

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение количественных и качественных характеристик источников искусственного освещения. Знакомство с различными источниками света и приборами для измерения их характеристик.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Освещение – получение, распределение и использование световой энергии для обеспечения благоприятных условий видения предметов и объектов. Оно влияет на настроение и самочувствие, определяет эффективность труда.

Рациональное освещение помещений и рабочих мест – одно из важнейших условий создания благоприятных и безопасных условий труда.

Около 80 % из общего объема информации человек получает через зрительный аппарат. Качество получаемой информации во многом зависит от освещения: неудовлетворительное в количественном или качественном отношении освещение не только утомляет зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Нерационально организованное освещение может, кроме того, явиться причиной травматизма: плохо освещенные опасные зоны, слепящие источники света и блики от них, резкие тени и пульсации освещенности ухудшают видимость и могут вызвать неадекватное восприятие наблюдаемого объекта. Поэтому рациональное освещение помещений и рабочих мест – одно из важнейших условий для создания благоприятных и безопасных условий труда.

В зависимости от источника света освещение может быть трех видов: естественное, искусственное и совмещенное (смешанное). Для гигиенической оценки освещения используются светотехнические характеристики, принятые в физике.

Видимое излучение – участок спектра электромагнитных колебаний в диапазоне длин волн от 380 до 770 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$), регистрируемых человеческим глазом.

Световой поток F – мощность лучистой энергии, оцениваемая по производимому ею зрительному ощущению. За единицу светового потока принят люмен (лм).

Сила света I – пространственная плотность светового потока:

$$I = \frac{dF}{d\omega}, \quad (0.1)$$

где dF – световой поток (лм), равномерно распределяющийся в пределах телесного угла $d\omega$. Единица измерения силы света – кандела (кд), равная световому потоку в 1 лм (люмен), распространяющемуся внутри телесного угла в 1 стерадиан.

Освещенность – поверхностная плотность светового потока, люкс (лк).

$$E = \frac{dF}{dS}, \quad (0.2)$$

где dS – площадь поверхности, m^2 ; на которую падает световой поток dF

Яркость B – поверхностная плотность силы света в заданном направлении. Яркость, являющаяся характеристикой светящихся тел, равна отношению силы света в каком-либо направлении к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к этому направлению.

$$B = \frac{dI}{dS} \cos \alpha, \quad (0.3)$$

где I – сила света, кд; dS – площадь излучающей поверхности, m^2 ; α – угол между направлением излучения и плоскостью, 1 рад.

Единицей измерения яркости является $кд/м^2$, это яркость такой плоской поверхности, которая в перпендикулярном направлении излучает силу света в 1 кд с площади $1 м^2$.

Искусственное освещение предусматривается в помещениях, в которых испытывается недостаток естественного света, а также для освещения помещения в те часы суток, когда естественная освещенность отсутствует.

По принципу организации искусственное освещение можно разделить на три вида: общее, местное и комбинированное.

Общее освещение предназначено для освещения всего помещения, оно может быть равномерным или локализованным. Общее равномерное освещение создает условия для выполнения работ в любом месте освещаемого пространства. При общем локализованном освещении светильники размещают в соответствии с расположением оборудования, что позволяет создавать повышенную освещенность на рабочих местах. *Комбинированное освещение* состоит из общего и местного. Его целесообразно устраивать при работах высокой точности, а также при необходимости создания в процессе работы определенной

направленности светового потока: *Местное освещение* предназначено для освещения только рабочих поверхностей и не создает необходимой освещенности даже на прилегающих к ним участках. Оно может быть стационарным и переносным. Применение только местного освещения в производственных помещениях запрещается, так как резкий контраст между ярко освещенными и неосвещенными местами утомляет зрение, замедляет скорость работы, и нередко являются причиной несчастных случаев.

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяется на *рабочее, аварийное, эвакуационное и охранное*.

Рабочее освещение предусматривается для всех помещений производственных зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

Аварийное освещение в помещениях и на местах производства работ необходимо предусматривать, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования может привести к взрыву, пожару, длительному нарушению технологического процесса или работы объектов жизнеобеспечения. Наименьшая освещенность, создаваемая аварийным освещением, должна составлять 5 % освещенности, нормируемой для рабочего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территории предприятий.

Эвакуационное освещение следует предусматривать в местах, отведенных для прохода людей, в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей в количестве более 50 человек. Это освещение должно обеспечивать на полу основных проходов (или на земле) и на ступенях лестниц освещенность не менее 0,5 лк в помещениях и 0,2 лк на открытой территории.

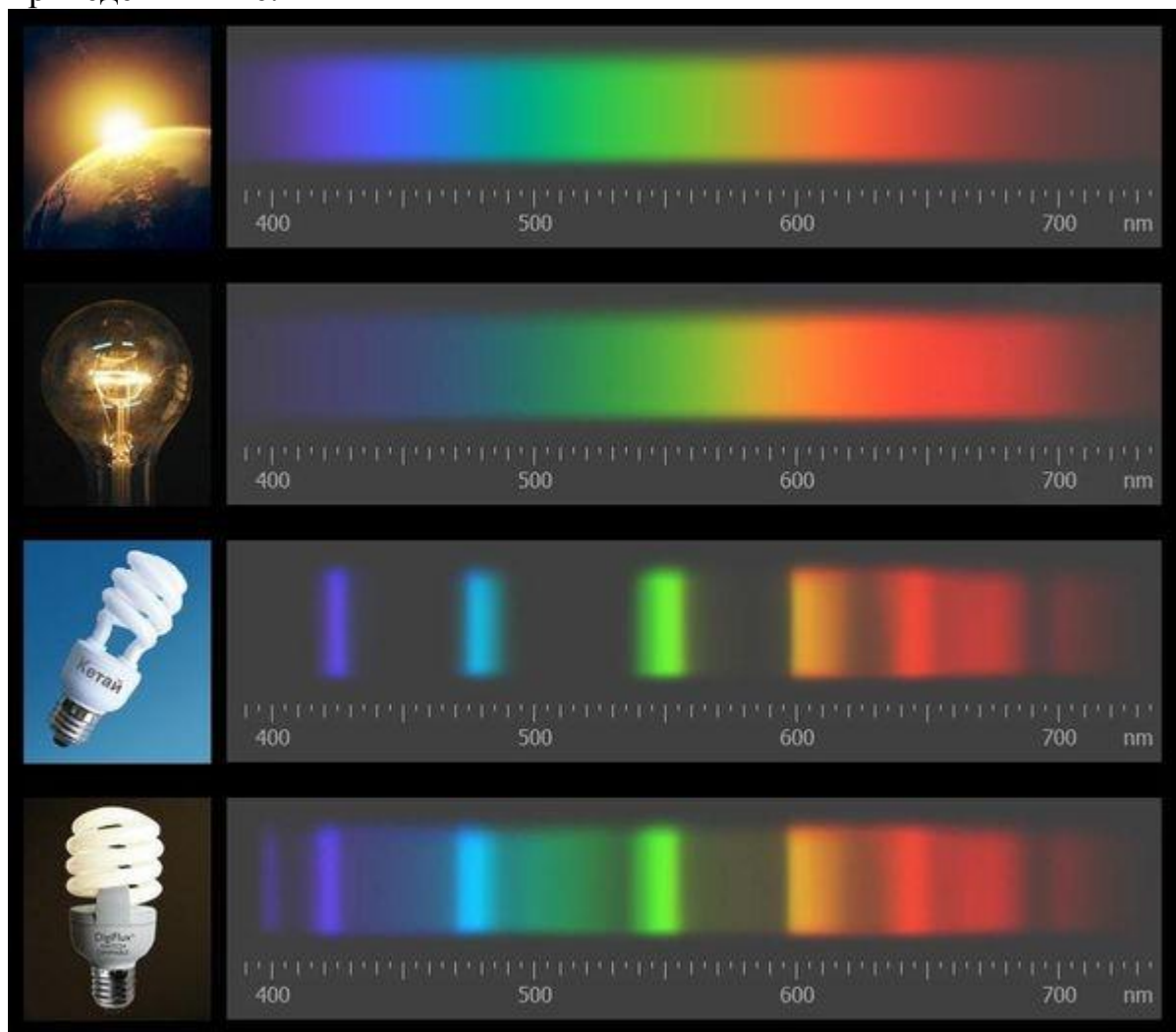
Охранное освещение предусматривается вдоль границ территории, охраняемой в ночное время. Охранное освещение должно обеспечивать освещенность не менее 0,5 лк на уровне земли. В качестве источников искусственного освещения наиболее часто применяются *лампы накаливания и газоразрядные лампы*.

В настоящее время появились *светодиодные осветительные лампы*. Их светотехнические характеристики постоянно совершенствуются, а стоимость изготовления – снижается. Данные источники света экономичны и имеют увеличенный срок службы. К недостаткам можно отнести достаточно высокую стоимость и отличие спектра излучения от естественного.

В *лампах накаливания* источником света является раскаленная вольфрамовая проволока. Эти лампы дают непрерывный спектр

излучения с повышенной (по сравнению с естественным светом) интенсивностью в желто-красной области спектра. По конструкции лампы накаливания бывают вакуумные и газонаполненные, в том числе галогенные.

Спектральные характеристики различных источников света приведены ниже:



Общим недостатком ламп накаливания является сравнительно небольшой срок службы (менее 2000 ч) и малая световая отдача (отношение создаваемого лампой светового потока к потребляемой электрической мощности) (8–20 лм/Вт). В промышленности они находят применение для организации местного освещения.

Наибольшее применение в промышленности находят газоразрядные лампы низкого и высокого давления. Газоразрядные лампы низкого давления, называемые люминесцентными, содержат стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором, наполненную дозированным количеством ртути (30–

80 мг) и смесью инертных газов под давлением около 400 Па. На противоположных концах внутри трубки размещаются электроды, между которыми, при включении лампы в сеть, возникает газовый разряд, сопровождающийся излучением преимущественно в ультрафиолетовой области спектра. Это излучение, в свою очередь, преобразуется люминофором в видимое световое излучение.

В зависимости от состава люминофора люминесцентные лампы обладают различной цветностью.

В последние годы появились газоразрядные лампы низкого давления со встроенным высокочастотным преобразователем. Газовый разряд в таких лампах (называемый вихревым) возбуждается на высоких частотах (десятки кГц) за счет чего обеспечивается очень высокая светоотдача. К газоразрядным лампам высокого давления (0,03–0,08 МПа) относят *дуговые ртутные лампы* (ДРЛ). В спектре излучения этих ламп преобладают составляющие зелено-голубой области спектра. Основными достоинствами газоразрядных ламп является их долговечность (свыше 10000 часов), экономичность, малая себестоимость изготовления, благоприятный спектр излучения, обеспечивающий высокое качество цветопередачи, низкая температура поверхности. Светоотдача этих ламп колеблется в пределах от 30 до 105 лм/Вт, что в несколько раз превышает светоотдачу ламп накаливания.

Известны два подхода к нормированию освещенности рабочих поверхностей.

«Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03» определяют наименьшую освещенность рабочих поверхностей в производственных помещениях в зависимости от вида производимой деятельности, а СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» – в зависимости от характеристики зрительной работы, определяемой минимальным размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и свойствами фона. В этом документе используются следующие основные понятия:

Объект различения – рассматриваемый предмет, отдельная его часть или дефект, которые следует контролировать в процессе работы.

Фон – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Фон считается: светлым при коэффициенте отражения ρ светового потока поверхностью более 0,4; среднесветлым при коэффициенте отражения от 0,2 до 0,4; темным при коэффициенте отражения менее 0,2.

Контраст объекта различения с фоном определяется отношением абсолютной величины разности яркостей объекта V_o и фона V_ϕ к наибольшей из этих двух яркостей. Контраст считается большим при значениях более 0,5; средним – при значениях от 0,2 до 0,5; малым – при значениях менее 0,2.

В соответствии со СНиП 23-05-95 все зрительные работы делятся на 8 разрядов и зависимости от размера объекта различения и условий зрительной работы. Допустимые значения наименьшей освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях в соответствии со СНиП 23-05-95 приведены в таблице 5.1 (В зарубежных нормах размер объекта различения часто указывают в угловых минутах).

Еще одним важным параметром, характеризующим качество освещения, является его пульсация, которая возникает из-за питания источников света переменным напряжением. Особо большие значения она имеет при использовании малоинерционных источников света, которыми являются люминесцентные лампы. Пульсации освещенности на рабочей поверхности не только утомляют зрение, но и могут вызывать неадекватное восприятие наблюдаемого объекта за счет появления стробоскопического эффекта – кажущегося изменения или прекращения движения объекта, освещаемого светом, периодически изменяющимся с определенной частотой. Например, если вращающийся белый диск с черным сектором освещать пульсирующим световым потоком (вспышками), то сектор будет казаться: неподвижным при частоте $f_{всп} = f_{вращ}$, медленно вращающимся в обратную сторону при $f_{всп} > f_{вращ}$, медленно вращающимся в ту же сторону при $f_{всп} < f_{вращ}$, где $f_{всп}$ и $f_{вращ}$ – соответственно частоты вспышки и вращения диска. Пульсации освещенности вращающихся объектов могут вызывать видимость их неподвижности и быть причиной травматизма.

Табл. 5.1. Нормирование значения освещенности на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении, согласно СНиП 23-05-95

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта, мм	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	Освещенность, лк	
					Комбинированное освещение	Общее освещение
очень высокая точность (II разряд зрительной работы)	0,15-0,3	а	малый	темный	4000	400
			малый	средний	3500	400
		б	средний	темный	3000	300
			малый	светлый	2500	300
			средний	средний	2000	200
		в	большой	темный	1500	200
			средний	светлый	1000	200
			большой	средний	750	200
высокая точность (III разряд зрительной работы)	0,3-0,5	а	малый	темный	2000	200
			малый	средний	1500	200
		б	средний	темный	1000	200
			малый	светлый	750	200
			средний	светлый	750	200
		в	большой	темный	600	200
			средний	светлый	400	200
			большой	средний	400	200
средняя точность (IV разряд зрительной работы)	0,5-1,0	а	малый	темный	750	200
			малый	средний	500	200
		б	средний	темный	500	200
			малый	светлый	400	200
			средний	светлый	400	200
		в	большой	темный	400	200
			средний	светлый	400	200
			большой	средний	400	200
г	большой	светлый	400	200		
	большой	средний	400	200		
	большой	светлый	400	200		
малая точность (V разряд зрительной работы)	1,0-5,0	а	малый	темный	400	200
			малый	средний	200	200
		б	средний	темный	200	200
			малый	светлый	200	200
			средний	средний	200	200
		в	большой	темный	200	200
			средний	светлый	200	200
			большой	средний	200	200
г	большой	светлый	200	200		
	большой	средний	200	200		

Величину пульсации освещения характеризуют коэффициентом пульсации освещенности $K_{п}$. Значение $K_{п}$ меняется от нескольких процентов (для ламп накаливания) до нескольких десятков процентов (для люминесцентных ламп).

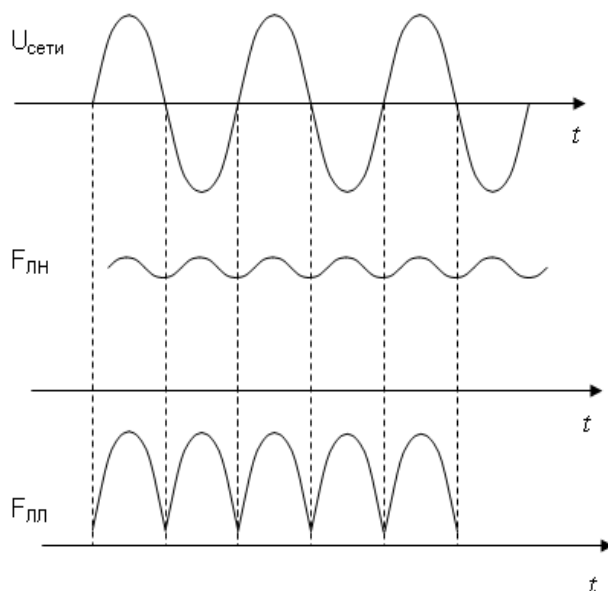


Рис. 5.1. Зависимости напряжения электропитания, светового потока лампы накаливания (ЛН) и люминесцентной лампы (ЛЛ) от времени

В то же время, газоразрядные лампы обладают малой инерцией и меняют свой световой поток $F_{лл}$ почти пропорционально амплитуде сетевого напряжения.

Поэтому величина коэффициента пульсации освещенности рабочей поверхности стола нормируется для газоразрядных ламп в соответствии с таблицей 5.2.

Табл. 5.2. Нормируемые значения $K_{п}$ для газоразрядных ламп

Система освещения		Коэффициент пульсации освещенности, % при разрядах зрительной работы		
		I, II	III	IV-VIII
Общее освещение		10	15	20
Комбинированное освещение	а) общее	20	20	20
	б) местное	10	15	20

Величина, характеризующая эффективность использования источников света, называется *коэффициентом использования светового потока* или коэффициентом использования осветительной установки и определяется как отношение фактического светового потока F_{ϕ} к суммарному световому потоку используемых источников света F_{ϕ} , определенному по их номинальной мощности в соответствии с нормативной документацией:

$$\eta = \frac{F_{\phi}}{F_{\phi}} . \quad (0.4)$$

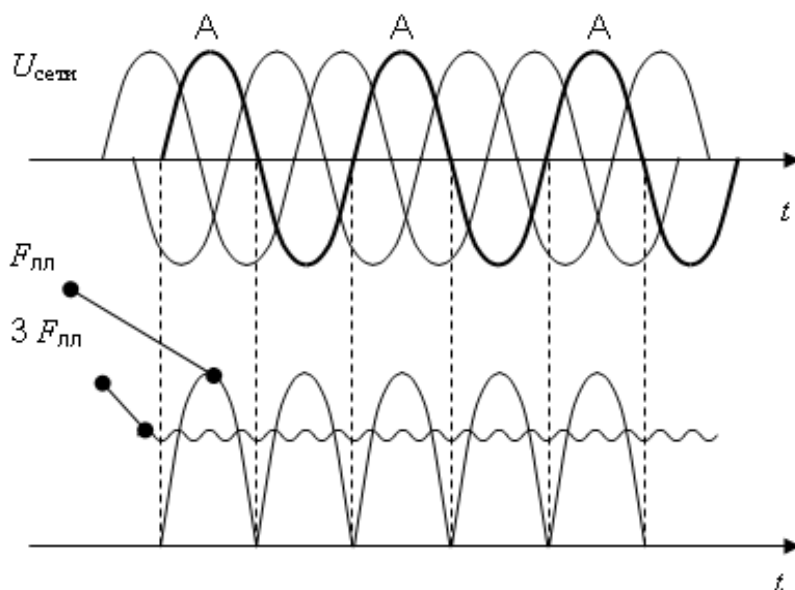


Рис. 5.2. Зависимости напряжения электропитания и световых потоков люминесцентных ламп, включенных в одну ($F_{\text{лп}}$) и в три ($3F_{\text{лп}}$) фазы сети электропитания от времени t

Значение фактического светового потока F_{ϕ} можно определить по результатам измерений в помещении средней освещенности $E_{\text{ср}}$ по формуле:

$$F_{\phi} = E_{\text{ср}} S , \quad (0.5)$$

где S – площадь помещения, м^2 .

МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Лабораторная работа выполняется в три этапа:

1. Измеряется освещенность, создаваемая различными источниками света и сравнивается с нормативными значениями.
2. Измеряются и сравниваются коэффициенты пульсаций различных источников света, оценивается зависимость коэффициента пульсаций от способа подключения ламп к фазам трехфазной сети.
3. Исследуется зависимость коэффициент использования осветительной установки.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из макета производственного помещения оборудованного различными источниками искусственного освещения, и пульсметра–люксметра для измерения значений освещенности и коэффициента ее пульсаций.

Внешний вид макета представлен на рис. 5.3. Макет имеет каркас из алюминиевого профиля, панелей, имитирующих пол, потолок, боковые, заднюю и переднюю стенки. Задняя и боковые стенки являются съемными и могут устанавливаться любой из двух сторон внутрь макета помещения, фиксируясь в проемах каркаса с помощью магнитных защелок. Одна сторона стенок окрашена в светлые тона, другая в темные тона, при этом нижняя окрашенная половина стенки темнее верхней.

В передней нижней части каркаса предусмотрено окно для установки датчика пульсметра–люксметра внутрь каркаса. На уровне пола макета помещения размещен вентилятор для наблюдения стробоскопического эффекта. В верхней панели установлены две лампы накаливания, три люминесцентные лампы типа КЛ9, галогенная лампа и люминесцентная лампа типа СКЛЭН с высокочастотным преобразователем. Вертикальная проекция ламп отмечена на полу макета помещения цифрами, соответствующими номерам ламп на лицевой панели макета.



Рис. 5.3. Внешний вид лабораторного стенда

Подача электропитания на установку производится автоматическим выключателем, находящимся на задней панели каркаса, и индицируется сигнальной лампой, расположенной на передней панели каркаса. Электропитание ламп, накаливания и люминесцентных ламп осуществляется от разных фаз. Схема позволяет включать отдельно каждую лампу с помощью соответствующих переключателей, расположенных на передней панели каркаса (рис. 5.3).

В работе используется представленный на рис. 5.4 пульсметр–люксметр типа ТКА–ПКМ–08, который предназначен для измерения освещенности в диапазоне от 10 до 200 000 лк и коэффициента пульсации в диапазоне от 0 до 100%.



Рис. 5.4. Пульсметр–люксметр типа ТКА–ПКМ–08

После включения прибора необходимо дождаться появления на дисплее надписи «Затемните датчик и нажмите HOLD». Накройте датчик рукой и нажмите кнопку «HOLD». При этом осуществляется автоматическая калибровка нулевых показаний прибора. Дождитесь появления на экране дисплея нулевых показаний и прибор готов к работе.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Проверка на соответствие требованиям освещенности в аудитории

На занятиях в аудитории 138 или 140 студенты выполняют работы соответствующие средней точности (IV разряд зрительной работы). Эти работы связаны с чтением и письмом. Наименьший размер объектов различения составляет 0.5-0.7 мм (точка, запятая или тонкая линия), контраст — высокий (черные буквы на белом фоне), а сам фон — светлый (белая бумага).

По табл. 5.1 определить и занести в таблицу данных (табл. 5.3):

а) Характеристику зрительной работы;

- б) Наименьший размер объекта различения;
- в) Подразряд зрительной работы;
- г) Контраст объекта различения с фоном;
- д) Характеристику фона;
- е) Нормы освещенности для данного вида работ.

По табл. 5.2 определить и занести в таблицу данных норму по коэффициенту пульсаций освещенности ($K_{п}$).

Табл. 5.3. Таблица данных

Характеристика зрительной работы	
Наименьший размер объекта, мм	
Подразряд зрительной работы	
Контраст объекта с фоном	
Характеристика фона	
Норма освещенности, лк	
Измеренная освещенность, лк	
Норма коэффициента пульсации, %	
Измеренный коэффициент пульсаций, %	

Измерение освещенности и коэффициента пульсации проводить непосредственно на рабочем столе (стол в центре аудитории). Сравнить измеренные значения освещенности и коэффициента пульсации с нормативными и сделать вывод о соответствии освещения в аудитории требуемым нормам.

2. Исследование коэффициента пульсации различных ламп

Используя пульсметр–люксметр, последовательно провести замеры коэффициента пульсаций освещенности для всех типов ламп (Л1 – Л7) и указанных их комбинаций (Л1Л2, Л1Л2Л3, Л5Л6) на лабораторном стенде. Результаты внести в табл. 5.4.

Табл. 5.4. Коэффициенты пульсации

$K_{п}$, измеренный для ламп, %										
Лампы накаливания				Люминесцентные лампы						Ест. свет*
Л5	Л6	Л7	Л5Л6	Л1	Л2	Л3	Л4	Л1Л2	Л1Л2Л3	

* — измерение $K_{п}$ естественного света возможно на занятиях, которые проводятся в светлое время суток.

Сравнить измеренные значения коэффициента пульсаций освещенности с допустимыми значениями и сделать вывод о соответствии нормам (по табл. 5.2). Объяснить, почему K_p ламп накаливания меньше, чем у люминесцентных ламп. Почему у естественного света K_p равен нулю?

3. Наблюдение стробоскопического эффекта

Включить вентилятор на лабораторном стенде и люминесцентную лампу Л1. Изменяя скорость вращения вентилятора добиться возникновения иллюзии неподвижности или обратного вращения. Далее включить одновременно лампы Л1 и Л2, а затем все три лампы Л1, Л2 и Л3. При одновременном включении трех ламп можно качественно убедиться в уменьшении стробоскопического эффекта. В выводе необходимо объяснить причину уменьшения K_p люминесцентных ламп при их одновременном включении, а также причину уменьшения стробоскопического эффекта.

4. Оценка энергетической эффективности источников света

Отдельно для каждой лампы (Л1, Л4, Л6, Л7) измерить создаваемую на уровне пола макета освещенность $E_{\text{факт}}$. Датчик люксметра необходимо располагать строго под лампой. Для каждой лампы определить величину удельной освещенности $E_{\text{уд}}$, т.е. освещенность, создаваемую 1 Вт электрической энергией:

$$E_{\text{уд}} = \frac{E_{\text{факт}}}{W}, \quad (5.7)$$

где $E_{\text{уд}}$ – удельная освещенность, лк/Вт, $E_{\text{факт}}$ – фактическая освещенность под лампой, W – номинальная мощность лампы.

Табл. 5.5. Номинальная мощность электрических ламп

Тип ламп	Номинальная мощность, Вт
Лампа накаливания Л5, Л6	60
Лампа люминесцентная Л1 – Л3	9
Лампа люминесцентная Л4	11
Лампа галогенная Л7	50

Результаты измерений и расчетов зафиксировать в табл. 5.6.

Табл. 5.6. Удельная освещенность ламп

Тип лампы	Лампа накаливания		Люминесцентная лампа	
	Л6	Л7	Л1	Л4
Мощность ламп, Вт				
Освещенность, лк				
Удельная освещенность, лк/Вт				

Провести сравнительную оценку эффективности различных типов ламп.

5. Оценка коэффициента использования осветительной установки

1. Панели макета производственного помещения установить **темными сторонами внутрь** модели помещения. Включить лампу накаливания Л5. Измерить освещенность в пяти точках макета производственного помещения (в центре и **УГЛАХ ПОЛА** макета), затем определить среднее значение освещенности $E_{ср}$. Аналогично произвести измерение освещенности с люминесцентной лампой Л1 и галогенной Л7. Результаты записать в табл. 5.7.

2. Панели макета производственного помещения установить светлыми сторонами внутрь помещения. Включить лампу накаливания Л5. Измерить освещенность в пяти точках макета производственного помещения (в центре и **УГЛАХ ПОЛА**), затем определить среднее значение освещенности $E_{ср}$. Аналогично произвести измерение освещенности с люминесцентной лампой Л1 и галогенной Л7. Данные занести в табл. 5.7.

Табл. 5.7. Определение коэффициента использования светового потока

	Светлая окраска стен			Тёмная окраска стен		
	Л5 (нак.)	Л1 (люм.)	Л7 (гал.)	Л5 (нак.)	Л1 (люм.)	Л7 (гал.)
E_1 , лк						
E_2 , лк						
E_3 , лк						
E_4 , лк						
E_5 , лк						
$E_{ср}$, лк						
$F_{факт}$						
η						

3. По результатам измерений освещенности для варианта с темной и светлой окраской панелей вычислить значение фактического светового потока $F_{\text{факт}}$ по формуле:

$$F_{\phi} = E_{\text{ср}} S, \quad (0.6)$$

Площадь пола макета помещения S принять равной $0,42 \text{ м}^2$.

4. Вычислить коэффициент использования осветительной установки η для варианта с темной и светлой окраской стен по формуле:

$$\eta = \frac{F_{\phi}}{F_{\text{л}}}. \quad (0.7)$$

Суммарный световой поток $F_{\text{л}}$ выбирается по номинальной мощности для каждого типа ламп по табл. 5.8.

Табл. 5.8. Световой поток различных источников света

Тип ламп	Номинальный световой поток, лм
Лампа накаливания Л5, Л6	730
Лампа люминесцентная Л1 – Л3	460
Лампа люминесцентная Л4	700
Лампа галогенная Л7	850

5. В выводе отразить факторы, от которых зависит коэффициент использования светового потока.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Укажите виды систем освещения.
- Дайте определение понятиям: световой поток; сила света; освещенность; яркость.
- В чем отличие систем общего и комбинированного освещения?
- Приведите характеристику рабочего, аварийного, эвакуационного и охранного освещения.
- Сравните характеристики ламп накаливания, газоразрядных и светодиодных ламп.
- Разъясните термины: объект различения, фон, контраст объекта с фоном и характеристика зрительной работы.
- Причины пульсации освещенности и стробоскопического эффекта.
- Способы снижения коэффициента пульсации освещенности.
- Разъясните термин коэффициент использования осветительной

установки.

- Приборы и методика измерения количественных и качественных характеристик систем освещения.
- Какие показатели учитываются при нормировании освещенности на рабочем месте?
- Перечислите основные требования к системам искусственного освещения.