

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И СПОРТА  
УКРАИНЫ  
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИИ  
по курсу «Основы охраны труда»  
Тема: Производственное освещение

Донецк – 2012

УДК 331.45

Конспект лекции по курсу «Основы охраны труда». Тема: Производственное освещение (для студентов всех специальностей) / Сост. Бутев В.С. – Донецк, ДонНТУ, 2012. – 29 с.

Изложен теоретический материал и даны методические рекомендации по его практическому применению при изучении темы «Производственное освещение» курсов «Основы охраны труда» и «Охрана труда в отрасли», при выполнении технических расчетов осветительных установок промышленных предприятий, социально-культурных учреждений и бытовых объектов.

Составитель: В.С. Бутев, доцент, кандидат технических наук.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

90% всей информации человек получает через органы зрения, и именно поэтому рациональное освещение является одним из важнейших факторов повышения безопасности и увеличения производительности труда.

Особое значение имеет рациональное электрическое освещение для горных предприятий и, в частности, для подземных выработок шахт и рудников, где естественное освещение вообще отсутствует. Исследования эффективности электрического освещения на ряде угольных шахт показали, что применение в очистных забоях рационального электрического освещения повышает производительность труда на 15-25%. Помимо этого улучшаются санитарно-гигиенические условия труда, облегчается уход за оборудованием, способствующий бесперебойной их работе, улучшается наблюдение за движущимися частями машин и механизмов, что способствует предупреждению травматизма.

Качественное производственное освещение способствует уменьшению утомляемости органов зрения, которое зависит от таких процессов, как: **адаптация** – приспособление глаз к изменениям уровней освещённости; **аккомодация** – приспособление глаз к ясному видению предметов, находящихся от него на различных расстояниях; **конвергенция** – способность глаз при рассмотрении близких предметов принимать положение, при котором их зрительные оси пересекаются на предмете.

Освещённость влияет не только на функции органов зрения, но и на деятельность организма в целом, а плохое освещение может привести к таким профессиональным заболеваниям как близорукость, спазм аккомодации и т.п.

## 2. ЛУЧИСТАЯ ЭНЕРГИЯ И ВИДИМЫЙ СВЕТ

Видимый свет есть та весьма малая часть всей лучистой энергии, излучаемой светящимся телом, которая воспринимается зрительным органом человека. Как известно, каждый вид излучения характеризуется определённой длиной волны или частотой электромагнитных колебаний. На рис.1 [1] схематически показан спектр лучистой энергии, из которого видно, что только незначительная часть этого спектра воспринимается нашим глазом как свет. Этот участок спектра, называемый областью видимых излучений или видимого спектра, охватывает излучения с длиной волны от  $\lambda = 380$  нм (фиолетовый конец видимого спектра) до  $\lambda = 770$  нм (красный конец видимого спектра), между которыми расположены все промежуточные цвета: синий, голубой, зелёный, жёлтый, оранжевый (число всех цветов спектра неопределенно велико).

Наш глаз наиболее восприимчив к жёлто-зелёным излучениям с длиной волны  $\lambda = 550$  нм, находящимся в средней части видимого спектра. По мере приближения к обеим границам спектра чувствительность глаза резко падает.

Частота, Гц

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

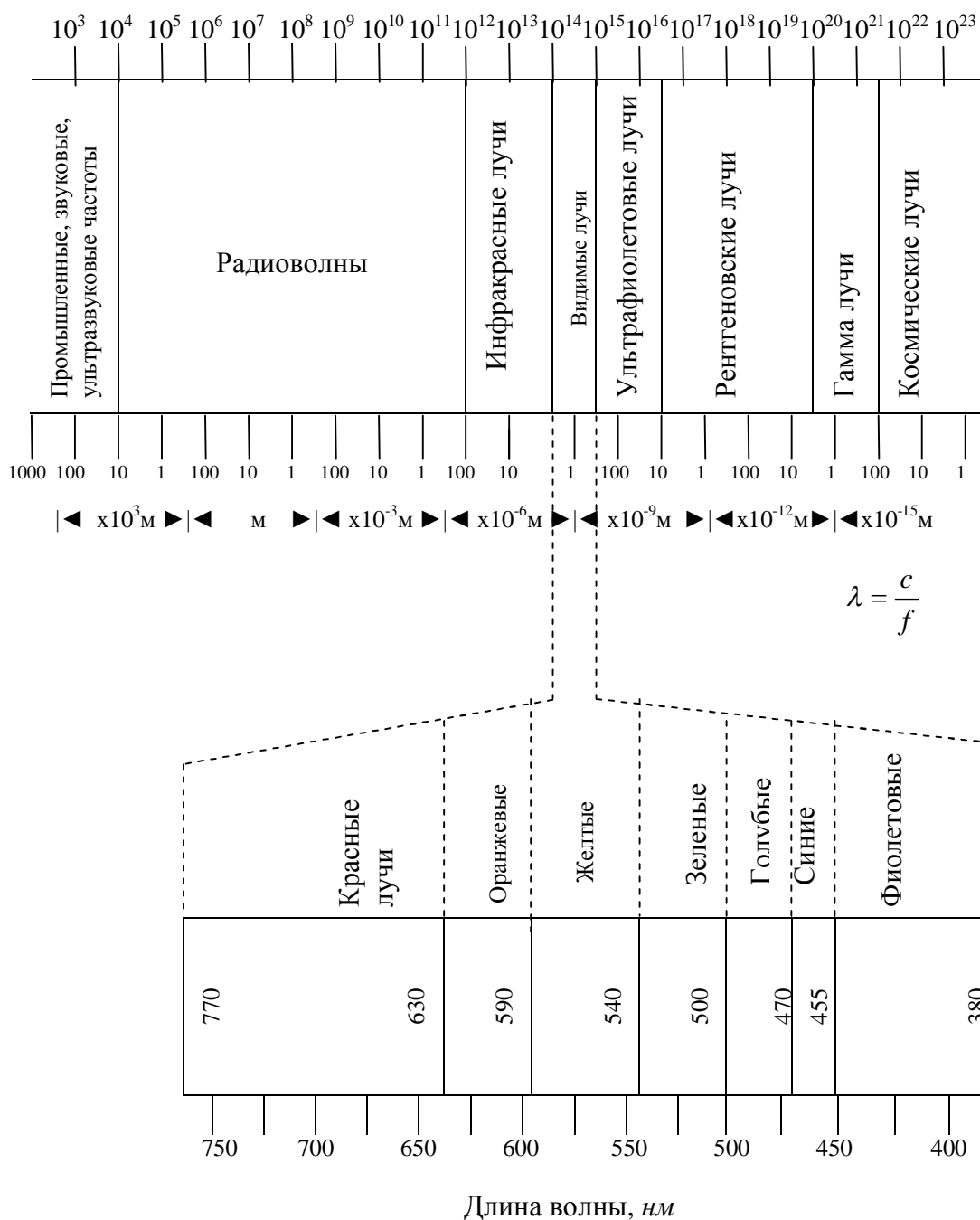


Рис.1. Спектр электромагнитных излучений

На рис.2 показана кривая чувствительности нормального глаза в условиях дневного освещения к световым излучениям с различными длинами волны (кривая относительной видимости), которая принята Международной осветительной комиссией (МОК) за основу для выбора световых величин и единиц [2].

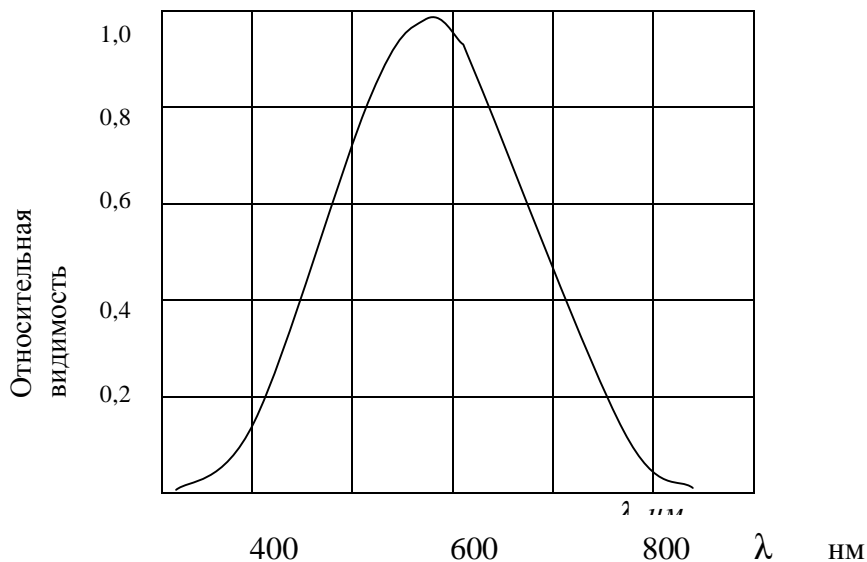


Рис. 2. Кривая относительной видимости

### 3. ОСНОВНЫЕ СВОТТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Учитывая, что видимый свет представляет собой электромагнитное излучение, а величина энергии, излучаемой телом в единицу времени, есть ни что иное, как мощность излучения, то энергия, переносимая электромагнитной волной через единицу площади в единицу времени, называется потоком лучистой энергии.

**Световым потоком ( $F$ )** называется поток, т.е. такое количество лучистой энергии, проходящее через какую-либо площадь в единицу времени, которое оценивается человеческим глазом по зрительному ощущению.

За единицу светового потока принят **люмен (лм)**. 1 лм – это световой поток, излучаемый абсолютно чёрным телом с поверхности  $S = 0,5305 \text{ мм}^2$  при температуре затвердевания платины  $T=2042 \text{ К}$ .

**Силой света ( $I$ )** называется пространственная плотность светового потока, равная отношению светового потока  $F$  к величине телесного угла  $\omega$ , в пределах которого световой поток распространяется равномерно, т.е.

$$I = \frac{F}{\omega}. \quad (1)$$

Телесный угол  $\omega$  измеряется в стерadianах (ср). 1 ср – это пространственный угол, вершина которого совпадает с центром сферы и опирается на поверхность сферы, площадь которой равна квадрату её радиуса  $R$ .

Единицей силы света является кандела (кд).

1 кд соответствует световому потоку  $F = 1 \text{ лм}$  в пределах телесного угла  $\omega = 1 \text{ ср}$ .

В случае точечного источника света наибольший телесный угол, т.е. полный телесный угол сферы, внутри которого световой поток распространяется равномерно:

$$\omega = \frac{S}{R^2} = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi, \quad (2)$$

откуда сила света такого точечного источника света, излучающего световой поток равномерно во всех направлениях:

$$I = \frac{F}{\omega} = \frac{F}{4\pi}, \quad (3)$$

или:

$$F = 4\pi I = 12,56I. \quad (4)$$

Реальные источники света, как правило, не являются точечными. Кроме того, осветительная арматура, устанавливаемая на источнике света, перераспределяет световой поток в пространстве, и сила света для данного светильника во всех направлениях становится различной. Поэтому для конкретных типов светильников в полярной системе координат для условного источника (лампы) со световым потоком  $F = 1000$  лм строятся кривые светораспределения:

$$I = f(\alpha),$$

где  $\alpha$  – угол между осью симметрии светильника и направлением луча света.

Кривая светораспределения может быть представлена в виде графика (рис.3) или таблицы. Эта кривая образуется концами радиус-векторов, длина каждого из которых численно равна силе света в данном направлении, а начало расположено в световом центре источника света. Для симметричных источников света обычно строится лишь одна половина кривой силы света.

В практических расчетах полученную из графика светораспределения силу света необходимо умножить на отношение светового потока действительной лампы к световому потоку условной лампы, равному 1000 лм.

Сила света лампы является условной величиной, так как она неодинакова в различных направлениях; поэтому под силой света лампы понимают среднюю сферическую силу света, т.е. силу света воображаемого источника света, световой поток которого, равный световому потоку действительной лампы, распределяется равномерно во всех направлениях.

Поэтому за номинальную силу света реальной лампы принимают среднюю сферическую силу света при номинальном питающем напряжении.

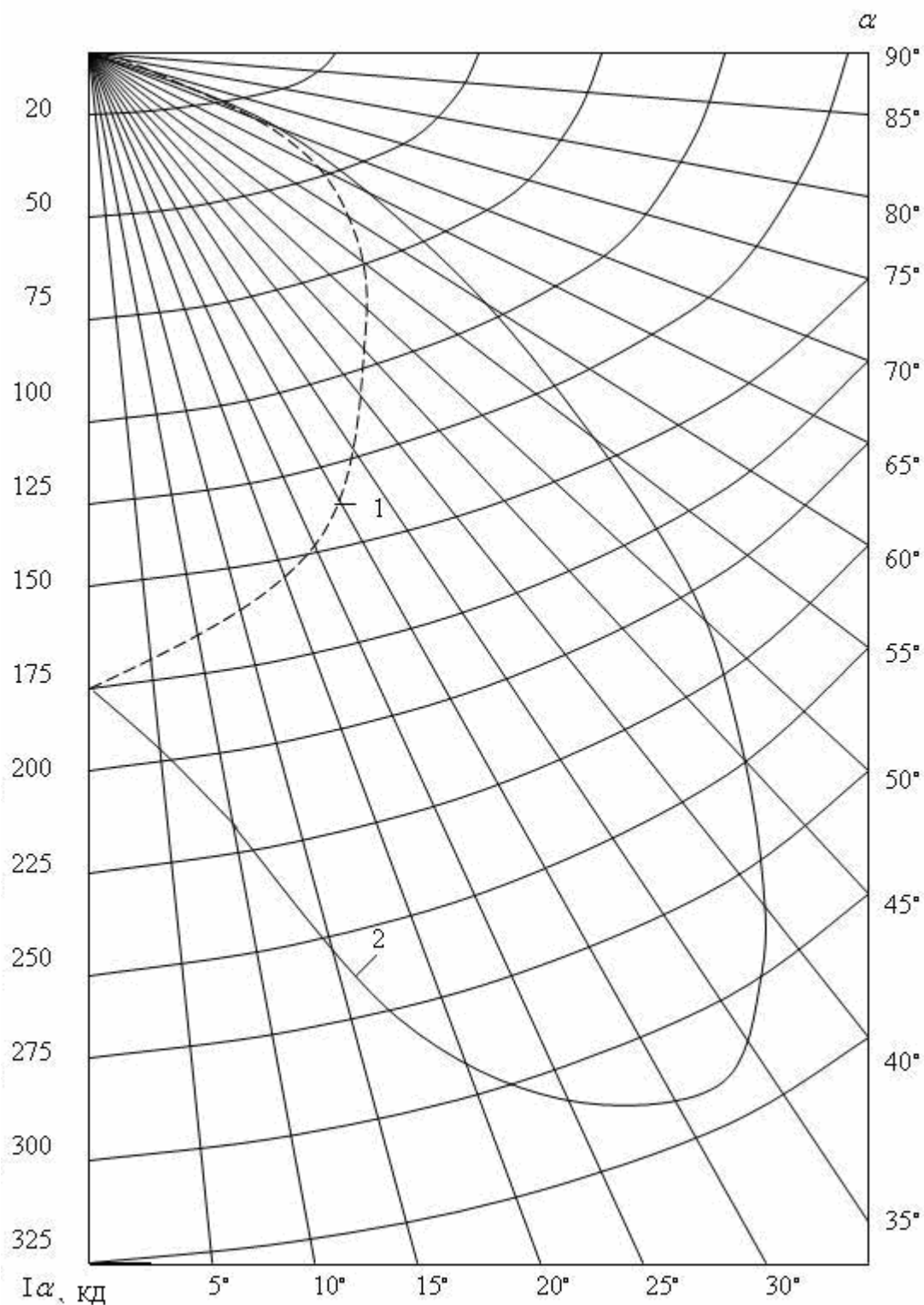


Рис. 3. Кривая распределения силы света светильника ЛО:  
 1 – в продольной плоскости;  
 2 – в поперечной плоскости.

**Освещенность ( $E$ )** - поверхностная плотность светового потока, равная отношению светового потока к величине освещаемой поверхности, по которой он равномерно распределён:

$$E = \frac{F}{S}. \quad (5)$$

Единицей освещённости является люкс (лк), который определяется как поверхностная плотность светового потока в 1 лм, равномерно распределенного на площади 1 кв.м.

Если в центре воображаемого шара с радиусом  $R$  поместить точечный источник света, излучающий световой поток  $F$ , то освещённость в каждой точке поверхности шара будет определяться:

$$E = \frac{F}{S} = \frac{F}{4\pi R^2} = \frac{I}{R^2}, \quad (6)$$

т.е. освещённость поверхности изменяется прямо пропорционально силе света и обратно пропорционально квадрату расстояния освещаемой поверхности от источника света.

Освещённость поверхности, наклонной к световому потоку, кроме того, ещё прямо пропорциональна косинусу угла её наклона:

$$E = \frac{I \cos \alpha}{R^2}. \quad (7)$$

**Яркостью ( $B$ )** называется отношение силы света к видимой в данном направлении площади светящейся поверхности:

$$B = \frac{I}{S \cos \alpha}. \quad (8)$$

Единицей яркости является нит (нт). 1 нт – (внесистемная единица), соответствует яркости равномерно светящейся плоской поверхности в  $1 \text{ м}^2$ , испускающей в перпендикулярном к ней направлении свет силой в 1 кд ( $1 \text{ нт} = 1 \text{ кд} / \text{м}^2$ ). Наш глаз выносит без особого напряжения яркость порядка  $10^4$  нт, и поэтому яркие источники света приходится помещать в полупрозрачные, молочные или матовые колпаки, либо - в специальную арматуру.

#### 4. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

Различные материалы обладают определенными светотехническими свойствами, характеристикой которых служат коэффициенты, определяющие способность пропускать, поглощать или отражать световой поток. Если на поверхность падает световой поток  $F$ , то в зависимости от свойств материала поверхности этот поток разделяется на составляющие:

$$F_{\tau} = \tau \cdot F - \text{пропущенный поток}; \quad (9)$$

$$F_{\alpha} = \alpha \cdot F - \text{поглощённый поток}; \quad (10)$$

$$F_{\rho} = \rho \cdot F - \text{отражённый поток}. \quad (11)$$



Из этих равенств следует, что коэффициент отражения:  $\rho = \frac{F_{\rho}}{F}$ ; (12)

коэффициент пропускания:  $\tau = \frac{F_{\tau}}{F}$ ; (13)

коэффициент поглощения:  $\alpha = \frac{F_{\alpha}}{F}$ . (14)

Суммарный световой поток:

$$F = F\rho + F\tau + F\alpha = F(\rho + \tau + \alpha), \quad (15)$$

откуда:  $\rho + \tau + \alpha = 1$ . (16)

Таблица 1.

Значения коэффициентов отражения ( $\rho$ ) и пропускания ( $\tau$ ) некоторых материалов [3]

Наименование материала	$\rho$ , %	$\tau$ , %
Стекло: листовое оконное	6-8	87-91
молочное	до 50	от 35
матированное	8-20	60-90
Бумага: писчая	60-70	21
ватманская	67-82	
Обои: светлые	до 50	
тёмные	от 6	
Трава	7	
Асфальт	32	
Побеленные стены и потолки	40-65	
Штукатурка без побелки	20-30	
Линолеум: светлый	16	
тёмный	10	

Освещение характеризуется количественными и качественными показателями. К количественным показателям относятся: световой поток  $F$ , сила света  $I$ , освещённость  $E$ , яркость  $B$ .

Для качественной оценки условий зрительной работы используют такие показатели как фон, контраст объекта с фоном, спектральный состав света, коэффициент пульсаций освещённости и некоторые другие.

**Фон**- это поверхность (окружающая среда), на которой находится рассматриваемый объект. При этом контраст  $K$  определяется отношением разности яркостей объекта и фона к яркости фона:

$$K = \frac{B_o - B_{\phi}}{B_{\phi}}, \quad (17)$$

$B_o$  - яркость объекта;

$B_{\phi}$  – яркость фона.

Контраст считается большим при  $K > 0,5$ , средним при  $K = 0,2-0,5$  и малым при  $K < 0,2$ .

## 5. СИСТЕМЫ И ВИДЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

При освещении производственных помещений используют: **естественное** освещение, создаваемое прямыми солнечными лучами, рассеянным светом небосвода, которое изменяется в зависимости от географической широты, времени года и суток, степени облачности и прозрачности атмосферы; **искусственное** освещение, создаваемое электрическими источниками света, и **совмещенное** освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняют искусственным. Конструктивно естественное освещение подразделяют на **боковое** (одно- и двухстороннее), осуществляемое через световые проемы окна в наружных стенах; **верхнее** - через аэрационные и зенитные фонари, проемы в кровле и перекрытиях; **комбинированное** - сочетание верхнего и бокового освещения.

Искусственное освещение по конструктивному исполнению может быть двух видов - **общее и комбинированное**. Систему **общего** освещения применяют в помещениях, где по всей площади выполняются однотипные работы (литейные, сварочные, гальванические цехи), а также в административных, конторских и складских помещениях. Различают **общее равномерное** освещение (световой поток распределяется равномерно по всей площади без учета расположения рабочих мест) и **общее локализованное** освещение (с учетом расположения рабочих мест). При выполнении точных зрительных работ (например, слесарных, токарных, контрольных) в местах, где оборудование создает глубокие, резкие тени или рабочие поверхности расположены вертикально (штампы, гильотинные ножницы), наряду с общим освещением применяют **местное**. Совокупность **местного и общего** освещения называют **комбинированным** освещением. Применение одного местного освещения внутри производственных помещений не допускается, поскольку образуются резкие тени, зрение быстро утомляется и создается опасность производственного травматизма. По функциональному назначению искусственное освещение подразделяют на рабочее, аварийное и специальное, которое может быть охранным, дежурным, эвакуационным, бактерицидным и др.

**Рабочее освещение** предназначено для обеспечения нормального выполнения производственного процесса, прохода людей, движения транспорта и является обязательным для всех производственных помещений.

**Аварийное освещение** устраивают для продолжения работы в тех

случаях, когда внезапное отключение рабочего освещения (при авариях) и связанное с этим нарушение нормального обслуживания оборудования могут вызвать взрыв, пожар, отравление людей, нарушение технологического процесса и т.д. Минимальная освещенность рабочих поверхностей при аварийном освещении должна составлять 5% нормируемой освещенности рабочего освещения, но не менее 2 лк. Обычно аварийное освещение имеет свой автономный источник питания (например, аккумуляторную батарею).

**Эвакуационное освещение** предназначено для обеспечения эвакуации людей из производственного помещения при авариях и отключении рабочего освещения; организуется в местах, опасных для прохода людей: на лестничных клетках, вдоль основных проходов производственных помещений, в которых работают более 50 чел. Минимальная освещенность на полу основных проходов и на ступеньках при эвакуационном освещении должна быть не менее 0,5 лк, на открытых территориях - не менее 0,2 лк.

**Охранное освещение** устраивают вдоль границ территорий, охраняемых специальным персоналом. Наименьшая освещенность в ночное время - 0,5 лк.

**Сигнальное освещение** применяют для фиксации границ опасных зон; оно указывает на наличие опасности, либо на безопасный путь эвакуации.

Условно к производственному освещению относят бактерицидное и эритемное облучение помещений.

**Бактерицидное** облучение ("освещение") создается для обеззараживания воздуха, питьевой воды, продуктов питания. Наибольшей бактерицидной способностью обладают ультрафиолетовые лучи с  $\lambda = 254...257$  нм.

**Эритемное** облучение создается в производственных помещениях, где недостаточно солнечного света (северные районы, подземные сооружения). Максимальное эритемное воздействие оказывают электромагнитные лучи с длиной волны  $\lambda = 297$  нм. Они стимулируют обмен веществ, кровообращение, дыхание и другие функции организма человека.

С физической точки зрения **источником** света может быть названа любая материальная система, излучающая электромагнитную энергию в оптической области спектра. В технике источниками света называют приборы, служащие для преобразования какого-либо вида энергии в энергию оптического излучения.

## 6. ИСТОЧНИКИ ОСВЕЩЕНИЯ

Применяемые в настоящее время источники света в зависимости от физических явлений, лежащих в основе их действия, делятся на две основные группы: лампы накаливания и люминесцентные.

**Лампы накаливания.** Действие электрических ламп накаливания основано на тепловом излучении твердых тел, нагреваемых током до яркого свечения. Источником светового потока в современных лампах накаливания является вольфрамовая нить. До 60 Вт эти лампы - вакуумные, до 1000 Вт - газонаполненные (аргоном, азотом или криптоново-ксеноновой смесью). Для повышения показателей эффективности и концентрации источника нагрева в небольшом объеме лампы мощностью свыше 40 Вт изготавливаются

биспиральными [4].

Из 100% энергии, потребляемой лампой накаливания, на световое излучение расходуется только 10%, остальная часть энергии расходуется на тепловые потери (22%) и невидимые излучения (68%). Но не все световое излучение воспринимается одинаково нашим глазом. Поэтому световой КПД лампы накаливания оказывается весьма малым – он колеблется от 1 до 4%.

Экономичность лампы характеризуется её световой отдачей, т.е. отношением излучаемого светового потока к потребляемой мощности (лм/Вт), в зависимости от их мощности этот параметр изменяется от 6 до 20 лм/Вт.

Основными параметрами лампы накаливания являются напряжение, потребляемая мощность, световой поток, световая отдача и средний срок службы. Заводы-изготовители гарантируют средний срок службы ламп накаливания в 1000 часов горения при номинальном напряжении. По истечении гарантированного срока световой поток лампы вследствие распыления вольфрама нити и оседание его на стенки колбы значительно снижается. При повышении напряжения до 103% срок службы лампы снижается до 60%, а при снижении напряжения на 10% снижается световой поток до 30%. Из этого следует, что для нормальной эксплуатации лампы весьма важно поддерживать на номинальном уровне питающие её напряжения. В силу сравнительно низкой экономичности лампы накаливания их практическое применение существенно сокращается, а страны ЕС с 2010 года вообще прекратили производство и реализацию таких ламп, несмотря на их дешевизну и простоту конструкции.

**Люминесцентные лампы.** Люминесцентные лампы относятся к газоразрядным источникам света, работа которых основана на преобразовании невидимых ультрафиолетовых излучений в видимые с помощью особых светосоставов (люминофоров), нанесенных на внутреннюю поверхность газоразрядной трубки.

Нормальная люминесцентная лампа представляет собой по существу газосветную ртутную лампу низкого давления, заполненную аргоном при давлении 3 – 4 мм ртутного столба и несколькими миллиграммами жидкой ртути. На внутренней поверхности стеклянной трубки нанесены в виде кристаллического порошка особые светосоставы – люминофоры, представляющие собой соли различных кислот (силикаты, вольфраматы, молибдаты, фосфаты и др.), которые, поглощая лучистую энергию одной спектральной области, преобразуют ее в другую – видимую, что существенно повышает светоотдачу лампы и ее экономичность. Светоотдача современных люминесцентных ламп доходит до 40 – 60 лм/Вт.

Применение различных люминофоров или их комбинаций позволяет получить любую цветность излучения вплоть до «дневного» света, а именно: ЛД – лампа дневного света, ЛХБ – холодно – белого света, ЛБ – белого света, ЛТБ – тепло – белого и ЛДЦ – дневного света с улучшенной цветностью.

Срок службы люминесцентной лампы в среднем равен 2500 – 3000 часов и в значительной степени зависит от числа включений лампы, т.к. при каждом включении импульс высокого напряжения способствует распылению оксидированной части электродов и уменьшению долговечности последних.

Особенно большое влияние на работу люминесцентных ламп оказывает

величина подводимого к ним напряжения. С увеличением напряжения сети увеличивается и ток лампы, что способствует увеличению тока дугового разряда, но вызывает уменьшение ультрафиолетового излучения, в результате чего, несмотря на увеличение общего светового потока, световая отдача лампы уменьшается. Повышение напряжения вызывает более интенсивный износ активированной части электродов, что снижает срок службы лампы.

Уменьшение напряжения в сети по сравнению с номинальным вызывает некоторое увеличение световой отдачи, но зажигание при этом становится неустойчивым, а электроды работают при более низкой температуре и изнашиваются быстрее.

Генерация ультрафиолетовых излучений в лампе происходит наиболее интенсивно при температуре корпуса 40 – 50 °С, что соответствует температуре окружающей среды 18 -25 °С. При повышении или понижении температуры световой поток лампы снижается, а при температуре ниже +5 °С зажигание лампы становится проблематичным.

В люминесцентных лампах, работающих от сети 50 Гц, излучение света осуществляется отдельными импульсами в каждый полупериод питающего напряжения, что обуславливает появления стробоскопического эффекта, нарушающего правильное восприятие глазом движущихся предметов. Обусловленные этим колебания светового потока при включенной одной лампе достигают 35 – 50%. Для уменьшения подобных колебаний светового потока используются специальные схемы включения ламп, что позволяет снизить уровень таких колебаний до 2 – 3%.

Но, несмотря на отмеченные недостатки, люминесцентные лампы по сравнению с лампами накаливания такой же мощности имеют более высокую световую отдачу в 3 – 4 раза, лучший цвет излучения и более высокий (в 2,5 – 3 раза) срок службы.

Кроме рассмотренных выше, промышленностью выпускаются ртутные лампы высокого давления: ПРК – прямая ртутно – кварцевая лампа, ИГАР – лампа интенсивного горения аргоно – ртутная, СВД – сверхвысокого давления, ДРЛ – высокого давления с исправленной цветностью, ДКсТ – ксеноновая лампа, ДНАО – натриевая лампа, ЭУВ – эритемная лампа, предназначенная для компенсации ультрафиолетовой недостаточности.

В последнее время все более широкое применение получают светодиоды и осветительные приборы на их основе.

Основными преимуществами светодиодных осветительных приборов являются весьма низкое энергопотребление (в 3 раза меньше чем у люминесцентных и газоразрядных ламп, и в 12 раз ниже, чем у ламп накаливания), а ресурс их работы составляет 100000 часов или 25 лет при 10-и часовой работе в сутки. (Для сравнения: ресурс работы лампы накаливания 1000 часов, люминесцентных – 3000 часов).

Кроме того, с течением времени их светотехнические характеристики (световой поток и сила света) практически не претерпевают изменения, а их спектр – близок к естественному. Светодиодные светильники не создают перегрузок в электросетях при включении, они экологически безопасны, не требуют специальных условий по их утилизации, т.к. не содержат ртути и

других ядовитых или вредных веществ. В отличие от люминесцентных ламп светодиоды прекрасно работают при температуре до  $-60^{\circ}\text{C}$ , отличаются высокой надёжностью, виброустойчивостью, механической прочностью, на протяжении всего срока службы не требуют технического обслуживания.

Вместе с этим в настоящее время стоимость светодиодов пока еще достаточно высока.

## 7. НОРМИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Естественное и искусственное освещения в производственных помещениях регламентируются СНиП II-4-79-«Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования» (ДБН В.2.5 – 28 – 2006) - в зависимости от характеристики зрительной работы, наименьшего размера объекта различения, разряда зрительной работы, системы освещения, характеристики фона, контраста объекта с фоном.

**Естественное освещение** [5]. На уровень освещенности помещения при естественном освещении влияют следующие факторы: световой климат, площадь и ориентация световых проемов здания; степень чистоты стекол в световых проемах; окраска стен и потолка помещения; глубина помещения; наличие предметов, закрывающих окно как снаружи, так и внутри помещения.

Поскольку естественное освещение не постоянно на протяжении дня, количественная оценка этого вида освещения проводится по относительному показателю – коэффициенту естественной освещенности (КЕО):

$$\text{КЕО} = \frac{E_{вн}}{E_n} * 100\%, \quad (18)$$

где:  $E_{вн}$  – освещенность, создаваемая светом неба (непосредственным или отраженным) в некоторой точке внутри помещения;

$E_n$  – освещенность горизонтальной поверхности, создаваемая в то же время снаружи светом полностью открытого небосвода.

Нормированное значение КЕО для строений, расположенных в III поясе светового климата Украины, определяются выражением:

$$\text{КЕО}_{\text{норм.}} = e \mu c 100\%, \quad (19)$$

где:  $e$  – значение для строений III пояса светового климата (принимается  $e = 1$ );

$\mu$  – коэффициент светового климата (на территории Украины  $\mu = 0,9$ );

$c$  – коэффициент солнечности климата ( $c = 0,75 - 0,95$ );

При этом должно выполняться соотношение:

$$\text{КЕО} \geq \text{КЕО}_{\text{норм.}} \quad (20)$$

В зависимости от назначения помещения и расположения в нем окон и световых проемов КЕО<sub>норм.</sub> может быть в пределах от 0,1 до 10 %. При одностороннем освещении нормируется КЕО на расстоянии 1м от стены, наиболее удаленный от окна, а при двухстороннем боковом – в центре помещения. В помещениях с верхним или комбинированным освещением нормируется КЕО на рабочей поверхности, не ближе 1м от стены. В бытовых помещениях КЕО должен быть не ниже 0,25%.

Уровень естественной освещенности может изменяться, происходит это из – за загрязнения остекления, стен и потолка, что влияет соответственно на коэффициенты пропускания и отражения светового потока. Поэтому нормами предусматривается очистка стекол световых проемов не реже 2-х раз в год в помещениях с незначительными выделениями пыли, дыма и копоти, и не реже 4-х раз в год при значительных загрязнениях. Побелка и покраска потолков и стен должно проводиться не реже одного раза в год.

**Искусственное освещение** предусматривается во всех производственных и бытовых помещениях, где имеется недостаток естественного света, а так же для освещения помещений в темный период суток. Наименьшие значения освещенности рабочих поверхностей производственных помещений определяются характеристикой зрительной работы, её точностью, контрастом объекта с фоном и приведена в табл. 2.

Нормы освещенности для жилых и общественных зданий и вспомогательных помещений приведены в табл. 3.

Во всех случаях при нормировании освещенности учитываются следующие основные факторы:

- 1) величина объекта различения: нити, ткани, линии, царапины и т.п.
- 2) контраст объекта с фоном: малый – до 0,2, средний – 0,2 – 0,5, большой – более 0,5.
- 3) степень светлоты фона: темный – с коэффициентом отражения  $\leq 0,3$ , светлым – с коэффициентом отражения  $\geq 0,3$ .

**Нормы наименьшей освещенности рабочих поверхностей в  
производственных помещениях [4]**

Характеристика работы и размер объекта различения	Разряд	Подразряд	Контраст объекта с фоном	Фон	Наименьшая освещенность, лк			
					При люминесцентных лампах		При лампах накаливания	
					Комбинированн ое освещение	Одно общее освещение	Комбинированн ое освещение	Одно общее освещение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Особо точная, 0,1 мм и менее	I	a	Малый	Темный	3000	750	1500	300
		б	Малый Средний	Светлый Темный	2000	750	1000	300
		в	Средний Большой	Светлый Темный	1500	500	750	300
		г	Большой	Светлый	750	300	400	150
Высокой точности, от 0,1 до 0,3 мм	II	a	Малый	Темный	2000	750	1000	300
		б	Малый Средний	Светлый Темный	1000	400	500	150
		в	Средний Большой	Светлый Темный	750	200	400	100
		г	Большой	Светлый	500	150	300	75
Точная от 0,3 до 1 мм	III	a	Малый	Темный	1000	300	500	150
		б	Малый Средний	Светлый Темный	750	200	400	100
		в	Средний Большой	Светлый Темный	500	150	300	75
		г	Большой	Светлый	400	150	200	50
Малой точности, от 1 до 10 мм	IV	a	Малый	Темный	150	150	150	50



Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		б	Малый Средний	Светлый Темный	150	150	150	50
		в	Средний Большой	Светлый Темный	100	100	100	30
		г	Большой	Светлый	100	100	100	30
Грубая, более 10 мм	V		Любой	Любой	100	100	100	30
Общее наблюдение за ходом производст венного процесса без выделения деталей	VI		Любой	Любой	75	75	-	20
Работы с самосветящ имися предметами или материалам и	VII		Любой	Любой	150	150	-	60

В установках с люминесцентными лампами следует избегать освещенностей менее 75 – 100 лк, т.к. тогда создается впечатление сумеречности, в наибольшей степени при лампах ЛД, в наименьшей – при лампах ЛТБ.

Во всех случаях выбранная по нормам освещенность умножается при расчетах на коэффициент запаса  $K$ , учитывающий старение ламп, их загрязнение, загрязнение отражающих поверхностей помещения.

Таблица 3.

Наименьшая освещенность общего освещения жилых и общественных зданий и вспомогательных помещений (на рабочей поверхности – 0,8м) [3]

Наименование помещений	Наименьшая освещенность, лк	
	При люминесцентных лампах	При лампах накаливания
1	2	3
1. Жилые здания:		
жилые комнаты в квартирах и гостиницах	75	30
жилые комнаты в общежитиях и интернатах	100	50
гостиные, комнаты отдыха, игр и т.д.	150	75
2. Административно – конторские помещения:		
кабинеты и рабочие комнаты	200	75
машинописные и машиносчетные бюро	300	150
проектные залы и конструкторские бюро	300	150
залы заседаний	200	100
операционные залы банков, отделений связи	200	100
3. Библиотеки:		
читальные залы	300	100
книгохранилища	100	30
4. Зрелищные предприятия:		
выставочные залы	300	100
зрительные залы театров, клубов	200	75
кинотеатров	100	30
фойе	200	75
5. Лечебные учреждения:		
операционные: общее	400	200
рабочее поле	3000	
помещение хирургического блока	300	150

Продолжение таблицы 3.

1	2	3
палаты больниц и санаториев	75	30
аптеки	300	150
6. Детские сады и ясли:		
групповые комнаты	200	100
приемные и комнаты кормления грудных детей	150	75
спальные комнаты	75	30
7. Школы, ВУЗы:		
аудитории, классы, лаборатории	300	150
кабинеты черчения	400	200
актовые залы	200	100
8. Магазины, кафе, рестораны:		
залы магазинов ресторанов	300	150
залы кафе, столовых, буфетов	200	75
заготовочные и моечные помещения	200	75
9. Вспомогательные помещения жилых, общественных и промышленных зданий:		
вестибюли и гардеробные: театров	150	75
ВУЗов и школ	100	50
поликлиник и административных зданий	75	30
лестницы	100 – 75	30 – 20
коридоры, проходы	100 – 75	30 – 20
кухни: предприятий общепита	200	75
жилых зданий	100	30
санузлы: в квартирах	50	10
прочие	75	30
лифты	75	30

## 8. МЕТОДЫ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Основной задачей светотехнических расчетов является обеспечение санитарных и гигиенических норм производственного освещения, которые базируются на психологических особенностях восприятия света и его влияния на организм человека и могут быть сведены к следующему:

- спектральный состав света, который обеспечивается электрическим источником, должен быть близким к солнечному;
- уровень освещенности должен быть достаточным и отвечать гигиеническим нормам, учитывающим зрительную работу;
- освещение должно обеспечивать равномерность и стабильность яркости рабочих поверхностей, ограничение блескости и ослепленности с целью предупреждения многократной переадаптации и утомления зрения.

*Для естественного освещения* проводятся два вида расчетов: проектный и поверочный. Проектный расчет позволяет определить площадь и количество световых проемов (окон, фонарей) и используется при проектировании производственных помещений. Поверочный расчет предусматривает определение фактического коэффициента естественной освещенности, применяется при реконструкции производственных помещений. С учетом реальных размеров помещений определяется вид требуемого естественного освещения (боковое, одностороннее, двустороннее, совмещенное, комбинированное). При ширине помещения до 12 м рекомендуется боковое одностороннее освещение, при ширине от 12 м до 24 м – боковое двустороннее, более 24 м – комбинированное.

При проектном расчете определяется общая площадь световых проемов – окон и фонарей. При боковом освещении площадь окон:

$$S_o = \frac{e \min \eta_o S_n}{\tau_0 r_1 100} k, \quad (21)$$

площадь фонарей:

$$S_\Phi = \frac{e_{cp} \eta_\Phi S_n}{\tau_0 r_2 100} k, \quad (22)$$

где  $S_n$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;

$e_{\min}$  – минимальное значение естественной освещенности, %;

$e_{\text{ср}}$  – среднее значение коэффициента естественной освещенности;

$\eta_o, \eta_\phi$  - светотехническая характеристика окон и фонарей соответственно (ДБН В.2.5 – 28 - 2006);

$\tau_0$  - коэффициент пропускания стекла;

$r_1, r_2$  - коэффициенты, учитывающие отражательную способность конструктивных элементов при боковом и верхнем освещении соответственно .

При поверочном расчете естественного освещения определяется фактическое значение  $KEO_{\text{факт}}$  и сравнивается с нормируемым  $e_n$ . Выполняя поверочный расчет необходимо тщательно обосновать принятые величины. Освещенность считается удовлетворительной, если  $e_f \geq e_n$ .

Расчет искусственного освещения заключается в выборе типа светильника, высоты его подвеса, размещения светильников по помещению, определения светового потока, мощности лампы и полной мощности осветительной установки. Светотехнический расчет производится методом коэффициента использования светового потока, методом удельной мощности и точечным методом.

## 9. МЕТОД КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА

Этот метод применяется для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при освещении лампами накаливания или люминесцентными лампами.

Световой поток  $F$ , падающий на поверхность  $S$ , представляет собой сумму потоков непосредственно падающего на поверхность от светильника  $F_n$  и потока, падающего в результате отражения от стен и потолка  $F_{\text{от}}$ , т.е.  $F = F_n + F_{\text{от}}$ .

Обозначим через  $F_l$  световой поток одной лампы; через  $n$  – число светильников. Коэффициент использования светового потока представляет собой отношение светового потока, падающего на расчетную поверхность, к суммарному световому потоку источников света:

$$K_u = \frac{F}{nF_l}, \quad (23)$$

откуда: 
$$F = nF_l K_u. \quad (24)$$

$$\text{Средняя освещенность: } E_{cp} = \frac{F}{S} = \frac{nF_{л}K_u}{S}. \quad (25)$$

Нормы устанавливают минимальную освещенность:

$$E_{\min} = \frac{E_{cp}}{Z} = \frac{nF_{л}K_u}{SZ}, \quad (26)$$

где  $Z$  – поправка на среднюю освещенность, составляющую для большинства светильников в среднем 1,1 – 1,3.

Фактическая освещенность меньше из-за загрязненности ламп и светильников. Поэтому в формулу минимальной освещенности вводится коэффициент запаса  $K_3$ :

$$E_{\min} = \frac{nF_{л}K_u}{SZK_3}. \quad (27)$$

Расчет освещенности сводится к определению мощности одной лампы, для чего находим ее световой поток:

$$F_{л} = \frac{E_{\min} SK_3 Z}{nK_u}. \quad (28)$$

Данные для выбора наименьшей освещенности приведены в табл. 2,3.

Для каждого типа светильника при определенных коэффициентах отражения от стен и потолка определены коэффициенты использования. При этом величина площади, форма помещения и высота подвеса светильника над рабочей поверхностью учитывается коэффициентом, называемым показателем помещения, который для прямоугольных помещений определяется по формуле:

$$i = \frac{ab}{h(a+b)}, \quad (29)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $h$  – соответственно ширина, длина, высота освещаемого помещения, м.

Расстояние между светильниками в нормальных помещениях обычно принимается равным  $(1,5 - 2) h$ .

Коэффициент использования светового потока  $K_u$  для наиболее распространенных типов светильников при определенных коэффициентах отражения стен и потолка ( $\rho_{ст}$  и  $\rho_{пот}$ ) и показателях помещения и приводят в справочниках [3, 6]. Для условий шахт при ориентировочных расчетах коэффициент использования может приниматься в пределах 0,3 – 0,4.

Определив все необходимые величины для расчета светового потока одной лампы, подставляют их в (28) и по найденному значению светового потока находят мощность одной лампы в каталогах или справочниках [3, 6].

Мощность лампы по световому потоку рекомендуется выбирать такой, чтобы отклонение светового потока лампы от расчетного значения составляла не более 20%.

Недостатком метода коэффициента использования светового потока является невозможность раздельного определения максимальной и минимальной величин освещенности, а следовательно, и равномерности освещения. Поэтому при определении средней освещенности по данному методу проверка на минимальную освещенность в случае необходимости производится по точечному методу, хотя в этом случае будут получены уменьшенные результаты.

Необходимо учитывать, что расчеты по методу коэффициента использования светового потока целесообразно применять для помещений со светлыми стенами и потолками, когда отраженный световой поток играет существенную роль. Применительно к подземным выработкам такими помещениями являются камеры. При освещении негоризонтальных рабочих поверхностей, помещений с низкими коэффициентами отражения, при расчетах наружного и местного освещения данный метод неприменим. В этих случаях более целесообразно производить расчеты по точечному методу.

Для оценки правильности выполненного расчета следует определить удельную мощность по проектируемому объекту:

$$P = \frac{\sum P_{уст}}{S}, \quad (30)$$

и сравнить ее с укрупненными показателями для отдельных производственных и бытовых помещений в справочнике [3].

## 10. МЕТОД УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Для предварительных ориентировочных расчетов, например при необходимости определения осветительных нагрузок, целесообразно пользоваться приближенным методом удельной мощности.

Этот метод базируется на некоторых средних значениях мощности в ваттах, потребляемой электроосветительной установкой на освещение каждого квадратного метра площади при средних значениях коэффициента использования осветительной установки в зависимости от требуемой величины освещенности с учетом коэффициента запаса, т.е. считается, что между величиной освещенности и удельной мощностью имеет место прямая пропорциональность.

Если требуется определить освещенность (при заданном количестве

светильников и величине освещаемой площади), то необходимо подобрать удельную мощность, величина которой для расчетной высоты светильников и напряжения ламп приводится в справочниках [1, 6].

Общая установленная мощность для помещений, освещаемых прямым светом, можно принимать:

$$\sum P_{уст} = pS, \quad (31)$$

где  $p$  – удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>;

$S$  – площадь освещаемой поверхности, м<sup>2</sup>.

Разделив общую мощность  $\sum P_{уст}$  на число светильников  $n$ , получим необходимую мощность одной лампы.

В первом приближении для достаточно больших помещений можно принимать значение удельной мощности  $p = E_{min} : (3 - 4)$ .

## 11. ТОЧЕЧНЫЙ МЕТОД

Точечный метод позволяет при наличии кривой светораспределения светильника и при заданном расстоянии до любой точки освещаемой поверхности определить освещенность в этой точке. Это обстоятельство обуславливает применение точечного метода во всех случаях, когда представляется необходимым определить максимальную и минимальную освещенность для обеспечения требуемой равномерности освещения. Этот метод не учитывает светового потока, отражаемого рабочими поверхностями, но он применим для уточненных расчетов освещенности больших помещений, местного освещения, откаточных, очистных и подготовительных выработок шахт.

Пусть источник света освещает нормально расположенную к лучу  $I_\alpha$  плоскость АБ (рис. 4). Освещенность в точке Г на этой плоскости:

$$E_H = \frac{I_\alpha}{R^2} = \frac{I_\alpha}{h^2 + a^2} \quad (32)$$



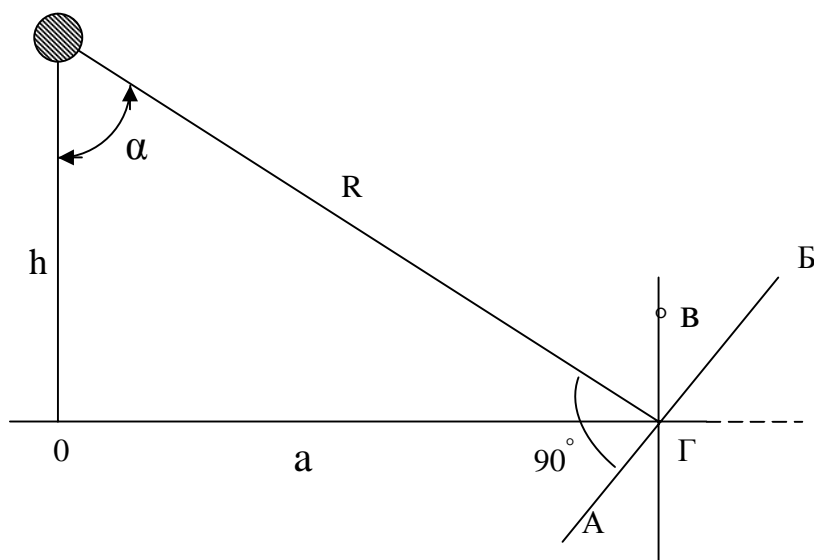


Рис. 4. Освещенность горизонтальной плоскости.

Освещенность на горизонтальной плоскости в точке Г:

$$E_{\Gamma} = \frac{I_{\alpha} \cos \alpha}{R^2}, \quad (33)$$

или, подставляя вместо  $R$  его значение  $R = \frac{h}{\cos \alpha}$ , получим:

$$E_{\Gamma} = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{h^2}. \quad (34)$$

Освещенность на вертикальной плоскости в точке В:

$$E_B = \frac{I_{\alpha} \sin \alpha}{h^2} = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{h^2} \operatorname{tg} \alpha = E_{\Gamma} \operatorname{tg} \alpha. \quad (35)$$

Освещенности, рассчитанные по выражениям (34, 35) называются условными, т.к. они определяются для условной лампы с  $F = 1000\text{лм}$ .

Для определения фактической освещенности рабочего места необходимо учитывать световой поток от ближайших светильников, а так же световой поток, отраженный от стен и потолка. Фактическая освещенность участка горизонтальной поверхности при одинаковой мощности всех ламп:

$$E_{\Gamma} = \frac{F_{\text{л}} \mu}{1000 K_3} \sum e, \quad (36)$$

где  $\sum e$  – суммарная условная освещенность от ближайших светильников, лк;

$\mu$  – коэффициент добавочной освещенности за счет отраженного светового потока и удаленных светильников, который в зависимости от их типа колеблется в пределах от 1,06 до 1,7;

$F_{\text{л}}$  – световой поток одной лампы, лм;

$K_3$  – коэффициент запаса, равный 1,3 – 1,5.

Учитывая, что расчет освещенности по точечному методу сводится к определению светового потока одной лампы, получим:

$$F_{л} = \frac{1000EK_3}{\mu \Sigma e}. \quad (37)$$

Следует отметить, что в обычных расчетах, если это не оговорено другими требованиями, освещенность определяется на уровне рабочей поверхности, которая условно принимается на высоте 1 м от пола.

Точечный метод, хотя и дает самые точные результаты, требует весьма значительных по объему расчетов. Поэтому разработаны вспомогательные таблицы условной освещенности для отдельных светильников в зависимости от высоты их подвеса над рабочей поверхностью  $h$  и от расстояния проекции светильника на горизонтальную плоскость до рассматриваемой точки  $d$ . Указанные размеры определяют величину условной освещенности данной точки. Следовательно, одинаковым значениям условной освещенности соответствуют различные комбинации  $h$  и  $d$ . На этой основе построены пространственные кривые – изолюксы, которые представляют собой геометрическое место точек равной условной освещенности на горизонтальной плоскости в системе координат  $h$  и  $d$  для определенного типа светильников. Для светильника «Универсаль» изолюксы приведены на рис. 5.

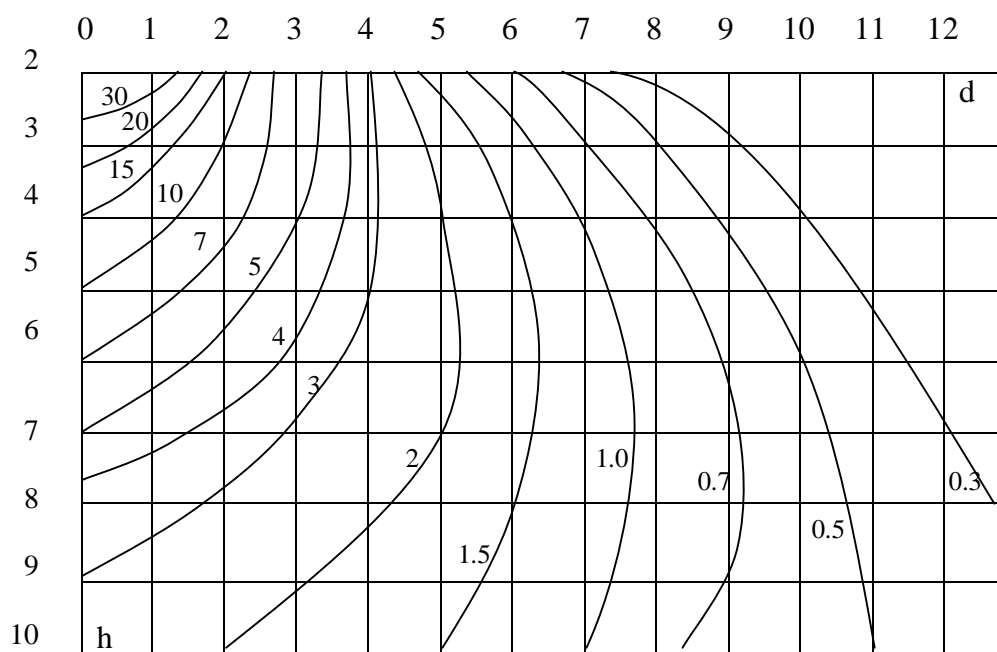


Рис. 5 Пространственные изолюксы светильника «Универсаль»

## 12. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Как влияют количественные и качественные характеристики производственного освещения на производительность и безопасность труда?
2. Каковы особенности восприятия лучистой энергии человеческим глазом?
3. Сформулируйте определения основных светотехнических величин: световой поток, сила света, освещенность. Каковы единицы измерения данных величин?
4. Что характеризует светотехнические коэффициенты?
5. Как определяется яркость, фон и контраст предмета, и каковы их единицы измерения?
6. Какие системы и виды освещения применяются в конкретных производственных условиях?
7. Какова область использования бактерицидного и эритемного излучения?
8. Каковы основные достоинства и недостатки различных источников света?
9. Как осуществляется нормирование естественного и искусственного освещения?
10. Что характеризует коэффициент естественной освещенности?
11. Как и в каких расчетах определяются площади окон и фонарей?
12. Что и как определяется в методе коэффициента использования светового потока?
13. Что предусматривает метод удельной мощности и когда он используется в светотехнических расчетах?
14. Как осуществляется расчет освещенности точечным методом и что определяет его точность?

### 13. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Озерной М.И. Электрооборудование и электроснабжение подземных разработок угольных шахт.–М.:Недра, 1975. – 448с.
2. Лейбов Р.М., Озерной М.И. Электрификация подземных горных работ.–М.:Недра,1972. – 464с.
3. Кнорринг Г.М. Справочник для проектирования электрического освещения.–Л.:Энергия, 1968. – 392с.
4. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий.–М.:Высшая школа, 1969. – 512с.
5. Геврик Є.О. Охорона праці.– К.: Ніка-Центр, 2007. – 376с.
6. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Айзенберга Ю.Б.– М.:Энергоатомиздат.,1983. – 471с.
7. СНиП II-4-79. Строительные нормы и правила. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1980.- 48с.
8. Основи охорони праці. / За ред. В.В.Березуцького. – Харків: Факт, 2008. – 480с.
9. Охорона праці. / За ред. В.П.Кучерявого. – Львів: Оріяна-Нова, 2007.- 368с.
10. Жидецкий В.Ц., Джигирей В.С., Мельников А.В. Основы охраны труда. – Львов: Афиша, 2000. – 351с.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	3
2. Лучистая энергия и видимый свет	3
3. Основные светотехнические величины	5
4. Светотехнические коэффициенты	8
5. Системы и виды производственного освещения	10
6. Источники освещения	11
7. Нормирование производственного освещения	14
8. Методы светотехнических расчетов	20
9. Метод коэффициента использования светового потока	21
10. Метод удельной мощности	23
11. Точечный метод	24
12. Вопросы для самоконтроля	27
13. Список использованной литературы	28