

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИЗМЕРЕНИЕ ОСВЕЩЁННОСТИ ЛЮКСМЕТРОМ

Целью работы является знакомство и усвоение приемов измерения освещенности с помощью люксметров с последующим расчетом характеристик светового поля, необходимых для оценки качества освещения в помещении и его соответствия требованиям санитарных норм и правил (СНиП).

Под освещенностью E_v понимается плотность падающего на элементарный участок поверхности светового потока:

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dS}; \quad (1)$$

где Φ_v - световой поток, падающий на поверхность площадью S ;

S - площадь равномерно освещаемой поверхности вокруг точки, в которой производится измерение освещенности.

За единицу измерения освещенности принят *люкс* (лк), численно равный отношению светового потока величиной один люмен, падающего на поверхность площадью один квадратный метр ($1 \text{ лм/м}^2 = 1 \text{ лк}$).

Величина $d\Phi_v$ светового потока, падающая на поверхность dS , от точечного источника с силой света J_v равна:

$$d\Phi_v = J_v d\omega = \frac{J_v dS}{\ell^2}; \quad (2)$$

где $d\omega$ - телесный угол с вершиной в центре источника света, опирающийся на площадку dS сферы с радиусом ℓ .

Из (2) и (1) следует:

$$E_v = \frac{J_v}{\ell^2}; \quad (3)$$

В том случае, если освещаемая поверхность располагается не перпендикулярно направлению на источник света, а под некоторым углом i , на поверхность падает поток, пропорциональный площади ее проекции на плоскость, перпендикулярную этому направлению, следовательно:

$$E_v = \frac{J_v}{\ell^2} \cos i; \quad (4)$$

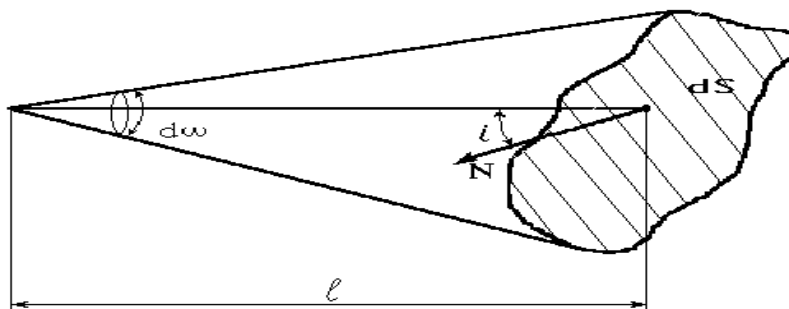


Рис. 1.

Если источник света не является точечным, а имеет соизмеримые с расстоянием до него габаритные размеры ($\ell \leq 5b$, где b - наибольший габаритный размер источника), то применять формулы (3-4) нельзя. Освещенность от таких объектов рассчитывается специальными методами и приемами.

В случае, когда в данную точку поверхности приходит свет от нескольких источников излучения, общая освещенность будет складываться из освещенностей, создаваемых каждым источником света:

$$E_{v\text{общ}} = E_{v1} + E_{v2} + E_{v3} + \dots + E_{vn}; \quad (5)$$

В зависимости от положения, в котором находится освещаемая поверхность, принято измерять либо горизонтальную освещенность $E_{v\text{гор}}$ (например для поверхности рабочих столов), либо вертикальную освещенность $E_{v\text{верт}}$ (например для классной доски). В отдельных случаях (в выставочных залах, спортивных сооружениях) иногда требуется измерить цилиндрическую освещенность, определение которой дано ниже, и которая характеризует объёмную насыщенность светом данной точки пространства.

При достаточном количестве измерений можно построить полную картину распределения освещенности на заданной поверхности помещения в виде нанесенных на план помещения кривых равной освещенности (*изолюкс*). На рис. 2 показан пример таких изолюкс.

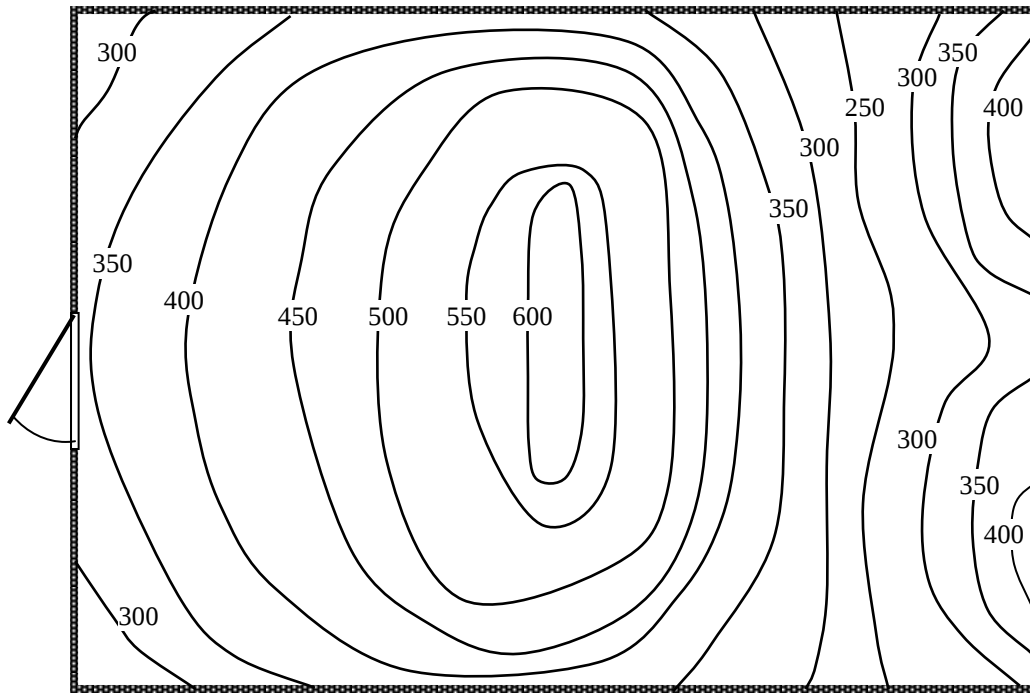


Рис. 2. Изолюксы распределения освещенности в помещении на уровне рабочих столов ($h = 0,7$ м)

Попадающий на поверхность световой поток связан со спектральной плотностью излучения соотношением:

$$\Phi_v = \int_0^\infty \varphi_\lambda v_\lambda d\lambda = 683 \varphi_{\max} \int_0^\infty \varphi(\lambda) v(\lambda) d\lambda; \quad (6)$$

где $\varphi_\lambda = \varphi_{\max} \cdot \varphi(\lambda)$, $v_\lambda = v_{\max} \cdot v(\lambda) = 683 \cdot v(\lambda)$;

φ_λ , $\varphi(\lambda)$ - спектральная плотность излучения, приходящего на поверхность, выраженная в абсолютных (Вт/нм для φ_λ) и относительных (для $\varphi(\lambda)$) единицах;

$v(\lambda)$ - относительная спектральная световая эффективность излучения;

$\varphi_{\max}$ - максимальное значение спектральной плотности излучения;

$v_{\max} = 683$ лм/Вт - световая эффективность излучения в максимуме чувствительности глаза при $\lambda = 555$ нм.

Следовательно, освещенность поверхности светом от источника определяется следующим соотношением:

$$E_v = \frac{d\varphi_{\max}}{dS} 683 \int_0^\infty \varphi(\lambda) v(\lambda) d\lambda; \quad (7)$$

где $\frac{d\varphi_{max}}{dS}$ - спектральная плотность потока излучения, падающего на элементарный участок поверхности.

При проведении замеров освещенности в помещениях с целью определения соответствия СНиП следует руководствоваться правилами, изложенными в ГОСТ 24940-96 «ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. Методы измерения освещенности». Этот стандарт устанавливает методы определения минимальной, средней и цилиндрической освещенностей, коэффициента естественной освещенности в помещениях зданий и сооружений и на рабочих местах, минимальной освещенности в местах производства работ вне зданий, средней освещенности улиц, дорог, площадей и тоннелей.

В стандарте используются термины, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Термин	Обозначение, единица измерения	Определение
1	2	3
Освещенность	E , лк	Отношение светового потока, падающего на элемент поверхности, содержащий данную точку, к площади этого элемента
Минимальная освещенность	E_{min} , лк	Наименьшее значение освещенности в помещении, на освещаемом участке, в рабочей зоне
Средняя освещенность	E_{cp} , лк	Освещенность, усредненная по площади освещаемых помещений, участка, рабочей зоны
Цилиндрическая освещенность	$E_{ц}$, лк	Характеристика насыщенности помещения светом, определяемая как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально расположенного в помещении цилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю
Коэффициент естественной освещенности (КЕО)	e , %	Отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным или после отражения), к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода

Для измерения освещенности следует использовать люксметры с измерительными преобразователями излучения, спектральные характеристики которых скорректированы под относительную спектральную световую эффективность излучения для стандартного фотометрического наблюдателя МКО – $V(\lambda)$. Качество коррекции относительной спектральной чувствительности фотоприемника люксметра под функцию $V(\lambda)$ определяется параметром f_1 , %, который рассчитывают по формуле:

$$f_1 = \frac{\int |s_{отн}^*(\lambda) - V(\lambda)| d\lambda}{\int V(\lambda) d\lambda} \cdot 100; \quad (8)$$

где

$$s_{отн}^*(\lambda) = s_{отн}(\lambda) \frac{\int S_A(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int S_A(\lambda) s_{отн}(\lambda) d\lambda}; \quad (9)$$

где $s_{отн}$ – относительная спектральная чувствительность приемника излучения;

$S_A(\lambda)$ – относительное спектральное распределение источника типа А.

По требованиям ГОСТ 24940-96 для люксметров f_1 не должен превышать 10%.

Допускается использовать для измерения освещенности люксометры, имеющие спектральную погрешность более 10 %, при условии введения поправочного коэффициента на спектральный состав применяемых источников света, определяемого по [ГОСТ 17616](#)

Другим важным требованием является линейность световой характеристики люксометра, то есть регистрируемый сигнал фотоприемника (ток или напряжение) должен быть строго прямо пропорционален величине падающего на приемное окно светового потока или освещенности на всем диапазоне измерений.

ЗАДАНИЕ

1. Нарисовать план указанного преподавателем помещения, в котором будут производиться замеры освещенности. Наметить на плане положение точек замеров.
2. Произвести замеры горизонтальной освещенности в намеченных точках помещения при выключенном искусственном освещении.
3. Произвести замеры горизонтальной освещенности в намеченных точках помещения при включенном искусственном освещении.
4. Произвести замеры для расчета цилиндрической освещенности в намеченных точках помещения при включенном искусственном освещении.
5. Произвести замеры горизонтальной освещенности вне помещения, на улице под открытым небом.
6. По данным п.3 построить изолюксы освещенности исследуемого помещения.
7. По данным п.4 рассчитать значения цилиндрической освещенности.
8. Определить минимальную освещенность.
9. Определить среднюю освещенность
10. Рассчитать КЕО для нескольких контрольных точек.
11. Сделать заключение о соответствии освещенности помещения, указанного преподавателем, существующим нормам.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Прибор для измерения освещенности называется люксометром. Выпускаемые люксометры различаются диапазонами измерений освещенности и конструкцией. В качестве приемника света люксометры имеют, как правило, либо селеновый фотоэлемент, (либо как большинство современных) кремниевый фотодиод.

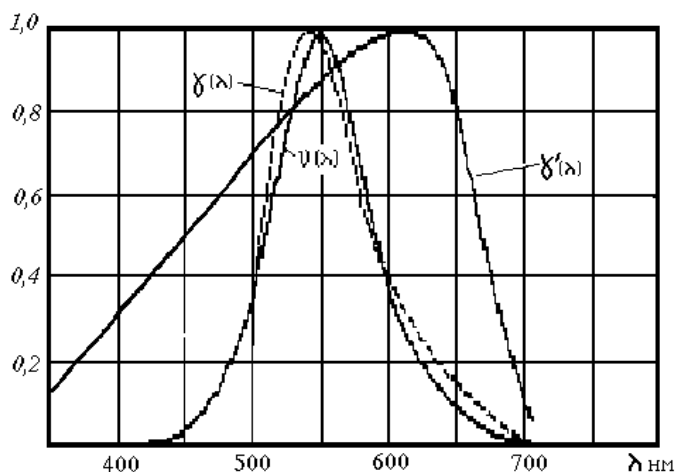


Рис.3 Относительная спектральная световая эффективность излучения $V(\lambda)$, чувствительность селенового фотоэлемента $\gamma'(\lambda)$ и чувствительность селенового фотоэлемента с корректирующим светофильтром $\gamma(\lambda)$.

Селеновый фотоэлемент с запирающим слоем является одним из распространенных для светотехнических измерений приемником света. Поглощенная селеновым фотоэлементом энергия оптического излучения преобразуется непосредственно в электрическую, что позволяет осуществлять измерения без внешнего источника питания. Селеновый фотоэлемент имеет область спектральной чувствительности, перекрывающую спектр чувствительности глаза (Рис.3). Для исправления спектральной чувствительности селенового фотоэлемента вплотную к нему ставится корректирующий светофильтр, что позволяет получить спектральную чувствительности $\gamma(\lambda)$, по-

добную кривой спектральной световой эффективности излучения. В качестве корректирующего светофильтра используется как правило комбинация из двух стандартных светофильтров: ЗС-8 (толщиной 1,9 мм) и ЖЗС-18 (толщиной 2,1 мм).

При постоянной освещенности селенового фотоэлемента его ток может несколько изменяться в течение первых нескольких минут. Эта особенность фотоэлемента называется утомляемостью. Утомляемость зависит от спектрального состава измеряемого излучения и различна для разных фотоэлементов. Как правило, уменьшение тока не превышает нескольких процентов от величины начального тока, поэтому погрешность измерений из-за утомляемости невелика.

Большинство современных люксметров имеет в качестве фотоприемника кремниевые фотодиоды, аналоговый сигнал от которых усиливается, переводится в цифровую форму и выдается на дисплейный экран. Спектральная чувствительность, также как у селенового фотоэлемента, корректируется специальным светофильтром. Входное окно прикрывается диффузорорассеивающим матовым стеклом в качестве «косинусной насадки» для минимизации погрешностей, связанных с возможной неперпендикулярностью падающих на плоскость входного окна световых лучей. Диапазон измерений – от сотых долей люкса до десятков килолюкс. У кремниевых фотодиодов практически отсутствует явление утомляемости. Как правило, для блока регистрации требуется батарейное или аккумуляторное электропитание.

Подготовка к измерениям

Перед измерением освещенности от искусственного освещения следует провести замену всех перегоревших ламп и чистку светильников. Измерение освещенности может также производиться без предварительной подготовки осветительной установки, что должно быть зафиксировано при оформлении результатов измерения.

Измерение КЕО проводят в помещениях, свободных от мебели и оборудования, не затеняемых озеленением и деревьями, при вымытых и исправных светопрозрачных заполнениях в светопроемах. Измерение КЕО может также производиться при наличии мебели, затенении деревьями и неисправных или невымытых светопрозрачных заполнениях, что должно быть зафиксировано при оформлении результатов измерений.

Для измерения КЕО выбирают дни со сплошной равномерной десятибалльной облачностью, покрывающей весь небосвод. В районах, расположенных южнее 48° с. ш., измерения КЕО допускается проводить без учета балльности в дни сплошной облачности, покрывающей весь небосвод. Электрический свет в помещениях на период измерений выключается.

Перед измерениями выбирают и наносят контрольные точки для измерения освещенности на план помещения, сооружения или освещаемого участка (или исполнительный чертеж осветительной установки) с указанием размещения светильников.

Размещение контрольных точек при измерении минимальной освещенности помещений

Контрольные точки для измерения минимальной освещенности от рабочего освещения размещают в центре помещения, под светильниками, между светильниками и их рядами, у стен на расстоянии $0,15 - 0,25l$, но не менее 1 м, где l - расстояние между рядами светильников.

Примеры расположения контрольных точек для измерения освещенности в помещениях производственных и общественных зданий при использовании для освещения светильников с точечными и линейными источниками света приведены на рисунках 4,5.



Рис.4. Расположение контрольных точек при измерении минимальной освещенности помещения от светильников, принимаемых за точечные излучатели



Рис.5 Расположение контрольных точек при измерении минимальной освещенности помещения от светильников, принимаемых за линейные излучатели

Размещение контрольных точек при измерении средней освещенности помещений

Для определения контрольных точек план помещения разбивают на равные, по возможности квадратные, части. Контрольные точки размещают в центре каждого квадрата. Минимальное число контрольных точек для измерения определяют исходя из размеров помещения и высоты подвеса светильников над рабочей поверхностью. Для этого рассчитывают индекс помещения i' по формуле

$$i' = \frac{ab}{h_0(a+b)}; \quad (10)$$

где a - ширина помещения, м;

b - длина помещения, м;

h_0 - высота подвеса светильника, м.

Минимальное количество контрольных точек N для измерения средней освещенности квадратного помещения определяют по таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Индекс помещения i'	Число точек измерения
Менее 1	4
От 1 до 2 включ.	9
Св. 2 до 3 включ.	16
Св. 3	25

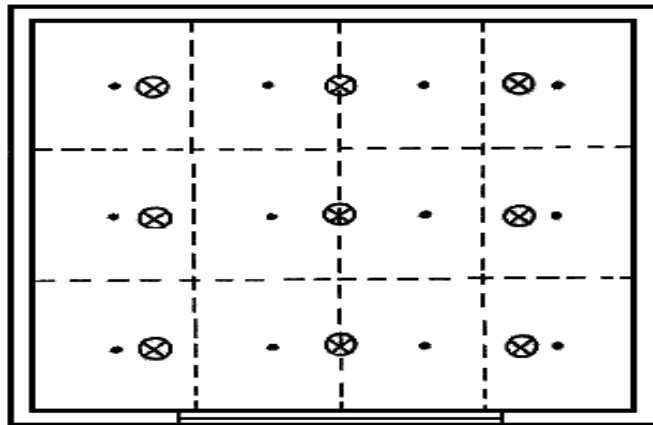
В неквадратных помещениях выделяют квадрат наибольшей площадью S_k , для которого определяют количество точек измерения N_1 как указано выше. Минимальное количество точек измерения средней освещенности N рассчитывают по формуле

$$N = N_1 \frac{S_n}{S_k}; \quad (11)$$

где S_n - площадь помещения, м^2 ;

S_k - площадь квадрата, м^2 .

При размещении контрольных точек на плане помещения их сетка не должна совпадать с сеткой размещения светильников.



• — контрольная точка; ⊗ — светильник;
—|— условная сетка раздела площади помещения на равные части

В случае совпадения сеток число контрольных точек на плане помещения целесообразно увеличить (рис.6). При расположении в помещении крупногабаритного оборудования контрольные точки не должны располагаться на оборудовании. Если контрольные точки попадают на оборудование, сетку контрольных точек следует сделать более частой и исключить точки, попадающие на оборудование.

Рис.6. Расположение контрольных точек при измерении средней освещенности в помещении

Размещение контрольных точек при измерении цилиндрической освещенности помещений

Контрольные точки для измерения цилиндрической освещенности следует размещать равномерно по помещению под светильниками, между светильниками и на центральной продольной оси помещения на высоте 1,5 м над полом и на расстоянии не менее 1,0 м от стены.

Число контрольных точек для измерения цилиндрической освещенности должно быть не менее 5.

Размещение контрольных точек при измерении естественной освещенности помещений

Контрольные точки размещают на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола). Первую и последнюю точки принимают на расстоянии 1 м от поверхности наружных стен и внутренних перегородок (или оси колонн).

Число контрольных точек должно быть не менее 5. В число контрольных точек должна входить точка, в которой нормируется освещенность согласно действующим нормам.

Проведение измерений

1. Измерение освещенности при рабочем и аварийном освещении следует производить в темное время суток, когда отношение естественной освещенности к искусственной составляет не более 0,1, измерение освещенности при эвакуационном освещении - когда значение естественной освещенности не превышает 0,1 лк.

2. В начале и в конце измерений следует измерить напряжение на щитках распределительных сетей освещения. Результаты измерений заносят в протоколы/

3. При измерениях освещенности необходимо соблюдать следующие требования:

- на измерительный фотометрический датчик не должна падать тень от человека;
- измерительный прибор не должен располагаться вблизи сильных магнитных полей.

4. Освещенность на рабочем месте определяют прямыми измерениями в плоскости, указанной в нормах освещенности, или на рабочей плоскости оборудования.

При комбинированном освещении рабочих мест освещенность измеряют сначала от светильников общего освещения, затем включают светильники местного освещения в их ра-

бочем положении и измеряют суммарную освещенность от светильников общего и местного освещения.

5. Для определения цилиндрической освещенности в каждой контрольной точке проводят четыре измерения вертикальной освещенности во взаимно перпендикулярных плоскостях на уровне 1,5 м от пола.

6. При определении коэффициента естественной освещенности проводят одновременные измерения освещенности в контрольных точках внутри помещений $E_{вн}$ и наружной освещенности $E_{нар}$ на горизонтальной площадке, освещаемой всем светом небосвода (например, снаружи на кровле здания или на другом возвышенном месте), с учетом требований по балльности облачности.

Обработка результатов измерений

Определение параметров искусственного освещения

1. Минимальную освещенность в помещениях и вне зданий определяют как минимальные измеренные значения освещенности из последовательности их значений в контрольных точках по формуле

$$E_{\min} = \min\{E_i\}; \quad (12)$$

где E_i - измеренные значения освещенности в контрольных точках.

2. Среднюю освещенность в помещении определяют как среднеарифметическое значение измеренных освещенностей в контрольных точках помещения по формуле

$$E_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i; \quad (13)$$

где E_i - измеренные значения освещенности в контрольных точках помещения, лк;

N - число точек измерения.

3. Среднюю освещенность улиц, дорог, площадей и тоннелей определяют как среднеарифметическое значение измеренных освещенностей E_i в контрольных точках дорожного покрытия по формуле (13).

4. Цилиндрическую освещенность $E_{ц}$ в контрольной точке определяют как среднеарифметическое значение освещенностей, измеренных в четырех взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях, по формуле

$$E_{ц} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{i=4} E_i; \quad (14)$$

где E_{ci} - измеренные значения освещенности во взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях, лк.

5. При отклонении напряжения сети от номинального более чем на 5 % фактическое значение освещенности уточняют по формуле

$$E_{\phi} = E \frac{U_{ном}}{U_{ном} - K(U_{ном} - U_{cp})}; \quad (15)$$

где E - минимальная, средняя или цилиндрическая освещенности, лк;

$U_{ном}$ - номинальное напряжение сети, В;

K - коэффициент, равный 4 для ламп накаливания (в том числе галогенных), 3 - для индуктивного балластного сопротивления и для ламп ДРЛ, 1 - для люминесцентных ламп при использовании емкостного балластного сопротивления;

U_{cp} - среднее значение напряжения, определяемое по формуле

$$U_{cp} = \frac{U_1 + U_2}{2}; \quad (16)$$

где U_1 - напряжение сети в начале измерения, В;

U_2 - напряжение сети в конце измерения, В.

Определение параметров естественного освещения

Коэффициент естественной освещенности e , %, определяют по формуле

$$e = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{нар}}} \cdot 100 ; \quad (17)$$

где $E_{\text{вн}}$ - значение естественной освещенности внутри помещения, лк;

$E_{\text{нар}}$ - значение естественной освещенности вне помещения, лк.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Уровень освещенности устанавливается нормами, примеры которых приведены в таблице 3.

Таблица 3

ПОМЕЩЕНИЕ	Освещенность (лм/м ²)	
	люм. лампы	лампы накаливания
Аудитории (на уровне стола)	300	150
Аудитории (в плоскости доски)	500	300
Коридоры	75	30

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение освещенности.
2. В каких единицах измеряется освещенность?
3. Чем точечный источник отличается от неточечного?
4. Пояснить назначение корректирующего светофильтра.
5. Что такое "световая характеристика приемника света"?
6. Что такое изолюксы, что они характеризуют?
7. Как выбрать контрольные точки для измерения освещенности в помещении?
8. Как определить КЕО?
9. Почему и когда результат измерения освещенности может зависеть от спектрального состава освещения?
10. Что такое "утомляемость" селенового фотоэлемента?
11. Чему равна освещенность в плоскости фотоэлемента, если при частично закрытом фотоэлементе на 75 % его поверхности прибор показывает значения 100 лм/м²?
12. При каких условиях можно проводить измерения освещенности без корректирующего светофильтра?

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич М.М., Фотометрия.-Л., Энергоатомиздат, 1983, стр. 180-182, 152-156.
2. ГОСТ 24940-96 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности»
3. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»
4. ГОСТ 8.014-72 ГСИ. «Методы и средства поверки фотоэлектрических люксометров»
5. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга 3-е изд. перераб. и доп. М.: Знак – 2006г.