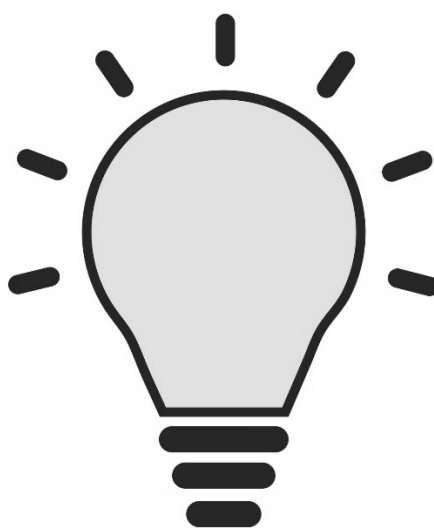


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»  
федеральный опорный вуз

Кафедра "Производственная безопасность, экология и химия"

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА И КАЧЕСТВА ОСВЕЩЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие  
к лабораторной работе по курсу «Безопасность  
жизнедеятельности» для бакалавров и специалистов всех направлений и  
форм обучения



Нижний Новгород 2020

Составители: Н.С.Конюхова, Т.И.Курагина, О.В.Маслеева,  
Л.Н.Борисенко  
УДК 628.95;658.2 (075.5)

Оценка эффективности источников света и качества освещения:  
Учебно-методическое пособие к лабораторной работе по курсу  
«Безопасность жизнедеятельности» для бакалавров и специалистов всех  
направлений и форм обучения/НГТУ; Сост.: Н.С.Конюхова и др.  
Н.Новгород, 2020. 16с.

Изложены краткие сведения из теории, задание к работе и порядок  
ее выполнения, указания к составлению отчета, вопросы для  
самопроверки.

Редактор

Подп. к печ: . Формат 60x80 <sup>1</sup>/<sub>16</sub> . Бумага газетная. Печать офсетная.  
Печ. л. 0,75. Уч.-изд.л. 0,6. Тираж 200 экз. Заказ 173.  
Нижегородский государственный технический университет.  
Типография НГТУ. 603600, Н.Новгород, ул. Минина,24.

© Нижегородский государственный  
технический университет, 2020

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение количественных и качественных характеристик производственного освещения.
2. Оценка влияния типа светильника и цветовой отделки интерьера производственного помещения на освещенность.
3. Исследование коэффициента пульсации от разных источников света.
4. Наблюдение условий стробоскопического эффекта.

### 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Свет – это видимая часть спектра электромагнитного излучения оптического диапазона (от 380 до 780 нм).

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

Из общего объема информации человек получает через зрительный аппарат около 80%. Качество получаемой информации во многом зависит от освещения: неудовлетворительное освещение не только утомляет зрение, но и вызывает утомление организма в целом.

#### 2.1. Светотехнические характеристики освещения

Для гигиенической оценки освещения используются светотехнические характеристики. К ним, в частности, относятся:

- **Световой поток  $F$**  - мощность лучистой энергии, оцениваемой по световому ощущению, воспринимаемому человеческим глазом. Единица измерения - люмен (лм);
- **Сила света  $I$**  - пространственная плотность светового потока. Единица измерения - кандела (кд).

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

где  $\Psi$  - телесный угол, в пределах которого распределяется световой поток;

- **Освещенность  $E$**  - поверхностная плотность светового потока. Единица измерения - люкс (лк):

$$E = \frac{F}{S} \quad (2)$$

где  $S$  - площадь поверхности, м<sup>2</sup>, на которую падает световой поток  $F$ ;

- **Яркость  $L$**  - поверхностная плотность силы света в данном направлении. Это отношение силы света, излучаемого освещаемой или

светящейся поверхностью в этом направлении, к площади проекции поверхности на плоскость, перпендикулярную к данному направлению. Единица измерения - кд/м<sup>2</sup>. Зрительное восприятие, в основном, определяется именно яркостью равномерно светящейся поверхности. Яркость рабочих поверхностей должна обеспечивать нормативные показатели дискомфорта от общего искусственного освещения. Она зависит от световых свойств поверхностей, от степени освещенности и от угла  $\alpha$ , под которым поверхность рассматривается:

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha} \quad (3)$$

- **Коэффициент отражения поверхности  $\rho$**  - отношение отраженного от поверхности светового потока к падающему на поверхность световому потоку. Единица измерения - % (отн. ед.):

$$\rho = \frac{F_{\text{отр}}}{F_{\text{пад}}} \quad (4)$$

Фон считается: светлым - при  $\rho > 0.4$ ; средним - при  $\rho = 0.2 \div 0.4$ ; темным - при  $\rho < 0.2$

- **Коэффициент пульсации  $K_{\text{п}}$**  - показывает относительное изменение глубины освещенности во времени:

$$K_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2E_{\text{ср}}} \cdot 100\% \quad (5)$$

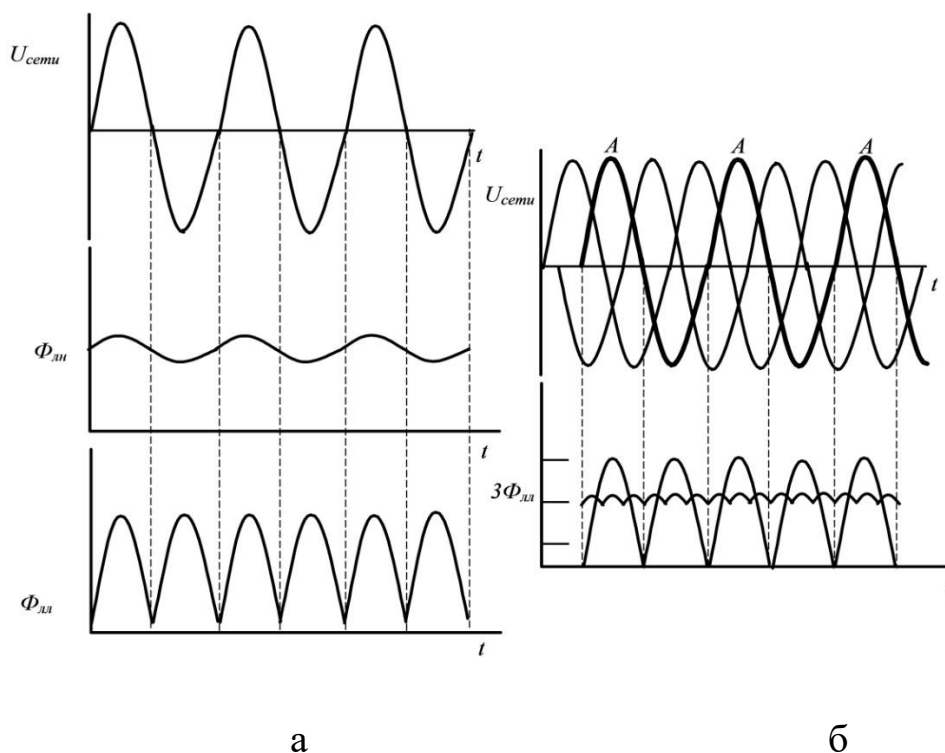
где  $E_{\text{max}}$ ,  $E_{\text{min}}$ ,  $E_{\text{ср}}$  - соответственно: максимальная, минимальная и средняя освещенности поверхности.

Для разрядных ламп коэффициент пульсации освещенности составляет 15–65%.; для ламп накаливания – 7 %; для галогенных ламп – 1 %. Пульсации освещенности возникают из-за питания источников света переменным напряжением. Особо большие значения они имеют 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.

Малое значение коэффициента пульсации для ламп накаливания объясняется большой тепловой инерцией нити накала, препятствующей заметному уменьшению светового потока лампы накаливания  $\Phi_{\text{лн}}$  в момент перехода мгновенного значения переменного напряжения сети через ноль (рис. 1).

В то же время разрядные лампы (в том числе люминесцентные) обладают малой инерцией и меняют свой световой поток  $\Phi_{\text{лл}}$  почти пропорционально амплитуде напряжения питающей цепи.

Для уменьшения коэффициента пульсации освещенности люминесцентные лампы включаются в разные фазы трехфазной электрической цепи. Характер изменения во времени суммарного светового потока, создаваемого тремя люминесцентными лампами  $3\Phi_{\text{лл}}$ , включенными в первом случае в одну фазу (рис.1а), а затем в разные фазы трехфазной сети показан на рис. 1б.



**Рис. 1. Пульсации светового потока при однофазном и трехфазном питающем напряжении**

## 2.2. Искусственное освещение

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 два типа: общее 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 является 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.

### **2.3. Источники искусственного освещения**

В качестве источников искусственного освещения применяются лампы накаливания разрядные лампы и светодиодные лампы.

В **лампах накаливания** (рис.2) источником света является раскаленная вольфрамовая проволока. Эти лампы дают непрерывный спектр излучения с преобладанием желто-красных лучей по сравнению с естественным светом.

Общим недостатком ламп накаливания является небольшой срок службы (около 1000 ч), низкая светоотдача (7-20 лм/Вт) и малый коэффициент полезного действия. Чаще всего на производстве применяются для местного освещения.

Главными преимуществами ламп накаливания являются простота конструкции, удобство в эксплуатации, так как не требуют дополнительных устройств для включения в сеть, инерционность (отсутствие пульсации светового потока).

**Галогенная лампа** (рис.2) – это лампа накаливания, в колбу которой добавлены пары брома или йода. В отличие от ламп накаливания для галогенных ламп используют кварцевое стекло, а не обычное.

Преимущества галогенных ламп по сравнению с обычными лампами накаливания: увеличение срока службы, увеличение светоотдачи, уменьшение размеров.



**Рис.2 Лампа накаливания и галогенная лампа**

**Разрядные лампы** бывают низкого и высокого давления. Разрядные лампы низкого давления (люминесцентные лампы - ЛЛ) представляют собой стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором, наполненную дозированным количеством ртути (30...80 мг) и инертным газом при давлении около 400 Па (обычно аргоном). На концах трубки установлены электроды. При включении лампы электрический ток, протекающий между электродами, вызывает в парах ртути электрический разряд, сопровождающийся излучением, которое преобразуется в световое излучение. В зависимости от состава люминофора люминесцентные лампы обладают различной цветностью (рис.4).

К разрядным лампам высокого давления (0,03...0,07 МПа) относят дуговые ртутные лампы (ДРЛ). В спектре этих ламп преобладают зеленые и голубые тона. Принцип действия и устройство основаны на преобразовании при помощи люминофора ультрафиолетового излучения ртутного разряда лампы, составляющего около 40% всего потока излучения, в недостающее излучение в красной части спектра.

Основным преимуществом разрядных ламп является их экономичность. Светоотдача этих ламп колеблется в пределах 30..80лм/Вт, что в 3-4 раза превышает световую отдачу ламп накаливания. Срок службы доходит до 10000 ч.

К основным недостаткам разрядных ламп можно отнести следующее: период разгорания может достигать до 15 мин, высокий уровень пульсации светового потока, создание радиопомех. Наличие пульсации светового потока способствует образованию стробоскопического эффекта, сущность которого заключается в искажении зрительного восприятия движения вращающихся и перемещающихся тел при совпадении частот пульсации с частотой движения (если частота вращения объекта совпадает с частотой пульсаций освещенности, то объект кажется неподвижным).

Компактные люминесцентные лампы типа КЛ (компактная люминесцентная) и СКЛЭН (люминесцентная компактные спиральные) показаны на рис.2.



**Рис.3 Компактные люминесцентные лампы типа КЛ и СКЛЭН**

У **светодиодных ламп** (рис. 4) основной элемент — это полупроводниковый элемент с электронно-дырочным переходом или контакт металл-полупроводник. Принцип работы аналогичен процессам, происходящим в полупроводниковом диоде с *p-n* переходом. В светодиоде при бомбардировке в прямом направлении носителями зарядов (электронами и дырками) осуществляется их рекомбинация с переводом на другой энергетический уровень. В итоге происходит выделение фотонов – элементарных частиц электромагнитного излучения светового диапазона. Габариты кристалла весьма небольшие,



и от одного источника можно получить малый поток света. Поэтому для ламп освещения такие светодиоды объединяют большими группами.

Питание светодиода осуществляется при помощи постоянного напряжения, поэтому необходимо преобразовать переменное напряжение 220В в постоянное – 3,5В.

Основные преимущества светодиодных ламп: большая светоотдача (70-80 лм/Вт); долгий срок службы (до 100 000 часов); мгновенное зажигание; низкий коэффициент пульсации светового потока; отсутствие радиопомех; возможность работы при низких температурах. К основным недостаткам светодиодных ламп можно отнести их высокую стоимость, деградацию кристалла, в результате чего он постепенно снижает яркость и дороговизну источников питания и систем охлаждения.

Технические характеристики ламп приведены в табл.1



**Рис.4 Люминесцентная лампа и светодиодная лампа**

**Таблица 1**

**Технические характеристики ламп**

Тип ламп	Номинальная мощность, Вт	Номинальный световой поток, лм
Лампа накаливания	60	730
Лампа галогенная	50	850
Лампа люминесцентная КЛ9	9	600
Лампа люминесцентная СКЛЭН	11	700
Светодиодная лампа	5	450

## **2.4. Методы снижения коэффициента пульсации**

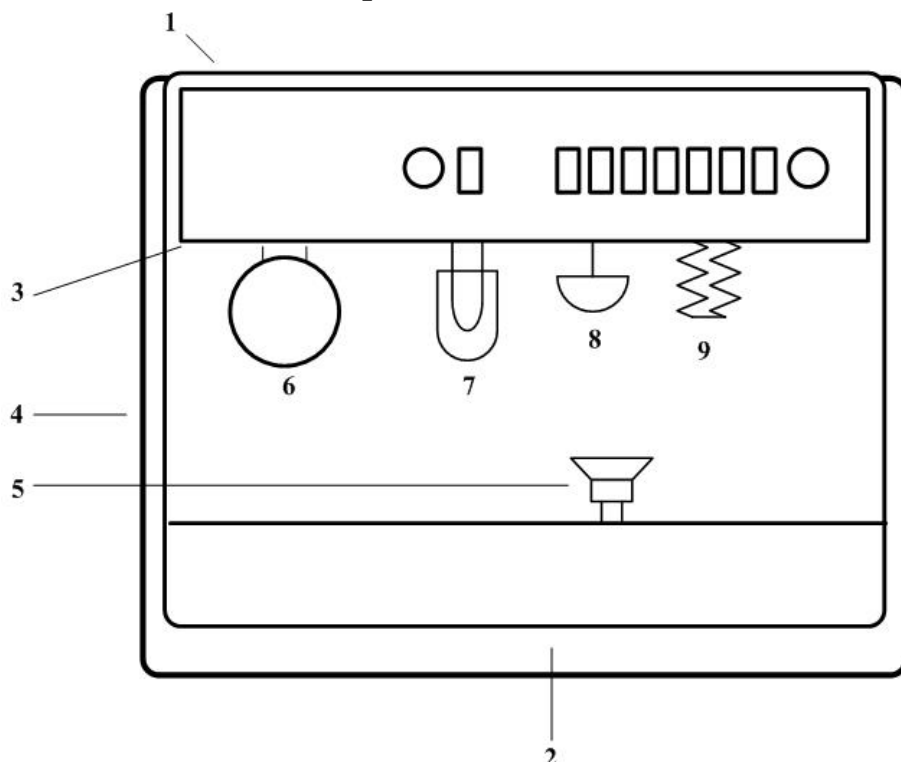
Пульсации светового потока, возникающие при освещении разрядными источниками света, вызывают зрительное утомление и снижают производительность труда. Разрядные источники света пульсируют с удвоенной частотой переменного тока, питающего осветительную установку.

Для уменьшения коэффициента пульсации используют следующие методы: включение смежных ламп в различные фазы электрической сети; питание установок током повышенной частоты; применение двухламповых светильников с емкостным и индуктивным балластами; применение светильников с высокочастотной пускорегулирующей аппаратурой.

### 3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка состоит из макета производственного помещения, оборудованного различными источниками искусственного освещения, и люксметра RADEX LUMEN для измерения значений освещенности и коэффициента её пульсаций.

Внешний вид макета представлен на рис.4. Макет имеет каркас 1 из алюминиевого профиля, пол 2, потолок 3. боковые стенки 4, заднюю стенку и переднюю стенку. Задняя и боковые стенки являются съемными и могут устанавливаться любой из двух сторон внутрь макета помещения, фиксируясь в проемах каркаса. Одна сторона стенок окрашена в светлые тона, другая - в темные тона, при этом нижняя окрашенная половина стенки темнее верхней.



**Рис. 4. Внешний вид лабораторного стенда:**

- 1 – алюминиевый каркас; 2 – пол; 3 – потолок; 4 – боковая стенка;  
5 – вентилятор; 6 – лампа накаливания и светодиодная лампа;  
7 – люминесцентные лампы типа КЛ9; 8 – галогенная лампа; 9 – люминесцентная лампа типа СКЛЭН с высокочастотным преобразователем

Передняя стенка жестко вмонтирована в каркас и выполнена из тонированного прозрачного стекла.

В передней нижней части каркаса 1 предусмотрено окно для установки измерительной головки люксметра внутрь каркаса.

На полу 2 размещен вентилятор 5 для наблюдения стробоскопического эффекта и охлаждения ламп в процессе работы.

На потолке 3 размещены 7 патронов, в которых установлены одна светодиодная лампа и одна лампа накаливания 5 и 6, три люминесцентные лампы 7 типа КЛ9, галогенная лампа 8 и люминесцентная лампа 9 типа СКЛЭН с высокочастотным преобразователем. Вертикальная проекция ламп отмечена на полу 2 цифрами, соответствующими номерам ламп на лицевой панели макета.

Включение электропитания установки производится автоматом защиты, находящимся на задней панели каркаса, и регистрируется сигнальной лампой, расположенной на передней панели каркаса.

На передней панели каркаса (рис. 5) расположены органы управления и контроля, в том числе:

- лампа индикации включения напряжения сети;
- переключатель для включения вентилятора;
- ручка регулирования частоты вращения вентилятора;
- переключатели (1 - 7) для включения ламп.



**Рис.5. Передняя панель каркаса стенда**

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.

На задней панели каркаса расположен автомат защиты сети и двоядная розетка с напряжением 220В для подключения измерительных приборов.

Одним из современных приборов, позволяющих измерять как освещенность, так и яркость поверхности, а также коэффициент пульсации, является RADEX LUMEN (рис. 4).



**Рис.4. Люксметр RADEX LUMEN**

RADEX LUPIN отличается от других приборов тем, что в нем применен профессиональный фотодатчик с коррекцией спектральной чувствительности. Коррекция фотодатчика под спектральную чувствительность человеческого глаза (А-кривая) обеспечивает максимальную чувствительность к зеленой части спектра и подавление инфракрасного и ультрафиолетового излучения. Данная коррекция позволяет осуществить измерение освещенности, яркости и пульсации ламп и других источников света строго по требованиям санитарных и других норм РФ.

Для измерения освещенности необходимо люксметр поместить горизонтально в точке измерения так, чтобы фотодатчик был направлен к источнику или источникам света, перейти в режим измерения освещенности – нажать кнопку «Е», считать результат с дисплея.

Для измерения коэффициента пульсаций освещённости необходимо: положить прибор на рабочую поверхность, при этом световой поток должен падать на фотодатчик, перейти в режим пульсметра – нажать кнопку «Р», считать результат с дисплея.

Кнопка «L» на панели RADEX LUPIN предназначена для включения измерения яркости поверхности.

#### **4. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ**

1. К работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторной установки, принципом действия и мерами безопасности при проведении лабораторной работы.

2. Для предотвращения перегрева установки при длительной работе ламп необходимо включить вентилятор.

3. После проведения лабораторной работы необходимо отключить электропитание стенда.

## 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### 5.1. Исследование освещенности и коэффициента использования осветительной установки

1. Установить стенки макета производственного помещения таким образом, чтобы стороны, окрашенные в темные тона, были обращены внутрь помещения (для этого приподнять стенку вверх, взяв ее за специальные отверстия, перевернуть темной стороной и установить в каркас макета, начиная с верха). Включить установку с помощью автомата защиты, находящегося на задней панели каркаса.

2. Включить лампы (выбор ламп производится по заданию преподавателя).

3. Произвести измерение освещенности с помощью люксметра-пульсметра не менее чем в пяти точках макета производственного помещения, определить среднее значение освещенности  $E_{ср}$ .

4. Установить стенки макета производственного помещения таким образом, чтобы стороны, окрашенные в светлые тона, были обращены внутрь помещения.

5. Произвести измерение освещенности не менее чем в пяти точках макета производственного помещения, определить среднее значение освещенности.

6. Вычислить значение световой отдачи ламп, используя данные табл. 1, и результаты расчета внести в табл. 2:

$$CO = \frac{F_{л}}{W}, \text{ лм/Вт} \quad (6)$$

где  $F_{л}$  – номинальный световой поток лампы, лм;

$W$  – номинальная мощность лампы, Вт.

7. По результатам измерений и расчетов:

- сравнить источники света по световой отдаче;
- сделать вывод о влиянии окраски стен на освещенность помещения.

Полученные результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов

Параметры	Величина							
	КЛ9		СКЛЭН		ЛН		галогенная	
Тип ламп								
Окраска стен помещения	свет- лая	тём- ная	свет- лая	тём- ная	свет- лая	тём- ная	свет- лая	тём- ная

Количество ламп								
Освещенность помещения в пяти точках, $E$ , лк								
1								
2								
3								
4								
5								
Световая отдача ламп								

Сделать вывод:

- о влиянии окраски стен на освещенность помещения;
- сравнить источники света по световой отдаче.

## 5.2 Исследование коэффициента пульсации освещенности

1. С помощью люксметра измерить коэффициент пульсации освещенности при включении одной лампы накаливания, светодиодной лампы, люминесцентной лампы типа КЛ9, люминесцентной лампы типа СКЛЭН. Полученные результаты занести в табл. 3.

Сравнить полученные значения коэффициента пульсации от разных источников света и сделать соответствующий вывод.

*Таблица 3*

**Результаты измерения коэффициента пульсации от разных источников света**

№ п/п	Тип лампы	Коэффициент пульсации, %
1	Лампа накаливания	
2	Лампа люминесцентная КЛ9	
3	Лампа люминесцентная СКЛЭН	
4	Светодиодная лампа	

2. Измерить и сравнить между собой коэффициенты пульсации освещенности при включении одной люминесцентной лампы, затем - двух и наконец, при включении трех люминесцентных ламп типа КЛ9. (Следует учесть, что люминесцентные лампы включены в три различные фазы трехфазной сети, поэтому измерительную головку люксметра-пульсометра необходимо располагать в геометрическом центре системы включенных ламп).

Полученные результаты занести в табл. 4. Сделать вывод.

*Таблица 4*

### Результаты измерения коэффициента пульсации и расчета его снижения

Количество ламп КЛ9	Измеренный коэффициент пульсации КП, %	Снижение коэффициента пульсации, %
1	КП <sub>1</sub>	
2	КП <sub>2</sub>	$\frac{КП_1 - КП_2}{КП_1} \cdot 100$
3	КП <sub>3</sub>	$\frac{КП_1 - КП_3}{КП_1} \cdot 100$

### 5.3. Наблюдение стробоскопического эффекта

1. Включить люминесцентную лампу типа КЛ9 в центре установки и вентилятор. Вращая ручку «Частота», регулирующую скорость вращения лопастей вентилятора, подобрать такую частоту, при которой возникает стробоскопический эффект (лопасти кажутся неподвижными).

2. Выключить стенд. Составить отчет о работе.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Расчеты.
3. Таблицы результатов измерений с соответствующими расчетами.
4. Выводы по результатам исследований.

## 7. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назовите светотехнические величины.
2. Назовите источники искусственного освещения.
3. Какие недостатки и преимущества имеют лампы накаливания, разрядные и светодиодные лампы.
4. Каков принцип действия и устройство ламп накаливания?
5. Как устроены и работают разрядные лампы низкого и высокого давления?
6. Как устроены и работают светодиодные лампы?
7. Методы уменьшения коэффициента пульсаций освещенности.
8. Что такое стробоскопический эффект?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Денисенко Г.Ф. Охрана труда/ Г.Ф. Денисенко – М.: Высшая школа, 1985. – 319 с.

2. Фильев В.И. Регулирование условий труда на предприятиях РФ /– М.: Интел-Синтез, 1996. – 131 с.
3. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»
4. Справочная книга по светотехнике; под ред. Ю. Б. Айзенберга М.: Знак. – 2006, 972 с.
5. Справочная книга для проектирования электрического освещения ; под ред. Г.М. Кнорринга М.: Энергоатомиздат, 1992, 448 с.