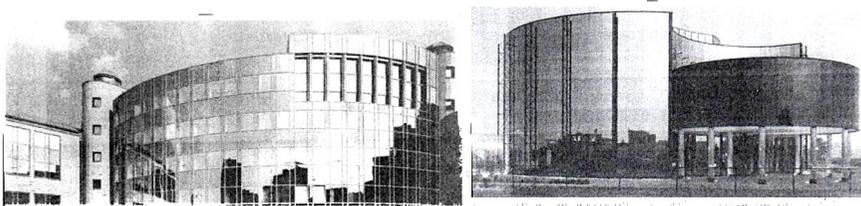


Рис. 15. Стандартный фасад из стекла. Рис. 16. Структурный фасад из стекла.

При этом остекление прикрепляется к несущим элементам с помощью специального клея, а вертикальные и горизонтальные импосты находятся полностью за плоскостью остекления внутри помещения. Промежуточное положение занимают полуструктурные фасады, в которых наружу выходят алюминиевые кромки, обеспечивающие защиту краевых участков стеклопакета.

Структурные и полуструктурные системы остекленных фасадов конструктивно более сложные, чем стандартные. Однако они обладают рядом

несомненных преимуществ:

- они более красивы и выразительны с архитектурной точки зрения;
- в отличие от стандартных систем, они не имеют выраженных мостиков холода, так как металл практически не соприкасается с наружным воздухом;
- в структурных системах все участки стеклопакета находятся в одинаковых температурных условиях, что исключает их разрушение от температурных деформаций;
- остекление структурных фасадов можно монтировать изнутри, что гораздо дешевле, чем монтаж стандартных фасадных систем, который можно производить только снаружи, это особенно важно в зданиях повышенной этажности и в высотных зданиях.

По сравнению со стандартными системами в структурных обеспечивается более эффективная защита от атмосферных воздействий, включая систему водоотвода.

*Остекление светопрозрачных покрытий* применяется в атриумах, торговых галереях, оранжереях. В современной архитектуре оно является излюбленным приемом. По характеру статической работы остекление светопрозрачных покрытий большой площади подобно фасадным системам. Большие нагрузки требуют применения не только прочных алюминиевых профилей, стеклопакетов с применением закаленного стекла, но и соответствующих несущих конструкций в виде стальных ригелей, ферм или пространственных структур (рис. 17).

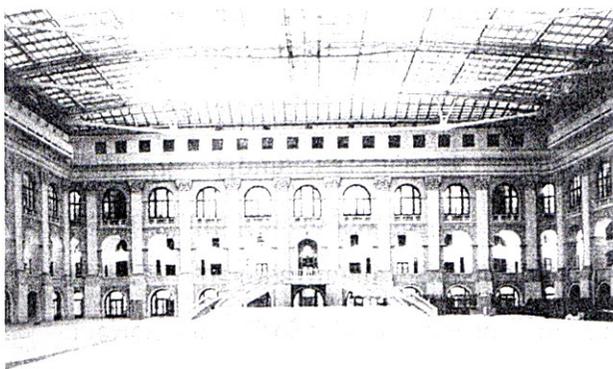


Рис. 17. Остекление покрытия старого Гостиного Двора в Москве.

**Зенитные фонари.** Зенитные точечные фонари как светопрозрачные конструкции производятся на заводах и монтируются на кровле. В качестве светопрозрачного заполнения в них применяется силикатное стекло повышенной прочности (закаленное или ламинированное) или органическое стекло в виде куполов. Круглые в плане купола изготавливаются диаметром

от 0,5 до 2 м, в отдельных случаях применяются круглые клееные купола диаметром до 3-6 м (рис. 18).

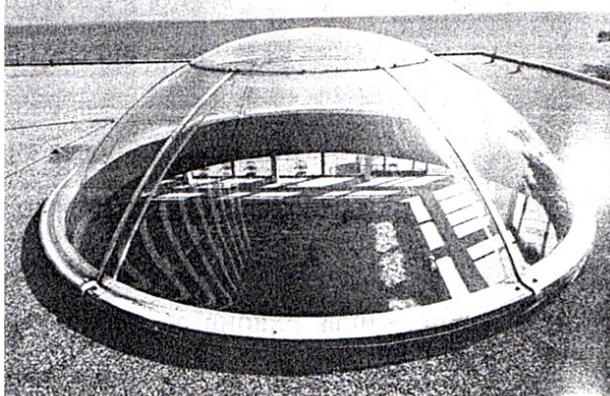


Рис. 18. Клееные и сборные купола из органического стекла диаметром до 6 м.

Прямоугольные в плане купола двоякой положительной гауссовой кривизны применяются размером от 0,5х0,5 м до 1,6х2,8 м. Купола могут быть одно- и двухслойными. Между наружной и внутренней оболочками имеется воздушная прослойка толщиной 3-5 см. Противопожарные ограничения привели к тому, что, в отличие от многих западных стран, в нашей стране появились и нашли широкое применение прямоугольные зенитные фонари со светопропускающим заполнением из стеклопакетов. Фонари такого типа применены на ряде крупнейших заводов, построенных в СССР до 1991г.

В современных производственных зданиях, а также в зданиях школ, в административных зданиях, в музеях часто необходимо доставить естественный свет в помещения через межферменное или чердачное пространство, заполненное различными инженерными системами и коммуникациями. Современные световодные системы круглого и прямоугольного сечения позволяют провести свет через такое пространство с минимальными потерями.

В настоящее время в США, Великобритании, Австралии, ФРГ, Италии разработаны и имеются на рынке эффективные современные световодные системы, комбинируемые с зенитными фонарями, способные трансформировать свет солнца и неба от зенитного фонаря на крыше здания через чердак или межферменное пространство в рабочее надземное или подземное помещение (рис. 19).

Такие системы значительно сокращают теплопотери, вследствие герметичности не загрязняются внутри. Применение серебра в составе амальгамы зеркального покрытия внутри световода позволяет сохранить

спектральный состав естественного света. Это – «живой», бесплатный и биологически благоприятный свет, отражающий в интерьере все наружные изменения дневного освещения, тем самым «оживляющие» светопрозрачную, эмоциональную среду помещения. При необходимости в конструкцию световода или над его входным отверстием на кровле могут быть смонтированы электрические светильники, дополняющие недостаток дневного света в сумерки и пасмурные дни и функционирующие в темное время суток, сохраняя характер светораспределения (светотени) в интерьере.

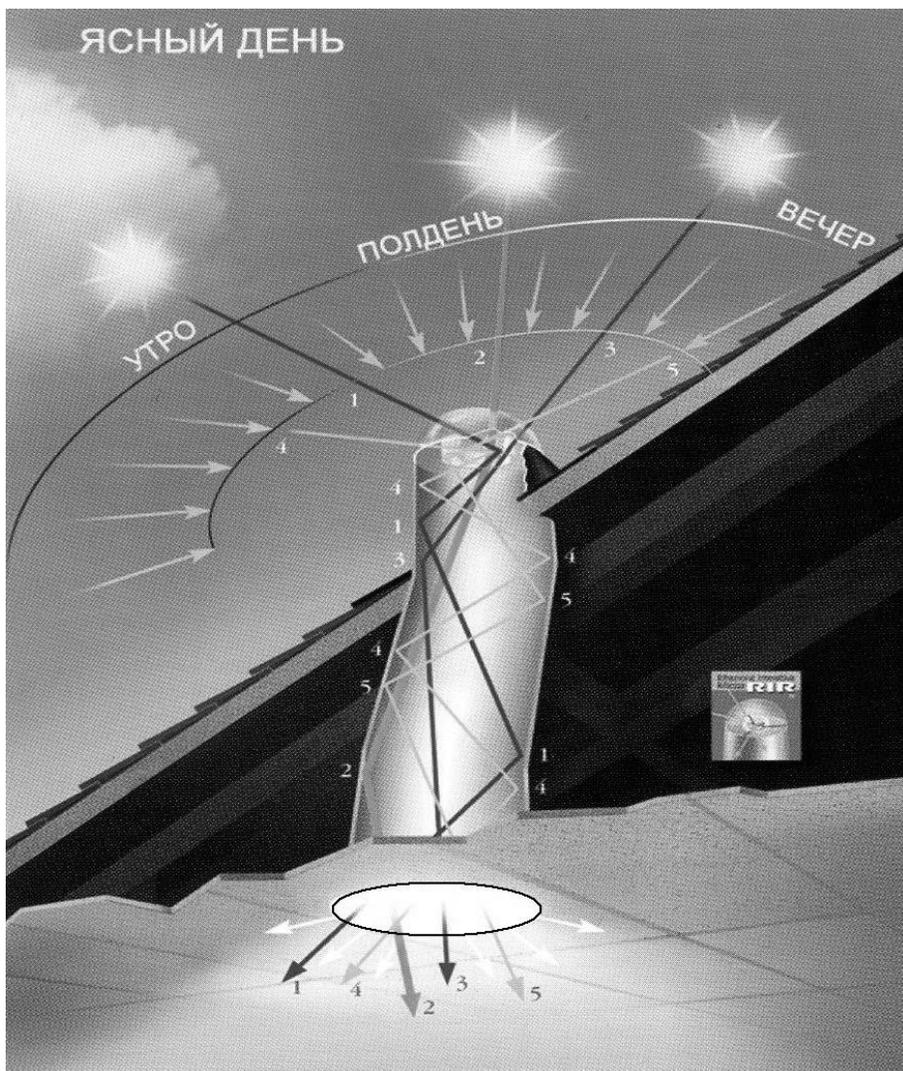


Рис. 19. Схема устройства и действия световода.

Выходное отверстие в потолке может быть плоским стеклом (прозрачным, матированным, рифленным) или линзой, изменяющими геометрию светового потока.

#### IV. НОРМИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Естественное освещение, как правило, предусматривается во всех помещениях с постоянным пребыванием людей. Гигиенические требования к естественному освещению помещений регламентируются Санитарными правилами и Нормами [3] и сводами правил СП [4-5]. В силу большого разнообразия условий дневного освещения на территории РФ при одном и том же значении КЕО в разных географических пунктах внутри помещений одного функционального назначения будут разные уровни естественной освещенности. Для учета светового климата в разных регионах территория России разбита на группы административных районов по ресурсам светового климата (табл. 1).

Таблица 1. Группы административных районов по ресурсам светового климата [4] – рис.21.

Номер группы N	Административный район
1	Московская, Смоленская, Владимирская, Калужская, Тульская, Рязанская, Нижегородская, Свердловская, Пермская, Челябинская, Курганская, Новосибирская, Кемеровской области, Республика Мордовия, Красноярский край (севернее 63 с.ш.), Республика Башкортостан, Республика Татарстан, Удмурдская Республика, Чувашская Республика, Республика Саха (Якутия) (севернее 63 с.ш.), Чукотский автономный округ, Хабаровский край (севернее 55 с.ш.).
2	Брянская, Курская, Орловская, Белгородская, Липецкая, Тамбовская, Пензенская, Самарская, Ульяновская, Оренбургская, Саратовская, Волгоградская области, Республика Коми, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Северная Осетия-Алания, Чеченская Республика, Республика Ингушетия, Ханты-Мансийский автономный округ, Республика Алтай, Красноярский край (южнее 63 с.ш.), Республика Саха (Якутия) (южнее 63 с.ш.), Республика Тыва, Республика Бурятия, Читинская область, Хабаровский край, (южнее 55 с.ш.), Магаданская область, Сахалинская область.
3	Калининградская, Псковская, Новгородская, Тверская, Ярославская, Ивановская, Ленинградская, Вологодская, Костромская, Кировская области, Республика Карелия, Ямало-Ненецкий автономный округ, Ненецкий автономный округ.
4	Архангельская, Мурманская области.
5	Республика Калмыкия, Ростовская, Архангельская области, Ставропольский край, Республика Дагестан, Амурская область, Приморский край, Краснодарский край.

Нормируемые значения КЕО для зданий, расположенных в этих группах административных районов, определяются по формуле:

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (3)$$

где

$e_H$  – нормируемое значение КЕО для помещений по таблицам 3-6;

$m_N$  – коэффициент светового климата по таблице 2;

$N$  – номер группы обеспеченности естественным светом по таблице 1.

Таблица 2. Коэффициенты светового климата [5].

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата $m$				
		Номер группы административных районов $N$				
		1	2	3	4	5
В наружных стенах зданий	С	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	СВ, СЗ	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	З, В	1	0,9	1,1	1,1	0,8
	ЮВ, ЮЗ	1	0,85	1	1,1	0,8
	Ю	1	0,85	1	1,1	0,75
В прямоугольных и трапециевидных фонарях	С-Ю	1	0,9	1,1	1,2	0,75
	СВ-ЮЗ	1	0,9	1,2	1,2	0,7
	ЮВ-СЗ	1	0,9	1,2	1,2	0,7
	В-З	1	0,9	1,1	1,2	0,7
В фонарях типа “Шед”	С	1	0,9	1,2	1,2	0,7
В зенитных фонарях	-	1	0,9	1,2	1,2	0,75

Примечание: ориентация

С- северная, СВ- север-восток, СЗ- север-запад, В- восточная, З- западная, СЮ- север-юг, ВЗ- восток-запад, Ю- южная, ЮЗ- юго-запад.

Коэффициент  $m$  показывает, во сколько раз следует изменить нормируемое значение  $e_H$  для данной группы административных районов в зависимости от годового количества естественного освещения (лк · ч.), обеспечиваемого диффузным светом неба на открытой горизонтальной площадке с учетом дополнительного светового потока от прямого солнечного света в зависимости от ориентации светопроемов. В основу такого подхода положен принцип сохранения эффективной экспозиции естественного освещения за год или среднего годового уровня производительности труда в помещениях, располагаемых в разных географических районах.

Нормируемые значения КЕО в помещении выбираются в зависимости от сложности зрительной работы (которая в производственных, а также жилых и общественных помещениях классифицируется на разряды по величине

объекта различения от работы наивысшей точности с деталями менее 0,15 мм до грубой с объектами более 5 мм – табл. 3-4); для помещений жилых и общественных зданий в зависимости от функционального назначения помещения (табл. 5-6)

В нормах СанПиН и СП - СНиП приводятся нормируемые значения КЕО при естественном освещении для основных помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий. Ниже приводятся нормируемые значения КЕО и данные о расчетных точках в наиболее часто встречающихся помещениях жилых и общественных зданий при оценке городской застройки.

При одностороннем боковом освещении нормированное значение КЕО ( $e_{н}^b$ ) должно быть обеспечено на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза (как правило, по средней оси помещения перпендикулярно световому фронту) в точке на рабочей поверхности в глубине или в центре помещения, в зависимости от его функционального назначения (см. ниже).

При двухстороннем боковом освещении помещений любого назначения нормированное значение КЕО ( $e_{н}^b$ ) должно быть обеспечено в геометрическом центре помещения (на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и рабочей поверхности).

При верхнем или комбинированном естественном освещении помещений любого назначения нормируется среднее значение КЕО ( $e_{н}^a$  и  $e_{н}^k$ ) в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и рабочей поверхности. Для определения расчетного среднего значения КЕО ( $e_{р}^{cp}$ ) берется не менее пяти точек на равном расстоянии друг от друга на РП (УРП), при этом первая и последняя расчетные точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхностей наружных стен, перегородок или осей колонн.

При комбинированном естественном освещении допускается деление помещения 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 производятся независимо друг от друга.

В центральной части и исторических зонах города в помещениях жилых и общественных зданий с односторонним боковым освещением нормированное значение КЕО, равное 0,50 %, должно быть обеспечено на рабочей поверхности в центре помещения.

#### *Требования к естественному освещению помещений жилых зданий [3-5]*

Требования к естественному освещению жилых зданий в зависимости от назначения помещения изложены в табл. 4-6.

При одностороннем боковом освещении 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- и более комнатных квартир.

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

При одностороннем боковом освещении жилых комнат 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 в геометрическом центре помещения.

#### *Требования к естественному освещению общественных зданий [3-5]*

Требования к естественному освещению общественных зданий в зависимости от назначения помещений изложены в табл. 4-6.

При одностороннем боковом освещении в помещениях детских дошкольных учреждений нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено:

а) в групповых и игровых помещениях - 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;

б) в остальных помещениях – в расчетной точке, расположенной в геометрическом центре помещения на рабочей поверхности (РП).

При одностороннем боковом освещении помещений школ, школ-интернатов, профессионально-технических и средних специальных учебных заведений нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено:

а) в учебных и учебно-производственных помещениях – в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (УРП) на расстоянии 1,2 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;

б) в остальных помещениях – в расчетной точке, расположенной в геометрическом центре помещения на рабочей поверхности (РП).

При одностороннем боковом освещении помещений учреждений здравоохранения нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено:

а) в палатах больниц, в палатах и спальнях комнатах объектов социального обеспечения (интернатов, пансионатов для престарелых, инвалидов и т.п.), санаториев и домов отдыха – 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;

б) 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 УРП на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;

в) в остальных помещениях – в расчетной точке, расположенной в центре помещения на РП.

Во всех случаях расчетные (по проекту) значения КЕО ( $e_p$ ) должны быть равны и больше нормируемых минимумов ( $e_n$ ) или отличаться от них в меньшую сторону не более, чем на 10% от  $e_n$ .

Приведенные нормативные данные из СП и СанПиН являются наиболее важными, т.к. они, вместе с нормативными требованиями по инсоляции, ограничивают этажность проектируемых зданий и разрывы между ними, т.е. **плотность застройки – основной экономический показатель градостроительных решений.**

На рис. 20 показаны системы освещения в зависимости от которых (так же, как от функции помещения, точнее, от сложности зрительной работы в нем) выбираются нормируемые значения КЕО.

**Примечание:** в учебных целях для упрощения заданий студентам некоторые детали действующего сегодня нормирования и расчета естественного освещения не отражены в нижеприведенных методиках и примерах расчетов КЕО (см. V.1 – V.3), а именно не учитываются: коэффициент светового климата в конкретном светоклиматическом регионе  $m_N$  (кроме района группы  $N = 1$ ) и **ориентация** светопроемов по сторонам горизонта, а также ряд **особенностей планировочных решений застройки**, о которых сказано в V.3.

Должны быть обеспечены:

$$\text{а) } e_p^{\min} \geq e_n$$

$$\text{б, в) } e_p^{\text{cp}} \geq e_n$$

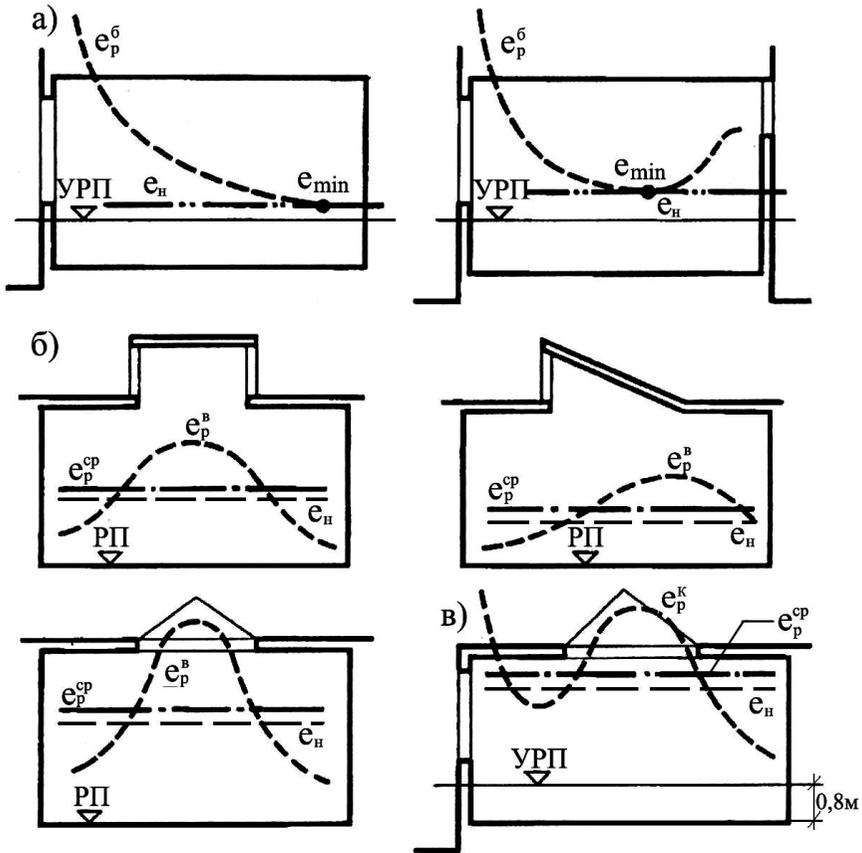


Рис. 20. Системы естественного освещения помещений и нормируемые значения КЕО (см. рис. 1).

а- боковое освещение, одностороннее (слева) и двустороннее (справа);

б- верхнее освещение, П-образный (слева), шедовый (справа) и зенитный (слева внизу) фонари;

в- комбинированное (боковое плюс верхнее) освещение;

РП – рабочая поверхность (пол);

УРП – условная рабочая поверхность;

$e_p^{\text{б}}$  – КЕО расчетный при боковом свете;

$e_p^{\text{в}}$ ,  $e_p^{\text{к}}$  – КЕО расчетный и  $e_p^{\text{cp}}$  – КЕО средний при верхнем и комбинированном свете;

$e_n$  – КЕО нормативный.

Таблица 3. Нормирование естественного освещения помещений  
промышленных предприятий [5].

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Естественное освещение		Совмещенное освещение	
			КЕО $e_n$ , %			
			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
1	2	3	4	5	6	7
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	-	-	6,0	2,0
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,3	II	-	-	4,2	1,5
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	-	-	3,0	1,2
Средней точности	От 0,5 до 1,0	IV	4,0	1,5	2,4	0,5
Малой точности	От 1 до 5	V	3,0	1,0	1,8	0,6
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI	3,0	1,0	1,8	0,6
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII	3,0	1,0	1,8	0,6
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное периодическое при постоянном пребывании людей в помещении то же, при периодическом		VIII	3,0	1,0	1,8	0,6
			1,0	0,3	0,7	0,2
			0,7	0,2	0,5	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями			0,3	0,1	0,2	0,1

Примечания: 1. Наименьшие размеры объекта различения и соответствующие им разряды зрительной работы устанавливаются при расположении объектов различения на расстоянии не более 0,5м от глаз работающего.

2. В помещениях, специально предназначенных для работы или производственного обучения подростков, нормированное значение КЕО

повышается на один разряд по гр. 3 и должно быть не менее 1,0%.

Таблица 4. Нормирование естественного освещения помещений жилых и общественных зданий [5].

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %	Естественное освещение			
					КЕО $e_n$ , % при			
					верхнем или комбинированном	боковом		
1	2	3	4	5	6	7		
Различение объектов при фиксированной и нефиксированной линии зрения: очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	А	1 2	Не менее 70 Менее 70	4,0	1,5		
					3,5	1,2		
высокой точности	От 0,30 до 0,50	Б	1 2	Не менее 70 Менее 70	3,0	1,0		
					2,5	0,7		
средней точности	Более 0,5	В	1 2	Не менее 70 Менее 70	2,0	0,5		
					2,0	0,5		
Обзор окружающего пространства при очень кратковременном, эпизодическом различении объектов: при высокой насыщенности помещений светом при нормальной насыщенности помещений светом при низкой насыщенности помещений светом	Независимо от размера объекта различения	Г	-	Независимо от продолжительности зрительной работы	3,0	1,0		
					Д	-	2,5	0,7
					Е	-	2,0	0,5
Общее ориентирование в пространстве интерьера: при большом скоплении людей при малом скоплении людей	То же	Ж	1	То же	Не регламентируется			
			2					
Общее ориентирование в зонах передвижения: при большом скоплении людей при малом скоплении людей	То же	З	1 2	То же	То же			

Примечание: Наименьшие размеры объекта различения и соответствующие им разряды

зрительной работы устанавливаются при расположении объектов различения на расстоянии не более 0,5м от работающего при среднем контрасте объекта различения с фоном и светлым фоном.

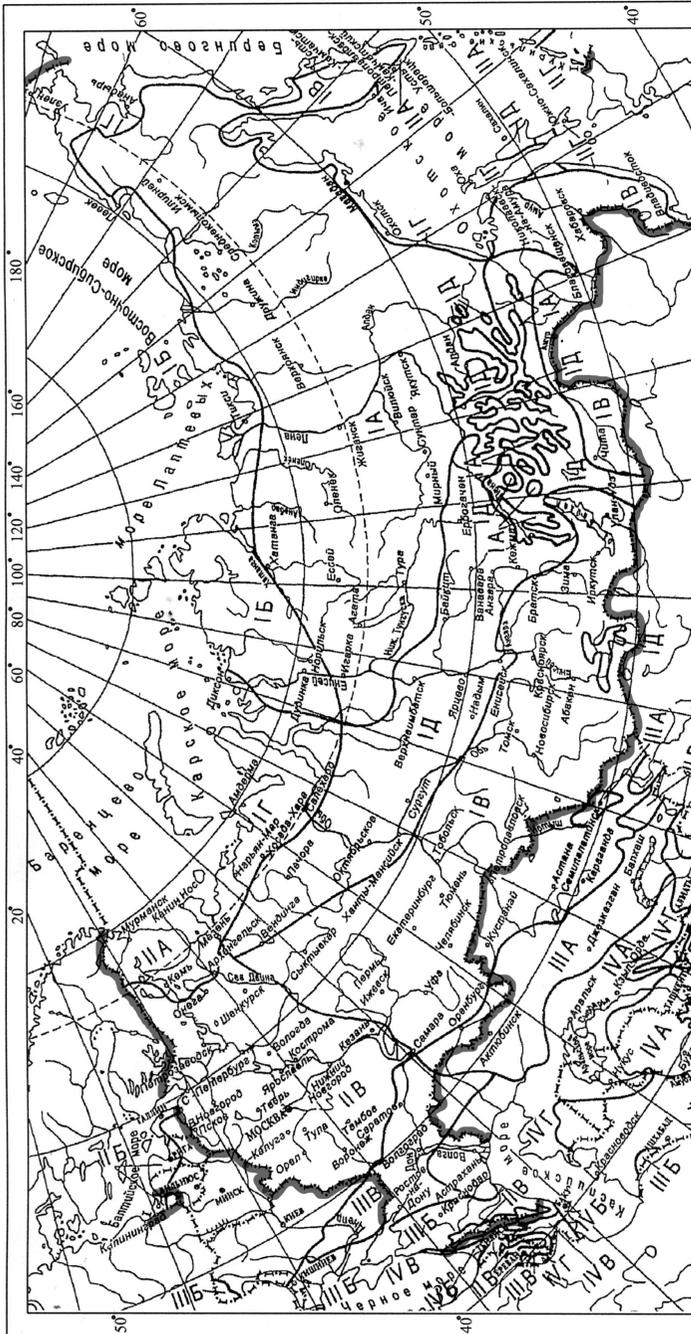


Таблица 5. Нормированные значения КЕО при боковом естественном освещении в основных помещениях жилых и общественных зданий в различных группах административных районов по ресурсам светового климата [4].

Группы административных районов по ресурсам светового климата	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта, град	Нормированные значения КЕО, %, на УРП и РП*					
		в рабочих кабинетах зданий управления, офисах <b>Г-0,8м</b>	в школьных классах <b>Г-0,8м</b>	в жилых помещениях <b>Г-0,0м</b>	в выставочных залах <b>Г-0,0м</b>	в читальных залах и библиотеках для взрослых <b>Г-0,8м</b>	в проектных залах, чертежно-конструкторских бюро <b>Г-0,8м</b>
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

\* Г-0,0м, т.е. рабочая поверхность (РП) на полу, Г-0,8м = условная рабочая поверхность (УРП) на уровне 0,8м над полом.

Таблица 6. Нормированные значения КЕО в помещениях жилых и общественных зданий [3].

№№ пп.	Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО (Г-горизонтальная). Г-0,0 – на полу, м,	КЕО $e_H$ , %	
			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
1	2	3	4	5
Помещения жилых зданий				
1.	Жилые комнаты, гостиные, спальни	Г - 0,0	2	0,5
2.	Жилые комнаты общежитий	Г - 0,0	2	0,5
3.	Кухни, кухни-столовые	Г - 0,0	2	0,5
4.	Детские	Г - 0,0	2,5	0,7
5.	Кабинеты, библиотеки	Г - 0,0	3	1
6.	Бассейн	Г - 0,0 Г - поверхность воды	2	0,5
Административные здания (министерства, ведомства, комитеты, префектуры, муниципалитеты управления, конструкторские и проектные организации, научно-исследовательские учреждения и т. п.)				
7.	Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	Г - 0,8	3	1
8.	Проектные залы и комнаты конструкторские, чертежные бюро	Г - 0,8	4	1,5
9.	Читальные залы	Г - 0,8	3,5	1,2
10.	Помещения для работы с дисплеями и видеотерминалами, залы ЭВМ	Г - 0,8 Экран монитора: В - 1,2	3,5 -	1,2 -
11.	Лаборатории научно-технические (кроме медицинских учреждений)	Г - 0,8	3,5	1,2
Банковские и страховые учреждения				
12.	Операционный зал, кредитная группа, кассовый зал, помещения пересчета денег	Г - 0,8	3,5	1,2
Учреждения общего образования, начального, среднего высшего специального образования				
13.	Классные комнаты, кабинеты, аудитории общеобразовательных школ, школ интернатов, среднеспециальных и профессионально-технических учреждений, лабораторий, учебные кабинеты физики, химии, биологии и пр.	Рабочие столы и парты: Г - 0,8 Середина доски: В - 1,5	4 -	1,5 -
14.	Аудитории, учебные кабинеты, лаборатории в техникумах и высших учебных заведениях	Г - 0,8	3,5	1,2

15.	Кабинеты информатики и вычислительной техники	Г - 0,8 Экран дисплея: В - 1	3,5 -	1,2 -
Продолжение таблицы 6				
1	2	3	4	5
16.	Учебные кабинеты технического черчения	Г - 0,8 Рабочие, чертежные доски, рабочие столы	4 -	1,5 -
17.	Лаборантские при учебных кабинетах	Г - 0,8	3,5	1,2
18.	Крытые бассейны	Г - поверхность воды	2	0,5
19.	Кабинеты и комнаты преподавателей	Г - 0,8	3	1
20.	Рекреации	Г - 0,0	2	0,5
Учреждения досугового назначения				
21.	Выставочные залы	Г - 0,8	2,5	0,7
22.	Комнаты кружков и музыкальные классы	Г - 0,8	3	1
Детские дошкольные учреждения (ДДУ)				
23.	Раздевалочные	Г - 0,0	2,5	0,7
24.	Групповые, игровые, столовые, комнаты музыкальных и гимнастических занятий	Г - 0,0	4	1,5
25.	Спальные	Г - 0,0	2	0,5
26.	Изоляторы, комнаты для заболевших детей	Г - 0,0	2	0,5
Санатории, дома отдыха, гостиницы				
27.	Палаты, спальные комнаты, номера	Г - 0,0	2	0,5
Физкультурно-оздоровительные учреждения				
28.	Залы спортивных игр	Г - 0,0 В - 2,0 с обеих сторон на продольной оси помещения	3 -	1 -
29.	Залы аэробики, гимнастики, борьбы	Г - 0,0	2,5	0,7
30.	Зал бассейна	Г - поверхность воды	2	0,5
Учреждения здравоохранения				
Кабинеты врачей				
31.	Кабинеты хирургов, акушеров, гинекологов, травматологов, педиатров, инфекционистов, дерматологов, аллергологов, стоматологов; смотровые, приемно-смотровые боксы	Г - 0,8	4	1,5
32.	Кабинеты врачей в амбулаторно-поликлинических учреждениях, не приведенные выше	Г - 0,8	3	1
Палаты				
33.	Палаты: детских отделений, для новорожденных;	Г - 0,0	3	1

	интенсивной терапии, послеоперационные, палаты матери и ребенка			
34.	Прочие палаты и спальни	Г - 0,0	2	0,5

Примечание: более подробные данные для помещений различного назначения см. [3], табл. 2.

## V. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Проектирование естественного освещения должно начинаться с определения исходных требований к освещению на основе детального изучения технологических, трудовых и иных функциональных процессов, протекающих в помещениях, а также светоклиматических особенностей места строительства зданий (см. табл. 1-2 и рис. 21). При этом должны быть определены следующие исходные данные: точность и продолжительность выполнения зрительных работ в помещении, наличие специальных требований к естественному освещению (направление светового потока на рабочую поверхность, требуемый уровень освещенности на горизонтальной и вертикальных поверхностях, защита от прямых солнечных лучей, т.е. инсоляции и т.п.).

Основной задачей проектирования естественного освещения является выбор системы (боковая, верхняя, комбинированная), формы, количества и расположения, суммарной площади и конструкции световых проемов, при которых в помещениях обеспечиваются удовлетворительный световой режим и микроклимат. Верхнее и комбинированное освещение следует применять преимущественно в одно- и двухэтажных (для верхних этажей) многопролетных производственных зданиях промышленных предприятий, а также в некоторых общественных зданиях и мансардных этажах жилых домов. Боковое естественное освещение применяется в большинстве многоэтажных и одноэтажных зданий. В помещениях большой глубины (более 18 м) площадь окон следует выбирать исходя из минимального КЕО при совмещенном освещении согласно требованиям СанПиН [3] и СП [4-5], а окна в наружных стенах располагать в два яруса или разбивать на две зоны, по-современному – с разными типами стекла. При этом нижний ярус окон проектируется исходя из условий обеспечения зрительно связи с наружным пространством, верхний ярус — для освещения удаленной от окон зоны помещения (со специальным светоперенаправляющим стеклом).

Расчет естественного освещения может выполняться как **предварительный** (ориентировочный – см. V.1-V.2) на эскизной стадии архитектурного проектирования и как **проверочный** (более точный, с учетом затеняющего действия застройки – см. V.3) на утверждаемой стадии. Методика предварительного расчета изложена по [4] с некоторыми коррективами, проверочного по [6], как несколько упрощенного для учебных целей.

На рис. 30-31 даны мало кому известные схематические основы построения графиков А.М. Данилюка, позволяющие зримо представить

членение небосвода на условные элементы («клеточки») равной световой активности (в %). «Цена» каждой клеточки, получаемая перемножением ее размера по вертикали 1% (на разрезе по графику I) на размер по горизонтали 1% (на плане по графику II) равна 0,01%. Их видимое из расчетной точки количество и определяют интенсивность освещения прямым светом небосвода (геометрический КЕО).

#### **V.1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ СВЕТОВЫХ ПРОЕМОВ И КЕО ПРИ БОКОВОМ ОСВЕЩЕНИИ [4]**

Предварительный расчет размеров световых проемов при боковом освещении без учета противостоящих зданий следует проводить с применением графиков, приведенных для помещений жилых зданий на рис. 22, для помещений общественных зданий – на рис. 23, для школьных классов – на рис. 24. Расчет следует производить в следующей последовательности:

а) в зависимости от разряда зрительной работы или назначения помещения и группы административных районов по ресурсам светового климата РФ по табл. 3-6 или по [3-5] и формуле (3) определяют нормированное значение КЕО для рассматриваемого помещения;

б) на поперечном разрезе 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. 22, 23 или 24) определяют точку, соответствующую определенному значению  $d_n/h_{01}^*$ , через найденную точку проводят вертикальную линию до пересечения с кривой, соответствующей нормированному значению КЕО. По ординате точки пересечения определяют значение  $A_{c.o}/A_n$  (см. рис. 24);

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

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. 22-24 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. 22, 23 или 24);

г) по значениям  $A_{c.o}/A_n$  и  $d_n/h_{01}^*$  на графике находят точку с соответствующим значением КЕО.

Графики (рис. 22-24) 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. 22-24 значения относительной площади световых проемов следует делить, а значение КЕО умножать на коэффициент  $K_1$ , приведенный в табл. 7.

\* Для жилых помещений вместо  $h_{01}$  принимается  $h_{02}$ .

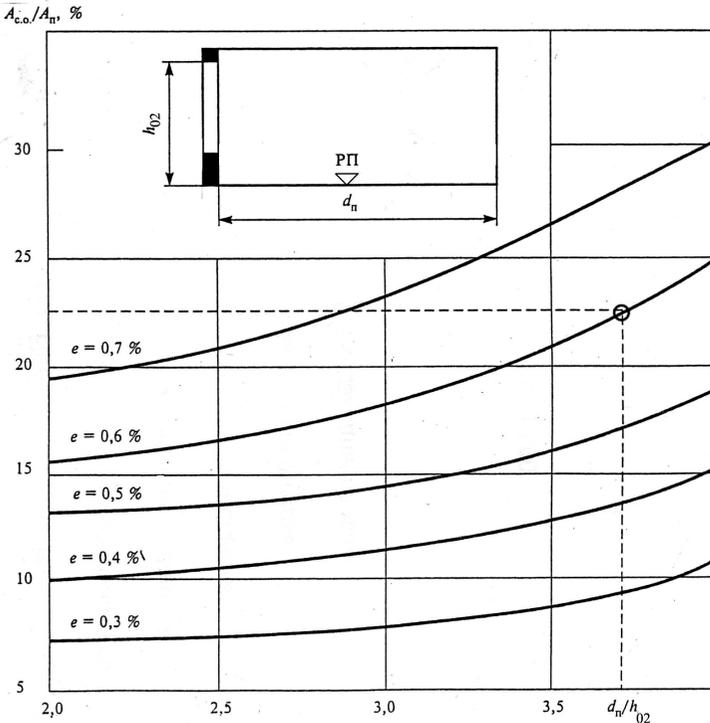


Рис. 22. График для определения относительной площади световых проемов  $A_{c.o.}/A_n$  при боковом освещении жилых помещений

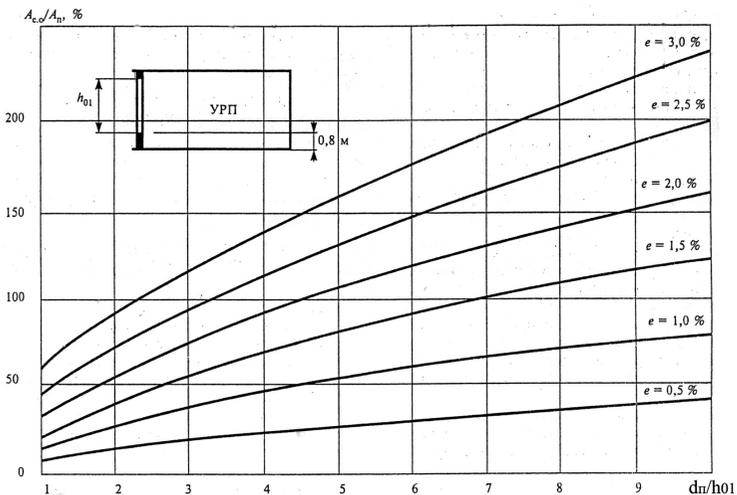


Рис. 23. График для определения относительной площади световых проемов  $A_{c.o}/A_{п}$  при боковом освещении помещений общественных зданий

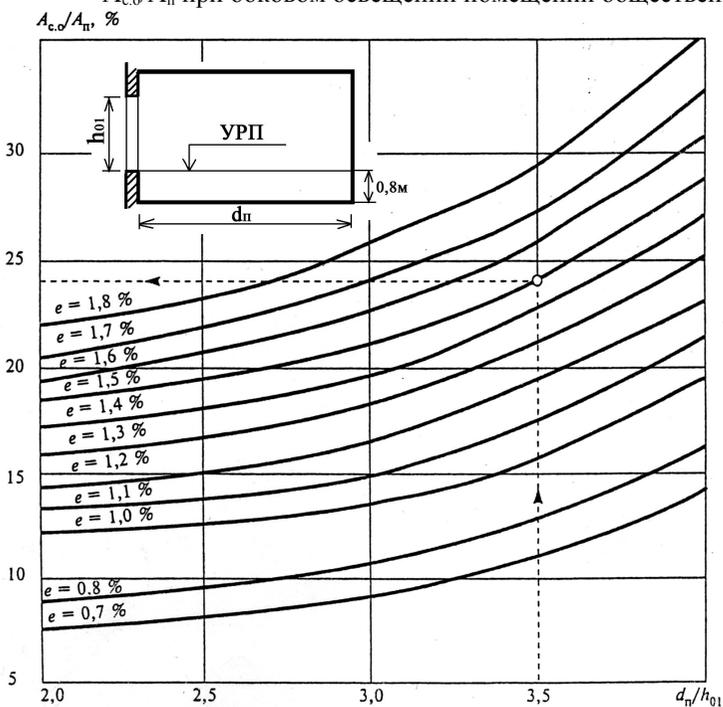


Рис. 24. График для определения относительной площади световых проемов  $A_{c.o}/A_{п}$  при боковом освещении школьных классов

Таблица 7.

Тип заполнения	Значения коэффициента $K_1$ для графиков на рисунках	
	22	23, 24
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 свальных 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  $K_1$  принимают по таблице 3 до проведения соответствующих испытаний.

## V.2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ СВЕТОВЫХ ПРОЕМОВ И КЕО ПРИ ВЕРХНЕМ ОСВЕЩЕНИИ [4]

Для предварительного расчета площади световых проемов при верхнем освещении следует применять следующие графики: для зенитных фонарей с глубиной проема (светопроводной шахты) до 0,7м — по рис. 25; для шахтных фонарей — по рис. 26, 27; для фонарей прямоугольных, трапециевидных, шед с вертикальным остеклением и шед с наклонным остеклением — по рис. 28.

Площадь световых проемов фонарей  $A_{с.ф}$  (см. рис. 29) определяют по графикам на рис. 25-28 в следующей последовательности:

а) в зависимости от разряда зрительной работы или назначения помещения и группы административных районов по ресурсам светового климата РФ по табл. 3-6 или по [3-5] и формуле (3) 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. 25-28), 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  $A_{с.ф}$  в м<sup>2</sup>.

Предварительный расчет значений КЕО в помещениях следует производить с применением графиков на рис. 25-28 в следующей последовательности:

а) по строительным чертежам находят суммарную площадь световых

проемов фонарей  $A_{с.ф.}$ , освещающую площадь пола помещения  $A_{п.}$  и определяют отношение  $A_{с.ф.}/A_{п.}$ ;

б) с учетом типа фонаря выбирают соответствующий рисунок (25, 26, 27 или 28);

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

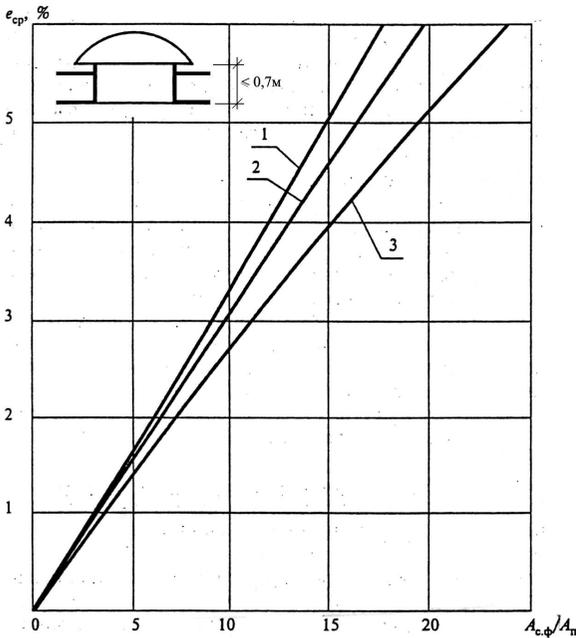


Рис. 25. График для определения среднего значения КЕО  $E_{ср}$  в помещениях с зенитными фонарями с глубиной проема до 0,7

и размерами в плане, м:

1 - 2,9x5,9; 2 - 2,7x2,7; 2,9x2,9; 1,5x5,9; 3 - 1,5x1,7.

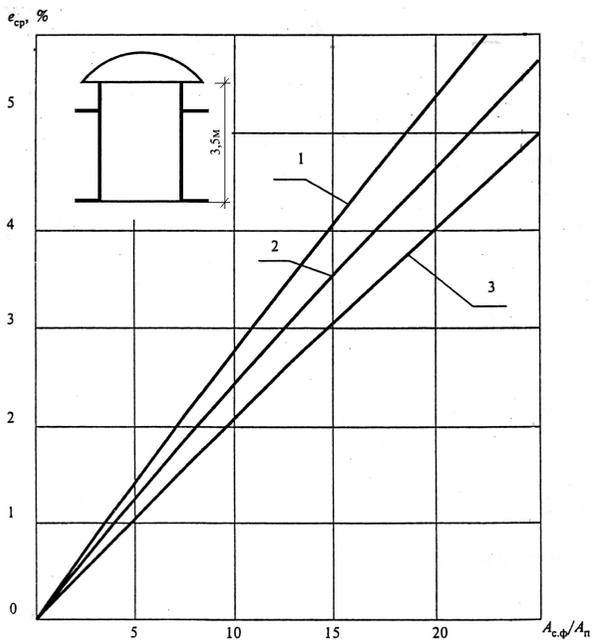


Рис. 26. График для определения среднего значения КЕО  $e_{cp}$  в общественных помещениях с шахтными фонарями с глубиной

светопроводной шахты 3,50м и размерами в плане, м:

- 1 - 2,9x5,9; 2 - 2,7x2,7; 2,9x2,9; 1,5x5,9;
- 3 - 1,5x1,7.

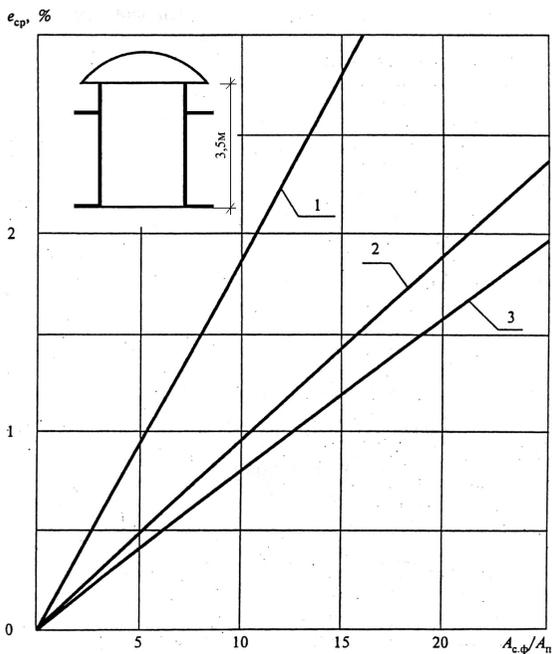


Рис. 27. График для определения среднего значения КЕО  $e_{cp}$  в общественных помещениях с шахтными фонарями

диффузного света с глубиной светопроводной шахты 3,50м и размерами в плане, м:

1 - 2,9x5,9; 2 - 2,7x2,7; 2,9x2,9; 1,5x5,9; 3 - 1,5x1,7.

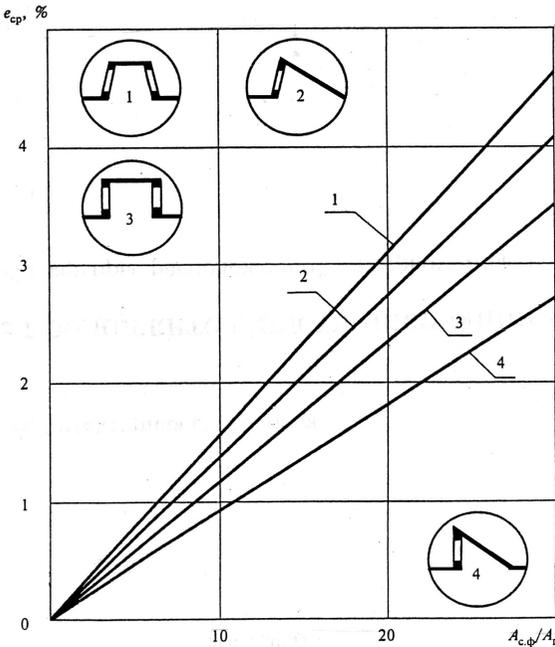


Рис. 28. График для определения среднего значения КЕО  $e_{cp}$  в общественных помещениях с фонарями.

1 – трапециевидной фонарь; 2 – шед, имеющий наклонное остекление; 3 –

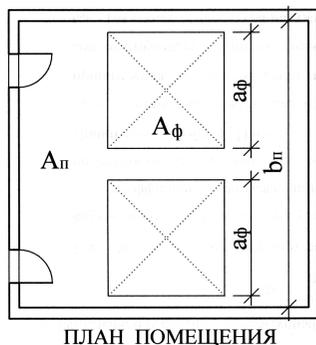
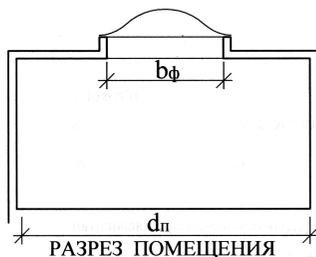
прямоугольный фонарь; 4 – шед, имеющий вертикальное остекление.

**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:**

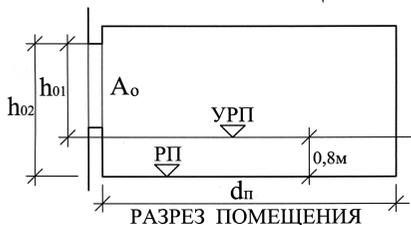
- |  |   |
|--|---|
| $A_n$ – освещаемая площадь пола помещения, $m^2$ ;   | $h_{01}$ – высота верхней грани светового проема над уровнем условной рабочей поверхности (УРП), м; |
| $A_o$ – площадь светового проема окна, $m^2$ ;   | $h_{02}$ – высота верхней грани светового проема над уровнем пола (РП), м;                          |
| $A_{c.o}$ – суммарная площадь световых проемов окон, $m^2$ ;                                 | $a_\phi$ – длина светового проема фонаря, м   |
| $A_\phi$ – площадь светового проема (при нескольких фонарях – их суммарная площадь), $m^2$ ; | $b_\phi$ – ширина светового проема фонаря, м;   |
| $A_{c.ф}$ – суммарная площадь световых проемов фонарей, $m^2$ ;                              | $e_n$ – нормированный коэффициент естественной освещенности, %;                                     |
| $b_n$ – длина помещения, м;  | $e_N$ – нормированный коэффициент естественной освещенности с учетом                                |
| $d_n$ – глубина помещения, м;  |   |
| $b_o$ – ширина светового проема окна, м;   |   |
| $b_{c.o}$ – суммарная ширина световых проемов окон, м;                                       |   |

светоклиматических особенностей места расположения здания;  
 $e_p$  – расчетный коэффициент естественной освещенности, %;  
 $e_{cp}$  – расчетный средний коэффициент естественной освещенности, %;  
 $K_1$  – коэффициент, учитывающий тип заполнения боковых светопроемов (табл. 7).

Рис. 29. Схемы для определения КЕО и площади остекления в помещениях с боковым и верхним естественным освещением предварительным расчетом.



### БОКОВОЕ ОСВЕЩЕНИЕ



### ВЕРХНЕЕ ОСВЕЩЕНИЕ

### У.3. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

Как указано выше, более точным, используемым в практике реального проектирования, является: **проверочный расчет коэффициента естественной освещенности (КЕО)** заданного помещения, на основании которого органы санэпиднадзора и госэкспертизы принимают решение о согласовании проекта.

Проверочный метод в отечественной практике расчета естественного освещения связан с именем А.М.Данилюка, графики которого I-III (модифицированные в НИИСФ, рис. 36-38) используются на первых этапах расчетов КЕО с использованием поперечного разреза контрольного помещения с **боковым светом (график I)** и его плана (**график II**) или поперечного разреза помещения с **верхним светом (график III)** и его продольного разреза (**график II**). Эти графики позволяют определить в расчетной точке помещения долю падающего в нее света неба (геометрический КЕО), а также света, отраженного фасадами соседних зданий (с определенным поправочным коэффициентом яркости этих фасадов), если они видны из расчетной точки, т.е. экранируют часть открытого небосвода (геометрический КЕО отраженного фасадом света).

Графики построены на основе светотехнического **закона проекции вектора телесного угла**: освещенность  $E_M$  в расчетной точке  $M$  прямо пропорциональна яркости небосвода  $L$  (условно принимаемого равномерным во всех точках) и площади проекции  $\sigma$  видимого из расчетной точки участка небосвода на рабочую поверхность:  $E_M = L\sigma$  (лк) – рис. 30.

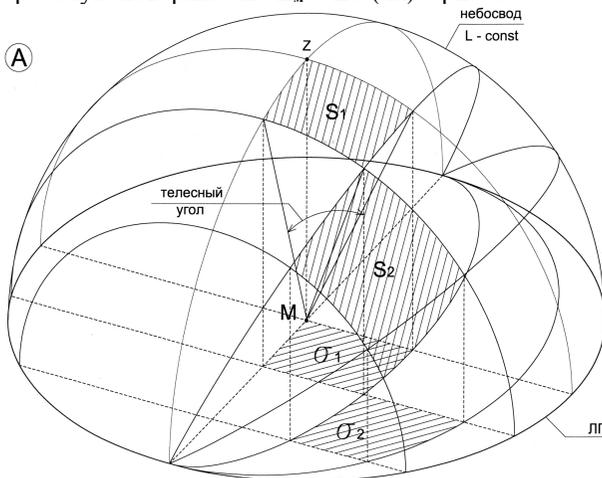
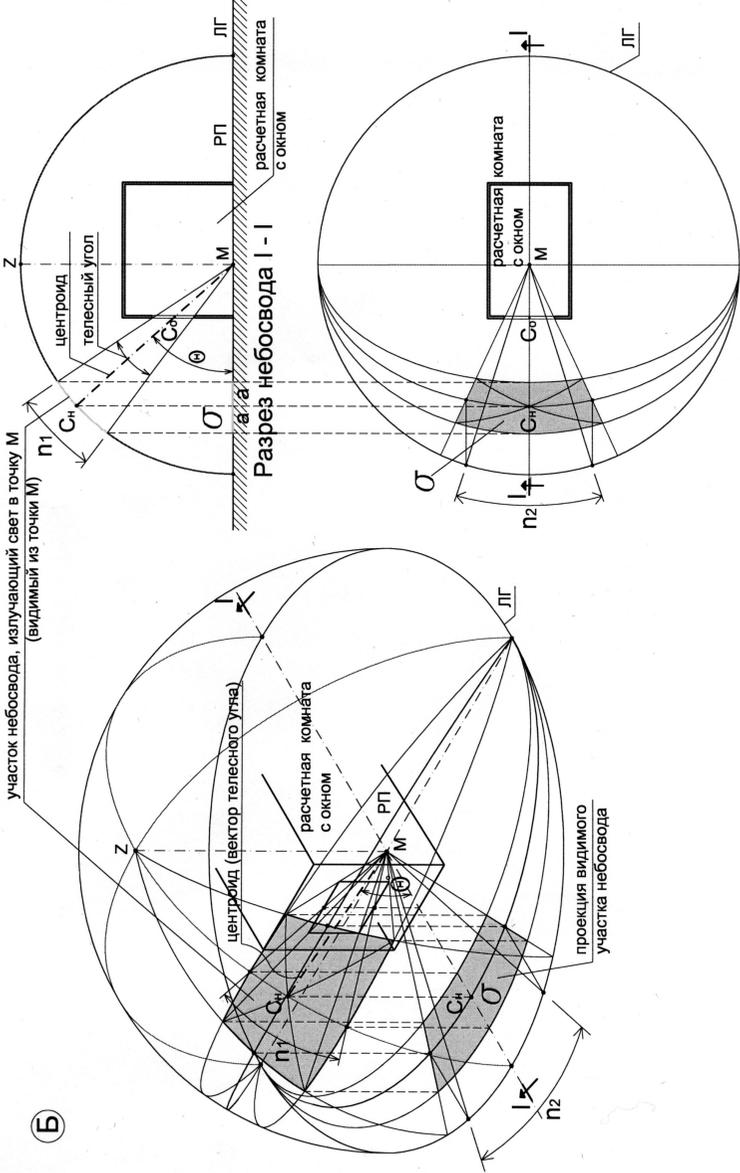


Рис. 30. Деление полусферы равномерно яркого (облачного) небосвода на элементы «равной световой активности» по методу А.М. Данилюка – принципиальная схема, в которой  $\sigma_1 = \sigma_2$  (к закону проекции вектора телесного угла).

и величин  $n_1$  и  $n_2$  по графикам I и II

# ПРОЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКОНА ПРОЕКЦИИ ВЕКТОРА ТЕЛЕСНОГО УГЛА ДЛЯ РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО КЕО



План небосвода

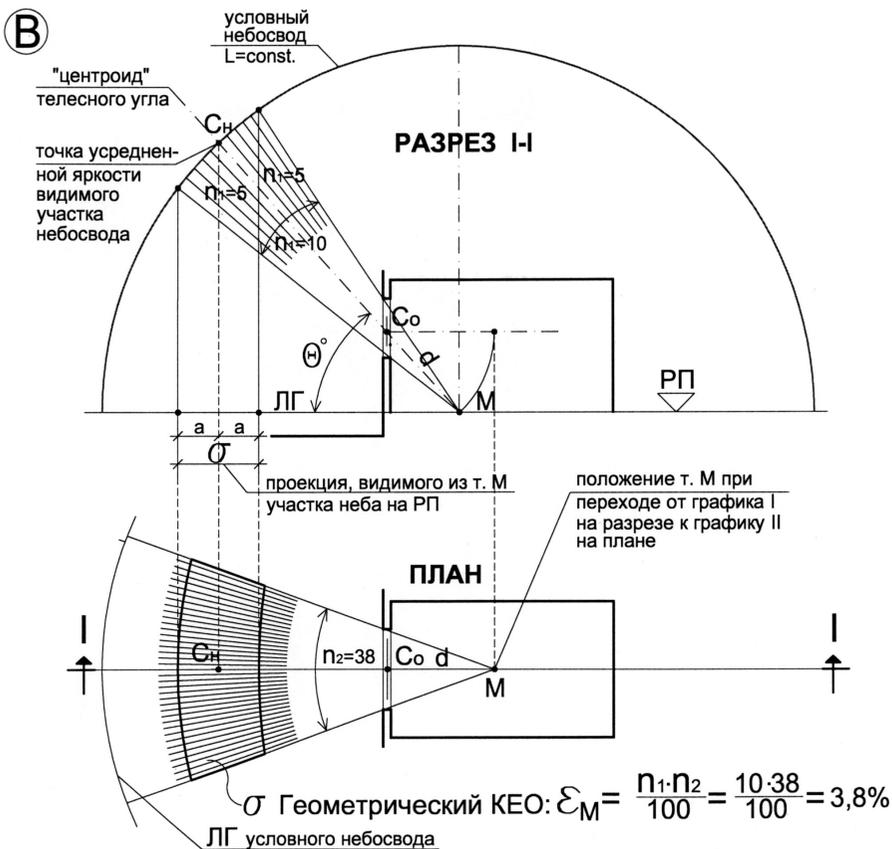


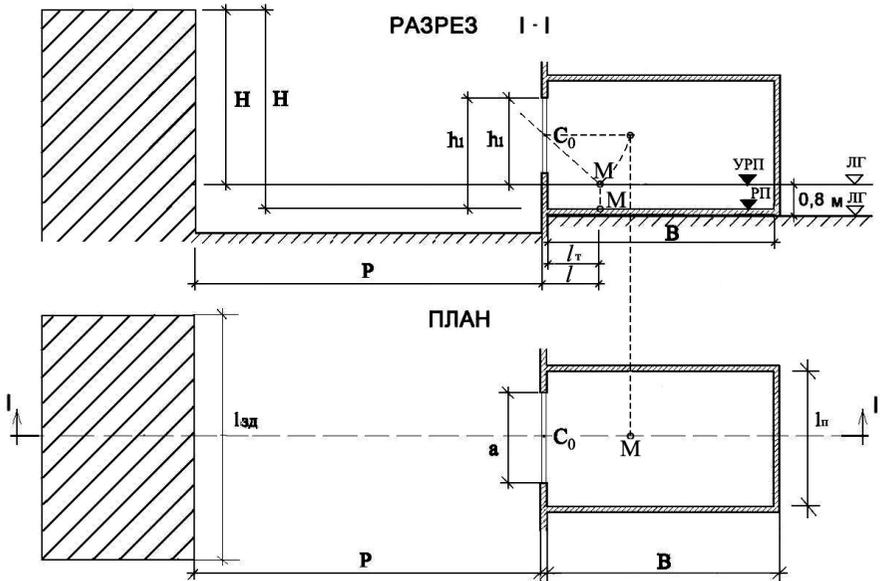
Рис. 32. Применение закона проекции вектора телесного угла в проверочных расчетах естественного освещения помещений на их ортогональных проекциях (разрез и план) с использованием графиков Данилюка.

Определение величин  $n_1$  на поперечном разрезе (график I) и  $n_2$  на плане (график II) помещения в расчетной точке М для расчета геометрического КЕО.

**Примечание:** В нижеизложенной методике расчета КЕО (по СНиП и СП) точка  $C_o$  является геометрическим центром оконного проема. Теоретически она более правильно определяется как точка пересечения «центроида» телесного угла с наружной гранью стены. Эта особенность

расчетами игнорируется. При переходе от разреза к плану расчетная точка должна «отъехать» от  $C_0$  на расстояние  $d$  (гипотенуза  $MC_0$ ) вглубь помещения.

Параметры расчетной ситуации приводятся на рис. 33 и отражаются в табл. 13 (см. вместе с табл. 9 и 10). Затеняющее действие деревьев в расчетах не учитывается.



$l_{зд}$  – длина противостоящего здания, м;

$H$  – превышение противостоящего здания над расчетной точкой  $M$ , м;

$P$  – удаление противостоящего здания от фасада расчетного помещения, м;

$B, l_n$  – глубина и длина рассматриваемого помещения, м;

$l$  – расстояние расчетной точки  $M$  в рассматриваемом помещении от внешней поверхности наружной стены, м;

$h_n$  – высота верхней грани окна над РП (или УРП), м;

$a$  – ширина окна, м;

$l_r$  – расстояние от расчетной точки  $M$  до внутренней поверхности наружной стены помещения, м;

$C_0$  – центр бокового светопроема (окна);

РП – рабочая поверхность, УРП – условная рабочая поверхность; ЛГ – линия горизонта;  $M$  – расчетная точка.

Рис. 33. Схема расположения рассматриваемого помещения и противостоящего затеняющего здания с условными обозначениями, используемыми в расчете КЕО при боковой системе освещения на полу (РП) или условной рабочей поверхности (УРП), в т.ч. для определения  $n_2$ ,  $r_0$ ,  $z_1$ ,  $z_2$  и  $R$  (по табл. 9).

Ниже приведены примеры проверочного расчета КЕО по методике отмененных в 1995 г. СНиП II-4-79 [6]. Она несколько проще действующей ныне методики расчета по СП [5] и дает сопоставимые с [5] результаты, что допустимо для учебных (адаптированных к обучению) целей.

### А. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ КЕО ПРИ БОКОВОЙ СИСТЕМЕ ОСВЕЩЕНИЯ

На поперечном разрезе помещения выбирается нечетное количество расчетных точек, первая и последняя берутся на определенной нормами (см. табл. 5-6) рабочей поверхности (РП – на полу или УРП – на уровне столов) на расстоянии 1 м от стены со световым проемом и противоположной стены, например 1 и 3 точки, остальные расчетные точки находятся на одинаковом расстоянии между собой (рис. 34).

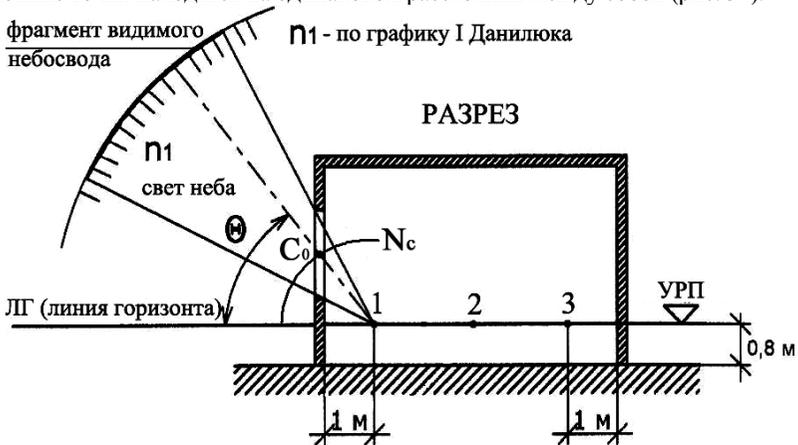


Рис. 34. Пример нахождения расчетных точек на УРП (или РП) величины  $n_1$ , угла  $\theta$  и полуокружности  $N_c$  на графике I при открытом небосводе в плоскости характерного разреза помещения.

Расчет КЕО в этих точках при боковой системе освещения производится по формуле:

$$e_p^6 = (\epsilon_6 \cdot q + \epsilon_{3л} \cdot R) \cdot r_0 \cdot \tau_0 / K_3, \quad \text{где} \quad (4)$$

$\epsilon_6$  – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий **прямой свет неба**, проходящий через проем в стене (без учета оконного блока), определяется по графикам Данилюка I и II (рис. 33, 34).

Геометрический КЕО **от неба** вычисляется по формуле:

$$\epsilon_6 = 0,01 \cdot (n_1 \cdot n_2), \quad \text{где} \quad (5)$$

$n_1$  - количество лучей по графику I, проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на поперечном разрезе помещения (рис. 31, 32, 36);

$n_2$  - количество лучей по графику II, проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на плане помещения (рис. 37);

$q$  - коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба МКО от горизонта до зенита, определяемый по таблице 8 в зависимости от угла  $\theta$  ( $\theta$  - угол от линии горизонта до прямой, соединяющей точку  $C_0$  как центр светового проема с расчетной точкой при открытом (неэкранируемом застройкой) небосводе - рис. 34. В случае частичного экранирования неба точка  $C_0$  и угол  $\theta$  определяются аналогично (рис. 35).

$\epsilon_{\text{зд}}$  - геометрический КЕО в расчетной точке, учитывающий свет, **отраженный фасадом противостоящего здания**, определяется по графикам I и II (рис. 33, 34).

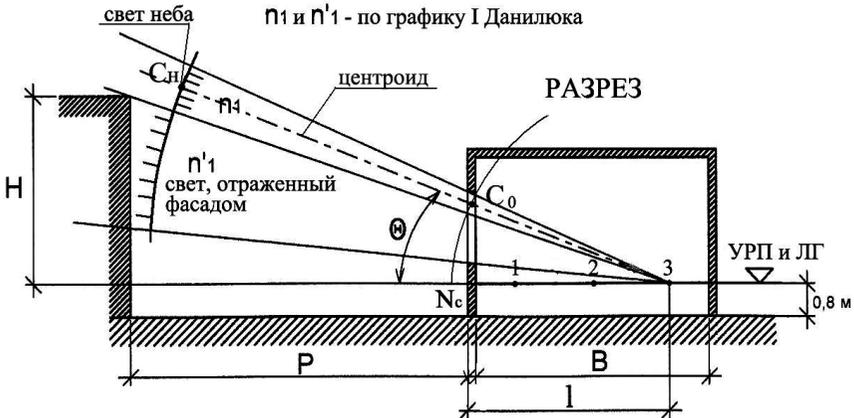


Рис. 35. Определение величины  $n_1$  и  $n'_1$ , а также угла  $\theta$  и полуокружности  $N_c$  при частично экранируемом небосводе\*.

Геометрический КЕО, учитывающий свет, **отраженный фасадом** противостоящего здания, определяется по формуле:

$$\epsilon_{\text{зд}} = 0,01 \cdot (n'_1 \cdot n'_2), \text{ где} \quad (6)$$

$n'_1$  - количество лучей по графику I, проходящих от противостоящего здания через световой проем в расчетную точку на поперечном разрезе помещения (рис. 32, 36);

$n'_2$  - количество лучей по графику II, проходящих от противостоящего здания через окна в расчетную точку на плане помещения (рис. 37);

$R$  - коэффициент, учитывающий относительную яркость фасада противостоящего здания, определяемый по таблице 9 (в зависимости от  $z_1$  и  $z_2$  - см. табл. 13);

$r_0$  - коэффициент, учитывающий повышение КЕО благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения (стен, потолка, пола, коэффициенты отражения которых выбираются автором), определяемый по таблице 10;

$\tau_0$  - общий коэффициент светопропускания окна, определяемый по формуле 7 и

таблице 11 (конструкция светопроема – остекление, переплеты и др. - определяется автором):  $\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5$  (7)

$K_3$  – коэффициент запаса (учитывает пыль на стеклах), принимаемый по таблице 12 в зависимости от наклона остекления.

Расчет коэффициента естественной освещенности КЕО при боковой системе освещения сводится в таблицу 13.

---

\* Для простоты расчетов в студенческих РГР разрешается точку  $C_0$  и, соответственно, величину  $q$  принимать как при отсутствии затенения (рис. 34).

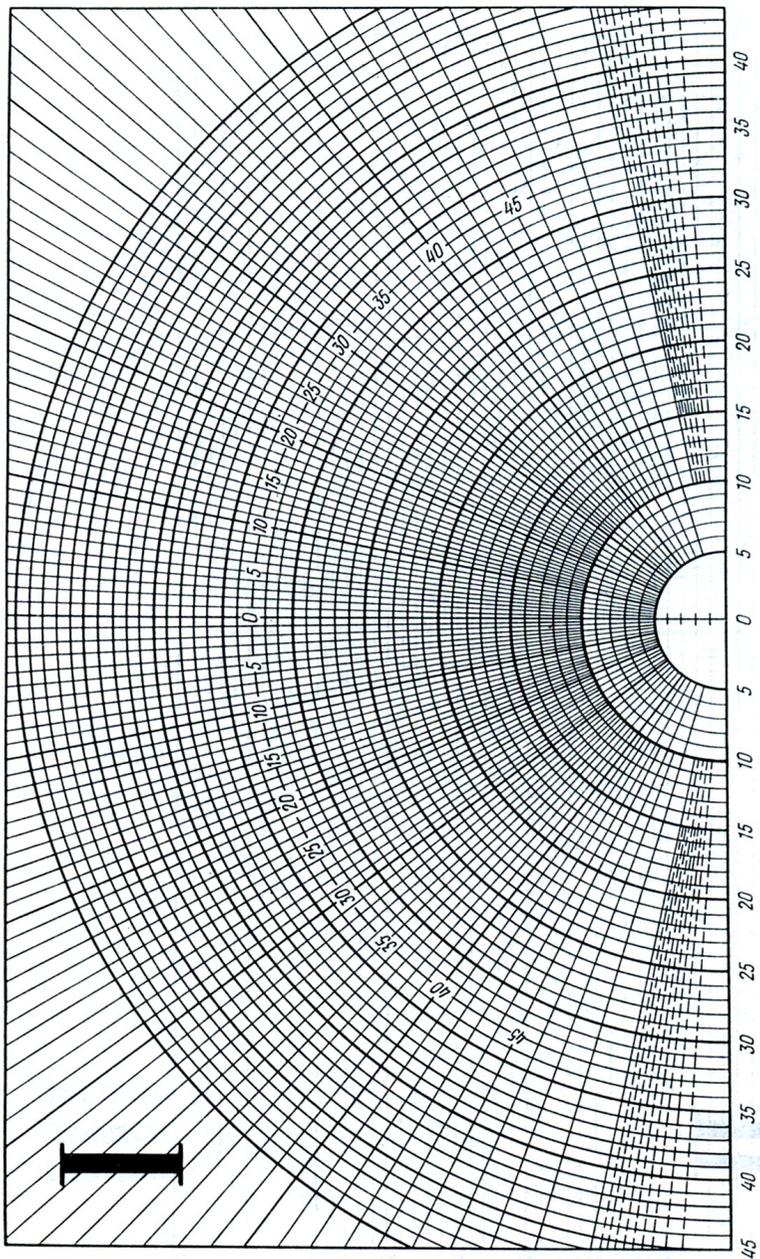


Рис. 36. График І А. М. Данилюка (НИИСФ).

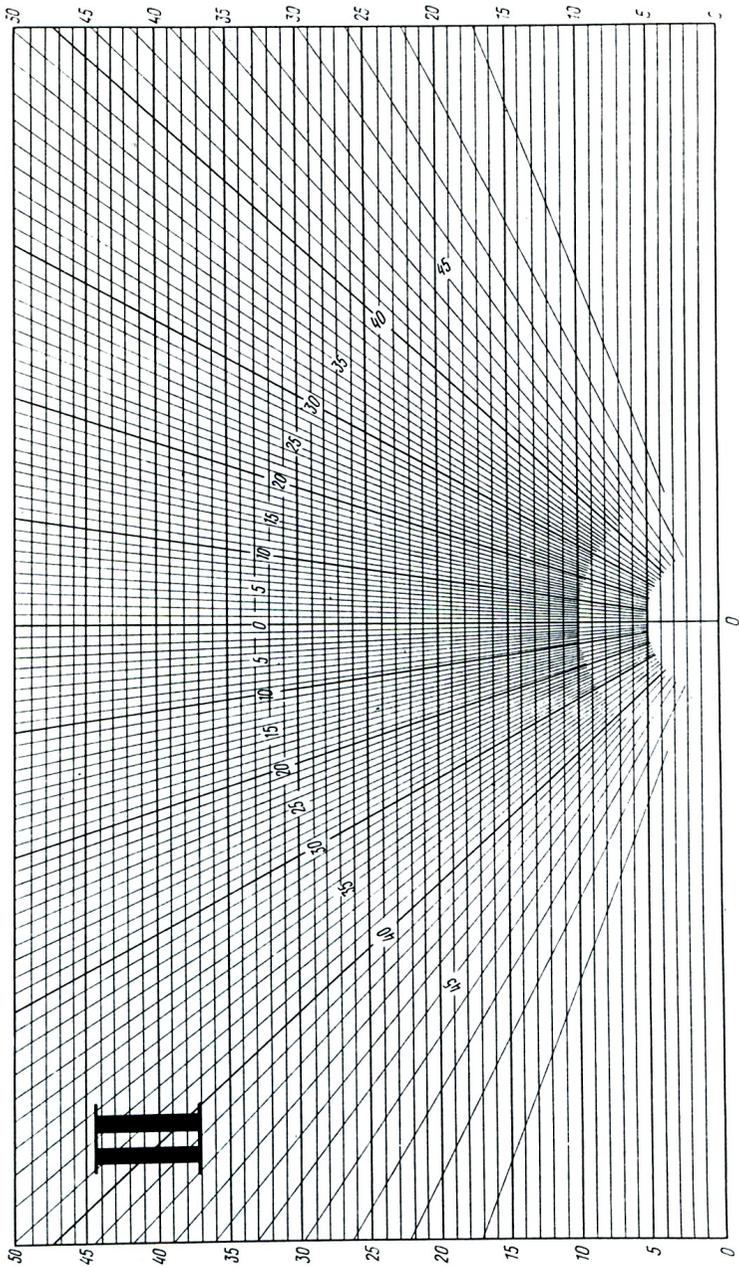


Рис. 37. График II А. М. Данилюка (НИИСФ).

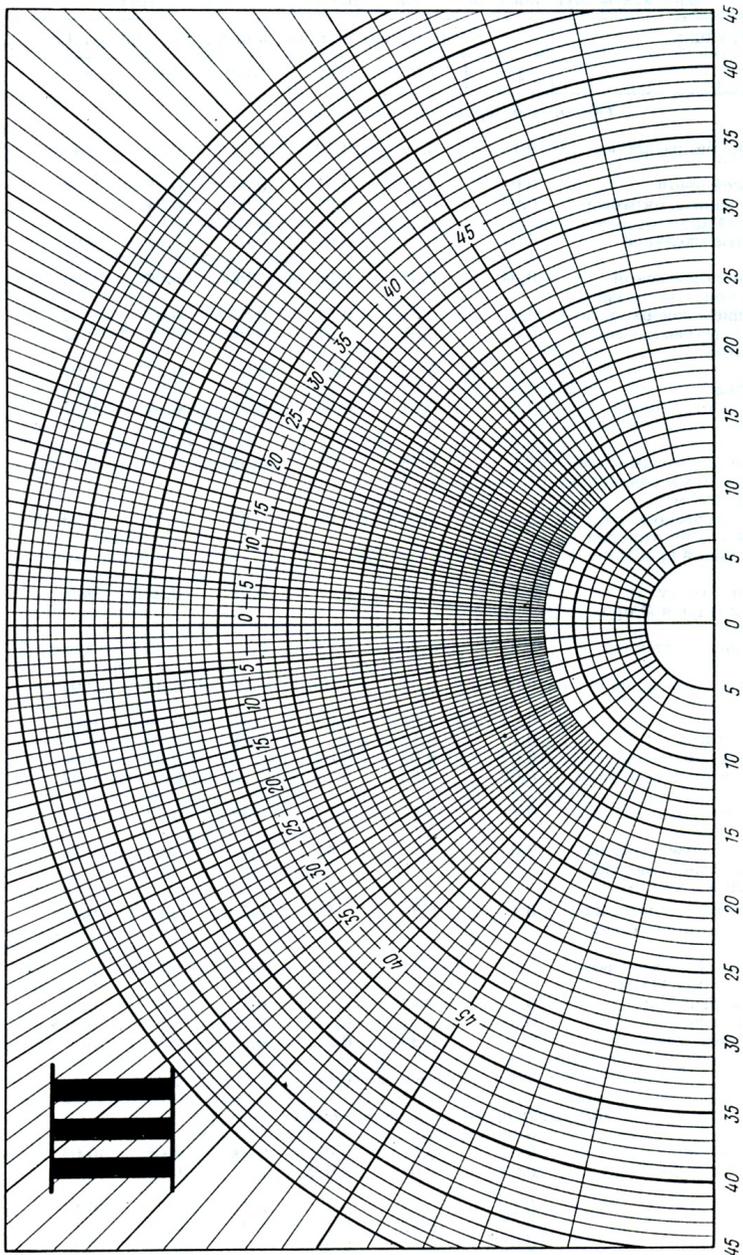
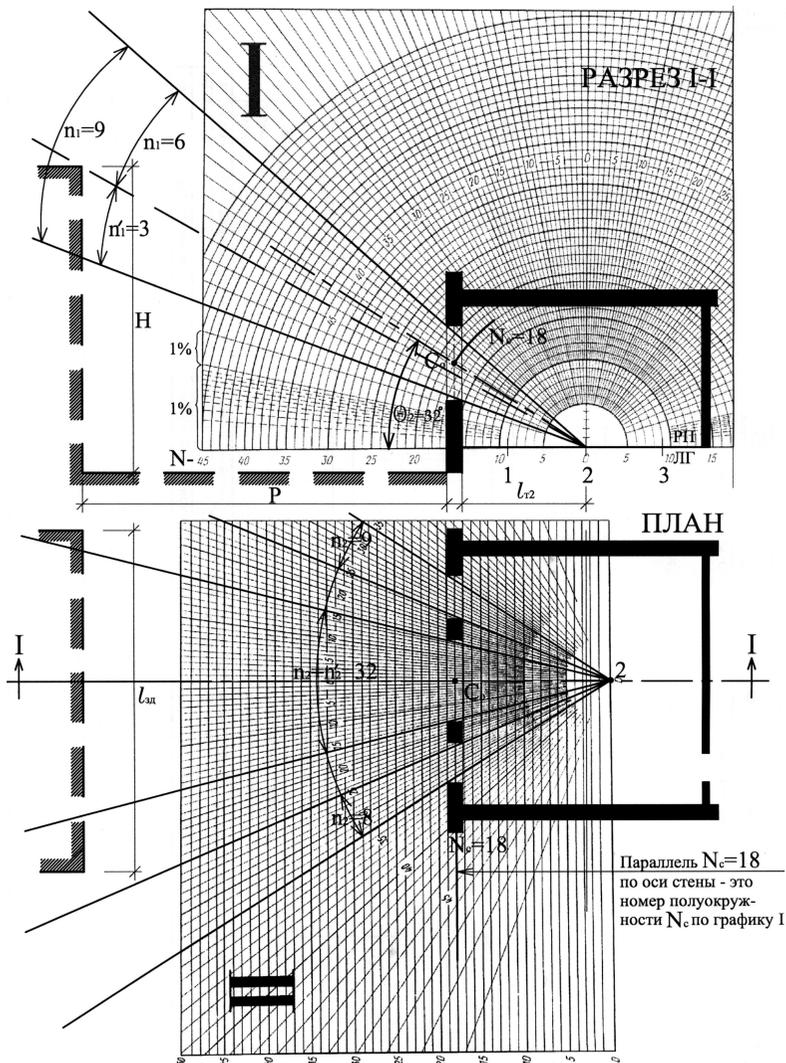


Рис. 38. График Ш А. М. Данилюка (НИИСФ) – с учетом  $q$  для систем верхнего света



Подсчет геометрического КЕО в т.2: - без затенения зданием, при  $n_1 = 9$  и  $n_2 = 49$ :

$$\epsilon_6 \uparrow \frac{n_1 * n_2}{100} \uparrow \frac{9 * 49}{100} \uparrow 4,41\%$$

- при затенении зданием, когда  $n_2 = 49$  при  $n_1 = 6$  плюс  $n_2 = 17$  при  $n_1 = 3$ , а  $n'_2 = 32$  при  $n'_1 = 3$ :

$$\epsilon_6 \uparrow \frac{(6 * 49) \hat{+} (17 * 3)}{100} \uparrow 3,45\% \text{ и } \epsilon_{\text{пл}} \uparrow \frac{n'_1 * n'_2}{100} \uparrow \frac{3 * 32}{100} \uparrow 0,96\% \text{ (см. рис. 40).}$$

Рис. 39. Определение  $n_1$  и  $n_2$ , проходящих через окна по графикам I и II при отсутствии затенения, а также  $n_1$  и  $n'_1$ ,  $n_2$  и  $n'_2$  при затенении окон противостоящим

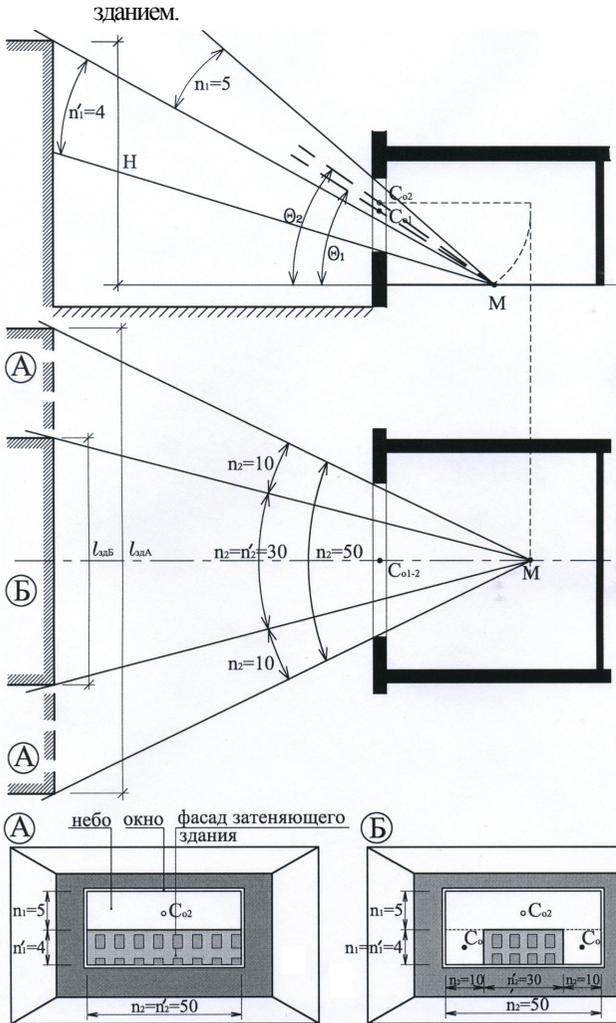


Рис. 40.

Варианты частичного затенения окна и расчетной точки М фасадом противостоящего здания:

А – перспективный вид из точки М через окно при длинном затеняющем здании ( $l_{злв}$ ), где  $\epsilon_{\text{б}} \dagger \frac{n_1 * n_2}{100} \dagger \frac{5 * 50}{100} \dagger 2,5\%$ ,  $\epsilon_{\text{зд}} \dagger \frac{n_1' * n_2'}{100} \dagger \frac{4 * 50}{100} \dagger 2,0\%$ .

Б – перспективный вид из точки М через окно при коротком затеняющем здании ( $l_{злвБ}$ ), где  $\epsilon_{\text{б}} \dagger \frac{(n_1 * n_2) \hat{+} (2n_1 * 2n_2)}{100} \dagger \frac{(5 * 50) \hat{+} (4 * 20)}{100} \dagger 3,3\%$ ,

$$\varepsilon_{\text{зд}} \uparrow \frac{n_1 \cdot n_2}{100} \uparrow \frac{4 \cdot 30}{100} \uparrow 1,2\% .$$

Примечание: При более сложных геометрических конфигурациях затеняющих зданий (разновысотные, повернутые под разными углами и т.п.) способы и примеры расчетов КЕО см. [4].

Таблица 8. Значения коэффициента  $q$  [4].

Угловая высота середины светопроема над рабочей поверхностью, $\theta$ град.	Значения коэффициента $q$	
	в зоне европейской территории России	в зоне с устойчивым снежным покровом (за Уралом)
2	0.71	0.46
6	0.74	0.52
10	0.77	0.58
14	0.80	0.64
18	0,84	0,69
22	0.86	0.75
26	0.90	0.80
30	0.92	0.86
34	0.95	0.91
38	0.98	0.96
42	1.00	1.00
46	1.04	1.04
50	1.08	1.08
54	1.12	1.12
58	1.16	1.16
62	1.18	1.18
66	1.21	1.21
70	1.23	1.23
74	1.25	1.25
78	1.27	1.27
82	1.28	1.28
86	1.28	1.28
90	1.29	1.29

Примечание: При промежуточных значениях угловой высоты  $\theta$  значения коэффициента  $q$  находятся методом линейной интерполяции.

Таблица 9. Значения коэффициента  $R$  [6].

Отделочный материал фасада противостоящего здания	Индекс противостоящего здания в плане, $Z_1$	Индекс противостоящего здания в разрезе $Z_2$							
		0,1	0,5	1	1,5	2	3	4	5 и более
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кирпич или бетон	1	0,14	0,25	0,26	0,23	0,20	0,15	0,11	0,06
	1,5	0,14	0,23	0,25	0,22	0,19	0,14	0,10	0,05
	3	0,14	0,21	0,23	0,20	0,18	0,12	0,08	0,04
	6	0,14	0,20	0,22	0,20	0,17	0,12	0,08	0,04
	10 и более	0,14	0,18	0,20	0,18	0,16	0,11	0,08	0,04
Блоки облицовочные керамические	1	0,16	0,30	0,30	0,26	0,23	0,17	0,13	0,07
	1,5	0,16	0,26	0,28	0,25	0,22	0,16	0,12	0,06
	3	0,16	0,24	0,26	0,24	0,20	0,14	0,10	0,05
	6	0,16	0,23	0,25	0,23	0,20	0,13	0,09	0,05
	10 и более	0,16	0,21	0,28	0,21	0,18	0,12	0,09	0,04

Краска фасадная цветная (светлая) атмосферостойкая	1	0,20	0,36	0,37	0,33	0,29	0,21	0,16	0,08
	1,5	0,20	0,33	0,35	0,32	0,28	0,20	0,15	0,07
	3	0,20	0,30	0,33	0,30	0,25	0,18	0,12	0,06
	6	0,20	0,29	0,32	0,29	0,24	0,17	0,12	0,06
	10 и более	0,20	0,26	0,29	0,26	0,23	0,16	0,11	0,05
Краска фасадная белая атмосферостойкая	1	0,25	0,45	0,46	0,40	0,37	0,27	0,20	0,20
	1,5	0,25	0,42	0,44	0,40	0,35	0,24	0,19	0,09
	3	0,25	0,38	0,41	0,37	0,32	0,22	0,15	0,08
	6	0,25	0,37	0,40	0,36	0,31	0,21	0,15	0,08
	10 и более	0,25	0,33	0,36	0,32	0,28	0,19	0,14	0,07

Примечание: При расположении противстоящего здания торцом значения R умножаются на 1,5 (см. рис. 40).

Таблица 10. Значения  $r_0$  [6].

Отношение глубины помещения $V$ к высоте от уровня условной рабочей поверхности до верха окна $h_1$ ( $V/h_1$ )	Отношение расстояния $l_1$ расчётной точки от внутренней поверхности наружной стены к глубине помещения $V$ ( $l_1/V$ )	Значения $r_0$ при боковом освещении								
		Средневзвешенный коэффициент отражения пола, стен, потолка $\rho_{ср}$								
		0,5			0,4			0,3		
		Отношение длины помещения $l_1$ к его глубине $V$ ( $l_1/V$ )								
		0,5	1,0	2,0 и более	0,5	1,0	2,0 и более	0,5	1,0	2,0 и более
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
От 1 до 1,5	0,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,0	1,05	1,0	1,0
	0,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,2	1,1	1,1
	1,0	2,1	1,9	1,5	1,8	1,6	1,3	1,4	1,3	1,2
Более 1,5 до 2,5	0,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,0	1,0
	0,3	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05
	0,5	1,85	1,6	1,3	1,5	1,35	1,2	1,3	1,2	1,1
	0,7	2,25	2,0	1,7	1,7	1,6	1,3	1,55	1,35	1,2
	1,0	3,8	3,3	2,4	2,8	2,4	1,8	2,0	1,8	1,5
Более 2,5 до 3,5	0,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,2	1,15	1,1	1,05	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1,05
	0,3	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05
	0,4	1,35	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1
	0,5	1,6	1,45	1,3	1,35	1,25	1,2	1,25	1,15	1,1
	0,6	2,0	1,75	1,45	1,6	1,45	1,3	1,4	1,3	1,2
	0,7	2,6	2,2	1,7	1,9	1,7	1,4	1,6	1,5	1,3
	0,8	3,6	3,1	2,4	2,4	2,2	1,55	1,9	1,7	1,4
	0,9	5,3	4,2	3,0	2,9	2,45	1,9	2,2	1,85	1,5
	1,0	7,2	5,4	4,3	3,6	3,1	2,4	2,6	2,2	1,7
Более 3,5	0,1	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1,0
	0,2	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,05	1,05
	0,3	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,25	1,2	1,1
	0,4	2,4	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,4	1,3	1,2
	0,5	3,4	2,9	2,5	2,0	1,8	1,5	1,7	1,5	1,3
	0,6	4,6	3,8	3,1	2,4	2,1	1,8	2,0	1,8	1,5
	0,7	6,0	4,7	3,7	2,9	2,6	2,1	2,3	2,0	1,7
	0,8	7,4	5,8	4,7	3,4	2,9	2,4	2,6	2,3	1,9
	0,9	9,0	7,1	5,6	4,3	3,6	3,0	3,0	2,6	2,1
	1,0	10,0	7,3	5,7	5,0	4,1	3,5	3,5	3,0	2,5

Таблица 11. Значения  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  и  $\tau_4$  [4].

Значения $\tau_1$		Значения $\tau_2$		Значения $\tau_3$		Значения $\tau_4$	
Вид светопропускающего материала	$\tau_1$	Вид переплета	$\tau_2$	Несущие конструкции покрытий	$\tau_3$	Солнцезащитные устройства, изделия и материалы	$\tau_4$
Стекло оконное листовое:		Переплеты для окон и фонарей промышленных зданий: а) деревянные: одинарные спаренные двойные раздельные б) стальные: одинарные открывающиеся одинарные глухие двойные открывающиеся двойные глухие Переплеты для окон жилых, общественных и вспомогательных зданий: а) деревянные: одинарные спаренные двойные раздельные с тройным остеклением б) металлические одинарные спаренные двойные раздельные с тройным остеклением Стекложелезобетонные панели с пустотелыми стеклянными		Стальные фермы Железобетонные и деревянные фермы и арки Балки и рамы сплошные при высоте сечения: 50 см и более менее 50 см		Убирающиеся регулируемые жалюзи и шторы (межстекольные, внутренние, наружные) Стационарные жалюзи и экраны с защитным углом не более 45° при расположении пластин жалюзи или экранов под углом 90° к плоскости окна:  горизонтальные и вертикальные Горизонтальные козырьки: с защитным углом не более 30° с защитным углом от 15 до 45° (многоступенчатые)	1
одинарное	0,9				0,9		
двойное	0,8		0,75		0,8		
тройное	0,75		0,7		0,8		
Стекло витринное толщиной 6-8 мм	0,8		0,6		0,8		
Стекло листовое армированное	0,6		0,75		0,8		
Стекло листовое узорчатое	0,65		0,9		0,9		
Стекло листовое со специальными свойствами:	0,65		0,6		0,8		
солнцезащитное контрастное	0,75		0,8		0,9		
Органическое стекло:	0,9		0,8		0,9		
прозрачное	0,6	0,75	0,8				
молочное		0,65	0,8				
Пустотелые стеклянные блоки:	0,5	0,5	0,9-0,6				
светорассеивающие	0,55	0,9	0,9				
	0,8	0,85	0,8				
светопрозрачные		0,7					
Стеклопакеты				Балконы глубиной: До 1,2 м 1,5 м 2,0 м 3,0 м	0,90 0,85 0,78 0,62		

		блоками при толщине шва: 20 мм и менее Более 20 мм	0,9 0,85			Лоджии глубиной: До 1,2 м 1,5 м 2,0 м 3,0 м	0,80 0,70 0,55 0,22
--	--	---	-------------	--	--	--	------------------------------

Примечание:

1. Значения коэффициентов  $\tau_1$  и  $\tau_2$  для профильного стекла и конструкций из него следует принимать в соответствии с Указаниями по проектированию, монтажу и эксплуатации из профильного стекла.

2. Значения коэффициента  $\tau_s$ , учитывающее потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями, принимается равным 0,9.

Таблица 12. Значение коэффициентов запаса  $K_z$  [5].

Помещения	Примеры помещений	Естественное освещение			
		Коэффициент запаса $K_z$			
		Уклон наклона светопропускающего материала к горизонту, градусы			
		0-15	16-45	46-75	76-90
1	2	3	4	5	6
<b>1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне:</b> а) свыше 5 мг/м <sup>3</sup> пыли, дыма, копоти б) от 1 до 5 мг/м <sup>3</sup> пыли, дыма, копоти в) менее 1 мг/м <sup>3</sup> пыли, дыма, копоти г) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы кислот, щелочей, а так же обладающих большой корродирующей способностью	Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов.	2,0	1,8	1,7	1,5
	Цехи кузнечные, литейные, мареновские, сборного железобетона	1,8	1,6	1,5	1,4
	Цехи инструментальные, сборочные, механические, механосборочные, пошивочные.	1,6	1,5	1,4	1,3
	Цехи химических заводов по выработке кислот, щелочей, редких химических реактивов, ядохимикатов, удобрений, цехи гальванических покрытий и различных отраслей промышленности с применением электролиза	2,0	1,8	1,7	1,5

<b>2. Помещения общественных и жилых зданий:</b> а) пыльные, жаркие и сырые  б) с нормальными условиями среды	Горячие цехи, предприятия общественного питания, охлаждаемые камеры, помещения для приготовления растворов в прачечных, душевые и т.д.	2,0	1,8	1,7	1,6
	Кабинеты и рабочие помещения, жилые комнаты, учебные помещения, лаборатории, читальные залы, залы совещаний, торговые залы и т.д.	1,5	1,4	1,3	1,2

Примечание:

Значения коэффициента запаса, указанные в гр. 3-6, следует умножать: на 1,1 при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армопленки и матированного стекла, а также при использовании световых проёмов для аэрации; на 0,9 при применении органического стекла.

Таблица 13. Расчетные параметры КЕО в помещении с боковым естественным освещением.

Ситуация	№ расчетной точки	Прямой свет неба, проходящий в расчетную точку							Свет, отраженный фасадом противостоящего здания					Влияние остекления окна	Внутренний свет, отраженный от стен, потолка, пола					E <sub>норм</sub>	e <sup>б</sup> <sub>p</sub>			
		n <sub>1</sub>	N <sub>c</sub>	n <sub>2</sub>	ε <sub>6</sub>	θ	q	ε <sub>6</sub> q	n' <sub>1</sub>	n' <sub>2</sub>	ε <sub>н</sub>	z <sub>1</sub>	z <sub>2</sub>		R	ε <sub>ст</sub> ·R	τ <sub>0</sub> /K <sub>3</sub>	W/h <sub>1</sub>	l <sub>п</sub> /B			l <sub>п</sub> /B	l <sub>п</sub> /B	ρ <sub>ст</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Без затенения																								
Затенения																								
Учетом затенения																								
1																								
2																								
3																								

Расчетные параметры помещения и ситуации									
ситуация		помещение							
H	l <sub>зд</sub>	ρ	φ	a	h <sub>1</sub>	l	B	l <sub>п</sub>	l <sub>т</sub>

В окнах предусмотрено:

- остекление.....τ<sub>1</sub>=..... (8)

- переплеты.....τ<sub>2</sub>=.....

- СЗУ.....τ<sub>4</sub>=..... (4)

- защитные решетки, сетки (атмосферные) τ<sub>5</sub>=..... КЕО без учета затенения зданиями:

Общий коэффициент светопропускания окон: e<sup>б</sup><sub>p</sub> = ε<sub>6</sub>·q·τ<sub>0</sub>·τ<sub>0</sub>/K<sub>3</sub> = ...

τ<sub>0</sub> = τ<sub>1</sub>·τ<sub>2</sub>·τ<sub>4</sub>·τ<sub>5</sub> = ... (7) K<sub>3</sub> = ...

Индекс противостоящего здания в плане (а) и в разрезе (б):

а) Z<sub>1</sub>-I<sub>зд</sub> · l / (P + l) · a = ... (9); б) Z<sub>2</sub>= H · l / (P + l) · h<sub>1</sub> = ... (10)

В помещениях выбраны следующие коэффициенты отражения

стен, потолка и пола: ρ<sub>ст</sub> = ... ρ<sub>пл</sub> = ... ρ<sub>пол</sub> = ...

Средневзвешенный коэффициент отражения:

$$\rho_{cp} = \frac{\rho_{ст} S_{ст} + \rho_{пл} S_{пл} + \rho_{пол} S_{пол}}{S_{ст} + S_{пл} + S_{пол}} = \dots$$

Расчетная формула КЕО для бокового освещения:

$$e^b_p = (\epsilon_6 q + \epsilon_{зд} \cdot R) \cdot \tau_0 \cdot \tau_0 / K_3 = \dots$$

## **Порядок выполнения работы**

1. На кальке (при ручном выполнении) или на компьютере в масштабе 1:100 (1:200) вычерчивается характерный разрез и план заданного помещения и противостоящего здания (рис. 39), исходя из параметров табл. 13. Возможен (при ручном выполнении) вариант работы на бумажных чертежах помещения, на которые накладываются графики I и II, отпечатанные на кальке. Характерный разрез – это поперечный разрез посередине помещения, плоскость которого перпендикулярна наружной стене и в который должны попадать расчетные точки.

2. На рабочей поверхности (РП) или условной рабочей поверхности (УРП) на поперечном разрезе I-I намечаются расчетные точки.

3. Осуществляется подсчет количества лучей  $n_1$  и  $n'_1$  на **поперечном разрезе** по графику I (каждый луч между радиальными линиями равен 1%):

А) Чертеж поперечного разреза накладывается на график I так, чтобы центр графика O совмещался с расчетной точкой 1 (затем 2 и 3), а след горизонтальной рабочей поверхности (или УРП) – с основанием графика I, т.е. с линией горизонта ЛГ(см. рис. 39);

Б) Подсчитывается количество лучей  $n_1$  (свет от неба) и  $n'_1$  (свет, отраженный фасадом в случае частичного или полного затенения окон противостоящим зданием), проходящих через световые проемы в расчетную точку(см. рис. 39). Результат записывается в графы 3 и 10 таблицы 13.

В) В графе 4 таблицы 13 фиксируется номер полуокружности  $N_c$  по графику I, которая проходит через точку  $C_0$  – центр светового проема.

4. Осуществляется подсчет количества лучей  $n_2$  и  $n'_2$  на **плане помещения** по графику II. При переходе от разреза I-I к плану:

А) График II накладывается на план помещения таким образом, чтобы его вертикальная ось совпадала со следом поперечного разреза I-I, а параллель N на графике II, номер которой соответствует номеру полуокружности  $N_c$  по графику I, проходила через точку  $C_0$  (рис. 39);

Б) Подсчитывается количество лучей  $n_2$  и  $n'_2$  по графику II, проходящих в расчетную точку через световые проемы на плане. При этом учитывается степень затенения окон противостоящими зданиями (рис. 40). Результат записывается в графы 5 и 11 таблицы 13.

Эти операции проводятся для каждой расчетной точки при открытом горизонте (рис. 34, 39) и затенении окна противостоящим зданием (рис. 35, 39).

**Внимание:** расчетные точки не проецируются с разреза на план непосредственно, а определяются на плане как расстояние (гипотенуза  $C_0M$  – рис. 32, 33) от расчетной точки до  $C_0$  на разрезе с помощью  $N_c$ .

5. Затем определяются **геометрические коэффициенты естественной освещенности** от неба  $\epsilon_6$  и от фасада  $\epsilon_{за}$  по формулам 5 и 6. Результаты записываются в таблицу 13 в графы 6 и 12.

6. С помощью транспортира определяем для каждой точки угол  $\theta$

(см. рис. 31 и 32) и заносим в таблицу 13, графа 7.

7. По таблице 8 определяем  $q$  – коэффициент, учитывающий **неравномерную яркость неба** от горизонта до зенита в пасмурный день (по МКО), и вносим в таблицу 13, графа 8.

8. Находим долю прямого света неба в каждой расчетной точке  $\varepsilon \cdot q$  и вносим в таблицу 13, графа 9.

9. В ситуации с затенением определяем индексы противостоящего здания  $Z_1$  и  $Z_2$  по формулам 9 и 10 (табл. 13) и по таблице 9 находим значения коэффициента  $R$  – **относительной яркости фасада** противостоящего здания с заданным (выбранным) коэффициентом отражения  $\rho_f$ , записываем в графы 13-15, табл. 13.

10. Находим долю света, отраженного в расчетную точку от фасада противостоящего здания:  $\varepsilon_{\text{зд}} \cdot R$ . Результат записывается в графу 16 табл. 13.

11. Рассчитываем соотношения геометрических параметров помещения  $V/h_1$ ,  $1/V$ ,  $I_n/V$  для определения доли внутреннего отраженного света в общем световом потоке, попадающем в расчетную точку (записываем в графы 15, 16, 17 табл. 13).

12. Рассчитываем средневзвешенный коэффициент отражения  $\rho_{\text{ср}}$  выбранных автором проекта материалов отделки стен, потолка и пола по формуле 8 (записываем в графу 21 табл. 13).

13. По таблице 10 определяем  $r_0$  – коэффициент, учитывающий **повышение КЕО за счет многократных отражений внутри помещения** (в графу 22 табл. 13).

14. Определяем потери света при прохождении его через окно, т.е. общий коэффициент светопропускания  $\tau_0$  (по формуле 7 и табл. 11) и влияние загрязнения стекла как  $\tau_0 / K_z$  (в графу 17 табл. 13). Коэффициент  $K_z$  определяем по табл. 12.

15. По формуле 4 рассчитывается коэффициент естественной освещенности (КЕО) **при боковом освещении** в каждой расчетной точке (для ситуаций без затенения и с учетом затенения противостоящим зданием).

16. Результаты вносятся в графу 23 для выбранных расчетных точек в таблицу 13. Расчетные значения КЕО  $e_p^6$  округлять до десятых долей процента.

17. По таблицам 3 - 6 находим регламентируемое нормами значение КЕО –  $e_{\text{норм}}$  для данного помещения при боковой системе освещения и заносим в таблицу 13, графа 24.

18. Полученное минимальное расчетное значение  $e_p^6$  сопоставляется с нормированным значением  $e_{\text{норм}}$ . Допускается отклонение расчетного минимального значения  $e_p^6$  от нормированного  $e_{\text{норм}}$  на  $\pm 10\%$ .

19. На поперечном разрезе помещения в прямоугольной системе координат в условном масштабе КЕО (%), не связанным с масштабом разреза, приняв линию РП (или УРП) за ось абсцисс, а вертикаль КЕО за ось ординат, отложить на ней расчетные значения КЕО (по табл. 13) в каждой точке для ситуаций **без затенения и с учетом затенения** и по ним построить две кривые распределения КЕО на рабочей поверхности в плоскости разреза

от бокового света  $e_p^6$ , затем в том же масштабе провести горизонтальную прямую нормированного значения КЕО  $e_{норм}$ . (рис. 41).

20. Делается вывод, удовлетворяет ли спроектированное естественное освещение заданного помещения требованиям норм при боковой системе освещения. В случае, если  $e_p^6$  меньше нормированного значения  $e_{норм}$ , предложить пути увеличения  $e_p^6$  изменением проектных параметров помещения и ситуации (более светлая отделка фасада затеняющего здания; увеличение площади остекления окон, более светлая отделка внутренних поверхностей помещения и т.п.).

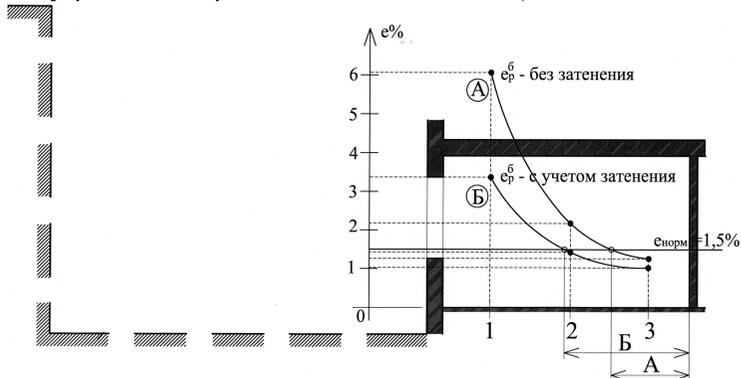


Рис. 41. Пример построения графиков КЕО при боковом свете по результатам расчета при отсутствии затенения (вариант А) и с учетом затенения (вариант Б) помещения противостоящим зданием:

А – расчетные значения  $e_p^6$  (из табл. 13) в т.1 - 6,0%, в т.2 - 2,2%, в т.3 - 1,3%;  
 Б – расчетные значения  $e_p^6$  в т.1 - 3,4%, в т.2 - 1,4%, в т.3 - 1,0%.

При  $e_{норм} = 1,5\%$  зона А и зона Б в помещении имеют недостаточное естественное освещение соответственно при отсутствии затенения и с учетом затенения окон противостоящим зданием (сооружением).

## Б. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ КЕО ПРИ ВЕРХНЕЙ СИСТЕМЕ ОСВЕЩЕНИЯ

Проверочный расчет КЕО в расчетных точках помещения при верхней системе освещения следует производить по формуле:

$$e_p^в = [\varepsilon_в + \varepsilon_{в.ср} (r_\phi \cdot K_\phi - 1)] \cdot \tau_o / K_з, \text{ где} \quad (11)$$

$\varepsilon_в$  – геометрический КЕО в расчетной точке при верхнем освещении, определяемый по графикам Данилюка II и III (рис. 35 и 34);

Геометрический коэффициент естественной освещенности в какой-либо точке помещения при верхнем освещении  $e_p^в$  определяется по формуле:

$$\varepsilon_в = 0,01(n_3 \cdot n_2), \text{ где} \quad (12)$$

$n_3$  - количество лучей по графику III, проходящих от неба в расчетную точку через верхние световые проемы на поперечном разрезе помещения (рис. 42);

$n_2$  - количество лучей по графику II, проходящих от неба в расчетную точку

через световые проемы на продольном разрезе помещения (рис. 43).

В случае нескольких световых проемов  $n_1$  и  $n_2$  определяются отдельно для каждого проема, а затем произведения  $n_1 \times n_2$  суммируются.

$\epsilon_{в.ср}$  - среднеарифметическое значение геометрического КЕО при верхнем освещении на линии пересечения условной рабочей поверхности и плоскости характерного вертикального разреза помещения, определяемое из соотношения:

$$\epsilon_{в.ср} = (\epsilon_{в1} + \epsilon_{в2} + \epsilon_{в3} + \dots + \epsilon_{вN})/N, \quad \text{где} \quad (13)$$

$\epsilon_{в1}, \epsilon_{в2}, \epsilon_{в3}, \epsilon_{вN}$  – геометрический КЕО при верхнем освещении в расчетных точках (на РП или УРП), определяемый по (12);

$r_{\phi}$ - коэффициент, учитывающий повышение КЕО при верхнем освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения, принимаемый по табл. 14;

$K_{\phi}$ - коэффициент, учитывающий тип фонаря, определяемый по табл. 15;

$\tau_0$  – общий коэффициент светопропускания светового проема, определяемый для верхнего света по табл. 11 и формуле 7:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5; \quad (7)$$

$K_3$  – коэффициент запаса, принимаемый по табл. 12;

$H_{\phi}$  – высота низа фонаря над УРП, м;

$N$  – количество расчетных точек.

Расчет коэффициента естественной освещенности (КЕО) при верхней системе сводится в таблицу 16. Для расчета выбирается 5 точек.

Среднее значение КЕО  $e_{ср}$  при верхнем или верхнем и боковом (комбинированном) освещении определяется по формуле:

$$e_{ср} = (e_1/2 + e_2 + e_3 + \dots + e_{N-1} + e_N/2)/(N-1), \quad \text{где} \quad (14)$$

$N$  – количество точек, в которых определяется КЕО;

$e_1, e_2, \dots, e_N$  – значения КЕО при верхнем или при комбинированном (верхнем и боковом) освещении в точках характерного разреза помещения, определяемые по формулам [11] и [4].

Таблица 14. Значения коэффициента  $r_{\phi}$  [4, 6].

Отношение высоты помещения, принимаемой от условной рабочей поверхности до нижней грани остекления $H_{\phi}$ , к ширине пролета $l_1$ (В)	Значения коэффициента $r_{\phi}$								
	Средневзвешенный коэффициент отражения потолка, стен, пола $\rho_{ср}$								
	$\rho_{ср}=0,5$			$\rho_{ср}=0,4$			$\rho_{ср}=0,3$		
	Количество 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
------	------	------	------	------	------	-----	------	-----	------

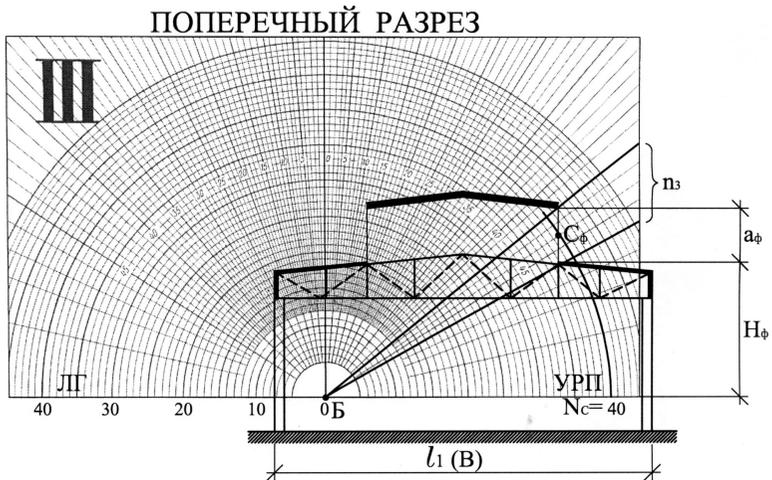


Рис. 42. Определение количества лучей  $n_3$ , проходящих в расчетную точку Б через световые проемы (фонари) на поперечном разрезе помещения при верхнем освещении по графику III.

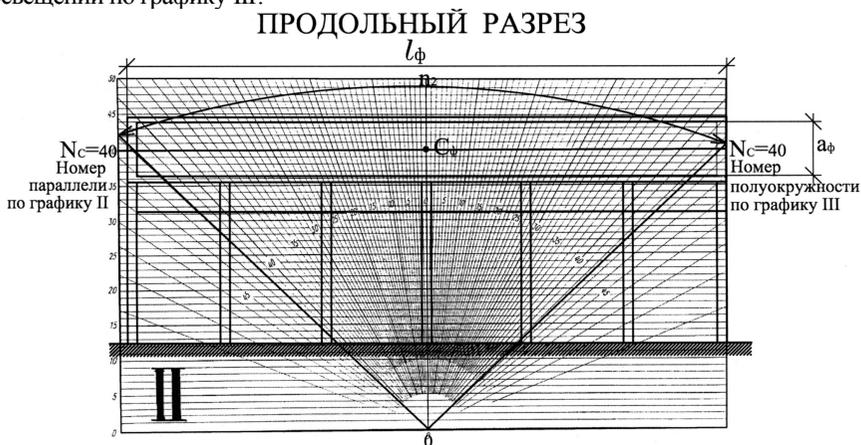


Рис. 43. Определение количества лучей  $n_2$ , проходящих через световые проемы (фонари) на продольном разрезе помещения при верхнем освещении, по графику II.

Таблица 15. Значения коэффициента  $K_\phi$  [4, 6].

Тип фонаря	Значения $K_\phi$
Световые проемы в плоскости покрытия, ленточные	1

Световые проемы в плоскости покрытия, штучные	1,1
Фонари с наклонным двусторонним остеклением (трапециевидные)	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



## Порядок выполнения работы

1. Осуществляется подсчет количества лучей  $n_3$  по графику III: чертёж **поперечного разреза** помещения накладывается на график III\* так, чтобы центр графика 0 совпал с расчетной точкой Б, а основание графика – со следом горизонтальной РП или УРП( с линией горизонта) (рис. 42).

2. Подсчитывается количество лучей  $n_3$ , проходящих от неба в расчетную точку Б через верхние световые проемы. Результат записывается в табл.16, графа 2.

3. Отмечается номер полуокружности  $N_c$  графика III, которая проходит через точку  $C_\phi$  – середину светового проема фонаря ( $N_c$  записать в графу 3 табл. 16).

4. **Продольный разрез** помещения накладывается на график II таким образом, чтобы вертикальная ось и параллель графика, номер которой N соответствует номеру полуокружности  $N_c$  по графику III, проходили через точку  $C_\phi$  (рис. 43).

5. Подсчитывается количество лучей  $n_2$  по графику II, проходящих от неба через верхние световые проемы на продольном разрезе. Результат записывается в табл. 16, графа 4.

6. Операция повторяется для каждой выбранной точки, затем в каждой определяется расчетный **геометрический КЕО** при верхнем освещении  $\epsilon_p^B$  по формуле 12.

7. Рассчитывается среднеарифметическое значение геометрического КЕО  $\epsilon_{cp}$  по формуле 13.

8. По таблице 14 и соотношению  $H_\phi/V$  находится  $r_\phi$  – коэффициент, учитывающий повышение КЕО за счет **отраженного света внутри помещения**.

9. По таблице 15 определяется значение  $K_\phi$ .

10. Определяется общий коэффициент светопропускания фонаря  $\tau_0$  по таблице 11 и формуле 7.

11. Находится коэффициент запаса по таблице 12.

12. Рассчитывается по формуле 11 коэффициент естественной освещенности (КЕО) при **верхнем свете**  $\epsilon_p^B$  в каждой точке.

13. Рассчитывается среднее значение КЕО  $\epsilon_{cp}^B$  при верхнем освещении:

$$\epsilon_{cp}^B = (0,5e_1 + e_2 + e_3 + \dots + e_{N-1} + 0,5e_N)/(N-1) \quad (14)$$

14. Результаты вносятся в соответствующие графы для каждой из расчетных точек в таблицу 16.

---

\* График или разрез – на кальке. При компьютерном выполнении эта проблема снимается.

15. По таблицам 3, 4, 6 находим регламентируемое нормами значение нормированного КЕО  $e_{\text{норм}}^B$  для данного помещения при верхней системе освещения и заносим в таблицу 16.

16. Полученное среднее расчетное значение  $e_{\text{ср}}^B$  сопоставляется с нормированным значением  $e_{\text{норм}}^B$  для верхнего света (табл. 3, 4, 6). Допускается отклонение расчетного среднего значения  $e_{\text{ср}}^B$  от нормированного  $e_{\text{норм}}^B$  на  $\pm 10\%$ .

17. Делается вывод, удовлетворяет ли спроектированное верхнее естественное освещение заданного помещения требованиям норм. В случае несоответствия  $e_p^B$  (в меньшую сторону) нормированному значению  $e_{\text{норм}}^B$  предложить пути увеличения  $e_p^B$ .

18. На **поперечном разрезе** помещения в принятом масштабе КЕО (%), приняв линию условной рабочей поверхности за ось абсцисс, а вертикаль, проведенную через каждую расчетную точку, за ось ординат, построить кривую распределения КЕО по помещению от верхнего света с указанием в виде горизонтальных прямых среднего значения  $e_{\text{ср}}^B$  и нормированного значения КЕО  $e_{\text{норм}}^B$  (рис. 20Б, 44).

## **В. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ КЕО ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ОСВЕЩЕНИЯ**

Расчет КЕО в расчетных точках помещения при комбинированной (верхней и боковой) системе освещения следует производить по формуле:

$$e_p^k = e_p^b + e_p^B \quad (15)$$

### **Порядок выполнения работы**

1. Для определения КЕО при комбинированном освещении полученные значения КЕО при боковой системе (табл.13) суммируются с КЕО при верхней системе (табл.16) для соответствующих расчетных точек. Полученные результаты вносятся в таблицу 17.

Таблица 17. Расчет КЕО при комбинированной системе естественного освещения.

№ расчетной точки	$e_p^k$	$e_{\text{ср}}^k$	$e_{\text{норм}}^k$
1			
2			
3			
4			
5			

2. Рассчитывается среднее значение КЕО  $e_{p,ср}^k$  при комбинированном освещении по данным таблицы 17 и по формуле 14 (принимая в каждой точке значение  $e_p^k$  вместо  $e_p^B$ ).

3. По таблицам 3, 4 или 6 находим нормативное значение КЕО  $e_{норм}^k$  для данного помещения при комбинированном освещении и заносим в таблицу 17.

4. Полученное среднее расчетное значение  $e_{p,ср}^k$  сопоставляется с нормированным значением  $e_{норм}^k$ . Допускается отклонение расчетного среднего значения  $e_{p,ср}^k$  от нормированного  $e_{норм}^k$  на  $\pm 10\%$ .

5. Делается вывод, удовлетворяет ли спроектированное комбинированное естественное освещение заданного помещения требованиям норм. В случае неудовлетворения нормированному значению  $e_{норм}^k$  предложить пути увеличения или уменьшения  $e_p^k$ .

6. На поперечном разрезе помещения в прямоугольной системе координат в выбранном масштабе КЕО (%), приняв линию условной рабочей поверхности за ось абсцисс, а вертикаль, проведенную через каждую расчетную точку, за ось ординат, построить кривые распределения КЕО по помещению от бокового и верхнего света, затем суммарную кривую КЕО и по ней провести горизонтальные прямые среднего  $e_{p,ср}^k$  и нормированного значения КЕО  $e_{норм}^k$ . (рис. 4, 20, 44).

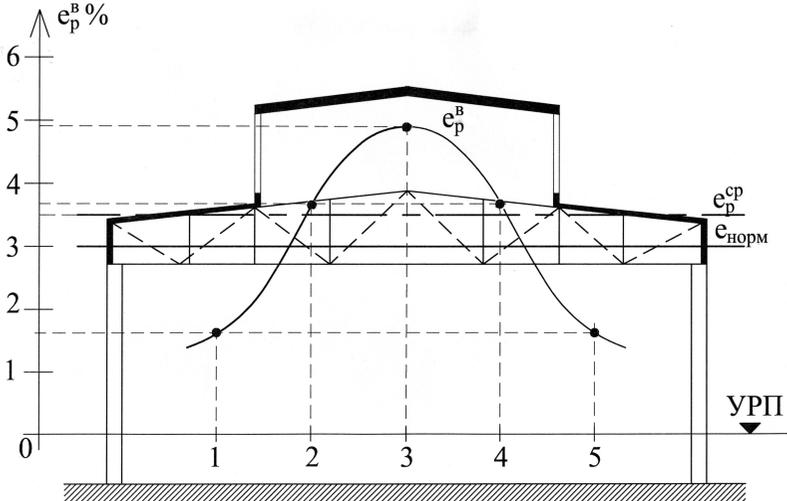


Рис. 44. Пример построения графика КЕО по результатам расчета верхнего естественного освещения (из табл. 16), если в тт. 1 и 5  $e_p^B = 1,6\%$ , в тт. 2 и 4  $e_p^B = 3,7\%$ , в т. 3  $e_p^B = 4,9\%$ ; тогда  $e_{p,ср}^B = (0,8+3,7+4,9+3,7+0,8) \approx 3,5\%$ .

При  $e_{норм}^B = 3\%$  естественное освещение цеха отвечает требованиям норм ( $e_{p,ср}^B > e_{норм}^B$ ).

## VI. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое “естественное освещение” помещений: каким светом имеется в виду они освещаются – солнцем? небом? суммарно солнцем и небом?
2. Как называется освещение в помещении, куда проникает дневной свет и одновременно используется искусственный?
3. Чем “естественное освещение” отличается от “инсоляции”?
4. Назвать основные составляющие естественной освещенности в помещении.
5. Как нормируется естественное освещение помещений?
6. Что такое “коэффициент естественной освещенности” (КЕО) и почему он принят за нормируемый критерий?
7. От каких факторов зависит выбираемая величина нормируемого КЕО в помещении?
8. Чем отличается расчетный КЕО  $e_6$  от геометрического КЕО  $\epsilon_6$  и геометрического КЕО  $\epsilon_{\text{н}}$  при боковом освещении помещения?
9. Как учитывается неравномерная яркость небосвода (по МКО) при расчете естественного освещения в помещениях с боковой и верхней системой (фонарями)?
10. Как в расчетах естественного освещения помещения учитывается влияние градостроительной ситуации?
11. Как влияют предусмотренные архитектором габаритные и отделочные характеристики помещения на освещенность и распределение естественного света в нем? Какими показателями они учитываются при расчете КЕО?
12. Как принятая в проекте система естественного освещения влияет на выбор величины и расчет КЕО?
13. Какие параметры помещения в силах изменить автор-архитектор в проекте здания, если по выполненному расчету КЕО оказывается ниже нормативного?
14. Какой закон светотехники лежит в основе построения графиков А.М. Данилюка?
15. Перечислить, какие факторы реальной ситуации влияют на естественное освещение помещения и как они учитываются в расчете.

## VII. ЛИТЕРАТУРА

1. Справочная книга по светотехнике (3-е издание, переработанное и дополненное). Под общей редакцией Айзенберга Ю.Б. М., “Знак”, 2006.
2. Архитектурная физика. Учебник для вузов. Под общей редакцией Оболенского Н.В. М., «Архитектура-С», 2007.
3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий». М., 2003.
4. СП 23-102-2003 Свод правил по проектированию и строительству. «Естественное освещение жилых и общественных зданий». М., 2005.
5. СП 52.13330.2011. Свод правил «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*. М., 2011.

6. СНиП II-4-79 «Строительные нормы и правила. Естественное и искусственное освещение». М., 1980 (на практике отменен).

Учебное издание

Инна Валентиновна Мигалина, доц.  
Николай Иванович Щепетков, д. арх., проф.

## **Расчет и проектирование естественного освещения помещений**

Учебное пособие

Под редакцией Н.И.Щепеткова

Издание подготовлено на кафедре  
«Архитектурная физика»  
(протокол заседания кафедры №8 от 19.02.13)

Подписано в печать 12.05.13  
Формат 60x90/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура Times New Roman  
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 3,0  
Тираж 100 экз.

ФГБОУ ВПО «Московский архитектурный институт  
(государственная академия)»  
107031, Москва, ул. Рождественка, д.11/4, к.1, стр.4,  
Тел.: (495) 625-50-82, (495) 624-79-90.  
e-mail: [office@markhi.ru](mailto:office@markhi.ru)  
URL: <http://www.marhi.ru>

Кафедра АФ – тел. (495) 625-18-61