

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное
Учреждение высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»
Кафедра «Электроэнергетики и автоматики»

Яковенко Н.И., Жиряков А.В., Ковалев В.В.

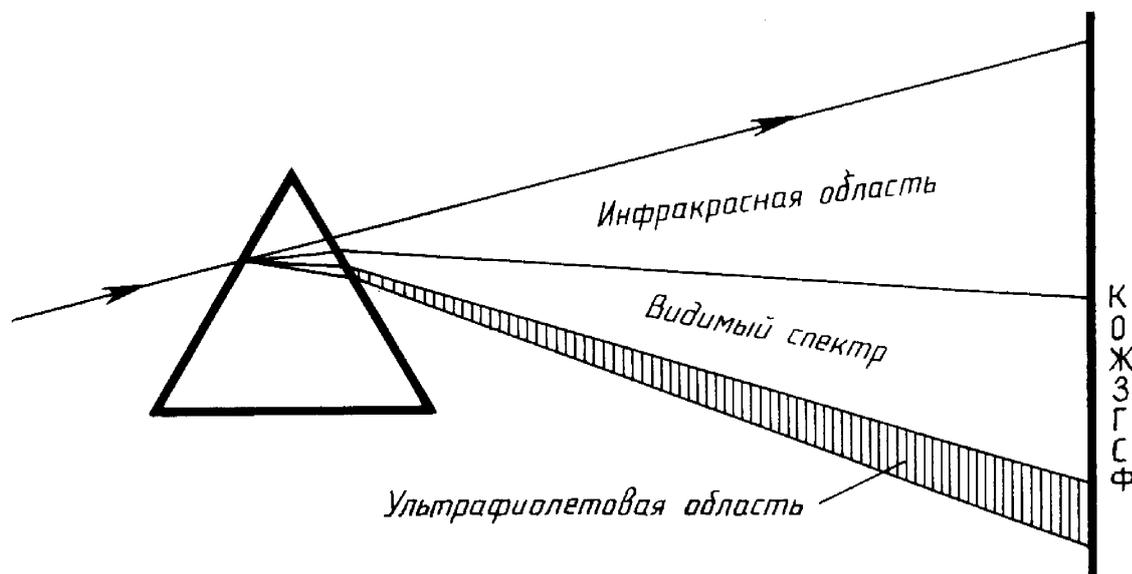
СВЕТОТЕХНИКА

для студентов бакалавриата направлений подготовки:

13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника и

15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств

Учебное пособие



Брянская область 2018

УДК 628.9 (07)

ББК 31.294

Я 47

Яковенко, Н.И. Светотехника: учебное пособие для студентов бакалавриата направлений подготовки: 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника и 15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств / Н.И. Яковенко, А.В. Жиряков, В.В. Ковалев. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 141 с.

Издание переработанное и дополненное. Излагаются основные сведения по современным источникам оптического излучения. Приводятся эксплуатационные характеристики осветительного оборудования, даются рекомендации по организации энергосберегающих мероприятий в производственном освещении.

Данное учебное пособие для студентов бакалавриата очного и заочного обучения по направлениям подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника и 15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств направлено на формирование профессиональных компетенций.

Рецензенты:

Погоньшев В.А. профессор кафедры «Математики, физики и информатики» Брянского ГАУ;

Башлыков В.А. доцент Брянского технического университета.

Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом института электроэнергетики и природообустройства БГАУ, протокол № 6 от 10 апреля 2018 года.

© Брянский ГАУ, 2018

© Яковенко Н.И., 2018

© Жиряков А.В., 2018

© Ковалев В.В., 2018

Содержание

Введение.....	5
Глава 1 Оптическое излучение.....	7
1.1 Развитие учения о свете.....	7
1.1.1 Природа излучения.....	11
1.2 Оптическое излучение.....	14
1.2.1 Получение оптического излучения.....	16
1.3 Преобразование оптического излучения.....	17
1.4 Воздействие оптического излучения на живые организмы и растения.....	18
1.4.1 Воздействие ультрафиолетового излучения на живые организмы и растения.....	19
1.4.2 Воздействие видимого излучения на человека, животных и птицу.....	21
1.4.3 Воздействие оптического излучения на растения.....	23
1.4.4 Воздействие инфракрасного излучения.....	24
1.5 Величины оптического излучения.....	25
1.5.1 Основные энергетические величины оптического излучения.....	25
1.5.2 Основные эффективные величины оптического излучения.....	26
1.6 Измерение оптического излучения.....	32
1.6.1 Приборы для измерения УФ излучения.....	35
1.6.2 Приборы для измерения световых величин.....	37
Глава 2 Электрические источники оптического излучения.....	40
2.1 Основные законы теплового излучения.....	40
2.1.1 Тепловые источники излучения.....	43
2.1.2 Эксплуатация ламп накаливания.....	48
2.2 Газоразрядные источники оптического излучения.....	50
2.2.1 Электрический разряд в газах и парах металлов.....	51
2.2.2 Разрядные лампы низкого давления (РЛНД).....	54
2.2.3 Схемы включения РЛНД.....	63
2.2.4 Пускорегулирующие аппараты (ПРА).....	70
2.2.5 Разрядные лампы высокого давления (РЛВД).....	71

Глава 3 Осветительные и облучательные установки.....	82
3.1 Осветительные приборы.....	82
3.1.1 Светильники.....	83
3.1.2 Прожекторы.....	89
3.2 Облучательные установки.....	90
3.2.1 Установки для УФ облучения.....	90
3.2.2 Установки для ИК облучения.....	94
3.2.3 Установки для комбинированного облучения.....	96
3.2.4 Установки для облучения растений в теплицах.....	98
3.2.5 Расчет облучательных установок.....	99
3.3 Проектирование осветительных и облучательных установок.....	101
3.4 Эксплуатация осветительных и облучательных установок.....	104
Глава 4 Энергосберегающее освещение.....	107
4.1. Освещение.....	107
4.2. Действие света на организм человека.....	109
4.3. Освещение – основные технические характеристики.....	110
4.3.1. Основные характеристики света.....	110
4.3.2. Технические характеристики светильников.....	111
4.4. Сравнение источников света.....	113
4.4.1. Естественное освещение.....	113
4.4.2. Искусственное освещение.....	114
4.4.2.1. Классификация источников света.....	114
4.4.2.2. Практические свойства источников света.....	116
4.5. Системы и виды производственного освещения.....	123
4.6. Основные парадигмы энергосберегающего освещения.....	126
4.6.1. Энергосберегающие технологии.....	126
4.6.2. Критерии энергоэффективности источников света.....	128
4.6.3. Определение сроков окупаемости.....	136
Литература.....	140

Введение

Мир освещается солнцем,

а человек — знанием.

Народная поговорка.

Наука, занимающаяся изучением генерирования, распространения и перераспределения в пространстве электромагнитных излучений оптической области спектра, называется *светотехникой*.

Светотехника – область науки и техники, предметом которой является исследование принципов и разработка способов генерирования, пространственного распределения и перераспределения, измерения характеристик оптического излучения, а также преобразования его энергии в другие виды энергии и использование в различных целях.

Светотехника включает в себя конструкторскую и технологическую разработку источников излучения и систем управления ими, осветительных, облучательных и светосигнальных приборов, устройств и установок, нормирование, проектирование, монтаж и эксплуатацию светотехнических установок.

В настоящее время *светотехника* – это наука о физических свойствах света, возможностях и принципах его использования, а также о новых возможностях источников получения света.

Светотехника как наука плотно ассоциируется с энергетикой, электроникой, физической оптикой и современными тенденциями технического дизайна. Наиболее востребованные и популярный направления светотехники – изучение и разработка световых приборов и оборудования на основе светодиодов – световой и архитектурный дизайн.

Сельскохозяйственная светотехника относится только к объектам сельскохозяйственного назначения.

На нужды сельскохозяйственного производства в нашей стране расходуется 8...10% от общего потребления электроэнергии, из них 15...20% расходуется на искусственное освещение и облучение.

Анализ исследований показывает, что свет играет важнейшую роль в регулировании обмена веществ у животных и птиц. При высоких уровнях освещенности (200...300 лк) увеличивается содержание кальция, гемоглобина в крови и фосфорно-кальциевых солей в костях.

Все большую роль в балансе потребления электроэнергии играют облучательные установки, которые оказывают непосредственное влияние на технологические процессы в сельскохозяйственном производстве, в результате чего повышается их эффективность: увеличивается урожайность растений, продуктивность животных и птицы.

Оптическое излучение - один из важнейших факторов микроклимата животноводческих и птицеводческих помещений.

Глава 1. Оптическое излучение

1.1. Развитие учения о свете

Оптика – одна из древнейших наук, постоянно развивающаяся, обогащающаяся за счет смежных наук и их обогащающая. В настоящее время одна из фундаментальных физических наук, постоянно обогащающаяся открытием новых явлений.

Важнейшей проблемой является и всегда был вопрос о природе света.

Античные мыслители пытались понять сущность оптических явлений, исходя из зрительных ощущений.

Греческий математик и философ Пифагор (570—490 гг. до н. э.), считал, что из глаз исходят горячие испарения и поэтому глаз видит. Эти взгляды закладывали основы теории зрительных лучей, позднее просто лучей.

Эвклид (300 – 240 гг. до н.э.), - зрительные лучи исходят из глаз, ощупывают предмет и создают зрительное ощущение. Здесь заложены основы законов прямолинейности распространения света (законы отражения света от зеркал).

Птоломей (ок. 100 — ок. 170), поставил вопрос о преломлении света.

Архимед (ок. 287–212 до н.э.), знал действие вогнутых зеркал.

Определенный шаг вперед сделал основоположник атомистики Демокрит (около 460 г. до н. э. – около 370 г. до н. э.), он считал, что зрение - падение на поверхность глаза мелких частиц - *корпускул*, испущенных телом.

Представления древних основывались на наблюдениях внешнего мира, явлений природы - созерцании. Учения древних носили умозрительный характер. Не было эксперимента.

Затем последовали века мрака, давшие науке очень мало. И только в эпоху Возрождения началось бурное развитие науки, техники, ремесел. Побеждает экспериментальный метод в науке. Делается ряд открытий и изобретений. Голландец Янсен Захарий (ок. 1585 — до 1632), создал микроскоп. Были созданы очки и зрительная труба.

Немецкому физику и астроному Кеплеру (1571 - 1630 г.), принадлежат фундаментальные работы по теории оптических инструментов и физиологической оптике. Был установлен закон преломления (сформулирован) Снеллиусом (1580-1626), и в современной форме сформулирован Рене Декартом (1596–1650). Декарт считал, что свет представляет собой давление, которое светящиеся тела производят на окружающую среду. Это давление передается особой средой, состоящей из частиц. Он считал, что это давление передается мгновенно. Большое значение для геометрической оптики имел принцип, сформулированный Пьером Ферма в 1662 году - постулат, предписывающий лучу света двигаться из начальной точки в конечную точку по пути, минимизирующему время движения (или, что то же самое, минимизирующему оптическую длину пути).

В XVII в. в физике все законы и явления пытались свести к законам механики. XVII век – век триумфа Ньютоновской механики. Законы распространения света, *дисперсия* - теория цветов были рассмотрены Ньютоном и объяснены на основе теории истечения: тела испускают частицы: крупные – красные, самые мелкие – фиолетовые. Но уже в объяснении законов преломления и отражения были определенные трудности. И совсем теория корпускулярная Ньютона не объясняла явление *дифракции*, описанное Гримальди (1618-1663). Гримальди высказал предположение, что эти явления можно объяснить, что свет представляет собой *волнообразное движение*. Он же высказал правильную догадку, о том, что различие цветов связано с различием частоты световых колебаний («различием в скорости колебаний светового вещества»). Появилась тенденция дать объяснение световых явлений с двух противоположных точек зрения: с точки зрения о свете, как корпускулярном явлении и с точки зрения волновой природы света.

Эта борьба двух воззрений, отражавших прерывные и непрерывные свойства объективных явлений природы, естественным образом отражала диалектическую сущность материи и её движения, как единства противоположностей.

Благодаря огромному авторитету Ньютона корпускулярная теория только в конце XVIII века - начале XIX уступила волновой, которая была создана трудами английского ученого Роберта Гука (1635-1703), голландца Христиана Гюйгенса (1629-1695). Гук считал, что свет – быстрое колебательное движение (импульсы), которое распространяется от источника в пространстве в виде сферических волн. Эти колебания распространяются в особой среде – эфире, заполняющем всё пространство. Свет – волнообразное движение эфира. Гук считал волны поперечными.

Гюйгенс сформулировал принцип, который дал возможность проводить кинематический анализ волнового движения и установил различные закономерности. Но Гюйгенс считал световые волны продольными и поэтому не мог объяснить многое (поляризация, прямолинейность распространения и т.д.).

Все эти недостатки волновой теории способствовали тому, что так долго господствовали теория истечения Ньютона. Между двумя теориями шла яростная борьба.

В XIX веке победила волновая теория благодаря работам Томаса Юнга (1788 – 1827), Френеля (1773 – 1829), Франсуа Араго (1786 — 1853). Было установлено, что световые волны поперечны. Принцип Гюйгенса, дополненный принципом интерференции Френеля, позволил объяснить явления дифракции и прямолинейности распространения света. Но были и трудности. Так эфир, который считался носителем световых волн, должен был обладать взаимоисключающими друг друга свойствами. Он должен был быть абсолютно прозрачным, не оказывать никакого сопротивления распространению света и обладать свойствами абсолютно упругого твердого тела. Параллельно развивалось учение об электричестве и магнетизме.

В 1865 г. Максвеллом (1831-1879) были сформулированы уравнения, объединяющие электрические и магнитные явления. Создана теория электромагнитного поля. Опыты Физо и Майкельсона по измерению скорости света доказали отсутствие эфира. Нет эфира, есть единое электромагнитное

поле. Электрическая теория объединила два крупных раздела физики: электричество и оптику.

Волновая электромагнитная теория восторжествовала и в оптике. Ничто не предвещало её ограниченности. Но был открыт **фотоэффект**, установлена прерывистость процесса излучения, обнаружена «ультрафиолетовая катастрофа», затруднения теории теплоёмкости и пошатнулись позиции волновой электромагнитной теории.

XX век, развивается квантовая теория. Но одновременно с принятием представлений о прерывности излучения - порциями, **квантами** выясняется **дуализм материи**, единство прерывного и непрерывного. (Дуализм волн и частиц.) Часть явлений хорошо объясняется с точки зрения волновой теории, часть - квантовой, корпускулярной. Прерывное и непрерывное диалектически связаны. Это две стороны одного явления. **Лучистая энергия** распространяется в виде электромагнитного поля - **поля излучения**.

С другой стороны Планком (1857-1947) было введено представление о **лучистом потоке**, как о движении материальной частицы – **фотона** с энергией $e = m \cdot c^2$, c - скорость света. Эти частицы дискретно поглощаются и излучаются. Масса их $m = h \cdot \nu / c^2$.

Диалектическое единство прерывного и непрерывного установлено, они не противоречат, а дополняют друг друга.

В первой половине XX века разрабатывается аппарат квантовой механики. Развитие оптики идет по пути накопления экспериментальных фактов, их осмысливания в рамках квантовой теории. Развитие оптики и ее разделов (прикладной оптики, физической оптики, спектроскопии - теории спектров атомов, молекул, твердых тел) не предвещало никакого нового взрыва. Оптика даже, как-то отошла с передовых рубежей физики, уступив место теории полупроводников, ядерной физике, физике космических лучей.

И вот в 60-е годы появились новые источники света - лазеры - источники высокой когерентности и мощности. Сразу же появились исследования в самых

различных направлениях. Возник интерес к математическому описанию процесса разложения оптического сигнала в спектр, разложение сигнала изображения на его составляющие и обратный процесс - синтез сигнала по его составляющим при образовании изображения. Появилась Фурье-оптика, добившаяся к настоящему времени больших успехов в создании устройств, распознающих образы, фильтрующих изображения и т.д.

Из применений лазеров возникла голография, не только как способ получения изображения, но как метод, проникающий во многие области науки и техники.

В последние годы - интегральная оптика, оптика новых элементов, по типу интегральной микроэлектроники.

Сейчас оптика, как спектроскопия, вышла на передовые рубежи науки. Очень много вопросов и проблем ждут своего решения.

1.1.1. Природа излучения

Природа излучения - тот вопрос, который был основным в оптике с древнейших времен. Оптика прошла развитие от наивного материализма древних философов до современных квантовых представлений.

Свет - **электромагнитное поле** с точки зрения классической электромагнитной теории, **электромагнитные волны определенного диапазона длин волн**. **Электромагнитной волной** называется – колебание векторов напряженности *электрического* и *магнитного* полей во взаимно перпендикулярных областях и перпендикулярно к направлению распространения волны.

Ниже представлена шкала электромагнитных волн и основные характеристики.

Традиционная область шкалы электромагнитных волн, которую занимает оптика - **оптический диапазон**:

<i>инфракрасное излучение</i> (ИК-область)	200 мкм – 760 нм
<i>видимый диапазон</i>	760 - 380 нм
<i>ультрафиолетовое излучение</i> (УФ-область)	380 – 10 нм.

Таблица 1. Шкала электромагнитных волн

Диапазон		Длина волны λ	Частота ν	Источники
<u>Радиоволны</u>	Сверх- длинные	Более 10 км	Менее 30 кГц	Атмосферные явления, переменные токи в проводниках и электронных пото- ках (колебательные контуры)
	Длинные	10 – 1 км	30 – 300 кГц	
	Средние	1 км – 100 м	300 кГц – 3 МГц	
	Короткие	100 – 10 м	3 – 30 МГц	
	Ультра- короткие	1 – 0,1 м	30 МГц-300 ГГц	
<u>Оптическое излучение</u>	ИК	0,1 мм – 760 нм	300 – 429 ГГц	Излучение возбуж- денных молекул и атомов
	ВИ	760-380 нм	429 - 750 ГГц	
	УФ	380-10 нм	$7,5 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16}$ Гц	
<u>Ионизирующие излучения</u>	Рент- геновское	$10 - 5 \cdot 10^{-3}$ нм	$3 \cdot 10^{14} - 6 \cdot 10^{19}$ Гц	Процессы при уско- ренных заряженных частицах
	Гамма	Ме- нее $5 \cdot 10^{-3}$ нм	Более $6 \cdot 10^{19}$ Гц	Ядерные и космиче- ские процессы, ра- диоактивный распад

ИК-область - ближняя, средняя, дальняя; УФ-область - ближняя до 200 нм, дальняя 180-10нм (вакуумная, Шумановская).

$$1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}; 1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}; 1 \text{ А} = 10^{-10} \text{ м}, 1000 \text{ нм} = 1 \text{ мкм}.$$

Длиной электромагнитной волны λ называется расстояние между двумя точками волны, колеблющие с одинаковой фазой

$\lambda = c/\nu$, где ν - частота электромагнитной волны.

Энергия фотона, соответствующая данной λ : $e = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$.

Видимая область спектра, $\lambda = 500$ нм – зеленый свет, соответствует частоте ν , равной $\nu = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7}} = 0,6 \cdot 10^{15}$ Гц.

Деление шкалы электромагнитных волн на диапазоны условно. Жестких границ между ними нет. Речь идет об одном электромагнитном поле, начиная с электрических колебаний, возникающих в колебательном контуре частотой $\nu =$ десятки Гц, и кончая короткими γ -лучами с $\nu \sim 10^{35}$ Гц. Природа одна - электромагнитное поле, но различны методы генерации, свойства, характер взаимодействия с веществом, обусловленное различием ν , различны и способы регистрации.

Низкочастотные колебания возникают в электрических машинах. Затем идут радиотехнические методы генерации - до микроволнового диапазона. Далее радиоволны перекрываются с ИК-областью.

Одни и те же частоты могут быть получены радиотехническими методами и за счет перестройки состояний сложных молекул, дающих ИК-спектр. В сложных молекулах существует несколько возможных движений: колебание электронов, точнее электронного облака - его перестройка, колебание ядер атомов молекулы вокруг положения равновесия и вращение молекулы вокруг трех взаимно перпендикулярных осей. Все эти три вида движения характеризуются энергией, которая изменяется дискретно. Изменение электронной, колебательной и вращательной энергий сложной молекулы сопровождается появлением спектров излучения или поглощения, лежащих от далекой ИК-области до УФ.

Источником сплошного ИК-излучения являются нагретые твердые тела (электроны в нагретых телах движутся хаотически с большими скоростями и испытывают торможение при столкновении с остовом решетки). А любое движение с ускорением сопровождается излучением – по закону электродинамики. При этом излучается импульс, величина которого зависит от скорости электро-

на. Излучение имеет сплошной спектр, т.к. кинетическая энергия электрона не квантуется).

Видимый диапазон получается в основном от перестройки электронных оболочек атомов и молекул. Сплошное излучение – излучение нагретых до высокой температуры твердых тел.

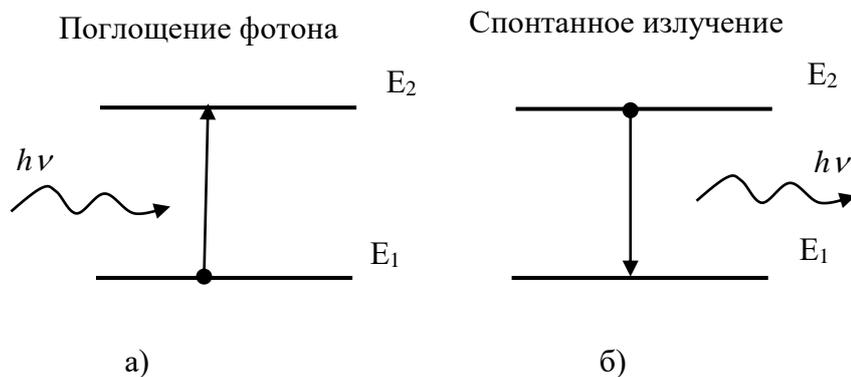


Рисунок 1.1. Возбуждение атома (а) и спонтанное излучение фотона (б)

1.2. Оптическое излучение

Под оптическим излучением понимают электромагнитное излучение длин волн от 10^{-9} до 10^{-3} м. Этот диапазон делят на ультрафиолетовое (УФ), видимое (ВИ) и инфракрасное (ИК) излучения.

В окружающем нас пространстве постоянно существует поле оптического излучения, так как все тела, температура которых выше абсолютного нуля, непрерывно обмениваются энергией.

Трудно переоценить сегодня значение оптического излучения, естественного или полученного искусственно, в жизнедеятельности человека. Все живое на нашей планете возникло и существует благодаря оптическому излучению.

Невозможно представить себе современную производственную деятельность людей в темное время суток без электрического освещения.

В развитых странах (как Франция и др.) количество электрической энергии, расходуемое на искусственное освещение составляет более 20% общего расхода на все потребности страны.

В нашей стране в настоящее время более 15% общего расхода электрической энергии в сельскохозяйственном производстве приходится на осветительные и облучательные установки.

Все большую роль в балансе потребления электрической энергии играют облучательные установки. Необходимо отметить различие между осветительными и облучательными установками. Под осветительными установками понимают устройства, обеспечивающие нормальные условия видения для выполнения технологических операций или ориентирования в окружающем пространстве.

Облучательные установки оказывают непосредственное влияние на технологические процессы в сельскохозяйственном производстве, в результате чего повышается их эффективность: увеличивается урожай растений, продуктивность животных и птицы и т.п.

Грамотное применение осветительных и облучательных установок может повысить производительность труда на 5 ... 10%, продуктивность животных на 8 ... 15%, дать более высокие урожаи сельхозпродукции.

Основным элементом осветительной и облучательной установки является источник оптического излучения. В истории создания источников оптического излучения сыграли огромную роль русские ученые XIX века.

В 1802 году профессор Василий Владимирович Петров публично продемонстрировал явление электрической дуги (на постоянном токе). Это послужило основой для развития двух главных направлений в разработке источников оптического излучения: источников, основанных на тепловом излучении и источников, основанных на электрическом разряде, сопровождающемся оптическим излучением.

В 1872 году А.Н. Лодыгин подал заявку на лампу с угольным телом накаливания, заключенным в стеклянную колбу. Однако широкого распространения она не получила. Предпочтение отдавалось в те годы лампам П.Н. Яблочкова («свеча Яблочкова 1876 г.), представлявшим собой открытую электрическую

дугу между двумя, расположенными параллельно, угольными стержнями, разделенными легкоплавкой вставкой, исключавшей необходимость в устройстве, регулирующем расстояние между концами угольных электродов по мере их сгорания. Тем не менее лампа Лодыгина сыграла большую роль для организации промышленного производства ламп накаливания известным американским инженером изобретателем Т.А. Эдисоном. В 1879г. он усовершенствовал лампу накаливания. Запад по сей день считают его изобретателем электрической лампы накаливания. (Е-14, Е-27, Е-40).

И только в тридцатых годах XX века был создан источник света, способный конкурировать с лампой накаливания, *люминесцентная лампа*, в которой преобразование электрической энергии в энергию оптического излучения происходит в результате воздействия ультрафиолетового излучения, возникающего при электрическом разряде в парах ртути в электродном промежутке, на люминофор, наносимый на внутреннюю поверхность колбы. В разработке теории и производстве люминесцентных ламп ведущую роль сыграл президент Академии наук СССР С.И.Вавилов.

В настоящее время выпускают так же газоразрядные лампы высокого и сверхвысокого давления и без использования люминофоров. Тысячи типов источников оптического излучения производятся для всех отраслей народного хозяйства.

1.2.1. Получение оптического излучения

Излучение есть перенос энергии от излучающего тела к поглощающему.

Энергия излучения является количественной мерой движения материи.

Переход электронов в атомно-молекулярных структурах с высокого энергетического уровня на более низкий связан с выделением кванта энергии, носящего название «*фотон*». Фотон имеет свойство, как *частицы* (корпускулы т.е частицы не имеющей массы покоя), так и *электромагнитной волны*.

$$e = W_{\phi} = \frac{h \cdot C}{\lambda}, \text{ (Дж)}$$

где h - постоянная Планка, $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

C - скорость распространения волны в вакууме, $C = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

λ – длина волны, м.

Спектр электромагнитных излучений оптического диапазона показан на рис.1.1.

Свойства электромагнитных излучений, начиная от γ -излучений и до излучений диапазона радиоволн существенно различны и определяются в значительной мере энергией фотона. Некоторые параметры представлены в таблице 1.

Излучения, вызванные смещением электронов при нагреве или электрическом разряде, относятся к оптической зоне электромагнитных волн (рис.1.2).



Рисунок 1.2 - Спектр оптического излучения

Излучение с длиной волны короче 100 нм активно поглощается атмосферой и получила название вакуумного УФ излучения.

1.3. Преобразование оптического излучения

Падая на какой-либо объект, энергия оптического облучения может *отражаться, поглощаться* и *пропускаться* данным объектом. Относительные величины потоков энергии, входящих частью в первоначально упавший поток, обозначаются коэффициентами: ρ - отражения, α - поглощения, γ - пропускания. Эти коэффициенты важнейшие оптические характеристики тел.

В зависимости от того, какая часть падающего потока излучения имеет большее значение, тела подразделяются на отражатели, поглотители и фильтры.

Реальные тела *селективны* по отношению к оптическому излучению, т.е.

монохроматические потоки различных длин волн, то есть отражаются, пропускаются и поглощаются неодинаково. Неселективно только абсолютно черное тело – оно поглощает всю падающую на него энергию.

Поглощение фотонов веществом – необходимое условие преобразования оптического излучения.

Различают следующие формы преобразования поглощенной энергии оптического излучения:

1. **Фотоэффект** - изменение электрического состояния поглощенного тела (фоторезисторы, фотодиоды, ФЭУ)

2. **Фотолюминесценция** - излучение энергии молекулами, возбужденным излучением (люминофор в люминесцентных лампах)

3. **Фотохимическое действие** - изменение химического состояния тела поглощающего оптическим излучением (фотография)

4. **Фотобиологическое действие** – изменение биологического состояния живого организма, подвергающегося оптическому излучению

Фотобиологическое действие – основная форма преобразования энергии при оптическом облучении человека, животных, птиц, растений и других биологических объектов.

Ультрафиолетовое излучение с длиной волны короче 100 нм активно поглощается атмосферой и получила название *вакуумного ультрафиолетового излучения*.

1.4. Воздействие оптического излучения на живые организмы и растения

Излучения с длинами волн в диапазоне от 10^{-9} м до длин волн 10^{-3} м выделены из общего спектра электромагнитных излучений и называют *оптическим излучением*. В указанных пределах содержится ультрафиолетовое излучение (невидимое), видимое и инфракрасное излучения (невидимое).

Участки спектра, занимаемые перечисленными излучениями неодинаковы: УФ $\lambda=100...380\text{нм}$ ($1\text{ нм}=10^{-9}\text{ м}$), ВИ $\lambda=380...760\text{нм}$, ИК $\lambda=760...10^6\text{нм}$. Из приведенных цифр следует, что видимое излучение занимает самую узкую часть оптического диапазона. Однако необходимо отметить, что именно видимое излучение играет решающую роль в жизнедеятельности человека. Продукты питания растительного и животного происхождения и энергетические ресурсы (уголь, нефть, газ и др.), которое получают человечество – это результат воздействия видимого излучения Солнца на нашу планету.

Излучение этих трех диапазонов в практическом их использовании по-разному воздействуют на людей, животных, растения и другие объекты. Проявление воздействия оптического излучения на животных и птицу весьма разнообразны и зависят от спектрального состава излучения. Результат воздействия различен и определяется энергией квантов излучения, уровнем облученности и продолжительности действия. Он может быть как положительным (благоприятным), так и отрицательным.

1.4.1. Воздействие ультрафиолетового излучения на живые организмы и растения

Ультрафиолетовое излучение не вызывает зрительного ощущения у человека, но в зависимости от длин волн по-разному воздействует на человека, животных, растения и другие объекты.

1. Излучение в диапазоне от 380 до 315 нм называют длинноволновым УФ излучением (*область А*), вызывает пигментацию кожи человека, обладает сравнительно небольшой биологической активностью.

2. Средневолновое УФ излучение (*область В*) в диапазоне от 315 до 280 нм оказывает более сильное и разнообразное воздействие на организм. Излуче-

ние этой области вызывает покраснение кожи (эритему), обладает антирахитным действием, способно превращать провитамин Д в витамин Д, способствующий повышению усвояемости кормов, общему оздоровлению организма, сохранности молодняка.

В связи с переводом животноводства и птицеводства на промышленную основу, при котором широко используют безвыгульное содержание КРС, свиней и птицы, проявляется сезонное солнечное голодание. Значительно уменьшить отрицательное последствие этого можно правильной организацией УФ облучения и светового режима. При расчетах облучательных установок учитывается лишь часть кривой, лежащая в диапазоне длин волн 280...320 нм. Максимум кривой приходится на длину волны 297 нм.

3. Коротковолновое УФ излучение (*область С*) с длинами волн короче 280 нм проявляет бактерицидное действие, то есть способность уничтожить бактерии, губительно действовать на растения, оказывать вредное действие на человека. УФ излучение области С так же может оказывать положительное действие на животных, но в основном используется как фактор бактерицидного воздействия на вредные микроорганизмы. Коротковолновое УФ излучение может вызвать заболевание глаз - конъюнктивит, если они не защищены.

УФ излучение с длиной волны менее 280 нм, имеющее большую энергию квантов, приводит к гибели бактерий. Свойство излучения убивать бактерии называют бактерицидностью. Наибольшей бактерицидной эффективностью обладают излучение с длиной волны 254 нм.

Для каждого фотобиологического процесса можно построить зависимость его интенсивности (K_λ) от длины волны излучения (рис.1.3). Спектр действия имеет важное значение при создании эффективных источников излучения и проектировании облучательных установок.

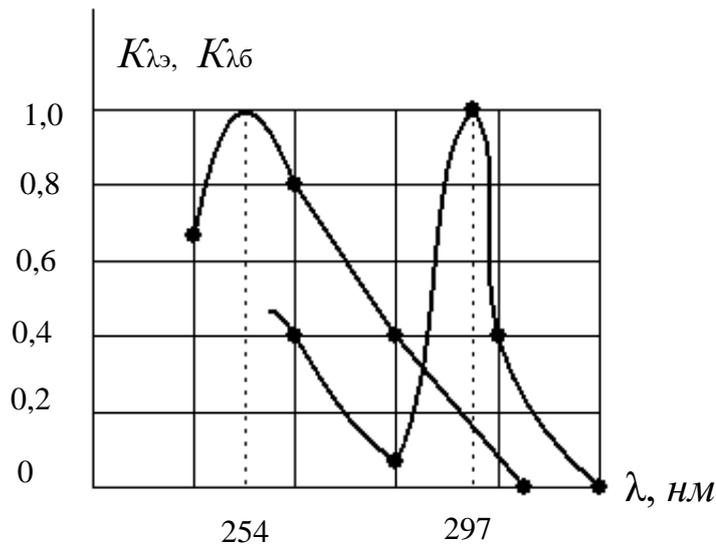


Рисунок 1.3 - Спектр действия УФ излучения.

1- спектр эритемного действия УФ излучения;

2- спектр бактерицидного действия УФ излучения;

K_λ - интенсивность фотобиологического воздействия.

УФ солнечное излучение в определенных дозах оказывает благотворное воздействие на человека, так как под его влиянием образуются биологически активные вещества (витамин Д и др.). В результате поглощения квантов УФ излучения на коже человека спустя несколько часов возникают эритема и пигментация. Недостаток естественного УФ излучения в северных районах нашей страны, особенно в зимний период, приводит к ослаблению организма, поэтому в настоящее время в этих районах используют искусственное УФ облучение людей.

1.4.2. Воздействие видимого излучения на человека, животных и птиц

Воздействие видимого излучения на человека изучено в основном применительно к органам зрения человека. Глаз представляет собой орган, в котором энергия видимого излучения преобразуется в энергию нервных им-

пульсов, передающихся по зрительному нерву в головной мозг. Благодаря им, возникают зрительные ощущения, которые являются основным источником информации об окружающем нас мире. Зрительное ощущение позволяет судить о яркости, цвете, размере и форме предметов, а также об их движении и взаимном расположении.

Глаз человека способен активно воспринимать освещенность от 0,1 лк до 100000 лк благодаря способности приспосабливаться к различным уровням освещенности – адаптации.

Воздействие видимого излучения на животных и птицу выражается в регуляции основных жизненных функций. Видимое излучение влияет на эндокринную систему и центральную нервную систему.

Продуктивность животных и птицы зависит при прочих равных условиях от уровня освещенности, режима освещенности и спектрального состава излучения. Излучение с $\lambda=555$ нм – максимум спектральной чувствительности глаза человека для дневного зрения (рис. 1.4).

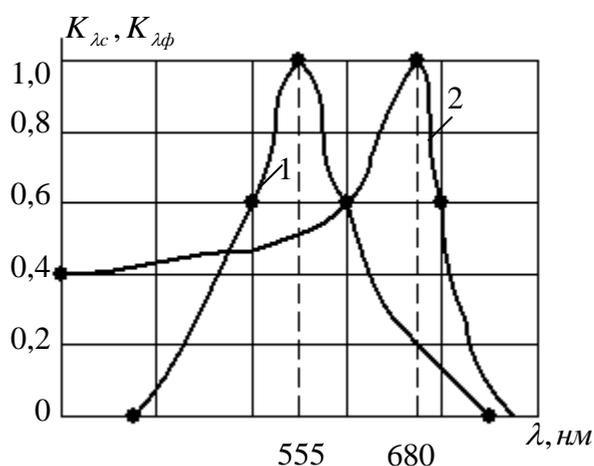


Рисунок 1.4 - Спектр действия видимого излучения

- 1- спектр чувствительности глаза человека при дневном зрении;
- 2- спектральная чувствительность среднего листа растения.

Видимое излучение очень важно для регулирования основных жизненных функций у животных и птицы. Под действием ВИ в крови увеличивается со-

держание гемоглобина (дыхание клеток) и эритроцитов. Свет влияет на функции эндокринных желез центральной нервной системы. Недостаточная освещенность помещения приводит к возникновению у животных анемии и других заболеваний.

1.4.3 Воздействие оптического излучения на растения

Из всех организмов на Земле только зеленые растения могут самостоятельно преобразовать энергию оптического излучения в химическую энергию органических веществ. Процесс создания в растениях богатых химической энергией органических веществ из минеральных под воздействием энергии излучение называют - фотосинтезом.

Влияние оптического излучения на растения многосторонне. Однако основным наиболее характерным процессом зеленых растений является **фотосинтез**. Этим процессом, в конечном счете, определяется урожайность растений.

Общее энергетическое действие излучения на растения складывается из фотосинтезного и теплового. Фотосинтезным действием обладает излучение с длинами волн от 300 до 750 нм. Тепловое действие на растения могут оказывать не только видимое, но и УФ и ИК излучения.

В естественных условиях из всей энергии, падающей на растения, примерно около 2% используется собственно на эндотермическую фотохимическую реакцию фотосинтеза, остальная поглощенная энергия излучения превращается в растении в тепло.

В установках, применяемых на практике для искусственного облучения растений, используют источники с неоднородным излучением. Для получения хорошо развитых растений и высокой продуктивности фотосинтеза источники в облучательных установках должны содержать в своем спектре все излучения области 300...750 нм. Спектральная интенсивность фотосинтеза разных видов растений различна. Для разработки специальных источников для установок искусственного облучения растений важно знать некоторый средний спектр дей-

ствия фотосинтеза. На рисунке 1.4 приведен спектр действия излучения на так называемый средний лист растения (кривая 2).

1.4.4 Воздействие инфракрасного излучения

В спектре ИК излучения различают области:

1. ИК-А - 760 ÷ 1400 нм;
2. ИК-В- 1400 ÷ 3000 нм;
3. ИК-С - $3 \cdot 10^3 \div 10^6$ нм.

Инфракрасное излучение применяется, как правило, для облучения молодняка животных и птицы с целью создания необходимого температурного режима в зоне обитания животных. Глубина проникновения ИК излучения в организм животных различна и зависит от диапазона длин волн воздействующего излучения, а так же от способности отражать и поглощать это излучение верхним покровом животных – кожей.

1.5. Величины оптического излучения

Для характеристики и оценки фотобиологического воздействия оптического излучения его различных областей и спектрального состава существует пять систем величин: одна *энергетическая система величин* и четыре эффективные системы величин (*бактерицидная, эритемная, световая, фотосинтезная*).

1.5.1 Основные энергетические величины оптического излучения

Поле оптического излучения неразрывно связано с переносом энергии от излучающего тела к поглощающему. Этот перенос осуществляется посредством электромагнитных колебаний.

Энергия оптического излучения Φ имеет размерность, свойственную любой форме энергии, и измеряется в Дж. В практике чаще требуется знать не энергию излучения, а ее мощность (*поток излучения*).

Потоком излучения называют энергию излучения, переносимую в единицу времени.

$$\Phi = \frac{dW}{d\tau}, \text{ Вт}$$

где dW - энергия излучения за время $d\tau$, Дж;

$d\tau$ - промежуток времени, в течение которого излучение может быть принято равномерным, с.

Пространственная плотность потока излучения источника называют силой излучения (I), и определяют отношением потока излучения к телесному углу, в котором он заключен и равномерно распределен:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}, \text{ Вт/ср}$$

где ω - телесный угол – коническое тело, вершиной которого служит центр сферы произвольного радиуса, а основанием – часть поверхности этой сферы, на которую этот конус опирается.

$$\omega = \frac{S}{r^2}$$

где S - площадь основания сферической части конуса;

r - радиус сферы.

Плотность излучения (R) представляет собой отношение потока излучения к площади излучаемой поверхности

$$R = \frac{d\Phi}{dS_u}, \text{ Вт/м}^2.$$

Важной для расчетов величиной является облученность (плотность облучения). Она определяется отношением потока излучения, падающего на облучаемую поверхность и равномерно распределенного по ней, к площади этой поверхности.

$$R = \frac{d\Phi}{dS}, \text{ Вт/м}^2$$

Поскольку процесс преобразования излучения в другие виды энергии определяется не только значением облученности приемника и спектральным составом излучения, но и продолжительностью облучения, важное значение имеет величина называемая *количеством облучения*.

Количество облучения или энергетическая экспозиция представляет собой значение энергии излучения, упавшей на единицу облучаемой поверхности в течение времени облучения. В общем случае:

$$H = \int_{\tau_1}^{\tau_2} e_i \cdot d\tau, \text{ Вт} \cdot \text{с/м}^2$$

где e_i - мгновенное значение облученности,

τ_1 и τ_2 - время начала и конца облучения.

1.5.2. Основные эффективные величины оптического излучения

В настоящее время в практике расчетов и проектирования осветительных и облучательных установок используют четыре *системы эффективных величин*. Каждая из таких систем строится на основе спектральной чувствительности какого-либо одного из близких по спектральной чувствительности приемников.

Для упрощения расчетов и облегчения количественной оценки процесса преобразования энергии излучения введено понятие *эффективного потока*, под которым понимается мощность излучения, оцененная по уровню реакции на него приемника энергии излучения (*глаз человека, лист растения, кожа человека (животного) или бактерии*).

Различают эффективные потоки:

1. Световой поток Φ_c . Его приемник – глаз человека. Единица измерения – люмен (лм). $1_{\text{лм}} = \frac{1}{680} \text{ Вт}$ монохроматического однородного излучения

с длиной электромагнитной волны $\lambda = 555\text{нм}$.

За единицу светового потока принят **люмен** т.е. световой поток, излучаемый абсолютно черным телом с площади $0,5305\text{мм}^2$ при температуре затвердевания платины (2042 К). Глаз человека проявляет наивысшую чувствительность к излучению с длиной волны $\lambda = 555\text{нм}$. Экспериментально установлено, что однородное излучение мощностью 1Вт при $\lambda = 555\text{нм}$ составляет 680лм светового потока.

2. **Фотосинтезный поток** Φ_{ϕ} . Его приемник - зеленый лист растения. Фотосинтез - важный для жизни на Земле процесс. Единица измерения – **фит** (фт). $1\text{фт}=1\text{Вт}$ монохроматического излучения с $\lambda = 680\text{нм}$.

3. **Эритемный поток** Φ_{ε} . Его приемник – кожа животного или тела человека. Прием излучения сопровождается покраснением кожи (эритема). Единица измерения – **вит** или **эр**. $1\text{вит} = 1\text{эр} = 1\text{Вт}$ монохроматического излучения с $\lambda = 297\text{нм}$.

4. **Бактерицидный поток** $\Phi_{\text{б}}$. Его приемник – бактерии, гибнущие под действием этого потока. $1\text{бк}=1\text{Вт}$ монохроматического излучения с $\lambda = 254\text{нм}$.

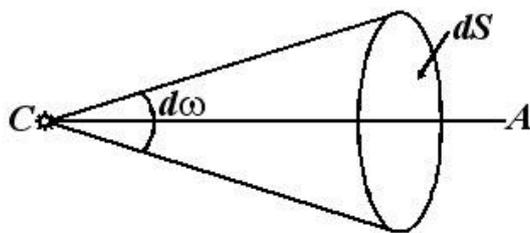
Отношение потока излучения Φ к площади S , на которую он падает, называют **облученностью** (освещенностью).

$$E = \frac{\Phi}{S}, \text{Вт} / \text{м}^2$$

Плотность светового потока по освещаемой поверхности называют **освещенностью**.

Поток излучения, заключенный в телесном угле, распространяющийся внутри него в пространстве, отнесенный к величине этого угла, называют силой облучения (для светового потока – **сила света**).

$$I = \frac{\Phi}{\omega}, \text{кд}$$



Единица измерения силы излучения – $Вт/ср$, сила света **кандела** ($кд$) (candela- свеча, лат.) $1кд=1лм/1ср$. Сила света в $1кд$ равна световому потоку в $1лм$, равномерно распределенному внутри телесного угла в $1ср$.

Отношение силы света в данном направлении к площади проекции светящейся поверхности на плоскость перпендикулярную этому направлению, называется **яркостью**: глаз человека непосредственно реагирует на яркость объекта наблюдения, которая не зависит от расстояния между ними.

$$B = \frac{I_{\alpha}}{S \cos \alpha}, \text{кд} / \text{м}^2$$

где S - площадь проекции излучателя.

Все величины оптического излучения, представленные в эффективной форме, называют эффективными. Установлены следующие системы эффективных величин: фотосинтезных, световых, бактерицидных и эритемных (таблица 1.1). В основе каждой лежит фотобиологическое действие определенного вида.

Таблица 1.1- Система величин оптического излучения

Величины Системы величин	Поток излучения, Φ	Сила излучения, I	Облученность (освещ.), E	Количество облучения освещения, H
Система энергетических величин	$Вт$	$Вт/ср$	$Вт / \text{м}^2$	$Вт \cdot ч / \text{м}^2$
Система световых величин	$лм$	$кд$	$лк$	$лк \cdot ч$
Система бактерицидных величин	$бк$	$бк/ср$	$бк / \text{м}^2$	$бк \cdot ч / \text{м}^2$
Система эритемных величин	$эр$	$эр/ср$	$эр / \text{м}^2$	$эр \cdot ч / \text{м}^2$
Система фотосинтезных величин	$фт$	$фт/ср$	$фт / \text{м}^2$	$фт \cdot ч / \text{м}^2$

В практике расчета осветительных (облучательных) установок весьма часто возникает потребность вычислять освещенность (облученность) по известной силе света (силе излучения) источника излучения.

Это осуществляют на основании основного закона светотехники - освещенность (облученность) от точечного источника в точке, расположенной на плоскости, пропорциональна силе света (силе излучения) от этого источника в направлении к точке, косинусу угла падения луча на плоскость и обратно пропорциональна квадрату расстояния между источниками и точкой (рис 1.5).

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \beta}{l^2},$$

где I_{α} - сила света (сила излучения) в направлении освещаемой (облученной) площади, [кд; бк/ф; эр/ср; фт/ср].

β - угол между направлением силы излучения и нормалью к облучаемой плоскости [градус].

l - расстояние между источником и точкой, м.

Для горизонтальной плоскости освещения (облучения) $\alpha = \beta$, $l = \frac{h}{\cos \alpha}$,

тогда формула примет вид $E_2 = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{h^2}$.

Для вертикальной плоскости облучения $\cos \beta = \cos \alpha$; $l = \frac{h}{\cos \alpha}$ и формула

примет вид $E_6 = \frac{I_{\alpha} \cos^2 \alpha \sin \alpha}{h^2}$

Для практических расчетов удобно пользоваться опорным источником с условным потоком излучения $\Phi_v = 1000$ лм, и тогда основной закон светотехники с применением условной освещенности примет вид

$$E = \frac{e \cdot \Phi}{1000}, \text{лк}$$

где e - условная освещенность в точке, которая определяется из спра-

вочной литературы по кривым изолюкса для различных светильников (облучателей) как функция $e=f(h,d)$, где h - высота от излучателя до облучаемой горизонтальной плоскости, м;

d - расстояние между излучателем и точкой освещения (облучения) в плане, м; Φ - световой поток источника, [лм].

Излучатель, длина которого более половины расстояния между ним и поверхностью нельзя считать точечным. Такой излучатель называют линейным. Линейные источники излучения, например люминесцентные лампы, обычно располагают в непрерывную линию или с некоторым разрывом l_p . Для реальных установок длина разрыва должна удовлетворять условию

$$l_p \leq 0,5h.$$

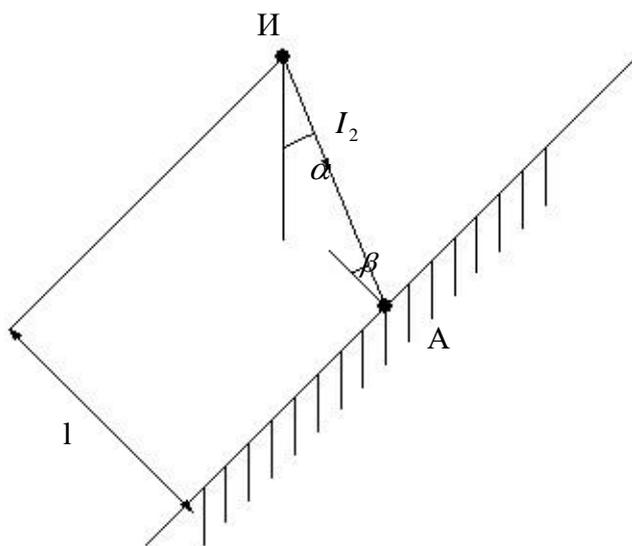


Рисунок 1.5 - Пояснение основного закона светотехники

При выполнении этого условия линию с разрывами можно принять за непрерывную или светящую линию. И тогда освещенность (облученность) точки можно рассчитать по формуле

$$E = \frac{\varepsilon \cdot \Phi}{1000 \cdot h \cdot L}, \text{лк}$$

где ε - относительная условная освещенность в точке, определяется из

справочной литературы по кривым линейных изолюкс для различных светильников, $\varepsilon = f(L, P')$;

h - высота от светящей линии до освещенной поверхности, м;

L - длина светящей линии, м.

1. Для точки B , находящейся под линией (рис.1.6) её длину L делят на два отрезка L_1 и L_2 , а затем вычисляют: $L'_1 = \frac{L_1}{h}$ и $L'_2 = \frac{L_2}{h}$, а также $P' = \frac{P}{h}$, где P - расстояние от перпендикуляра излучателя до точки B (в плане). По графикам относительных линейных изолюкс определяют ε_1 и ε_2 ; сумма последних- относительная освещенность точки B от линии L :

$$\varepsilon_B = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

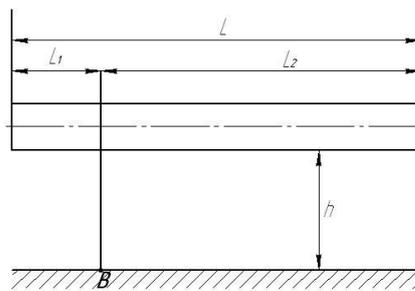


Рисунок 1.6- Определение освещенности точки B над светящей линией

2. Для точки B , находящейся за пределами линии (рис.1.7), искусственные условия создаются продлением линии так, чтобы конец продленной части оказался против точки, тогда $L = L_1 - L_2$ и рассчитывают L'_1 и L'_2 . Находят ε_1 и ε_2 по кривым изолюкса. $\varepsilon_1 = f(L'_1; p')$; $\varepsilon_2 = f(L'_2; p')$.

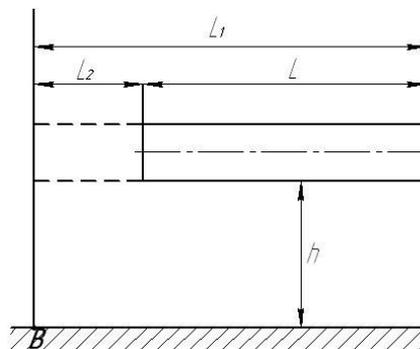


Рисунок 1.7 - Определение освещенности точки B за ее пределами

Истинное значение относительной условной освещенности находится

$$\varepsilon_B = \varepsilon_1 - \varepsilon_2.$$

1.6. Измерение оптического излучения

Оптическое излучение не поддается непосредственному измерению, однако может быть обнаружено и оценено количественно и качественно косвенно по реакции на него измерительных приемников излучения. Измерительные приемники излучения преобразуют энергию оптического излучения в иные виды энергии (тепловую, электрическую, химическую и др.), поддающиеся измерению с достаточной точностью.

Фотометрия – это раздел физической оптики, посвященный теории и методам измерения оптического излучения.

В практике наибольшее распространение получили приемники, основанные на тепловом и фотоэлектрическом действии ОИ.

1. Тепловые источники излучения.

В этих приемниках поглощаемая энергия превращается в теплоту, вследствие чего изменяется его температура. Таким образом, задача ОИ сводится к измерению перепада температур, вызванного поглощением энергии излучения приемником.

Болометры (терморезисторы)- принцип действия болометров основан на измерении зависящего от температуры электрического сопротивления проводника (рис. 1.8). В болометрах используют проводники в виде ленты из меди, платины, никеля или полупроводников, помещаемых в стеклянную или кварцевую колбы.

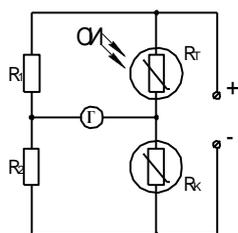


Рисунок 1.8 – Схема включения болометра

Чтобы компенсировать температурные изменения окружающего воздуха прибор включают по мостовой схеме с компенсационным болометром R_K , защищенный от воздействия ОИ. При облучении измерительного болометра R_T изменяется его электрическое сопротивление, и в диодном мосте появляется электрический ток, регулируемый гальванометром.

Болометры используют в фотоэлектрических приборах для регистрации оптического излучения в инфракрасной части спектра.

Термоэлектрические приемники излучения (термопары, термоэлементы и др.), действие которых основано на возникновении термоэлектродвижущей силы при нагреве спая разнородных металлов или полупроводников падающим на него излучением. Термоэлектрические приемники излучения используют в приборах ИКИ.

Для небольших перепадов температур справедлива зависимость

$$E_T = \alpha \Delta\theta, B$$

где E_T - термоэлектродвижущая сила, В;

$\Delta\theta$ - перепад температур между спаями температуры, $^{\circ}C$;

α - коэффициент, характеризующий свойства спая, В/ $^{\circ}C$.

Для измерения ИК излучения применяют приборы с достаточно высокой чувствительностью в ИК области спектра.

В измерительных приемниках ИК излучение преобразуется в энергию других видов: тепловую, электрическую и механическую. Наиболее широкое применение для измерения ИК излучения в облучательных установках находят термоэлектрические приемники, в которых ИК излучение нагревает термопары, а на их выводах возникает термо-ЭДС, пропорциональная энергии излучения.

Для этой цели используют неселективные приемники излучения: пиранометр Янишевского, болометры и термоэлементы.

Прибор ИКМ-71- для измерения ИК облученности. Спектральная чувствительность прибора лежит в пределах от 620 до 10^4 нм.

Предел измерения прибора 1000 Вт/м^2 с тремя поддиапазонами. Погрешность измерения $\pm 10\%$. Питание автономное. Приемником излучения служит термобатарея РК-15 из десяти хромель-копелевых термопар, соединенных последовательно.

Устройство ТФА-2 предназначено для автоматической регистрации ИК облученности и количества ИК облучения в диапазоне длин волн от 700 до 3000 нм. Предел регистрации количества облучения $500 \text{ Вт} \cdot \text{мин}$. Погрешность измерения $\pm 5\%$. Питание – сетевое.

2. Фотоэлектрические приемники излучения.

В этих приемниках энергия излучения непосредственно преобразуется в электрическую благодаря фотоэффекту.

В зависимости от механизма фотоэлектрического эффекта приемники делятся на фотоэлементы с внешним фотоэффектом (фотоэлектронные приемники), внутренним фотоэффектом и фотоэффектом в запирающем слое (вентильные фотоэлементы).

Внешний фотоэффект проявляется в эмиссии электронов материала и при возбуждении их энергией ОИ. Катоды фотоэлементов изготавливают из материалов, обладающих свойством поглощать ОИ требуемого диапазона волн и испускать электроны под действием этого излучения. Фотоэлементы с внешним фотоэффектом используются в приборах уфиметрах и эрметрах. Уфиметр для измерения УФ облученности. Предел измерения 10 Вт/м^2 . Фотоэлемент Ф-7 для измерения $\lambda = 220 \dots 280$ нм, Ф-26 - $\lambda = 280 \dots 380$ нм. Эрметр УФМ - для измерения эритемной облученности. Предел измерения 3000 мер/м^2 .

Внутренний фотоэффект проявляется в изменении проводимости материалов под действием ОИ. На указанном явлении основано на действие фоторезисторов. Под действием ОИ увеличивается проводимость и полупроводниковых материалов в фотодиодах и фоторезисторах. Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом используют в приборах фитофотометрах. Их используют для измерения фитооблученности.

Фитофотометр ФФМ-71-предназначен для измерения фитооблученности, создаваемой на плоскости искусственными источниками облучения. Предел измерения 300 фт/м^2 . Питание прибора – автономное.

Фитофотометр ФИТОМ-70, в котором в качестве приемника излучения использован фотоумножитель. Предел измерения 20000 мфт/м^2 . Питание прибора – автономное.

Действие фотоэлементов с запирающим слоем основано на явлении возникновения электродвижущей силы на электродах прибора при воздействии на него ОИ.

В практике измерения чаще других используются селеновые фотоэлементы, спектральная чувствительность которых к видимому излучению близка к чувствительности глаза человека.

Вентильные фотоэлементы не нуждаются в дополнительном источнике питания, обладают значительной чувствительностью, и их подключают непосредственно к измерительному прибору без усилителя. Селеновый фотоэлемент- это полупроводниковый прибор с запирающим слоем. Принцип его действия основан на фотоэлектрическом эффекте, заключающемся в том, что под действием света возникает электрический ток. Сила электрического тока, проходящего по фотоэлементу, прямопропорциональна его освещенности. Селеновый фотоэлемент обладает кривой спектральной чувствительности, которая приближается к кривой чувствительности глаза.

1.6.1. Приборы для измерения УФ излучения

Для измерения УФ излучения наибольшее распространение получили измерительные приборы, в которых используются вакуумные фотоэлементы с внешним фотоэффектом (фотоэлектронные приемники).

Фотоэлектронные приемники наиболее распространены в приборах (уфиметрах, бактметрах, дозиметрах облучения), которые измеряют УФ излучение.

Уфиметр УФИ-73 предназначен для измерения УФ облученности на плоскости в единицах системы энергетических величин.

Уфиметр комплектуется либо фотоэлементом Ф-7 для измерения в бактерицидной области УФ излучения ($\lambda = 220 \div 280$ нм (С)), либо фотоэлементом Ф-26 для измерения в диапазоне $280 \div 380$ нм (В).

Прибор проградуирован по образцовой лампе типа ДРТ. Предел измерения прибора 10 Вт/м^2 с тремя поддиапазонами. Приведенная погрешность измерения $\pm 5\%$. Питание прибора автономное или от сети.

УФ-радиометр предназначен для измерения энергетической освещенности, создаваемой различными источниками УФ излучения.

Диапазон измерения энергетической освещенности $1,0 \div 200000 \text{ мВт/м}^2$:

- в диапазоне С длин волн - $\lambda = 200 \div 280$ нм
- в диапазоне В длин волн- $\lambda = 280 \div 315$ нм
- в диапазоне А длин волн- $\lambda = 315 \div 400$ нм.

Для питания прибора используется батарея типа «Крона» -9В.

Принцип работы прибора основан на преобразовании фотоприемными устройствами оптического излучения в числовые значения энергетической освещенности в мВт/м^2 .

Конструктивно прибор состоит из двух функциональных блоков: фотометрической головки и блока обработки сигнала, связанных между собой многожильным гибким кабелем. На измерительном блоке расположены органы управления режимами работы и жидкокристаллический индуктор.

На передней стенке фотометрической головки расположены фотоприемные устройства, которые при измерениях располагаются параллельно плоскости измеряемого объекта.

Эрметр – измерительный прибор, предназначенный для измерения эритемной облученности в единицах системы эффективных величин.

Эрметр УБФ предназначен для измерения эритемной облученности на плоскости, разделенной в диапазонах длин волн $\lambda = 280 \div 315$ нм (зона УФ-В) и

$\lambda = 315 \div 380$ нм (зона УФ-А) путем использования соответствующих наборов оптических фильтров.

Пределы измерения прибора:

- в области УФ-А до $900 \text{ мэр}/\text{м}^2$;
- в области УФ-В до $6000 \text{ мэр}/\text{м}^2$.

Относительная погрешность измерения облученности не превышает $\pm 30\%$.

Эрметр УФМ-71 – для измерения сферической эритемной облученности. Предел измерения эрметра $3000 \text{ мэр}/\text{м}^2$. Погрешность измерения $\pm 15\%$.

1.6.2. Приборы для измерения световых величин

1. **Люксометры** - это наиболее доступные и популярные светоизмерительные приборы. Нашей промышленностью выпускаются люксометры типов Ю-116 и Ю-117. В них применяют гальванический вентильный принцип работы селенового фотодиода. Для очень малых уровней освещенности сигнал от фотоэлемента усиливается.

Люксометры Ю-116 и Ю-117 имеют сменные посадки, позволяющие увеличить пределы измерения освещенности с 5лк и 0,1 лк до 100000 лк соответственно.

Люксометр – прибор, предназначенный для измерения освещенности, т.е. той части видимого излучения, которая эффективно воспринимается глазом человека.

Люксометр состоит из селенового фотоэлемента с вентильным эффектом, смонтированного в оправу с ручкой и микроамперметра со шкалой, проградуированной в люксах. Схема включения селенового фотоэлемента показана на рисунке 1.9.

Селеновый фотоэлемент позволяет проводить фотометрирование в видимой области спектра без дополнительного источника питания.

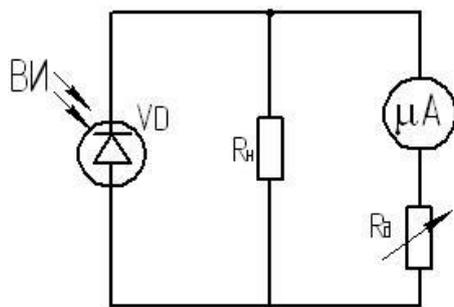


Рисунок 1.9 – Схема включения селенового фотоэлемента

Люксметром Ю-116 можно измерить уровни освещенности от 5 до 100000 лк. Прибор имеет два основных (30 и 100 лк) и шесть дополнительных (300, 1000, 3000, 10000, 30000, 100000 лк) пределов измерения. Дополнительные пределы получены за счет использования нейтральных фильтров (насадок), закрепленных на фотоэлементе. Каждый из трех фильтров ослабляет падающий на фотоэлемент излучение соответственно в 10, 100 и 1000 раз.

Погрешность измерения освещенности на основных пределах не превышает $\pm 10\%$, на дополнительных $\pm 15\%$.

Люксметр Ю-117 отличается от модели Ю-116 большими пределами измерения ($0,1 \div 100000$ лк) и комплектуется электронным усилителем с источником питания.

Цифровой фотометр (люксметр-яркомер) предназначен для:

- 1) измерения освещенности в видимой области спектра, создаваемой искусственными или естественными источниками, расположенными произвольно относительно приемника, в лк;
- 2) измерения яркости накладным методом ТВ-кинескопов, дисплейных экранов (вычислительных машин), в $кд/м^2$.

Принцип работы прибора заключается в преобразовании фотоприемными устройствами ОИ в числовые значения освещенности (лк) и яркости ($кд/м^2$).

Технические характеристики:

- 1) Диапазон измерения:
 - освещенности $E=10 \div 200000$ лк;

- яркости $V=10 \div 200000 \text{ кд/м}^2$.

2) Пределы измерения:

- 2000 (лк, кд/м^2);

- 20000 (лк, кд/м^2);

- 200000 (лк, кд/м^2).

Переключение пределов производится вручную. Погрешность измерения: освещенности не более 8%; яркости не более 10%. Напряжение питания -9В (батарея «Крона»).

При измерении яркости экранов видеодисплеев и экранов мониторов располагают фотометрическую головку прибора параллельно плоскости экрана на расстоянии 1 ÷ 4 мм. Изготовитель: Научно-техническое предприятие «ТКА», г. Санкт-Петербург.

Глава 2. Электрические источники оптического излучения

В современных искусственных источниках ОИ получают, как правило, путем преобразования электрической энергии.

В зависимости от способа преобразования электрической энергии источники ОИ разделяют на тепловые, в которых излучателем является нагретое тело в результате протекания по нему электрического тока, и газоразрядные, действие которых основано на явлениях, сопровождающих электрический разряд в газах или парах металла.

Наша промышленность выпускает огромное количество источников ОИ различных типов, мощности и назначения.

При проектировании осветительной или облучательной установки одним из основных является вопрос о выборе наиболее подходящего источника излучения.

2.1. Основные законы теплового излучения

Основные законы теплового излучения установлены для абсолютно черного тела, которое поглощает все падающее на него излучения от спектрального состава, направления падения и степени поляризации.

1. **Закон Кирхгофа** (1859г.) определяет способности тела излучать и поглощать излучение. Чем лучше тело поглощает излучение, тем больший поток излучения оно способно отдать при нагревании.

Таким образом, отношение плотностей излучения с одинаковой температурой равно отношению их коэффициентов поглощения:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$$

Закон Кирхгофа можно записать иначе:

$$\frac{R_1}{\alpha_1} = \frac{R_2}{\alpha_2} = \dots = \frac{R_n}{\alpha_n} = \text{const} = R_T,$$

где R_T - плотность излучения абсолютно черного тела при той же температуре, $Вт/м^2$.

Другими словами, отношение плотности излучения (излучательности) к коэффициенту поглощения для всех тел, имеющих одинаковую температуру, величина постоянная, равная плотности излучения абсолютно черного тела при той же температуре. Здесь абсолютно черное тело называют *полным излучателем*.

2. **Закон Стефана-Больцмана** установленный экспериментально в 1879г. и выведенный теоретически Больцманом 1884г. связывают излучательную способность а.ч.т. с температурой его нагрева

$$R_T = \sigma \cdot T^4, Вт / м^2,$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ – постоянная Больцмана, $\frac{Вт}{м^2 \cdot K^4}$

T - абсолютная температура, К.

Таким образом, плотность излучения абсолютно черного тела зависит только от его температуры и пропорциональна четвертой степени ее.

3. **Закон смещения Вина** (1893г.) устанавливает связь между положением максимума в спектре излучения а.ч.т. и температурой нагрева:

$$\lambda_{\max} T = C, \quad \lambda_{\max} = \frac{2896 \cdot 10^3}{T}, \text{ нм}$$

где λ_{\max} - длина волны, соответствующая максимуму в спектре излучения а.ч.т., $нм \cdot K$, C - постоянная Вина, $C = 2896 \cdot 10^3 \text{ нм} \cdot K$.

Из этого закона следует, что с увеличением температуры абсолютно черного тела максимум излучения смещается в более коротковолновую часть спек-

тра. С повышением температуры световой КПД излучения абсолютно черного тела быстро увеличивается и достигает максимума 14,5% при температуре около 6500К. При этом максимум излучения находится в видимой области спектра. Дальнейшее повышение температуры приводит к смещению максимума излучения в соответствии с законом смещения Вина в УФ области спектра. В результате этого световой КПД снижается.

Реальные тела, выполняющие роль тепловых излучений, не могут быть нагреты до температуры 6500К из-за нарушения механической прочности.

Например: для излучения твердого вольфрама световой КПД не может превысить значения 8,1%, так как при температуре 3665К он начинает плавиться. Реальный световой КПД ламп накаливания с вольфрамовой нитью не превышает 3,5%. Вместе с тем тепловой излучатель - высокоэффективный источник ИК излучения в технологических процессах.

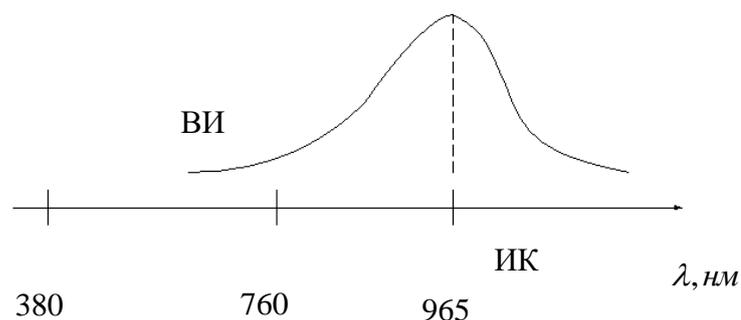


Рисунок 2.1 Спектр излучения лампы накаливания

На рисунке 2.1 $T=3000\text{K}$ и $\lambda_{\text{max}}=965\text{нм}$.

Тела, с которыми приходится иметь дело в практике светотехнических расчетов, не обладают в полной мере свойствами абсолютно черного тела, однако, пользуясь специальными переходными величинами, законы теплового излучения абсолютно черного тела можно приложить и к реальным телам.

Для реального тела в уравнение вводится степень черноты тела ε , который равен отношению потока излучения реального тела и потоку излучения абсолютно черного тела при одинаковых размерах, форме и температуре.

2.1.1. Тепловые источники излучения

1. Лампы накаливания

Лампы накаливания используют во всех сферах деятельности человека, что обусловлено простотой их обслуживания, удобством в обращении, простотой включения и относительно низкой стоимостью.

В общем балансе светового потока всех ламп, выпускаемых в нашей стране, на долю ламп накаливания приходится 30-35%. Во многих случаях лампы накаливания не имеют равноценной замены.

Конструкция ламп накаливания зависит от их назначения. Лампы накаливания выпускают следующие:

- 1) лампы накаливания общего назначения
- 2) зеркальные лампы накаливания
- 3) инфракрасные лампы накаливания
- 4) галогенные лампы накаливания (кварцевые галогенные ЛН)

Конструкция ЛН общего назначения состоит из 15 элементов. Основными элементами ЛН являются:

а) тело накала, выполненное из вольфрамовой проволоки круглого сечения. В современных лампах общего назначения с целью уменьшения потерь тепла в газе и скорости распыления нити ее выполняют в виде спирали, имеющей форму незамкнутого кольца и укрепляют в держателях в плоскости, перпендикулярной оси лампы. Дальнейшее повышение эффективности работы лампы было достигнуто при использовании тела накала, выполненного в виде биспирали.

Вольфрам - один из наиболее тугоплавких металлов ($T_{пл}=3665\text{ K}$), слабо распыляется при высоких температурах.

б) Стеклообразная колба, размеры которой определяются мощностью лампы. Колба лампы накаливания представляет собой стеклянный баллон, предназначенный для изолирования тела накала от внешней среды. Форма колбы лампы накаливания может быть шарообразной до цилиндрической. Кроме прозрачных

колб, осветительные лампы накаливания могут иметь колбы из матированного, опалого или «молочного» стекла. Если требуется получить от лампы направленный световой поток, часть внутренней поверхности колбы покрывают зеркальным слоем из серебра или алюминия. Зеркальные осветительные ЛН могут выполнять одновременно функции источника ОИ и осветительной арматуры.

в) Цоколи ЛН изготавливают резьбовыми (E14, E27, E40), штифтовыми и фокусирующими. Цоколь представляет собой металлический стакан из латуни или оцинкованной стали.

Как следует из основных законов теплового излучения, важнейшие показатели работы лампы накаливания (спектральный состав излучения, поток излучения и др.) при прочих равных условиях зависит только от температуры нагрева излучающего тела. Однако повышение температуры тела накала сопровождается увеличением интенсивности распыления, в результате уменьшается сечение вольфрамовой проволоки, что приводит к резкому снижению срока службы ЛН. Поэтому ЛН мощностью более 25 Вт выполняются газополными. Колбы этих ламп после освобождения от воздуха наполняются инертным газом: смесь аргона с азотом ($86\% Ar + 14\% N_2$) или смесью криптона и ксенона

Характеристики ЛН:

1) η до 3,5%

2) H до 20 лм/Вт.

3) U, V

$U_C = 125 \dots 135V; U_H = 130V$

$U_C = 215 \dots 225V; U_H = 220V$

$U_C = 220 \dots 230V; U_H = 225V$

$U_C = 230 \dots 240V; U_H = 235V$

$U_C = 235 \dots 245V; U_H = 240V$

4) $P = 15 \dots 1000W$

5) τ до 1000 час.

6) $T = 3000K, t_k = 150 \dots 200^\circ C$

Промышленность выпускает ЛН с отражающим зеркальным слоем следующих типов:

ЗК - зеркальная концентрированного светораспределения на напряжение 127 и 220В и мощностью от 300 до 1000Вт.

Пример: ЗК 127-300, 500,750 и 1000Вт.

ЗК 220-300, 500, 750, 1000Вт

ЗШ - зеркальная широкого светораспределения на напряжение 220Вт и мощностью 300, 500, 750 и 1000Вт

Пример: ЗШ 220-750.

Срок службы $\tau=1500$ ч.

В вакуумных лампах ЛН температура тела накала составляет $2400 \div 2800$ К. В мощных газополных лампах накаливания температура тела накала достигает 3000К, светоотдача составляет 20 лм/Вт, срок службы 1000 часов. Основные конструктивные признаки ЛН в букве ее типа: В - вакуумная, Г - газополная, Б - биспиральная, БК - биспиральная криптоновая.

2. Инфракрасные зеркальные лампы накаливания

У ИК ламп температура тела накала меньше чем у обычных ЛН (осветительных) $T=2270 \div 2770$ К. Это позволяет в $6 \div 10$ раз увеличить срок их службы при инфракрасном КПД около 80%. Максимум спектральной плотности излучения таких ламп смещен в длинноволновую часть спектра и приходится на излучение с длиной волны $1000 \div 1400$ нм.

Промышленность выпускает ИК зеркальные лампы типов ИКЗ, ИКЗК, ИКЗС. Эти лампы широко используются в сельском хозяйстве для обогрева молодняка животных и птицы, сушки сельхоз продуктов и др. Чтобы свет не мешал отдыху животных, нижнюю часть колбы выполняют в виде красного (К) или синего (С) светофильтров.

Напряжение ламп 127 и 220 В, мощность 250 и 500 Вт, срок службы $6000 \div 10000$ часов.

Пример: ИКЗ 220-500; ИКЗК 127-250; ИКЗС-220-250.

Недостатки ЛН следующие:

- 1) Низкая световая отдача (H до 20 лм/Вт)
- 2) Низкий световой КПД (не превышает 3,5%)
- 3) Неудовлетворительный спектральный состав излучения (в видимой части спектра у ЛН преобладают оранжево-красные излучения, синих излучений в 10 раз меньше). В целом спектр излучения ЛН считают неудовлетворительным для освещения.
- 4) Чрезмерная яркость.
- 5) Малый срок службы (1000 часов)

3. Галогенные лампы накаливания

Повышение температуры тела накала и, следовательно, повышению эффективности работы лампы накаливания препятствует, прежде всего, процесс распыления тела накала. Чтобы значительно снизить отрицательное влияние распыления вольфрама на показатели работы ламп, внутрь колбы вводят дозированное количество йода и аргона до давления 800кПа. Эти лампы названы галогенными. ($T_n=3200$ К, $\eta=4\%$, $H=25$ лм/Вт).

Галогенная лампа представляет собой кварцевую цилиндрическую колбу малого объема, имеющую два вывода по концам. Вольфрамовая спираль, закрепленная на подержках (держатели), вытянута по оси трубки. Ввод в лампу выполнен молибденовыми электродами, впаянными в кварцевые ножки. Длинное спиральное тело накала предъявляет особые требования к условиям эксплуатации: линейные галогенные лампы могут работать только в горизонтальном положении.

Регенеративный йодный цикл состоит в следующем. Образующиеся в результате распыления тела накала частицы вольфрама движутся от спирали к стенкам колбы, где при температуре $t_k=500\dots 1000^\circ\text{C}$ вступают в соединение с

йодом, образуя йодид вольфрама WI_2 , концентрация которого у стенок колбы повышается и под воздействием диффузии перемещается к центру колбы. Достигнув зоны спирали, в условиях высокой температуры ($1500 \div 1600^\circ C$) WI_2 разлагается. Вольфрам осаждается на спираль, а йод освобождается и вновь принимает участие в цикле.

Температура размягчения кварцевого стекла $t_p=1600^\circ C$.

Схематически регенеративный цикл выглядит следующим образом:

- 1) образование йодида вольфрама WI_2 у поверхности колбы;
- 2) возвращение вольфрама в виде йодида WI_2 к спирали;
- 3) разложение йодида WI_2 вблизи спирали с осаждением на ней вольфрама и освобождение йода.

Промышленность выпускает кварцевые галогенные лампы накаливания:

- 1) для общего освещения типа КГ на 220 и 380 В, мощностью от 1000Вт до 20000 Вт, со сроком службы на 2000 часов.

Пример: КГ 220-1500

- 2) для лучистого нагрева типа КГТ на 220В и 380В, мощностью от 600Вт до 3550Вт, со сроком службы 2000 ÷ 5000 часов.

Пример: КГТ 220-600; КГТ 380-3300.

Основные достоинства ЛН с йодным циклом:

- 1) высокая удельная плотность излучения, $H=25$ лм/Вт;
- 2) стабильность потока излучения в течение срока службы;
- 3) относительно малые габаритные размеры;
- 4) способность выдерживать длительные и большие перегрузки;
- 5) удвоение срока службы.

Недостатки ЛН с йодным циклом:

- 1) возможность работать только в горизонтальном положении;
- 2) более высокая стоимость, за счет использования кварцевого стекла. За рубежом фирмы выпускают зеркальные галогенные лампы на 220 В с обычным цоколем E27.

2.1.2. Эксплуатация ламп накаливания

Нить ЛН при эксплуатации расплывается, причем неравномерно. В местах случайных утоньшений нагрев небольшой. Это дефектное место. Сопротивление холодной спирали лампы в 12 и более раз меньше, чем в рабочем состоянии. Следовательно, пусковой ток лампы может достигать 12 ÷ 16- кратной величины. Скрученная в спираль нить испытывает серьезные динамические нагрузки и в конце концов по дефектному месту ломается.

Срок службы ЛН можно значительно увеличить, предварительно разогревая спираль постепенным поднятием напряжения или первоначальным включением на низкое (10%) напряжение.

Первый способ реализуется в теристорных ограничителях напряжения (ТОН). Промышленность выпускает ТОН-3 с плавным автоматическим регулированием напряжения. Плавное повышение напряжения питания позволяет сэкономить до 30% ЛН.

Второй способ можно на месте изготовить простое устройство ограничения пусковых токов (рисунок 2.2)

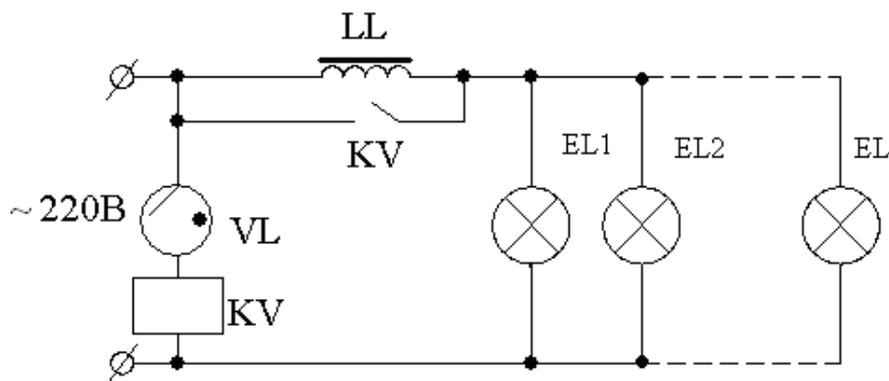


Рисунок 2.2 – Схема ограничения тока ЛН

LL- дроссель;

VL-стартер СК-40 для схем с ЛЛ (в качестве реле времени);

KV- реле.

Все показатели работы ЛН: электротехнические (мощность и ток), светотехнические (световой поток и КПД), срок службы зависит от отклонения пи-

тающего напряжения от номинального, с которым связаны изменения температуры тела накала. Так при отклонении напряжения на 5% продолжительность горения ЛН изменяется в 2,2 раза.

Изменение напряжения, подводимого к ЛН, на 1% вызывает изменение светового потока в среднем на 3,5% и световой отдачи на 2%. Нормами допускаются отклонения напряжения в осветительных сетях $\pm 5\%$. $\Delta U_C = \pm 5\%$.

При перегорании спирали лампы возможно возникновение эл. дуги, приводящей к стеканию спирали в каплю или отгорания конца электрода. Раскаленная масса может разрушить стекло колбы и послужить причиной пожара. Поэтому в особо опасных в пожарном отношении помещениях колба лампы должна иметь дополнительную защиту – стеклянный колпак светильника.

Устройство автоматического включения светоинфракрасного датчика движения.

Основа датчика пироприемник - полупроводниковый чувствительный элемент подобный фотодиоду, но работающий не в видимом спектре, а в инфракрасном диапазоне (максимум спектра излучения тела человека находится в области $9\text{мкм}=9000\text{нм}$)

Человек попадает в спектр чувствительности на выходе пироприемника, где возникает скачок потенциала. Дело электроники – детектировать импульс напряжения и включить светильник.

Эти устройства можно широко применять в помещениях без окон (в прихожих, на лестницах, в коридорах, подвалах, гаражах). Датчики дают ощутимую экономию электрической энергии. Датчики так же выполняют охранные функции. В России выпускают пассивный ИК-детектор движения «Феникс-1».

Технические параметры:

- 1) дальность действия – 16 м;
- 2) угол обзора в горизонтальной плоскости - 120° ;
- 3) высота установки – $1,5 \div 3,5$ м;
- 4) тип нагрузки – ЛН и ЛЛ;

- 5) мощность нагрузки – 1000Вт для ЛН и 200Вт для ЛЛ;
- 6) состав: ИК датчик и блок питания с выключателем.

2.2. Газоразрядные источники оптического излучения

Дальнейшее совершенствование источников света, основанных на тепловом излучении, не может сколько-нибудь значительно повысить их светотехнические и технико-экономические показатели.

Газоразрядные источники ОИ могут обладать значительно более высоким КПД, чем источники, основанные на тепловом излучении. Цветность и характер распределения его по спектру зависит от рода паров металла или газа и условий электрического разряда.

В данных источниках ОИ получают в процессе преобразования электрической энергии в дуговом электрическом разряде.

В общем случае газоразрядные источники излучения классифицируют в зависимости от давления, создаваемого в рабочем режиме внутри разрядной колбы, и от наполнения колбы - среды, в которой протекает электрический разряд.

В зависимости от давления внутри разрядной колбы лампы бывают:

- 1) лампы низкого давления ($0,1 \div 10^4 \text{ Па}$);
- 2) лампы высокого давления ($3 \cdot 10^4 \div 10^6 \text{ Па}$);
- 3) лампы сверхвысокого давления (более 10^6 Па).

Спектр излучения разрядных ламп (линейчатый или полосатый) зависит от рода газа или паров металла, наполняющих разрядную колбу.

По наполнению дуговые разрядные лампы подразделяют на:

- 1) ртутные (ДРЛ, ДРТ);
- 2) натриевые (ДНаТ);
- 3) ксеноновые (ДКсТВ);
- 4) металлогалогенные (ДРИ).

В отличие от ЛН, имеющих сплошной спектр, РЛ обладают линейчатым

или полосовым спектром.

По назначению РЛ делятся:

- 1) осветительные;
- 2) эритемные (витальные)
- 3) бактерицидные;
- 4) фитолампы для растений и др.

По числу электродов и фаз:

- 1) двухэлектродные;
- 2) трехэлектродные;
- 3) четырехэлектродные.

По форме колбы:

- 1) трубчатые;
- 2) шаровые;
- 3) кольцевые;
- 4) U-образные и т.д.

2.2.1 Электрический разряд в газах и парах металлов

Процесс прохождения электрического тока в газообразной среде существенно отличается от протекания тока в металлах и электролитах.

Из курса физики известно, что вид электрического разряда в газе зависит от плотности тока. При малых ее значениях возникает тихий разряд, который с ростом плотности тока переходит в тлеющий, а затем в дуговой (рис. 2.3)

Дуговой электрический разряд - рабочая характеристика разрядных ламп.

1 - Тихий разряд характеризуется весьма малой плотностью тока (до 10^{-4} A/cm^2) и отсутствием заметного свечения.

2 - Тлеющий разряд характеризуется явно выраженным свечением.

Плотность разрядного тока $10^{-2} \div 10^{-4} \text{ A/cm}^2$. Для получения тлеющего разряда необходимо малое давление легко ионизирующего газа (неона) и относительно высокое напряжение, приложенное к электродам. На этом принципе ра-

ботают газосветные установки ($U_n=1\div 20$ кВ), индикаторы напряжения ($U_n=1\div 1000$ В), стартеры люминесцентных ламп ($U_n=0,7U_c$).

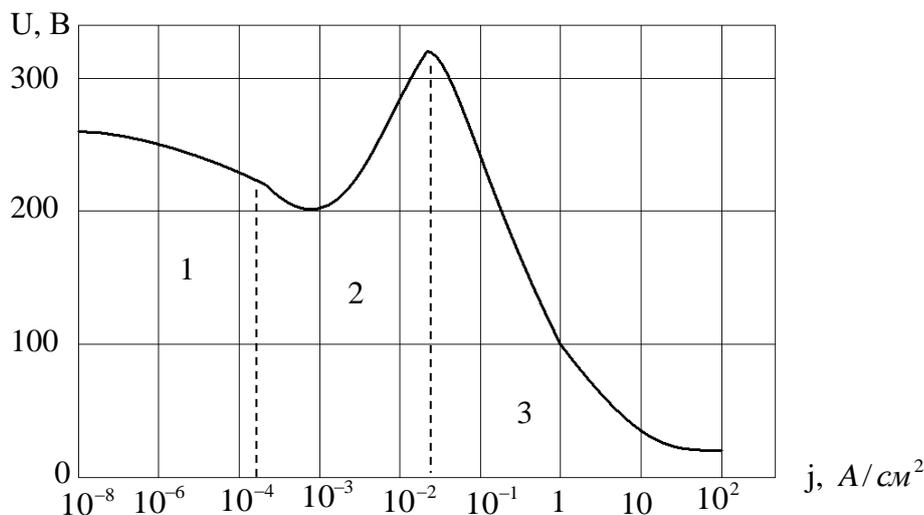


Рисунок 2.3 ВАХ газового проводника

- 1- темновой (тихий) разряд;
- 2- тлеющий разряд;
- 3- дуговой разряд.

Интенсивность излучения тлеющего разряда мала, поэтому для освещения эта область газового разряда не используется.

Ток, ограниченный внешним большим сопротивлением в индикаторах напряжения, составляет несколько микроампер, то есть безопасен для персонала.

3 - дуговой разряд характеризуется интенсивной эмиссией электронов с катода и значительной яркостью свечения. Плотность разрядного тока может достигать больших величин. Этот процесс - лавинный, сопротивление межэлектродного промежутка быстро падает до нуля, и ограничить ток, а стало быть избежать короткого замыкания, можно только внешним сопротивлением. Таким образом, оно вынуждает во избежание разрушения газоразрядного источника излучения включать последовательно с ним специально подобранное сопротивление для ограничения разрядного тока (рис.2.4). Сопротивление, включенное последовательно с лампой, называется балластным.

Напряжение зажигания дугового разряда превышает напряжение ис-

точника питания. Поэтому в схемах включения разрядных ламп применяют импульс повышенного напряжения или напряжение зажигания дугового разряда понижают до значения напряжения питания. Это достигается путем ионизации разрядного промежутка за счет предварительного подогрева электродов лампы или введения в разрядный промежуток дополнительного поджигающего электрода.

После замыкания дугового разряда необходимо при помощи балластного сопротивления ограничить (стабилизировать) ток в лампе на уровне, соответствующем её мощности.

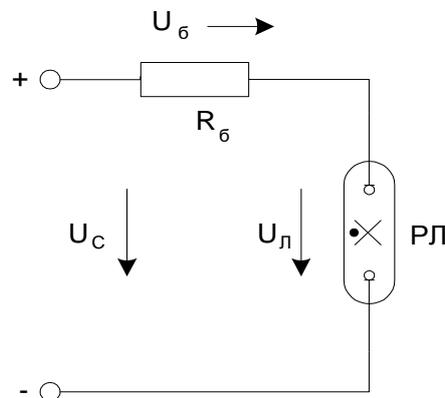


Рисунок 2.4 - Принцип включения РЛ в сеть
 R_6 – балластное сопротивление

Рассмотрим стабилизацию токового разряда. ВАХ газового разряда- падающая (рис. 2.5) кривая 1.

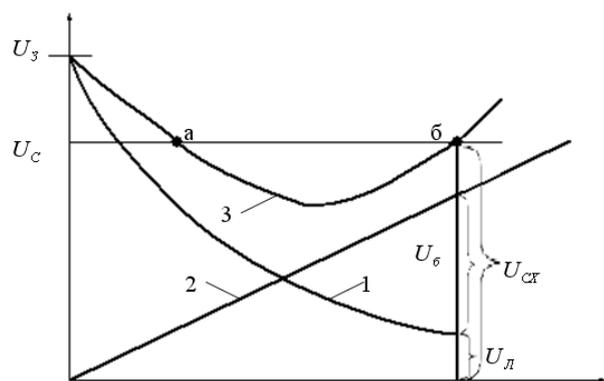


Рисунок 2.5 – ВАХ балласта, РЛ и схема лампы с балластом

1- ВАХ лампы $U_л(I)$;

2- ВАХ балласта $U_6(I)$;

3- ВАХ лампы с балластом (схемы). $\dot{U}_{\bar{N}\bar{O}} = \dot{U}_d + \dot{U}_E$; $U_c > U_E$

ВАХ балласта, например активного сопротивления, в соответствии с законом Ома ($U=IR$)- возрастающая (кривая 2). В целом ВАХ схемы в начальном участке окажется падающей, а затем перейдет в возрастающую (кривая 3). Напряжение на схеме равно сумме напряжений $\dot{U}_b + \dot{U}_л$. Если к схеме приложить напряжение сети U_c , то в двух точках этой характеристики *a* и *b* напряжение сети и схемы окажутся одинаковыми. На падающей части характеристики (точка *a*) ток самопроизвольно растет, и работа схемы в точке *a* невозможна. Устойчивая работа схемы в точке *b*. Возрастание тока в схеме возможно только с увеличением напряжения сети U_c . Напряжение на балласте U_b обычно больше, чем напряжение на лампе $U_л$. Для газового разряда напряжение зажигания U_z всегда выше напряжения питания схемы U_c .

При разработке ламп и балластных сопротивлений к ним устойчивость разряда оценивают по коэффициенту использования напряжения сети

$$K_v = \frac{U_л}{U_c}$$

Чем меньше коэффициент K_v , тем выше устойчивость работы разрядной лампы. Практически устойчивость работы разрядных ламп обеспечивают при $K_v = 0,45 \div 0,75$.

2.2.2. Разрядные лампы низкого давления (РЛНД)

1. **Люминесцентная лампа** общего назначения представляет собой цилиндрическую стеклянную колбу, герметически закрытую. По торцам в колбу вварены стеклянные ножки. На ножках смонтированы вольфрамовые электроды, выполненные в виде биспирали, покрытые слоем оксида – окислами щелочноземельных металлов (карбонат бария, стронция и кальция, имеющих малую работу выхода электронов), обеспечивающих высокую термоэлектронную эмиссию.

По концам лампа имеет короткие цоколи с полыми штырьками, служащими для включения ее в электрическую сеть. К штырькам припаяны выводы электродов.

Из колбы откачан воздух и введен аргон под давлением 400 Па и небольшое количество ртути ($30 \div 80$ мг), которое испаряется при температуре $30 \dots 40^\circ\text{C}$. Назначение аргона состоит в уменьшении распыления покрытие электродов и облегчении зажигания разряда в смеси с парами ртути.

Внутренняя поверхность колбы лампы покрыта тонким слоем люминофора - кристаллического вещества определенного химического состава. На 1 см^2 наносится $2 \dots 3$ мг люминофора.

В люминесцентных лампах ВИ получают после двухступенчатого преобразования электрической энергии:

1) в начале электрическая энергия в процессе электрического разряда преобразуется в энергию УФ излучения.

2) затем коротковолновые УФ излучения дугового разряда преобразуется в люминофоре в ВИ.

Люминесцентные лампы, выпускаемые в промышленности, отличаются спектральным составом излучения конструктивным исполнением. Промышленностью освоен выпуск ЛЛ длительной цветности типов ЛЕ, ЛБЕ, ХХЕ, ЛЕЩ (Е- естественная, БЕ- белая естественная, ХЕ- холодная естественная). За последние годы создана серия энергоэкономичных ЛЛ мощностью 18, 36 и 58 Вт в колбе диаметром 26 мм с люминофорным покрытием на основе редкоземельных металлов. Это новое поколение ЛЛ, применение которых позволит экономить до 10% электрической энергии и до 30% материалов (люминофор, алюминий).

Большой интерес представляют компактные одноцокольные ЛЛ, служащие для прямой замены ЛН общего назначения. В нашей стране разработаны ЛЛ типов ЛТБ018 и ЛТБ025 (одноцокольные), которые представляют собой компактную конструкцию, включающую миниатюрную ртутную люминесцентную трубку сложной конфигурации с люминофорным покрытием, пластмассовый рассеиватель, малогабаритную ПРА, стартер и резьбовой цоколь E27; $U=220 \text{ В}$, $P=18$ и 25 Вт , $\Phi=675$ и 1200 лм , $\tau=5000$ час, диаметр 72 мм, $l=163$ мм.

Основные характеристики ЛЛ:

- 1) Энергетический КПД современных ЛЛ более 20% (ЛН до 14%)
- 2) Световой – до 12% (ЛН до 3,5%). По сравнению с ЛН они более совершенные источники ВИ
- 3) Спектр излучения ЛЛ в зависимости от состава люминофора может быть УФ и видимым с различными цветовыми оттенками.
- 4) Эффективная отдача ЛЛ также зависит от состава люминофоров. У осветительных ЛЛ светоотдача достигает 70 лм/ Вт (ЛН до 20 лм/Вт).
- 5) Яркость в 200÷300 раз меньше яркости ЛН (яркость составляет $3000 \div 10000 \text{ кд/м}^2$)
- 6) Средняя продолжительность горения осветительных ЛЛ общего назначения составляет 12000 ÷ 15000 часов.

Электротехнические параметры ЛЛ разнообразны, но во всех случаях тесно связаны с их габаритными размерами. Наилучшим образом параметры сочетаются в лампе мощностью 40 Вт с прямой трубчатой колбой длиной 1,2 м и диаметром 40 мм (у нее наибольшая эффективная отдача).

Промышленность выпускает ЛЛ мощностью от 3 до 150 Вт. Самую массовую серию представляют лампы мощностью 15 ÷ 80 Вт (15, 20, 30, 40, 65, 80 Вт). Диаметр трубки 27 и 40 мм; у ЛЛ на 65 и 80 Вт $l=1,5\text{м}$.

Лампы мощностью 15 и 20 Вт рассчитаны на включение в сеть с номинальным напряжением 127 В. Лампы большей мощности - на напряжение 220 В.

Практическое значение имеет соотношение между световым потоком и силой света:

$$\Phi = 9,25 \cdot I, \text{ лм}$$

Соотношение между световым потоком и средней яркостью лампы имеет следующий вид:

$$B = \frac{\Phi}{9.25 \cdot d \cdot L}, \text{ кд/м}^2$$

где B- средняя яркость лампы, кд/м^2 ;

Φ - световой поток лампы, лм;

d - диаметр лампы, м;

L - длина лампы, м.

Работа ЛЛ от сети переменного тока частотой 50 Гц сопровождается пульсацией потока излучения. Пульсация светового потока оценивается коэффициентом пульсации:

$$K_{II} = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{2\Phi_{cp}}$$

Излучение ЛЛ обладает некоторой инерционностью за счет явления «послесвечения».

Пульсация светового потока отрицательно влияет на органы зрения, снижает работоспособность (рис. 2.6).

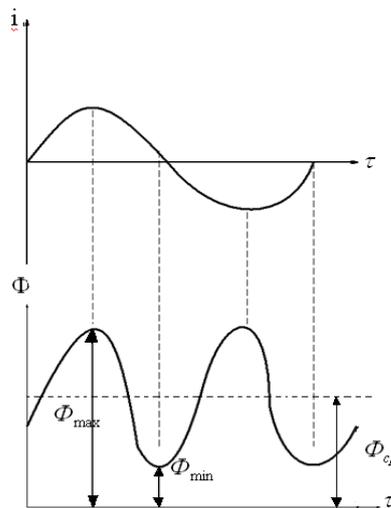


Рисунок 2.6 – Пульсация светового потока

Особо необходимо подчеркнуть, что возникающее в условиях периодической пульсации светового потока явление стробоскопического эффекта, выражающееся в искажении зрительного восприятия движущихся предметов, создает опасность травматизма.

Двух и трехламповые схемы включения ЛЛ позволяют существенно уменьшить глубину пульсации и устранить стробоскопический эффект.

Световая отдача ЛЛ мало зависит от изменения напряжения сети, но отрицательно сказывается на надежности работы лампы. Снижение напряжения

более чем на 10% приводит к отказу в зажигании, а снижение более чем на 20%- к погасанию горячей лампы. Допустимые отклонения напряжения составляют $\pm 7,5\%$. $\Delta U = \pm 7.5U_H$.

На работу ЛЛ существенно влияет и фактор окружающей среды. ЛЛ общего назначения рассчитаны для работы при температуре в пределах от +15 до 40⁰C. При температуре воздуха ниже 10⁰C необходимо принимать специальные меры для обеспечения надежности зажигания.

Достоинства ЛЛ:

- 1) Более благоприятный спектральный состав излучения.
- 2) Высокая световая отдача (в 4-6 раз больше чем у ЛН).
- 3) Значительная меньшая яркость.
- 4) Большой срок службы.

Недостатки ЛЛ:

- 1) Более сложная схема включения.
- 2) Пульсация светового потока.
- 3) Зависимость работы от условий окружающей среды.
- 4) Меньшая надежность в работе.
- 5) Малая единичная мощность ламп.

В отличие от ЛН при снижении напряжения сети световая отдача ЛЛ увеличивается. А при повышении уменьшается. В настоящее время выпускают светильники с ЛЛ с электронным ПРА (ЭПРА).

Мощность ЛЛ не будет равна произведению действующих значений напряжения и тока, т.к. кривые мгновенных значений этих величин существенно отличаются по форме одна от другой и от синусоиды. И поэтому существует понятие K_u - коэффициент искажения.

$$K_u = \frac{D_{\dot{E}}}{U_{\dot{E}} I} < 1$$

Истинная мощность равна сумме мощностей для излучения гармоник тока и напряжения.

2. **Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ).** Их еще называют энергоэкономичными люминесцентными лампами.

Развитие этой группы ламп неразрывно связано с использованием все более совершенных электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА), обеспечивающих работу ЛЛ на частотах свыше 20 кГц, и которые встраиваются в цоколь лампы. $P=3$ до 65 Вт; $U=220$ В; E-27

Средний срок службы 6000...8000 часов, $T=3000...5000$ К. Световая отдача от 45 до 95 лм/Вт, $\cos \varphi=0.95$.

Колба лампы представляет ряд расположенных прямолинейных трубок. Сейчас выпускают КЛЛ с колбой спиральной формы (СКЛЛ)- использование колбы такой формы повышает световую отдачу лампы при сохранении её габаритов. Кроме того, спиральная колба обеспечивает лампе привлекательный вид и позволяет получить КСС, ближе к КСС ЛН.

В настоящее время выпускают КЛЛ с различным соединением с цокольной частью, так как срок службы КЛЛ – $\tau=8$ тыс. часов, а ЭПРА – $\tau=50$ тыс. часов.

В сельхозпроизводстве используются эритемные и бактерицидные лампы низкого давления.

3. Промышленность выпускает специальные лампы низкого давления типа ЛЭ15, ЛЭ30, которые известны под названием *эритемных ламп*. Эти лампы имеют такое же устройство, как и осветительные ЛЛ. От них они отличаются сортом стекла колбы и составом люминофора. Колба эритемной лампы выполнена из увиолевого стекла, которое хорошо пропускает УФ излучение. Люминофор лампы подобран так, что коротковолновое УФ излучение дугового разряда в парах ртути преобразуется в УФ излучение с большой длиной волны. $P=15,30$ Вт, $U=220$ В, $\lambda = 280 \div 380$ нм.

4. **Бактерицидная лампа** типа ДБ15, ДБ30, ДБ60 представляет собой газоразрядную ртутную лампу низкого давления. Конструктивно они устроены подобно осветительным и эритемным ЛЛ. В отличие от них ее колба не имеет люминофорного покрытия и изготовлена из увиолевого стекла, хорошо пропус-

кающего УФ излучения области С. $P=15,30,60$ Вт; $U=127,220$ В; $\lambda=100\div 280$ нм.

5 Для досвечивания растений в теплицах выпускают лампы типа ЛФ-40-люминесцентные *фотосинтезные* ($P=40$ Вт; $\Phi=4,5$ фит.) и лампы ЛФР-150 люминесцентные фотосинтезные рефлекторные мощностью 150 Вт.

6. *Безэлектродные (индукционные) лампы*

Светотехническая отрасль является одним из источников попадания в естественный оборот вредных веществ, в первую очередь ртути. Ртуть является важной составляющей среды разряда в большинстве разрядных ламп. Положительный результат может быть достигнут, если существенно продлить срок службы ламп, содержащих вредные вещества.

Как известно, главным фактором, оказывающим влияние на срок службы ЛЛ, является состояние электродов. Очевидны два пути продления срока службы лампы – усовершенствование электродов или полный отказ от них.

Для достижения максимального срока службы лампы предлагается безэлектродная лампа. Первый прототип лампы был представлен компанией Philips в 1976 г. Фирма Philips разработала и освоила производство безэлектродной люминесцентной лампы типа QL.

В индукционной лампе QL электрическая энергия создает газовый разряд ВЧ электромагнитным полем. Источник энергии (индуктор, антенна) в индукционной лампе подобен первичной обмотке трансформатора, роль вторичной обмотки выполняет разряд в парах ртути низкого давления (рис. 2.7).

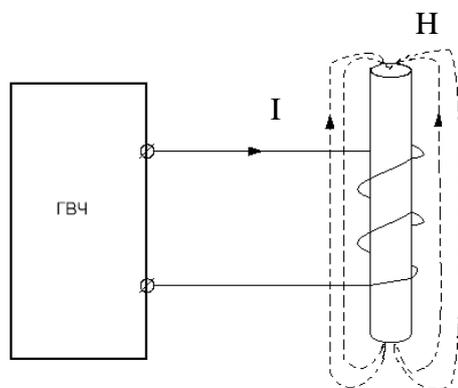


Рисунок 2.7 – Принцип работы лампы QL

Лампа состоит из стеклянной колбы, на внутренней поверхности которой нанесен трехкомпактный редкоземельный люминофор. Внутри колбы, заполненной инертным газом (аргон) и парами ртути, установлен индукционный элемент (индуктор) (рис.2.8).

От высококачественного генератора ток высокой частоты ($f=12,65$ МГц) подается по экранированному кабелю на индукционный элемент, который возбуждает безэлектродный разряд в колбе, содержащем смесь газов ртути и инертного газа аргона. Для запуска лампы формируется зажигающий импульс с напряжением порядка 1300 В и длительностью 15 мс, пропускаемый через обмотку индуктора. Запуск лампы мгновенный.

Допустимый для работы диапазон температур окружающей среды от -40 °С до $+80$ °С Средний срок службы лампы составляет 100000 часов, полезный срок службы – 60000 ч. После 60000 часов работы световой поток лампы снижается на 25%. Количество включений- выключений не влияет на срок службы.

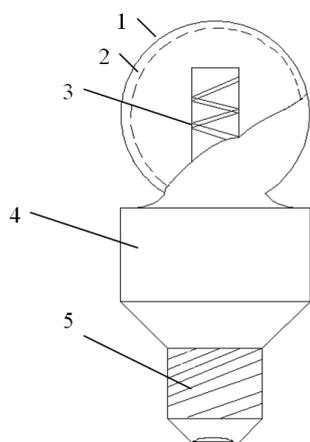


Рисунок 2.8 – Конструкция безэлектродной лампы QL

1- колба; 2-люминофорный слой; 3-индуктор;
4-ЭПРА (высокочастотный генератор); 5-цоколь

В настоящее время фирма выпускает лампы трех мощностей (55, 85 и 165 Вт), таблица 2.1.

Обладая длительным сроком службы, достаточно высокой световой отдачей, хорошей цветопередачей излучения, умеренной яркостью, лампы QL находят применение при освещении административных зданий, торговых центров,

промышленных предприятий, а также наружного освещения.

Таблица 2.1 - Ассортимент ламп (технические характеристики ламп)

Параметры лампы	Мощность, Вт		
	55	85	165
Световой поток, <i>лм</i>	3500	6000	12000
Диаметр колбы, <i>см</i>	8,5	11	13
Полная длина, <i>см</i>	14	18	21
Световая отдача, <i>лм/Вт</i>	70		
Средний срок службы, <i>ч</i>	100000		

7. Светодиоды.

Светодиоды представляют собой излучающий p-n переход, свечение в котором возникает вследствие рекомбинации носителей заряда (электронов и дырок). В процессе каждой рекомбинации сопровождается выделением кванта света фотона. Излучение возможно только в узком диапазоне частот.

Цвет свечения зависит от материала примесей. Так, например, примесные центры из ZnO обеспечивает получение красного свечения, из азота - зеленого, из ZnO и N – желтого и оранжевого и.т.д.

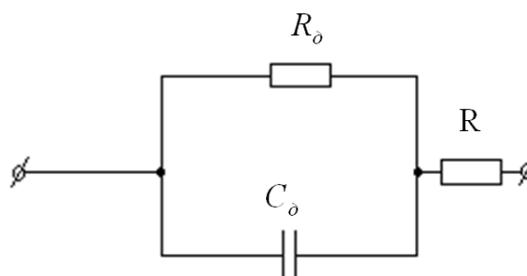


Рисунок 2.9 – Эквивалентная схема светодиода

R- омическое сопротивление полупроводника и контактов;

R_0 - сопротивление p-n перехода;

C_0 - емкость перехода.



- условное обозначение светодиода.

В настоящее время светодиоды различных типов позволяют перекрыть диапазон длин волн излучения от 366 до 950 нм и более.

Промышленность выпускают светодиоды типа ЗЛС331 (АЛС331А), у которого токи переходов могут меняться до 20мА. Сила света при $I_{np} = 10мА$ равна 0,25 мкд, постоянное прямое напряжение 3В.

Система обозначение светодиодов аналогична обозначениям обычных диодов, только вместо буквы Д используют Л, например, АЛ302В.

Применение:

- 1) для освещения лестничных площадок многоэтажных зданий;
- 2) для освещения лифтов;
- 3) для аварийного освещения и дежурного освещения;
- 4) в переносных светильниках;
- 5) для досвечивания растений в теплицах;
- 6) в светильниках местного освещения;
- 7) во второстепенных помещениях, где не требуется большая освещенность и минимум освещения;
- 8) в подземных переходах;
- 9) в поездах;
- 10) в светофорах

Достоинства:

- 1) Светодиод- низковольтный прибор; напряжение от 2 до 4 В, постоянный ток до 50 мА.
- 2) $\tau = 20 \dots 50$ тыс. часов (100 тыс. часов - 11 лет).
- 3) минимальное обслуживание.

2.2.3 Схемы включения РЛНД

Лампа обычно включается в стартерную схему с индуктивным балластом. Существуют следующие схемы включения:

1. Стартерная схема включения люминесцентной лампы- стандартная

схема, обеспечивающая импульсное зажигание лампы и стабилизацию в ней дугового разряда (рис. 2.10).

Схема состоит из индуктивного балластного сопротивления LL , представляющим собой дроссель с железным сердечником. Параллельно схеме подключен компенсирующий конденсатор $C1$ ($C=5\dots6$ мкФ), повышающий коэффициент мощности установки с $0,5 \div 0,6$ до $0,90 \div 0,92$. Сопротивление R , включенное параллельно конденсатору (сопротивление типа ВС- $0,8 \div 1,2$ МОм), предназначено для разряда емкости после отключения схемы от сети.

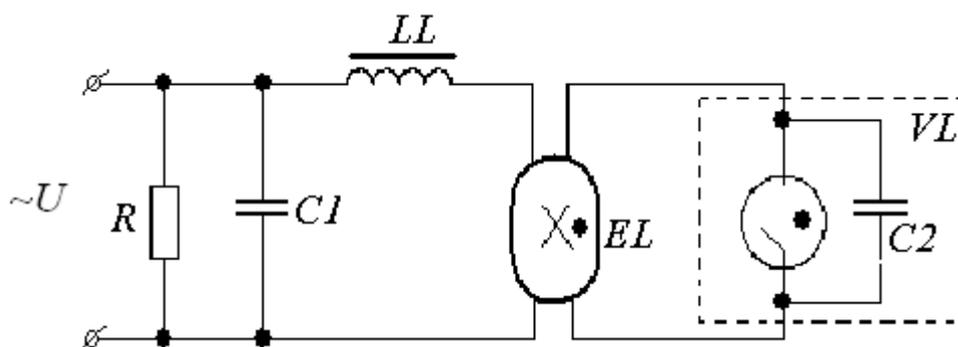


Рисунок 2.10 – Схема включения в сеть ЛЛ с индуктивным балластом

Стартер представляет собой миниатюрную газоразрядную лампу тлеющего разряда (неоновая лампа). Один из электродов стартера выполнен биметаллическим и при нагреве меняет свое положение относительно другого неподвижного электрода вплоть до короткого замыкания с ним. При тлеющем разряде, ток проходящий через стартер, равен $10 \div 40$ мА. Стартер рассчитан на 10^6 срабатываний и на 1500 включений ЛЛ. Параллельно неоновой лампе подключен конденсатор $C2$ емкостью $0,01$ мкФ, предназначенный для снижения радиопомех, создаваемых дуговым разрядом, увеличения длительности импульса высокого напряжения, возникающего в дросселе, уменьшения искрения контактов стартера в момент их размыкания.

Таким образом, стартер служит для автоматического замыкания на определенное время цепи электродов лампы и для мгновенного разрыва цепи после их разогрева.

Зажигается лампа следующим образом. После включения схемы на напряжение сети U_c , которое недостаточно для зажигания разряда в лампе, так как $U_{з.л} > U_c$, но достаточно для зажигания стартера, так как $U_{з.ст} > U_c$, в стартере возникает тлеющий разряд. Теплота, выделяющаяся в тлеющем разряде, достаточна для повышения температуры биметаллического электрода, в результате он изгибается и замыкается с неподвижным контактом. По цепи потечет ток, превышающий номинальный ток лампы примерно в 1,5 раза ($I = 1.5I_n$) и способствующий быстрому разогреву электродов. Процесс разогрева длится 1...3 с, пока биметаллический электрод стартера не остынет и не разомкнет цепь. Электроды лампы разогреваются, выбрасывая потоки свободных электронов из оксидного слоя.

При размыкании цепи ток, протекающий по обмотке дросселя, резко уменьшается, и в нем возникает эдс самоиндукции. Напряжение на лампе $\dot{U}_л = \dot{U}_c + \dot{E}$. Если $\dot{U}_л + E > \dot{U}_{з.л}$, то лампа зажигается, если меньше, то процесс зажигания повторяется. При работе лампы напряжение на ней равно приблизительно половине напряжения $U_л \approx 0,5U_c$. После зажигания лампы электроды стартера остаются разомкнутыми, и тлеющий разряд в нем не возникает, так как $U_c > U_{з.ст} > U_л$.

Влияние вида балластного сопротивления на работу газоразрядной лампы:

1) Стабилизация разряда на переменном токе при помощи активного сопротивления имеет недостаток: перезажигание разряда в каждый полупериод сопровождается паузами тока, и общая пауза может достигнуть 1/3 полупериода (большая пульсация светового потока).

2) Стабилизация разряда при помощи емкости применяется редко, так как срок службы электродов резко снижается, большие паузы и всплески тока приводят к значительному снижению светотехнических показателей работы лампы. Весьма перспективным является применение емкостного балластного сопротивления при питании источника излучения от сети переменного тока повышенной частоты.

3) Стабилизация разряда посредством индуктивного сопротивления имеет

ряд преимуществ:

- благодаря сдвигу по фазе между напряжением сети и током, пережигание происходит без заметной паузы;
- форма кривой тока приближается к синусоиде;
- потери мощности значительно ниже, чем в активном балласте (составляет от 10 до 35%);
- режим работы электродов отличается.

2. В стартерной схеме (рис. 2.11) обмотка дросселя состоит из двух равноценных частей, размещенных на одном магнитопроводе и подключенных к разным электродам лампы, что позволяет ограничить проникновение радиопомех в электрическую сеть за счет увеличения индуктивного сопротивления ветвей схемы.

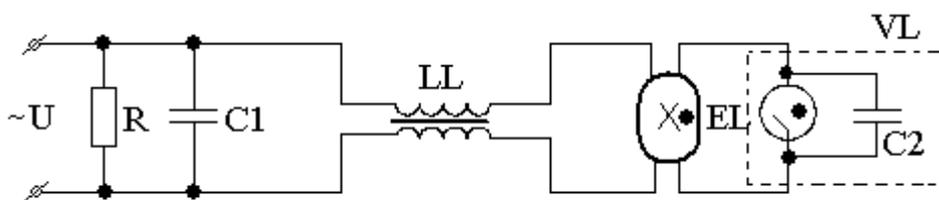


Рисунок 2.11 - Схема включения в сеть ЛЛ

Дроссель в стартерных схемах выполняет следующие функции:

- 1) обеспечивает достаточный и безопасный для лампы ток в цепи электродов для быстрого их разогрева при зажигании ($I=1.5 \cdot I_n$);
- 2) создает импульс повышенного напряжения, обеспечивающего возникновение разряда в ЛЛ ($U_L=500 \dots 700V$);
- 3) стабилизирует разряд при номинальном для данной лампы токе (ограничивает номинальный ток лампы);
- 4) обеспечивает устойчивую работу ЛЛ при отклонениях напряжения в питающей сети.

Обозначение стартера включает С-стартер; 20 и 80 предельные значения мощности ЛЛ, для которых предназначен стартер; 127 и 220- номинальное напряжение стартера.

Например: 20С-127 (напряжение зажигания $U_{з.ст} = 70 \dots 100\text{В}$)

80С-220 (напряжение зажигания $U_{з.ст} = 150 \dots 180\text{В}$)

Число зажиганий ЛЛ от одного стартера $6 \div 10$ тыс. раз.

3. Двухламповая схема включения РЛНД представлена на рисунке 2.12 («с расщепленной фазой»).

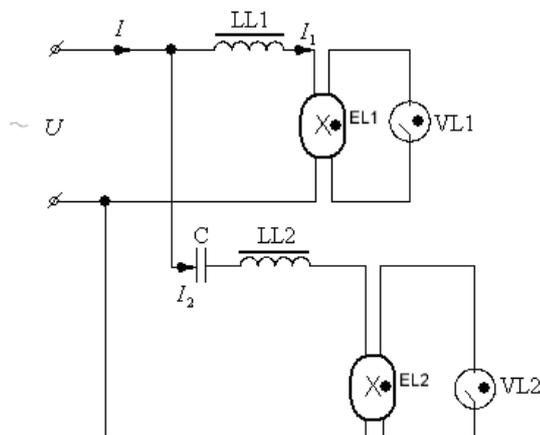


Рисунок 2.12 - Схема включения ЛЛ по схеме «с расщепленной фазой»

Это по существу две описанные выше схемы, собранные в одном светильнике. Ток в лампе EL1 отстает от напряжения в сети на 60° , а ток в лампе EL2 опережает его на 60° (за счет включения в схему конденсатора С). В результате сдвига токов световые потоки ламп сдвинуты один относительно друга на 120° , что обусловило уменьшение пульсации суммарного светового потока ламп. Суммарный ток по величине, мало отличающийся от тока в каждой лампе, отстает от напряжения на малый угол φ (рис 2.13). Схема имеет высокий коэффициент мощности без специального компенсационного конденсатора. При отклонениях напряжения от номинального стабильность суммарного светового потока ламп, включенных по такой схеме, более высока, чем при одноламповых. Наименее надежным элементом стартерных схем включения ЛЛ является стартер с его малым сроком службы, зависящим от числа включений и нестабильностью электрических параметров, зависящих от неблагоприятных атмосферных условий.

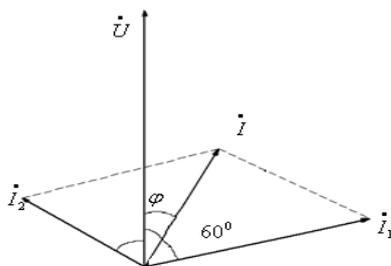


Рисунок 2.13 - Векторная диаграмма токов в схеме «с расщепленной фазой»

Известны схемы с применением позисторов, динисторов и тринисторов. (рис. 2.14).

4. Схема включения РЛНД с полупроводниковым стартером.

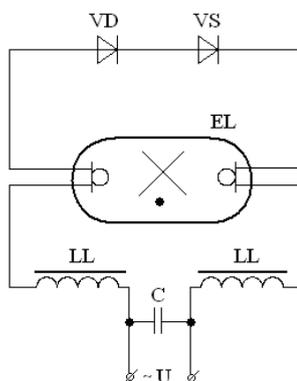


Рисунок 2.14 - Схема включения с полупроводниковым стартером:

VS-динистр, VD-диод, LL-дроссель

Диод VD защищает динистр по обратному напряжению. Электроды лампы EL подогреваются в один полупериод переменного напряжения, а в другой на лампу подается импульс высокого напряжения с помощью дросселя. Динистр - неуправляемый переключающий диод структуры р-п-р-п, снабженный двумя выводами (от крайних областей).

5. Бесстартерная (резонансная) схема включения РЛНД (рис.2.15).

Бесстартерные схемы включения РЛНД предназначены для зажигания ЛЛ путем увеличения напряжения, достаточного для зажигания лампы.

В резонансной схеме пуска цепь, состоящая из индуктивных обмоток дросселя LL, накального трансформатора TV и емкости C, образует колебательный контур с собственной частотой, близкой к промышленной частоте.

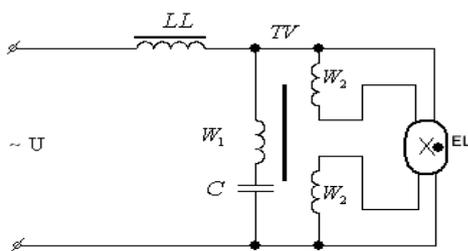


Рисунок 2.15 - Резонансная бесстартерная схема включения РЛНД

При подаче напряжения на схему напряжение на конденсаторе превышает сетевое в $2 \div 2,5$ раза ($U=400 \div 500\text{В}$). Несколько уменьшенное обмоткой накаливаемого трансформатора, оно оказывается на лампе. При разогреве электродов от накаливаемого трансформатора этого напряжения достаточно для зажигания лампы. После зажигания цепочки емкость первичной обмотки трансформатора шунтируется сопротивлением лампы, выводя контур из резонанса.

б. Схема мгновенного (холодного) зажигания РЛНД (рис. 2.16).

В этой схеме применяют трансформатор или автотрансформатор с большим внутренним сопротивлением, создающий напряжение $500 \div 600\text{В}$. Этого достаточно для зажигания холодной лампы. Часто обмотки автотрансформатора TV, включенные последовательно с лампой выполняют роль дросселя. За счет повышенного рассеяния в автотрансформаторе после зажигания разряда на лампе устанавливается рабочее напряжение $U_{\text{л}}=0,5U_{\text{с}}$.

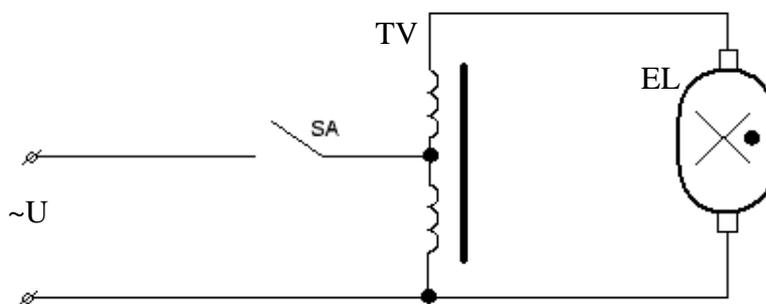


Рисунок 2.16 - Схема мгновенного зажигания ЛЛ

Недостаток схем:

- 1) значительные потери мощности в трансформаторе (до 40% мощности ламп);
- 2) большие размеры автотрансформатора;
- 3) быстрое распыление оксидного покрытия электродов.

2.2.4 Пускорегулирующие аппараты (ПРА)

ПРА - устройство, при помощи которого разрядная лампа получает питание от сети. ПРА:

- 1) обеспечивает необходимый режим зажигания;
- 2) разогрева электродов, а после зажигания дугового разряда работу лампы в номинальном режиме. ПРА выпускают 2 типов: электромагнитные и электронные. Для ЛЛ используют электромагнитные ПРА трех основных типов:

- 1) ПРА импульсного зажигания – подает импульс напряжения на лампу (УБ).
- 2) ПРА быстрого зажигания (без стартера) – подает на лампу напряжение неимпульсной формы с предварительным подогревом электродов (АБ)
- 3) ПРА мгновенного зажигания – подают напряжение неимпульсной формы на холодные электроды лампы (МБ).

Конструктивные признаки и эксплуатационные характеристики ПРА отражены в их обозначениях:

- 1) стартерные ПРА импульсного зажигания обозначаются буквами УБ;
- 2) бесстартерные быстрого зажигания – буквами АБ;
- 3) бесстартерные мгновенного зажигания – МБ.

Следующая буква указывает вид балластного сопротивления:

И – индуктивное, Е - емкостное, К - компенсированное. Затем мощность лампы и напряжение сети. Потом исполнение: В – встроенное в светильник, Н – независимое.

Например: **1УБИ-15/127–Н** расшифровывается: одноламповый индуктивный аппарат к лампе мощностью 15 Вт на напряжение 127 В, независимого исполнения.

2УБК40/220 – В – двухламповый компенсированный стартерный аппарат к лампе на 40 Вт, напряжение 220 В, встроенная в светильник.

Коэффициент мощности в схемах с некомпенсированными ПРА $\cos\varphi=0.35\div 0.6$, компенсированными ПРА $\cos\varphi=0.9$.

Электронные ПРА (ЭПРА)

Электронные ПРА обеспечивают работу ЛЛ при питании их током повышенной частоты ($f=20\dots 30$ кГц).

Чем выше частота, тем меньший промежуток времени длится процесс перезажигания разряда в лампе, электроды не успевают остыть, а разрядный промежуток – деионизироваться, что при достаточной большой частоте делает процесс перезажигания практически мгновенным.

Преимущества работы ЛЛ на повышенной частоте:

- 1) световая отдача ламп с ростом частоты увеличивается (при $f=10$ кГц она на 15...20% превышает);
- 2) срок службы ламп увеличивается (при $f=2,5$ кГц на 20...30%);
- 3) пульсация светового потока ламп при частотах свыше 0,6 кГц пренебрежимо мала, отсутствует стробоскопический эффект;
- 4) потери мощности в ЭПРА в 3...4 раза меньше.
- 5) коэффициент мощности повышается до 0,9...0,95.
- 6) зажигание ламп происходит весьма быстро и надежно.

2.2.5 Разрядные лампы высокого давления (РЛВД)

Разрядные лампы высокого давления по сравнению с люминесцентными имеют значительно меньше габаритные размеры и большую единичную мощность. У ртутных ламп высокого давления при равной мощности с люминесцентными (40, 80 Вт) длина почти в 10 раз меньше. (ЛБ80 – $l=1.5$ м; ДРЛ80 – $l=0,165$).

Малые габаритные размеры ламп и высокое давление в них обусловили температуру разрядной трубки $700\dots 850^{\circ}\text{C}$. Поэтому разрядную трубку ламп

выполняют из кварцевого стекла или специальной керамики, имеющей высокую прозрачность в видимой области спектра. Промышленность выпускает следующие РЛВД:

1) ДРЛ – дуговая ртутная люминесцентная лампа с люминофором имеет две колбы. Внешняя стеклянная (из термостойкого стекла) колба изнутри покрыта слоем люминофора, назначение которого – преобразовать УФ излучение в недостающее видимое с длинами волн более 570 нм, т.е. в красное излучение. В зависимости от состава люминофора доля его излучения в общем потоке лампы 6-10%. Для стабилизации свойств люминофора внешняя колба заполнена углекислым газом. Внешняя колба нагревается до температуры $220 \div 280^{\circ}\text{C}$.

Вторая (внутренняя) колба выполнена в виде трубки из кварцевого стекла (горелка). В торцах трубки расположены основные электроды (из вольфрама). Дополнительные электроды подключены через токоограничивающие резисторы к основным электродам на противоположном торце горелки. В полости горелки содержатся аргон и дозированное количество ртути. Дополнительные электроды введены для облегчения зажигания лампы ДРЛ. Лапы имеют резьбовой цоколь. Период разгорания лампы типа ДРЛ продолжается 5-7 мин. За это время происходит нагревание горелки и испарение ртути. Давление паров ртути повышается, вместе с тем изменяются его электрические (ток, мощность и др.) и светотехнические (световой поток, световая отдача и др.) параметры. После зажигания в лампе эл.разряда начальное напряжение в ней составляет $25 \div 30$ В и по мере разгорания повышается до $115 \div 145$ В. В момент зажигания ток лампы в $2 \div 2,6$ раза превышает номинальный, но по мере разогрева горелки и испарения в ней ртути он постепенно уменьшается. Коэффициент пульсации светового потока достигает 75%. Повторение зажигания лампы осуществляется через 10...15 мин. после ее погасания. Условия окружающей среды не оказывают существенного влияния на надежность зажигания и светотехнические характеристики лампы. Лампы ДРЛ успешно работают при температуре окружающего воздуха от -40 до $+80^{\circ}\text{C}$.

Лампы ДРЛ применяют для освещения высоких производственных помещений (3...5м), улиц и других открытых пространств.

Лампы типа ДРЛ бывают:

1) двухэлектродные (ДРЛ 50 и ДРЛ 80); } E27,

2) трехэлектродные (ДРЛ 125);

3) четырехэлектродные (ДРЛ 250, 400, 700, 1000, 2000 Вт). E40,

$U=220,380В$.

Срок службы от 6000 ч. (ДРЛ50) до 15000ч. (ДРЛ 400), средний срок службы 10000 ÷ 12000 часов: $t_0=-40^{\circ}C...+80^{\circ}C$ Световая отдача ламп ДРЛ составляет 40 ÷ 50 лм/Вт.

Схемы включения ламп типа ДРЛ показаны на рис. 2.17, 2.18 и 2.19

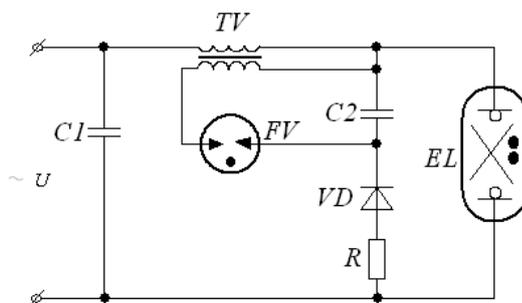


Рисунок 2.17- Схема включения двухэлектродной лампы ДРЛ

$C1$ – компенсирующая мощность, $C1=6...8$ мкФ;

$C2$ – конденсатор, $C2=1$ мкФ, $U=400В$;

VD -диод; FV –разрядник;

R – сопротивление, $R=47кОм$, 0,25 Вт.

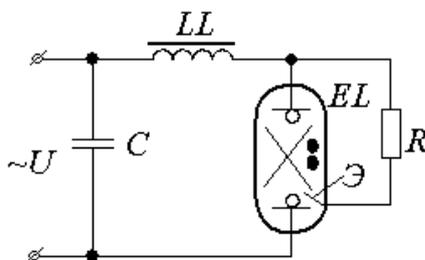


Рисунок 2.18 – Схема включения трехэлектродной лампы ДРЛ

R – терморезистор;

Э – дополнительный электрод (зажигающий)

При включении лампы в сеть последовательно с дросселем разряд первоначально возникает между смежными основным и дополнительным электродом. Вызванная этим ионизация разрядного промежутка приводит к возникновению разряда между основными электродами, после чего дополнительный электрод прекращает работу.

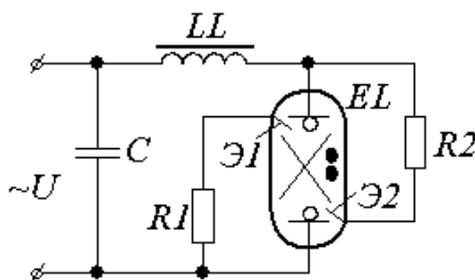


Рисунок 2.19 – Схема включения четырехэлектродной лампы ДРЛ

$R1$ и $R2$ - термосопротивление для ограничения тока при местном разряде;
 $\text{Э}1$ и $\text{Э}2$ - вспомогательные поджигающие электроды.

После зажигания разряда в лампе падение напряжения между вспомогательными и основными электродами противоположной полярности значительно уменьшится и местные разряды при горении лампы отсутствуют.

2. Разновидностью разрядных ламп типа ДРЛ являются лампы ДРВЛ – дуговые ртутно-вольфрамовые люминесцентные.

Лампы ДРВЛ представляют собой ртутные лампы высокого давления, в которых вольфрамовая спираль, ограничивая ток дугового разряда, дополняет излучение люминофора излучением красной части спектра. Кварцевая горелка включается последовательно с вольфрамовой спиралью, выполняющей 2 функции:

- 1) ограничительного (балластного) сопротивления для РЛВД, благодаря чему отпадает необходимость в специальном дросселе;
- 2) дополнительного источника излучения в красной части спектра, благодаря чему несколько исправляется цветопередача.

Ртутная горелка и вольфрамовая спираль монтируются на общей стек-

лянной ножке в общей стеклянной колбе. Лампа включается непосредственно в сеть переменного тока 220В без дросселя. В первые минуты после зажигания разряда практически все напряжение сети складывается на вольфрамовую спираль (на горелке около 20В). По мере разгорания горелки напряжение на ней возрастает, а на вольфрамовой спирали уменьшается до рабочего значения. Световая отдача этих ламп составляет 18...20 лм/Вт, а срок службы меньше чем у ламп ДРЛ.

Люминофор в лампе ДРЛ улучшает спектральный состав видимого излучения ртутного разряда. Однако качество цветопередачи остается неудовлетворительным и намного хуже, чем у ЛЛ и в 2 раза ниже световая отдача лампы.

Чтобы улучшить спектральный состав видимого излучения, в трубку ламп добавляют соединения галогенной группы: скандий, бромиды редкоземельных металлов.

3. Осветительные металлогалогенные лампы общего назначения типа ДРИ (дуговые ртутные с излучающими добавками) имеют в зависимости от состава добавок различный спектр излучения, обеспечивающий высокое качество цветопередачи и более высокий, чем у лампы ДРЛ световой КПД (световая отдача $68 \div 95$ лм/Вт).

В газоразрядную горелку лампы типа ДРИ вводят йодид натрия, таллия, индия и др., дополняющие УФ спектр излучения эл. разряда в парах ртути видимым излучением в парах йодидов приведенных металлов. Многие лампы выпускают без применения люминофора на внешней колбе. Однако выпускают лампы типа ДРИ с люминофором на внешней колбе, которые обеспечивают более высококачественную цветопередачу.

Устройство и принцип действия ДРИ основаны на том, что галоиды многих металлов испаряются легче, чем сами металлы и не разрушают кварцевое стекло. Лампа имеет стеклянную термостойкую колбу, внутри которой создан вакуум, обеспечивающий необходимый температурный режим и препятствующий электрическому пробоем между токоведущими частями лампы. Внутри

колбы расположена кварцевая горелка, полость которой заполнена аргоном и строго дозированными компонентами в виде ртути, йодидов редкоземельных металлов (натрия, таллия, индия и др.)

Лампы ДРИ отличаются от лампы ДРЛ формой внешней колбы, не имеющей люминофорного покрытия и отсутствием в разрядной трубке дополнительных поджигающих электродов. Поэтому в сеть лампы включают по схеме, содержащей специальные импульсные зажигающие устройства – ИЗУ (рис. 2.20). ИЗУ представляет собой генератор импульсов с частотой 500 Гц, образующихся в результате периодического разряда конденсатора на первичную обмотку импульсного трансформатора.

Промышленностью выпускают лампы типа ДРИ мощностью от 250 до 3500 Вт и на напряжение 220 и 380 В. Срок службы от 2000 до 16000 часов, цоколь Е40. Коэффициент пульсации равен 30%. (Пример: ДРИ 250, ДРИ 700).

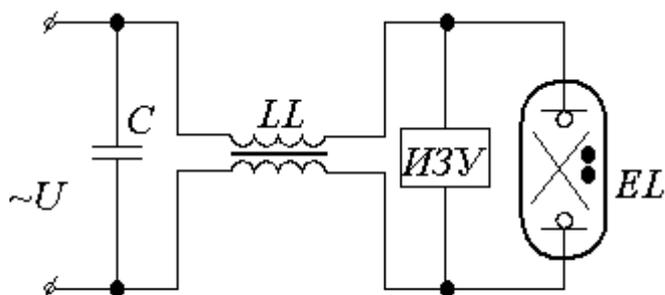


Рисунок 2.20 - Схема включения двухэлектродной лампы ДРИ

ИЗУ - импульсное зажигающее устройство, генерирующее высоковольтные импульсы напряжения (2...6кВ)

Недостатки лампы ДРИ:

1. в процессе эксплуатации световой поток ДРИ уменьшается в 1,3...1,5 раза быстрее чем и лампы ДРЛ, этим объясняется значительный меньший срок службы.
2. отклонение напряжения сети в пределах $\pm 10\%$ вызывает в 3 раза отклонение светового потока и в 2.2 раза отклонение мощности лампы от номинальных.

3. ИЗУ необходимо располагать в непосредственной близости от лампы для уменьшения длины провода, по которому передается высоковольтный импульс.

4. В группе разрядных ламп высокого давления натриевые лампы типа *ДНаТ* (дуговые натриевые трубчатые) отличаются большим световым КПД (до 17%) и световой отдачей (самая высокая из всех РЛВД) – $H=100\dots130$ лм/Вт, и вытянутой наружной колбой. Разрядная трубка правильной цилиндрической формы выполнена из полупрозрачной керамики полукристаллического алюминия. Этот материал устойчив к длительному воздействию паров натрия при температуре до 1600 К, их общий коэффициент пропускания видимого излучения 90...95%. В сеть лампы *ДНаТ* включают по схеме, аналогичной схеме ламп ДРИ.

70% излучения ламп *ДНаТ* сосредоточено в узкой спектральной зоне $\lambda=560\div610$ нм. Желто-оранжевое излучение вызывает искажение цветопередачи. Поэтому лампы *ДНаТ* в основном используют для наружного освещения.

Лампа *ДНаТ* состоит из двух колб: внешней из термостойкого стекла, из которой откачан воздух для теплоизоляции горелки, и внутренней колбы (горелки), заполненной, кроме паров натрия, ксеноном и парами ртути. Продолжительность разгорания лампы *ДНаТ* 10...15 мин., повторное зажигание возможно через 1...2 минуты. Лампа зажигается и работает при $t_0=-60^\circ\text{C}$ до $+40^\circ\text{C}$ Температура колбы $t_k=400^\circ\text{C}$. Лампа *ДНаТ* используется с ПРА и с ЭПРА.

Лампы широко используются для освещения обширных пространств, стоянок техники, площадок складирования, улиц, в теплицах для облучения растений и т.д.

Промышленность выпускает лампы типа *ДНаТ* от 70 до 1000 Вт на напряжение 220 и 380 В. Срок службы от 6000 до 15000 часов, цоколь E27 и E40. ($K_{\text{П}}=70\%$). Начальное напряжения горения ламп типа *ДНаТ* на 25 ÷ 30% ниже, чем у ламп типа ДРЛ и ДРИ той же мощности. Поэтому для стандартных ламп *ДНаТ* нельзя использовать балласты от ламп ДРЛ и ДРИ.

5. Дуговые ксеноновые трубчатые лампы ДКсТ выполняют в одной квар-

цевой разрядной колбе, дуговые ксеноновые трубчатые с водяным охлаждением ДКсТВ – в двух колбах. Лампа имеет трубку из кварца с двумя электродами из вольфрама.

В видимой области спектра излучения ксеноновые лампы приближаются к естественному солнечному. Вольтамперная характеристика ламп с ксеноновым наполнением – возрастающая, поэтому не требуется ограничение разрядного тока, однако для их зажигания необходимо напряжение в несколько десятков киловольт (до 25кВ) и частотой до 1 кГц (рис 2.21).

ВИГ - высокочастотный импульсный генератор. После зажигания эта лампа не нуждается в балласте. Это объясняется тем, что в таких лампах разряд происходит в плазме и носит насыщенный характер. Спектр излучения ламп непрерывный от 200 до 2000 нм, т.е. в спектре излучения кроме видимых лучей есть УФ и ИК излучения.

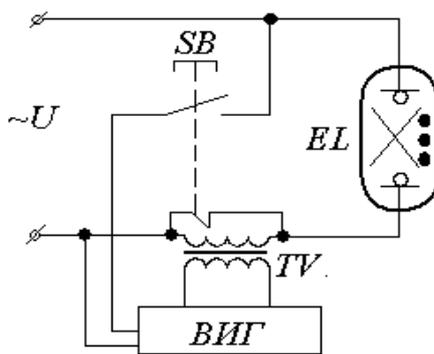


Рисунок 2.21 - Упрощенная схема включения лампы типа ДКсТ

Дуговые ксеноновые лампы обладают наибольшими из всех источников света: единичной мощностью и световым потоком, благоприятным спектральным составом видимой части излучения. Эти качества позволяют использовать их в осветительных установках для обширных пространств и в облучательных установках для выращивания растений.

Промышленность выпускает ксеноновые лампы от 2 до 50 кВт на напряжение 220 и 380 В. Срок службы от 500 до 1300 часов ($H=20 \div 45$ лм/Вт).

Ксеноновые лампы для зажигания требуют довольно сложного и дорогостоящего зажигающего устройства. Срок весьма ограничен, и световой поток

пульсирует с двойной частотой – стробоскопический эффект.

- Область применения: 1) освещение больших открытых пространств;
2) облучение растений в теплицах.

6. Дуговые ртутные трубчатые лампы (ДРТ) выполнены только из одной кварцевой разрядной колбы высокого давления. В колбу впаяны вольфрамовые электроды (активированные самопалящиеся). Полости колбы заполняются аргоном и дозированным количеством ртути. Разрядная трубка закреплена при помощи держателей. Чтобы облегчить зажигание лампы, вдоль нее размещена полоска медной фольги, которая через конденсатор подсоединяется к одному из электродов.

Лампа ДРТ является мощным источником УФ излучения. В сеть лампу включают последовательно с дросселем по резонансной схеме (рис. 2.22). Дроссель предназначен для ограничения тока и стабилизации разряда в лампе. Конденсатор $C2$, подключаемый кратковременно с помощью кнопки SB в последовательную цепь с дросселем LL , образуют с ним резонансный контур. В результате резонанса напряжение на дросселе и конденсаторе $C2$ возрастет примерно в 2 раза по сравнению с напряжением питания. Этого достаточно для зажигания в лампе дугового разряда.

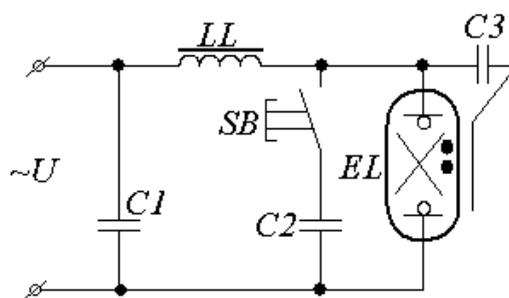


Рисунок 2.22 – Схема включения лампы ДРТ

Токопроводящая полоса подключена к одному из электродов лампы через конденсатор $C3$ малой емкости. Конденсатор $C1$ предназначен для повышения коэффициента мощности схемы до $0,92 \div 0,95$.

В течение $5 \div 10$ мин. после загорания лампа разогревается. Давление в лампе увеличивается, по оси трубки образуется ярко светящийся контур разря-

да с температурой $6000 \div 8000$ К, изменяются электрические и светотехнические характеристики лампы. Повторное зажигание лампы после её погасания возможно лишь спустя $5 \div 10$ мин., когда она достаточно остынет.

Электрическая энергия, подведенная к лампе ДРТ, преобразуется следующим образом: УФ излучение – 18%; ИК излучение – 15%; ВИ – 15%; потери – 52%. Поэтому лампы ДРТ являются многоцелевыми источниками ОИ, но в сельхозпроизводстве используются, как правило, в подвижных облучательных установках для восполнения УФ недостаточности у животных и птицы и в установках для предпосевной обработки семенного материала в полеводстве. Промышленность выпускает ДРТ от 230 до 1000 Вт на напряжение 220 В. Срок службы $1500 \div 3000$ часов.

Для роста растений требуются весьма высокие уровни облученности, которые в искусственных условиях могут быть лишь при помощи электрических источников излучения.

Основная часть электрической энергии, потребляемой в растениеводстве в защитном грунте, приходится на облучение растений, что обуславливает необходимость использования наиболее экономичных источников излучения с высокой фитоотдачей.

7. Для облучения растений используют лампы низкого давления типа ЛФ40, у которых высокая спектральная плотность излучения в диапазонах длин волн от 400 до 450 нм и от 600 до 700 нм, на которые приходятся максимумы спектральной чувствительности растения.

Требуемый спектральный состав излучения лампы ЛФ40 обусловлен подбором компонентов люминофора. Мощность -40Вт, напряжение 220В, срок службы 6000 часов, $L=1,2$ м, световой поток 1800 лм, фитопоток – 4,45 фит.

В растениеводстве так же используют лампы высокого давления типа ДРЛФ. Фитолампы ДРЛФ 400 конструктивно сходны с лампами ДРЛ соответствующей мощности. Их отличие состоит в составе люминофора, нанесенного на внешнюю колбу, и наличием под слоем люминофора отражающего покрытия из напылённого алюминия, обеспечивающего требуемое распределение по-

тока излучения лампы в пространстве. Лампы широко используются в тепличном овощеводстве совместно с облучателем ОТ 400.

Мощность 400 Вт, напряжение питания – 220 В, световой поток - 12800 лм, фитопоток – 17,6 фит, срок службы – 7000 часов.

Для облучения растений в условиях тепличного овощеводства могут быть использованы и менее эффективные, но принципиально пригодные осветительные лампы: люминесцентные лампы ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКсТЛ.

Основные характеристики РЛВД:

Промышленность выпускает РЛВД единичной мощности от 50 до 50000 Вт и напряжением 220, 380 В.

1) энергетические показатели РЛВД зависят от их конструктивного исполнения и единичной мощности. Потери мощности в балласте не превышают $5 \div 6\%$ от мощности самой лампы.

2) световой КПД ламп $4 \div 18\%$ (ЛН – 3,5%; ЛЛ-12%)

3) срок службы доведен до $10 \div 20$ тыс. часов.

4) большая световая отдача ламп от 24 до 130 лм/Вт, которая зависит от их единичной мощности (ЛН – 20 лм/Вт; ЛЛ – 80 лм/Вт).

5) эксплуатационные показатели РЛВД в целом лучше, чем у ЛЛ.

б) спектральные характеристики РЛВД определяются в основном наполнением разрядной трубки:

- лампы ДРЛ – преобладает сине-зеленое излучение;
- лампы ДНаТ – желто-оранжевое;
- лампы ДРИ – излучение различного спектрального состава;
- лампы ДКсТ - близко к спектру естественному солнечному.

Особенность РЛВД – режим горения, наблюдаемый в течении нескольких минут после зажигания лампы ($5 \div 10$ мин.). После зажигания дугового разряда ток в ртутных лампах превышает номинальное значение в $1,5 \div 2$ раза.

Повторное зажигание погасшей лампы возможно лишь после ее остывания и соответствующего снижения напряжения зажигания ($10 \div 15$ мин).

Глава 3. Осветительные и облучательные установки

Воздействие оптического излучения на биологические сельскохозяйственные объекты является сложным многогранным процессом. Использование электромагнитного излучения оптического диапазона для решения задач сельскохозяйственного производства может выгодно отличаться от использования других энергоисточников, может быть легко управляемым как по спектральному составу, так и в пространстве, может вызывать избирательное действие в объекте на молекулярном, клеточном уровнях и организме в целом, глубоко проникать в облучаемое тело и т.д. Грамотное использование оптического излучения может привести к значительному повышению эффективности производства.

Осветительные установки предназначенные для создания необходимых условий освещения, обеспечивающих зрительное восприятие (видение), дающее человеку 90 % информации об окружающем мире.

В современных технологиях облучения широко используются облучательные установки для непосредственного воздействия на животных, птицу, растения, микроорганизмы для получения нужного эффекта, а также для воздействия на материалы и среды с целью изменения их свойств. Причём следует знать, что действие ОИ на живые организмы может носить регулярный характер. При этом малые дозы облучения могут привести к большим изменениям в развитии организма.

3.1 Осветительные приборы

Многие источники света обладают большой яркостью, от слепящего действия которой необходима защита. Кроме этого, источники света, как правило, распределяют свой световой поток по всем направлениям, в то время как требуется, чтобы он был направлен на освещаемые поверхности. Часто приходится защищать источники света от механических повреждений и разрушающего

действия окружающей среды. Эти причины заставляют использовать осветительные приборы, которые разделяются на светильники и прожекторы.

Совокупность источников света и устройства, служащего для его крепления, включения в сеть, перераспределения светового потока, ограничения слепящего действия, защиты от воздействия окружающей среды, называют осветительным прибором (ОП).

ОП предназначенный для освещения объектов, находящихся от него на расстоянии до 30 м называют светильником. а для более дальнего - прожектором.

3.1.1. Светильники

Светильник – световой прибор, перераспределяющий свет лампы внутри значительных телесных углов (до 4π), прожектор – прибор, перераспределяющий свет лампы внутри малых углов.

Светильник – световой прибор, предназначенный для освещения помещений, открытых пространств и отдельных предметов на расстоянии до 20 размеров светильника. Он состоит из источников света и арматуры, предназначенной для рационального перераспределения светового потока, защиты глаз от чрезмерной яркости, предохранения источников от механических повреждений и загрязнения, а так же для крепления источника и подведения к нему электрического тока.

По своим главным признакам светильники классифицируются:

1. по распределению светового потока в нижнюю и верхнюю полусферы;
2. по светораспределению в пространстве;
3. по степени защиты от пыли, воды, взрыва;
4. по назначению.

По ГОСТ 17677-82 все светильники подразделяются на пять классов в зависимости от доли светового потока, падающего в нижнюю полусферу. Классификация светильников по этому признаку приведена в таблице 3.1

Таблица 3.1- Классификация светильников по распределению светового потока в верхнюю и нижнюю полусферы

Условное обозначение класса	Класс светораспределения	Доля светового потока, падающего в нижнюю полусферу, %
П	Прямого света	>80
Н	Преимущественно прямого света	60...80
Р	Рассеянного света	40...60
В	Преимущественно отраженного света	20...40
О	Отраженного света	<20

Светораспределение в пространстве характеризуется кривыми силы света (КСС). Тот же ГОСТ устанавливает семь типовых кривых сил света (таблица 3.2, рис. 3.1).

Таблица 3.2 - Классификация светильников по светораспределению в пространстве

Наименование типовой кривой силы света	Обозначение типовой кривой силы света	Зона направления максимальной силы света, град	
		вниз	вверх
Концентрированная	К	0...15	-
Глубокая	Г	0...30	180...150
Косинусная	Д	0...35	180...145
Полуширокая	Л	35...55	145...125
Широкая	Ш	55...85	123...95
Равномерная	М	0...90	180...90
Синусная	С	70...90	110...90

По ГОСТ 17677-82 все светильники делятся на шесть классов по степени защиты от пыли и на девять по степени защиты от влаги.

Обозначение степени защиты состоит из двух прописных букв латинского алфавита IP (International Protection- Международная защита) и двух цифр, первая из которых обозначает степень защиты от пыли, вторая от воды (например, IP 53). Для светильников, у которых степень защиты источника света и узла ввода различны, в обозначении отсутствуют IP и присутствуют после первой цифры, указывающей степень защиты от пыли, знак «штрих» (например, 5'3).

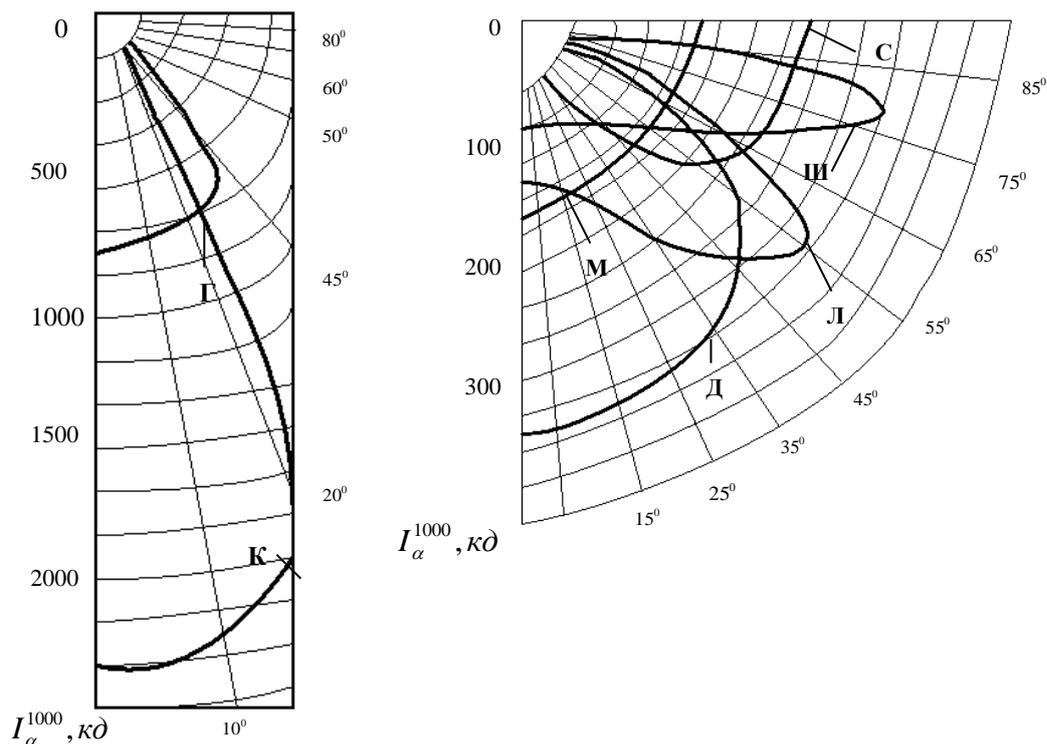


Рисунок 3.1 - Типы стандартизованных КСС:

- К- концентрированная;
- Г- глубокая; Д- конусная;
- Л- полуширокая; Ш- широкая;
- М- равномерная; С- синусная

Первая цифра обозначает:

2 - открытый, пыленезащищенный. Токоведущие части и колба лампы не защищены от попадания пыли;

2* - перекрытый, пылезащищенный. Попадание пыли ограничивается неуплотненными, светопропускающими оболочками;

5' - частично пылезащищенный. Токоведущие части защищены от попадания пыли в количествах, достаточных для нарушения удовлетворительной работы светильника;

5 - полностью пылезащищенный. Токоведущие части и колба лампы защищены от попадания пыли в количествах, достаточных для нарушения удовлетворительной работы светильника;

б' - частично пыленепроницаемый. Токоведущие части защищены от попадания пыли;

б - токоведущие части и колба лампы полностью защищены от попадания пыли.

Вторая цифра означает:

0 - водонезащищенный;

2 - каплезащищенный. Защита от попадания капель, падающих под углом к вертикали;

3 - дождезащищенный. Защита от попадания капель или струй, падающих сверху под углом к вертикали менее $<60^\circ$;

4 - брызгозащищенный. Защита от попадания капель и брызг;

5 - струезащищенный. Защита от попадания воды при обливании водой;

7 - водонепроницаемый. Защита от попадания воды при погружении в воду;

8- герметичный. Защита от попадания воды при неограниченном долгом погружении в воду.

К паспортным данным светильников так же относятся КПД и защитный угол. КПД светильника определяется отношением светового потока светильника к световому потоку источника. Иногда общий КПД светильника подразделяют на КПД в верхнюю и нижнюю полусферы.

Защитный угол характеризует светильник с точки зрения блескости ярких частей источника света, то есть для ограничения слепящего действия от ис-

точника света. Его значение определяют по формуле:

$$\gamma = \arctg \frac{h}{l},$$

где γ - защитный угол светильника;

h - минимальная высота от края входного отверстия до светящего тела источника, м;

l - максимальное расстояние от основания высоты до края входного отверстия или между экранирующими элементами решетки (для светильников с люминесцентными лампами), м. (рис. 3.2).

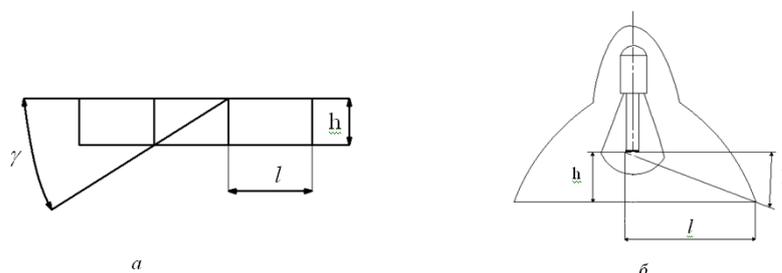


Рисунок 3.2 - Защитный угол, создаваемый экранирующей решеткой (а) и отражателем (б)

Каждому светильнику присваивают шифр. Структура условного обозначения светильников по ГОСТ 17677-82 такова:



где 1 – буква, обозначающая источник света: Н - лампа накаливания, Р- ртутная лампа, Л- люминесцентная лампа, И- галогенная лампа, Г- металлогалогенная лампа, Ж- натриевая лампа, Ф- фигурная люминесцентная лампа;

2 - буква, обозначающая способ установки светильника: С- подвесные, П- потолочные, Е- настенные, В- встраиваемые, К- консольные, Т- напольные и венчающие, Р- ручные сетевые, Ф- ручные аккумуляторные и т.д.;

3 - буква, обозначающая основное назначение: П- промышленные, О- общественные, У- наружные, Б- бытовые, Р- рудничные;

4 - двузначное число 01...99 обозначает номер серии;

5 - число, обозначающее количество ламп в светильнике (число 1 не указывается);

6 - цифра, обозначающая мощность лампы, Вт;

7 - трехзначное число 001...999, обозначающее номер модификации;

8 - буква и цифра, обозначающие климатическое исполнение и категорию размещения светильника;

У - умеренный климат;

УХЛ - умеренный и холодный климат;

ХЛ - холодный климат;

Т - тропический климат и т.д.;

1 - на открытом воздухе;

2 - под навесом;

3 - в закрытых неотапливаемых помещениях;

4 - в закрытых отапливаемых помещениях;

5 - в сырых помещениях.

Пример обозначения: НСП 01 * 100 02-У1 – светильник с лампой накаливания, подвесной, для промышленных помещений, с одной лампой мощностью 100 Вт, второй модификации, рассчитанный для работы в умеренном климате, на открытом воздухе.

Выбор светильников определяется: характером окружающей среды, требованиями к характеру светораспределения и ограничения слепящего действия, экономической целесообразностью и эксплуатационной группой светильников.

Светильники выбирают так, чтобы степень защиты соответствовала характеру окружающей среды в помещении.

Для сухих отапливаемых помещений тип светильников выбирают по светотехническим характеристикам, а для помещений со сложными условиями еще и его исполнению.

По характеру светораспределения для производственных помещений обычно применяют светильники прямого или преимущественного прямого рас-

пределения с типовыми кривыми силы света (КСС) *К*, *Г* или *Д*. Для административных, общественных и жилых помещений применяют светильники рассеянного, преимущественно отраженного или отраженного светораспределения с типовыми кривыми силы света *М*, *Л* или *Ш*.

С увеличением высоты помещения предпочтение отдается светильникам с более концентрированными кривыми силы света *Г*, *Д* и т.д.

Для создания требуемого уровня освещенности в вертикальной плоскости применяют светильники класса *Р* с полуширокой кривой типа *Л* или равномерной типа *М*.

Затраты на оборудование и эксплуатацию осветительных установок определяются сроком службы источников, ценой источников и осветительных приборов, числом чисток и стоимостью одной чистки осветительных приборов.

3.1.2. Прожекторы

Прожектор – световой прибор, предназначенный для освещения открытых пространств на расстоянии свыше 30 м.

Прожекторы заливающего света типа ПЗС выполняются с металлическими (хромированными) или стеклянными отражателями параболической формы. В качестве источника света используются специальные прожекторные лампы типа ПЖ, обычные лампы накаливания или типа ДРЛ. В прожекторах ПЗС-25 с диаметром стекла 250 мм применяют лампы мощностью 300...500 Вт, ПЗС-45 – лампы мощностью 1000 Вт.

Прожекторы типа ПЗС применяются для освещения складов, зернотоков, территорий, мастерских.

Прожекторы типа ПСМ-40 и ПСМ-50 с лампами мощностью 500 и 1000 Вт также предназначены для освещения открытых пространств, архитектурного и иллюминационного освещения.

В специальных случаях применяют разные типы фасадных прожекторов серии ПФС.

Прожекторы серии ПКН с лампами КТ мощностью 1000 и 1500 Вт реко-

мендуются к применению для освещения строительных площадок, котлованов и других открытых пространств.

Как правило, прожекторы размещаются на мачтах или высоких зданиях сосредоточенными группами. Наименьшая высота мачт определяется из условия:

$$\frac{I}{h^2} \geq 300,$$

где I – осевая сила света прожектора, кд;

h – высота установки прожектора, м.

Применение прожекторов с галогенными лампами накаливания и газоразрядными лампами обеспечивает более экономичные решения.

3.2. Облучательные установки

Устройства, служащие для передачи лучистой энергии определённого спектрального состава и интенсивности от источника излучения объекту облучения, называются облучательными установками.

Все облучательные установки классифицируются по следующим признакам:

1. по назначению: УФ облучения, ИК облучения и установки для облучения растений;
2. по типу применяемого источника;
3. по взаимному расположению источника и приёмника излучения или по способу работы облучательной установки (стационарные, подвижные, передвижные).

3.2.1 Установки для УФ облучения

1. Установки для бактерицидного излучения (УФ-С- $\lambda=100...280$ нм). В этом диапазоне работают установки обеззараживания воды, воздуха, посуды, тары и других материалов и поверхностей.

В обеззараживающих установках применяют бактерицидные лампы типа ДБ и ртутно-кварцевые лампы высокого давления ДРТ 1000.

Обеззараживание воды с помощью бактерицидных ламп – один из наиболее прогрессивных, безопасных и дешёвых методов. При этом сохраняются вкусовые качества воды в отличие от обеззараживания хлорированием.

Водоснабжение сельских потребителей осуществляется из открытых водоёмов и колодцев шахтного и артезианского типов. В питьевой воде должно содержаться менее 10^3 микробных тел. Поэтому вода проходит очистку и обеззараживание.

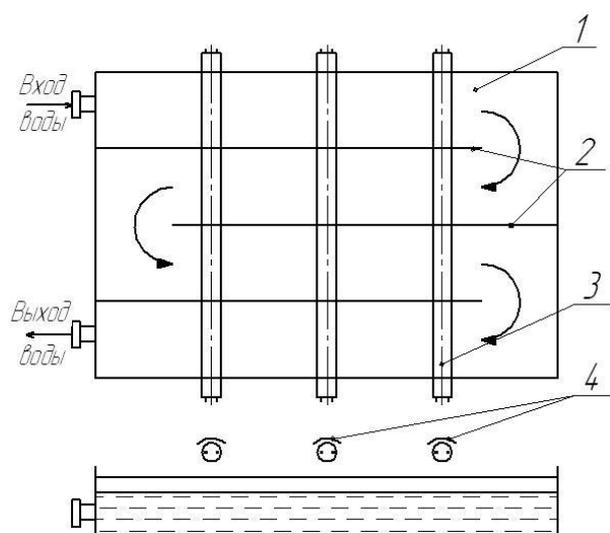


Рисунок 3.3 – Установка для обеззараживания воды с непогружными источниками:

1 – лоток; 2 – перегородка; 3- бактерицидная лампа ДБ-60; 4 – параболические отражатели.

а) Установка с непогружными источниками излучения представляет собой несколько лотков, в которых самотёком через перфорированную перегородку поступает вода (рис. 3.3).

Такие установки имеют малую мощность и рассчитаны на малые объёмы воды.

Б) В установках с погружными источниками излучения обеззараживаемая вода непрерывным потоком по спирали омывает цилиндрические кварцевые чехлы, внутри которых размещены бактерицидные кварцевые лампы ДРТ 1000 или специальные ртутно-кварцевые лампы РКС 2,5 (рис. 3.4)

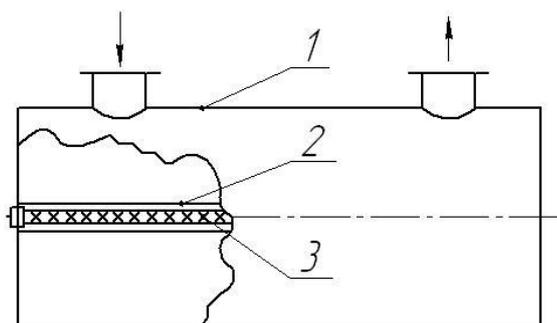


Рисунок 3.4 – Установка для обеззараживания воды с погружным источником:

1 – корпус установки; 2 – кварцевый чехол; 3- бактерицидная лампа.

Широкое применение бактерицидные лампы находят для обеззараживания воздуха в помещениях, поверхностей ограждения (потолков, стен, пола) и оборудования в помещениях. В период эпидемии гриппа целесообразно применять бактерицидные лампы в групповых комнатах детских учреждений, спортзалах, кинотеатрах, столовых, в залах ожидания на вокзалах и в аэропортах и в других помещениях с большим скоплением людей.

Используют барьерные бактерицидные облучатели «завесы» в дверных проёмах или тамбурах.

Режим облучения может быть непрерывным, повторно-кратковременным и однократным.

Обеззараживание воздуха УФ излучением всё чаще применяют в продуктовых складах, овощехранилищах, молочных отделениях, профилакториях, пунктах искусственного осеменения.

УФ излучение губительно действует на взвешенные в воздухе микроорганизмы, распространяющие многие инфекционные заболевания.

Для обеззараживания воздуха, стен помещений и находящихся в них предметов используют бактерицидные лампы ДБ30, ДБ60. Облучатели с бактерицидными лампами следует размещать на высоте 1,8...2,0 м от пола, попадание прямого излучения ламп в глаза человека должно быть исключено. Весьма эффективным является установка облучателей в вентиляционных каналах. Значительный эффект даёт применение бактерицидных ламп для обеззараживания воздуха в помещениях, где хранятся скоропортящиеся продукты.

Пастеризация молока УФ излучением повышает содержание витамина Д в нём и не изменяет натуральных свойств молока. При этом излучение с длиной волны 254 нм в 6...8 раз дешевле тепловой обработки.

Обработка семенного материала УФ излучением в оптимальных дозах оказывает благотворное действие на его качество (всхожесть, энергия прорастания) и в итоге сроки созревания и урожайность. Для предпосевной обработки семян используют установки ОУЗ-2 с лампами ДРТ 1000. Семенное зерно по-

сле облучения имеет на 3...5% более высокую всхожесть, на 10...15% большую энергию прорастания и срок созревания урожая сокращается на 2...3 дня.

Облучательные установки непосредственно влияют на развитие и рост сельскохозяйственных животных и птиц.

В сельскохозяйственном производстве применяют следующие облучательные установки для УФ облучения животных и птиц:

1) стационарные установки типа ОРК-2 с лампами ДРТ 400 и типа ОБУ1-30 с лампами ДБ 30;

2) подвижные облучательные установки УО-4М, укомплектованные четырьмя облучателями УФО 400 с лампами ДРТ 400, перемещающимися на тросах и предназначенными для УФ облучения животных при их содержании в станках или стойлах (рис. 3.3).

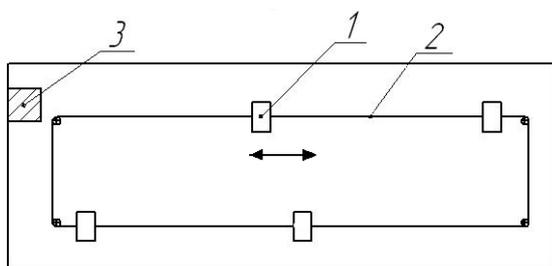


Рисунок 3.5 – Схема расположения облучательной установки УО-4М в плане:

1 – облучатель УФО 400; 2 – трос для перемещения облучателей; 3 – шкаф управления.

Технические характеристики установки: напряжение питания 380/220 В, номинальная мощность 2 кВт; электрический двигатель с редуктором мощностью 0,27 кВт и скоростью перемещения 18 м/ч.

3) передвижная самоходная установка УОК-1 с двумя лампами ДРТ 400 на разной высоте предназначена для УФ облучения птицы в многоярусных клеточных батареях. Установка представляет собой шасси, приводимое в движение электрическим двигателем мощностью 0,27 кВт с редуктором, которое катится по колесу кормораздатчика между рядами клеточных батарей.

2. Установки для эритемного излучения (УФ-В- $\lambda=280...315$ нм). В этом диапазоне работают установки эритемного (витального) облучения, стимуляции и лечения живых организмов. Для устранения у животных и птиц солнечного голодания используют УФ излучение области В, которое обладает силь-

ным биологическим действием, что позволяет обеспечить сохранность молодняка и повысить продуктивность.

Источниками излучения в этой области являются лампы низкого давления типа ЛЭ 15, ЛЭ 30, ЛЭР 30 ЛЭР 40.

УФ-недостаточность для животных приводит к ряду заболеваний, в первую очередь к рахиту. Под лучами УФ-В в коже животных, так же как и у человека, образуется витамин D, ответственный за усвоение фосфорно-кальциевых соединений. Особенно отрицательно УФ-недостаточность сказывается на молодом организме.

В современное животноводческое помещение ультрафиолет не попадает. Обычное оконное стекло его практически не пропускает.

Терапевтическое действие УФ-облучения не ограничивается лечением или профилактикой D-витаминной недостаточности; оно эффективно при лёгочных заболеваниях, некоторых заболеваниях крови и других воспалительных процессах. Излучения в области В обладают способностью вызывать своеобразное покраснение кожи – эритему.

Конструктивно установки терапевтического УФ облучения выполняют стационарными и передвижными. В стационарных облучательных установках используют в основном разрядные лампы низкого давления, мощностью до 40 Вт:

1) Облучатель ЭО-30М имеет одну лампу ЛЭ 30, включённую через индуктивный балласт и защитную металлическую решётку.

2) Светильник-облучатель ОЭСП 02, содержит одну эритемную лампу ЛЭР 40 и одну осветительную ЛБ 40. Он предназначен для освещения производственных помещений с одновременным УФ облучением животных и птиц.

3.2.2. Установки ИК облучения

Установки ИК облучения ($\lambda=760\dots10000$ нм) используются в сельскохозяйственном производстве для обогрева молодняка животных и птиц, сушки овощей и фруктов, для предпосевной обработки семенного материала, сушки лакокрасочных покрытий.

Из существующих способов обогрева молодняка животных и птиц наиболее перспективным следует считать применение ИК излучателей, отличающихся простотой монтажа и эксплуатации, быстротой действия, экономичностью и положительным биологическим воздействием. ИК облучение в отличие от других видов обогрева не только предохраняет молодняк от переохлаждения, но и стимулирует жизненно важные биологические процессы – повышает сопротивляемость организма заболеваниям.

Источниками ИК излучения являются зеркальные лампы накаливания типа ИКЗ, ИКЗК, ИКЗС мощностью 250 и 500 Вт.

Для облучения молодняка животных и птиц используют следующие ИК облучатели:

- 1) Облучатель ССП 01-250-001-УЗ предназначен для ИК облучения и обогрева поросят, телят, ягнят и разработан на базе светильника «Астра-10» применительно к лампе ИКЗК-220-250, тип патрона Е27. Облучатель состоит из металлического отражателя, пластмассового корпуса, фарфорового патрона и защитной сетки.
- 2) Облучатель ОРИ-1 предназначен для обогрева и облучения поросят, ягнят, телят и др. Арматура облучателя представляет собой конический корпус из листовой стали. Который обеспечивает защиту лампы от механических воздействий и попадания воды. Источник ИК излучения – лампа ИКЗ-220-500 мощностью 500 Вт, тип патрона Е40.

Одинокие ИК излучатели применяются главным образом для обогрева молодняка животных. Конструктивно одиночные ИК облучатели не отличаются от светильников.

Для обогрева молодняка птиц используются в основном брудеры. Это устройства обогрева, имеющие зонтичную конструкцию корпуса, внутри которого размещены источники ИК излучения. Корпус брудера выполнен из листовой стали в виде усечённого конуса. Пять ламп типа ИКЗК-220-250 дают возможность содержать под брудером 500 цыплят до месячного возраста.

Воздействие ИК излучения на семена сельскохозяйственных культур оказывает благотворное влияние на их посевные качества. При облучении семян пшеницы ИК излучением температура их поверхности за 10...30 с повышается до 25...45°C, что увеличивает урожайность.

Сушка лакокрасочных покрытий при ремонте сельскохозяйственной техники и эл. двигателей – одно из перспективных направлений в использовании ИК излучения. Источники излучения рекомендуется располагать на расстоянии 0,2...0,5 м от окрашиваемой поверхности и друг от друга.

3.2.3. Установки комбинированного облучения

Для одновременного ИК обогрева и УФ облучения молодняка сельскохозяйственных животных и птиц разработаны и серийно выпускаются стационарные автоматизированные установки. Наибольшее распространение получили комбинированные установки типа ИКУФ-1, ИКУФ-1М, «Луч» и ЭРИКО-1.

1. Облучательная установка ИКУФ-1 содержит две лампы ИКЗК-220-250 и одну эритемную лампу ЛЭ 15 с ПРА. На облучателе, кроме того, установлены переключатели (3 шт.), позволяющие вручную включать и выключать любую из ламп или включать лампы последовательно (рис. 3.4).

Комплекты установок состоят из двух блоков по 20 облучателей в каждом и пульта управления. Все установки автоматизированы. Режим облучения устанавливается на двухпрограммном реле времени 2РВМ (одна программа для управления ИК источником, другая – УФ).

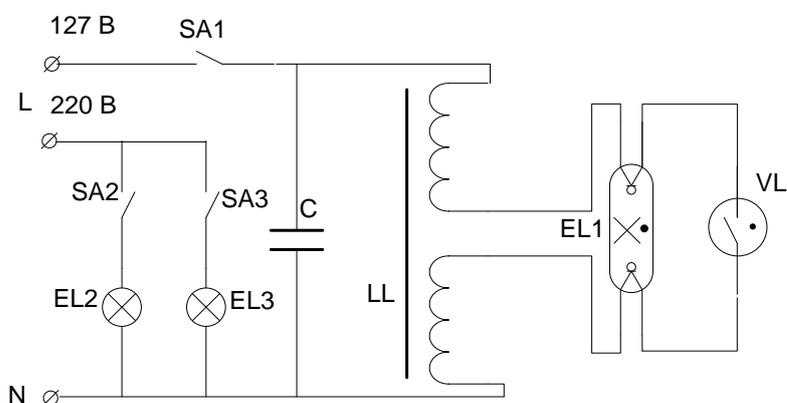


Рисунок 3.6 – Электрическая схема облучателя ИКУФ-1

Наилучшее биологическое воздействие на животных оказывает комбинированное ИК и УФ излучение.

Облучательные установки ИКУФ-1 и ИКУФ-1М незначительно отличаются по конструктивному выполнению. Облучатель установки ИКУФ-1М пылевлагозащищённый, на них отсутствуют переключатели, предназначенные для индивидуального управления ИК обогревом и УФ облучением молодняка.

В установках типа ИКУФ использован понижающий трансформатор 220/127 в для питания лампы ЛЭ 15.

2. Установка «Луч» предназначена для ИК обогрева и УФ облучения молодняка животных и птиц. Она состоит из пульта управления с двумя автотрансформаторами типа АТ-10, 40 облучателей и 20 ответвительных клеммных коробок. Конструкция аппаратуры пылевлагозащищённая.

Пульт управления состоит из пускозащитной аппаратуры, двухпрограммного реле времени и элементов управления. Облучатель включает две ИК лампы типа ИКЗК-220-250 и УФ эритемную лампу ЛЭ 15. Конструкция крепления ИК ламп позволяет устанавливать лампы под углом 45° , 70° и 90° к обогреваемой поверхности, что даёт возможность более эффективно использовать ИК поток и более равномерно распределять его по обогреваемой поверхности.

Установка комплектуется автотрансформатором АТ-10 или бесконтактным теристорным регулятором мощности, который позволяет автоматизировать управление в соответствии с заданной программой. Номинальная мощность установки 20 кВт.

3. Установка ЭРИКО-1 предназначена для ИК обогрева и УФ облучения поросят, телят, цыплят, а также освещения помещений, где они находятся.

Арматура облучателя представляет собой металлический цилиндр с крышкой, под которой укреплен фарфоровый патрон Е27. По нижнему обрезу установлена защитная сетка.

Типы применяемых ламп: инфракрасные - ИКЗК-220-250; ультрафиолетовые - ЛЭ-30-1; осветительные люминесцентные - ЛБ-30.

Технологические данные установки ЭРИКО-1: потребляемая мощность - 36 кВт; номинальное напряжение - 380/220 В; частота - 50 Гц; число фаз -3; количество ИК обогревателей - 125 шт.; число УФ облучателей - 70 шт.; число светильников дежурного освещения - 10 шт.; шкаф управления - 1 шт.

Одна установка обеспечивает ИК обогрев и УФ облучение 1200 поросят, 120 телят в профилакториях, 4000 крольчат с самками, а также освещение помещений.

3.2.4. Установки для облучения растений в теплицах

Осенью, зимой и ранней весной выращивание свежих овощей в климатических условиях европейской части России возможно только в защищенном грунте - теплицах. Продолжительность светового дня в это время экономически целесообразно компенсировать дополнительным искусственным облучением.

Причём искусственное облучение растений в теплицах не может быть заменено каким-либо другим агротехническим приёмом или способом выращивания. Только под действием ОИ может протекать фотобиологическая реакция – реакция фотосинтеза.

Излучение с длиной волны $\lambda=300\dots1000$ нм оказывает влияние на рост и развитие большинства растений. Излучение с $\lambda =400\dots700$ нм, играющее важнейшую роль в реакции фотосинтеза, получило название фотосинтетической активной реакции (ФАР). Кроме спектрального состава, важнейшим параметром ОИ является количество облучения (экспозиция) или продолжительность суточного облучения.

Для установок искусственного облучения растений промышленность выпускает стационарные тепличные облучатели: ОТ-400; ОТ-1000; ГСП 26-400; ГСП 26-2000; ОТ-2000 и другие.

1) Облучатель ОТ-400 и ОТ-400М отличаются простотой конструкции и надёжностью в эксплуатации. Они состоят из корпуса, фарфорового патрона с уплотнением и газоразрядной лампы высокого давления типа ДРЛФ 400 и ПРА.

2) Подобную конструкцию имеет облучатель ОТ-1000. Его технические параметры: лампа ДРЛФ 1000; $U=220$ В; $\eta=0,9$ (масса вместе с ПРА - 15 кг).

3) На смену облучателям ОТ-400 и ОТ-1000 промышленность выпускает светильники-облучатели типа ГСП 26.

Светильники-облучатели ГСП 26-400 с лампой ДРЛ 400 и ГСП 26-1000 с лампой ДРЛ 1000 содержат корпус (круглосимметричный отражатель) и ПРА с ПЗУ. $U=220$ В, $\eta=0,7$, $\cos \varphi=0.5$.

4) Облучатель ОТ-2000 предназначен для замены облучателя ОТ-400 и в некоторой степени устраняет его недостатки: малую единичную мощность и низкую световую отдачу лампы ДРЛФ 400.

Облучатель состоит из диффузорного отражателя, покрытого эмалью и зажигающего устройства, объединённых в одном корпусе. В качестве источника света в облучателе ОТ-2000 высокоэффективная металлогалогенная лампа ДРОТ 2000; $U=380$ В, $\eta=0,7$, $\cos \varphi=0.6$, масса облучателя 7 кг, ПРА -23 кг.

Анализ облучателей показал, что наиболее экономичными являются облучательные установки с лампами ДРИ 400, ДРИ 1000, ДНаТ 400, ДРЛФ 1000.

Рекомендуемые значения высоты подвеса: ОТ-400 - $h=0,8..1,2$ м; ОТ-1000 - $h=1,6..2,2$ м; ГСП 26-1000 - $h=2,3..2,5$ м; ОТ-2000 - $h=1,8..2,4$ м.

Продолжительность облучения в сутки: 12..16 час

3.2.5. Расчёт облучательных установок

Расчёт облучательных установок обычно сводится к обеспечению передачи определённого количества энергии на единицу поверхности приёмника излучения ($\text{Дж}/\text{м}^2$):

$$H = \int_0^{\tau} E_{\tau} d\tau, \text{ Дж}/\text{м}^2$$

Сложность вычисления по этой формуле состоит в определении функции E_{τ} в зависимости от координат пространства и времени. Поэтому чаще всего в расчётах применяют понятие облучённости на горизонтальной поверхности,

что может привести к ошибке, но весьма облегчает расчёт облучательной установки, сводя его к обычным светотехническим расчётам.

В связи с разнообразным назначением, конструкцией и способом работы облучательных установок существуют следующие методики расчёта:

1. Расчёт установок для обеззараживания воды.
2. Расчёт подвижных облучательных установок.
3. Расчёт УФ установок для облучения животных и птиц.
4. Расчёт установок для ИК облучения молодняка.
5. Расчёт установок для облучения растений.
6. Расчёт установок для предпосевного облучения семян.

Расчёт облучательных установок методом коэффициента использования эффективного потока применяется при относительно равномерном облучении объектов на горизонтальной поверхности. Практически этим методом можно рассчитать установки с лампами ЛЭ, ЛЭР, ДБ, ДРТ, ИКЗ.

Расчёт установок методом коэффициента использования проводится в следующем порядке:

- 1) расчёт размещения облучателей;
- 2) определение коэффициента использования эффективного потока установки и средней облучённости;
- 3) определение ежесуточного времени работы установки для обеспечения суточной нормированной дозы облучения.

При проектировании УФ установок для облучения животных и птиц расчёт ведут в следующей последовательности:

- 1) выбор типа облучателей и облучательных установок;
- 2) определение дозы облучения ($\text{мер} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$);
- 3) расчёт количества облучателей и размещение их в помещении;
- 4) определение продолжительности работы установки.

Расчёт ИК облучательных установок для обогрева молодняка следующий:

- 1) выбирают тип облучателей;

- 2) определяют среднюю облучённость;
- 3) определяют расчётную высоту;
- 4) рассчитывают требуемое число облучателей;
- 5) определяют мощность установки;
- 6) выбирают способ регулирования облучённости под облучателем.

Проектирование установок для облучения растений сводится к определению высоты расположения облучателей и их числа для выбранного типа и мощности облучателей для обеспечения необходимой средней облучённости и наилучшей равномерности облучения.

3.3. Проектирование осветительных и облучательных установок

Проектирование электрического освещения сельскохозяйственных помещений – составная часть работ при выполнении проекта данного объекта в целом. Порядок проектирования следующий:

1. Ознакомление с планом и разрезами строительного и технологического (если он имеется) проектов с целью выяснения характера помещений по условиям среды и степени опасности поражения электрическим током. При этом обращают внимание на характер работ в помещении с точки зрения установления требуемой освещенности.

2. Выбор типа источника света, источника питания, системы напряжения, системы и вида освещения.

3. Определение для каждого помещения требующихся уровней освещенности на рабочих поверхностях, выбор типа светильников и их расположения.

4. Светотехнический расчет, в результате которого уточняется число светильников и определяется мощность источников света.

5. Выбор системы групповой сети и способа управления светильниками.

6. Выбор типа проводки в каждом помещении и мер защиты от поражения электрическим током.

7. Разделение светильников на группы, размещение групповых щитков,

нанесение на план помещения групповой сети, обмер ее и подсчет нагрузки по группам.

8. Нанесение на план питающей сети, совместный расчет питающей и групповой сети, выбор защитных аппаратов.

9. Выбор материалов, составление спецификации, сметы и пояснительной записки.

При проектировании электрического освещения важно правильно выбрать наиболее целесообразный для данных условий вариант выполнения осветительной установки. Каждый из возможных вариантов, создающих одинаковое условие освещения, может отличаться типом используемых светильников, проводов, видом проводки и т.п. Вследствие этого будут различными капитальные затраты (первоначальные расходы на сооружение установки), эксплуатационные расходы (плата за электроэнергию, стоимость сменяемых в течение года ламп и другие расходы) и долговечность установки.

Наиболее дешевый по капитальным затратам вариант может иметь более высокие эксплуатационные расходы. Следовательно, при экономической оценке вариантов нужно одновременно сопоставлять и первоначальные затраты и годовые эксплуатационные расходы.

В состав рабочего проекта осветительной установки в общем случае могут входить следующие материалы: 1) пояснительная записка; 2) светотехническая ведомость; 3) спецификация оборудования, материалов, изделий; 4) смета на электромонтажные работы; 5) чертежи.

Пояснительная записка может быть составлена по следующей схеме.

1. Общая часть: перечень охватываемых проектом вопросов; исходные данные.

2. Светотехническая часть: нормативные основания для выбора уровней освещенности; источники света; виды и системы освещения; типы светильников и их размещение.

3. Электротехническая часть: источники питания; система напряжения;

схема питания; расположение групповых щитков и их типы; марки проводов и виды проводки; защита сети и управление освещением; меры защиты от поражения электрическим током; конструктивное выполнение и соображения по эксплуатации осветительной установки.

4. Итоговые данные: число светоточек, суммарная установленная мощность.

Спецификация должна содержать исчерпывающие сведения о требуемом электрооборудовании и материалах, количество которых подсчитывают по чертежам и ведомости. Потребность в некоторых материалах, например изоляционных, металлических изделиях и т.п., подсчитывают по соответствующим справочным таблицам укрупненных норм расхода (обычно на 100 м проводки).

Рабочие чертежи – основной документ для выполнения монтажных работ. Масштаб плана выбирают так, чтобы были ясно видны все изображения (от 1:50 до 1:200).

Строительную часть здания наносят тонкими линиями, упрощенно без элементов, не имеющих прямого отношения к осветительной установке. На плане тонкими линиями указывают лишь то технологическое оборудование, которое требует локализованного или местного освещения. Светильники и штепсельные розетки изображают в соответствии с условными обозначениями. Мощность источников света и высоту подвеса светильников указывают в виде дроби. Нормированные освещенности указывают на плане помещения.

Групповую сеть в однолинейном изображении наносят более толстыми линиями, чем строительно-технологическую часть. Марку провода указывают в соответствии с заводским обозначением, число жил поперечного сечения показывают в виде сомножителей после марки провода, способ прокладки указывают буквами: Т – в стальных трубах, И – на изоляторах, Р – на роликах, Т_С - тросовая проводка, М_Р - в металлорукаве, Л – в лотках, К_Р - в коробах, С_К - на скобах.

Проекты облучательных установок часто разрабатывают применительно к уже существующим и находящимся в эксплуатации производственным объектам (животноводческим помещениям, тепличным комнатам и т. п.).

Проектирование облучательных установок сельхозназначения ведется в такой последовательности.

1. Уточнение агробиологических, зоотехнических или других основных требований, предъявляемых к проектируемой установке. Ознакомление с помещением, в котором будет эксплуатироваться установка.

2. Выбор типа источника излучения в зависимости от требуемого спектрального состава и технико-экономических показателей.

3. Светотехнический расчет на основе заданных уровней облученности и разработка конструкций установки применительно к конкретным условиям и задаче.

3.4. Эксплуатация осветительных и облучательных установок

Несоблюдение правил технической эксплуатации электроустановок, в том числе осветительных и облучательных, снижает эффективность их работы, создает опасность поражения электрическим током людей и животных. Тепловые явления, возникающие при аварийных режимах в электрических установках, могут вызвать опасный перегрев отдельных ее частей и привести к пожару или взрыву.

При приемке осветительной или облучательной установки в эксплуатацию проверяют:

а) фактическую освещенность или облученность, обеспечиваемую установкой;

б) соответствие проекту марок проводов, площади их поперечного сечения и способов прокладки;

в) схему соединения проводов и распределение нагрузки по фазам;

г) соответствие проекту защитных элементов;

д) надежность закрепления изолирующих опор, аппаратуры, деталей, конструкций;

е) соответствие нормам сопротивления изоляции проводки.

Основная задача эксплуатации осветительных и облучательных установок – обеспечить эффективность их работы, содержать в исправности все элементы установки.

Для обеспечения заданных уровней освещенности или облученности, создаваемых установкой необходимо следить за значением напряжения в сети, состоянием светильников и облучателей. При слишком больших отклонениях или колебаниях напряжения необходимо выяснить причину и устранить ее. Важное значение имеет своевременная чистка светильников и облучателей, так как из-за пыли их к.п.д. и, следовательно, освещенность могут снизиться в 1,5...2 раза и более. Частота чисток осветительных и облучательных приборов зависит от условий окружающей среды: в помещении с большим выделением пыли, копоти – 4 раза в месяц; в помещениях с малой запыленностью – 2 раза в месяц; в условиях наружного освещения – 3 раза в год.

Состояние изоляции следует проверять не реже одного раз в два года для помещений с нормальной средой и не реже одного раза в год для помещений с тяжелыми условиями среды. Сопротивление изоляции проводов измеряют на участке между двумя смежными предохранителями или за последним предохранителем при включенных выключателях, вынутых плавких вставках и вывернутых лампах. Значение сопротивления изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

Для работы облучательных установок составляют график-расписание режима облучения. При отключении напряжения сети более чем на 5% в режим облучения должны быть внесены соответствующие поправки для обеспечения заданной дозы облучения. Облученность, создаваемая источниками УФ излучения, нужно периодически проверять уфиметром. По мере старения ламп нужно соответственно увеличивать длительность облучения. При снижении облученности в результате старения ламп более чем на 30% их следует заменить новыми. Возвратно-поступательное движение облучателей в установках для УФ облучения должно осуществляться автоматически. При остановке облучателей напряжение должно автоматически отключаться.

Лица, обслуживающие облучательные установки, должны иметь квалификацию по технике безопасности не ниже 3 группы и периодически в установленном порядке проводить проверку соответствующих знаний. При работе с действующими источниками УФ излучения (особенно типа ДРТ и ДБ) персоналу необходимо надевать очки из дымчатого или толстого бесцветного стекла, избегать облучение незащищенных частей тела. Помещения, в которых работают источники УФ излучения, следует вентилировать для удаления озона и окислов азота.

Особое внимание с точки зрения обеспечения безопасности персонала необходимо обращать на работу облучательных установок в теплицах. Все теплицы относятся к категории помещений особо опасных. Во время ухода за растениями персонал может касаться конструкций облучательных установок, расположенных в непосредственной близости, что при неудовлетворительном состоянии изоляции может привести к поражению электрическим током. Существует и другая опасность: при поливе растений случайные брызги воды могут приводить к разрушению раскаленных до высокой температуры колб ламп ДРЛ и им подобных. Эксплуатация тепличных облучательных установок, содержащих (в крупных хозяйствах) несколько тысяч газоразрядных ламп, требует достаточных знаний и опыта.

Глава 4 Энергосберегающее освещение

4.1. Освещение

Практически всю информацию из внешнего мира человек получает с помощью зрения, поэтому роль света и цвета для человеческой деятельности огромна. Восприятие света является важнейшим элементом нашей способности действовать, поскольку позволяет оценивать местонахождение, форму и цвет окружающих нас предметов. Даже такие элементы человеческого самочувствия, как душевное состояние или степень усталости, зависят от освещения и цвета окружающих предметов.

Все окружающие нас тела и предметы делятся на: светящиеся и несветящиеся. Светящиеся природные и искусственно созданные тела испускают электромагнитные излучения с различными длинами волн, но только излучения с длиной волны от 380 до 780 нм вызывают у нас ощущение света и цвета. При действии на глаз излучений с длиной волны меньше 380 нм (инфракрасное излучение) и больше 780 нм (ультрафиолетовое излучение) световых и цветовых ощущений не возникает.

Каждый вид деятельности, связанный с необходимостью различения того или иного объекта, требует определенного уровня освещенности на том участке, где эта деятельность осуществляется. Обычно чем сильнее затруднено зрительное восприятие, тем выше должен быть средний уровень освещенности. Недостаточная освещенность рабочей зоны и пониженная контрастность вызывают напряженность зрительного анализатора, что, в свою очередь, может привести к нарушениям зрения. В условиях, когда общая освещенность отсутствует, выполнение работ невозможно без индивидуальных головных или ручных светильников.

С другой стороны, чрезмерная локальная яркость может вызывать ослепление. Когда в поле зрения попадает яркий источник света, глаз на какое-то время теряет способность различать предметы. Ослепление может быть пря-

мым, когда оно вызвано нахождением ярких источников света в поле зрения, или отраженным, когда свет отражается от поверхностей с высоким коэффициентом отражения.

Освещение – создание освещенности поверхностей предметов, обеспечивающее возможность зрительного восприятия этих предметов или их регистрации чувствительными веществами или устройствами.

Освещение – использование лучистой энергии, вызывающей световое ощущение, для обеспечения благоприятных и комфортных условий видения и психологического комфорта человека.

Синонимами слова **освещение** являются – освещение *естественное*, освещение *искусственное*, освещение *общее*, освещение *местное*, освещение *комбинированное*, освещение *рассеянным светом*, освещение *уличное*, освещение *архитектурное*.

Энергосбережение (экономия энергии) — реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии (источник определения (с небольшими изменениями) ГОСТ Р 51387-99 Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения). Энергосбережение — важная задача по сохранению природных ресурсов.

Энергоэффективность — эффективное (рациональное) использование энергетических ресурсов. Использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня энергетического обеспечения зданий или технологических процессов на производстве. Достижение экономически оправданной эффективности использования ТЭР при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды. Эта отрасль знаний находится на стыке инженерии, экономики, юриспруденции и социологии.

В отличие от энергосбережения (сбережение, сохранение энергии), главным образом направленного на уменьшение энергопотребления, энергоэффективность (полезность энергопотребления) — полезное (эффективное) расходование энергии.

На государственном уровне вышла на путь энергоэффективности: в 2009 году был принят Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ», а в 2010 году Минэнерго разработало государственную программу «Энергосбережение и повышение энергоэффективности на период до 2020 года».

4.2. Действие света на организм человека

Около 80% информации человек получает посредством зрения. Качество этой информации во многом зависит от освещения.

Действие света на организм человека многообразно. Уровень освещенности оказывает влияние на психические функции и физиологические процессы в организме человека. Хорошее освещение действует тонизирующе, стимулирует активность, предупреждает развитие утомления, повышает работоспособность.

Неправильное организованное освещение рабочих мест и рабочей зоны не только утомляет зрение, но и вызывает утомление всего организма в целом. Недостаточное освещение, слепящие источники света и резкие тени от оборудования и других предметов притупляют внимание, вызывают ухудшение или потерю ориентации работающего, что может быть причиной травматизма. Установлено, что неудовлетворительное освещение является причиной примерно 5% несчастных случаев на производстве. При недостаточной освещенности сокращается время ясного видения — время, в течение которого глаз человека сохраняет способность различать рассматриваемый объект.

Важное значение для безопасности труда имеет процесс зрительной адаптации, т.е. приспособлена к изменяющимся уровням освещенности. Световая адаптация при переходе к большей яркости происходит довольно быстро — в течение нескольких минут, приспособление к более низким уровням освещенности (темновая адаптация) — значительно медленнее, течение 30 минут и более. В процессе адаптации расширяется или сужается зрачок, поэтому частые переходы от одних уровней освещенности к другим приводят к развитию зрительного утомления. Излишняя яркость вызывает временное ослепление. Неравномерное освещение, требующее частой переадаптации глаз, может привести к профессиональным заболеваниям. Так что далеко не всегда действие света на организм человека положительное.

4.3. Освещение – основные технические характеристики

4.3.1. Основные характеристики света

Свет и излучение. Под светом понимают электромагнитное излучение, вызывающее в глазу человека зрительное ощущение. При этом речь идет об излучении в диапазоне от 360 до 780 нм, занимающем мизерную часть всего известного нам спектра электромагнитного излучения.

Световой поток Φ . Единица измерения: ***люмен*** [лм]. Световым потоком Φ называется вся мощность излучения источника света, оцениваемая по световому ощущению глаза человека.

Сила света I . Единица измерения: ***кандела*** [кд]. Источник света излучает световой поток Φ в разных направлениях с различной интенсивностью. Интенсивность излучаемого в определенном направлении света называется силой света I .

Освещенность E . Единица измерения: ***люкс*** [лк]. Освещенность E отражает соотношение падающего светового потока к освещаемой площади. Освещенность равна 1 лк, если световой поток 1 лм равномерно распределяется по площади 1 м².

Яркость L . Единица измерения: кандела на квадратный метр [кд/м²]. Яркость света L источника света или освещаемой площади является главным фактором для уровня светового ощущения глаза человека.

Световая отдача. Единица измерения: люмен на ватт. Световая отдача показывает с какой экономичностью потребляемая электрическая мощность преобразуется в свет. Световая отдача источников света фактически определяет **световой** коэффициент полезного действия соответствующего источника света.

4.3.2. Технические характеристики светильников

Цветовая температура. Единица измерения: Кельвин [К]. Цветовая температура источника света определяется путем сравнения с так называемым "черным телом" и отображается "линией черного тела". Если температура "черного тела" повышается, то синяя составляющая в спектре возрастает, а красная составляющая убывает. Лампа накаливания с тепло-белым светом имеет, например, цветовую температуру 2700 К, а люминесцентная лампа с цветностью дневного света - 6000 К.

Цветность света. Цветность света очень хорошо описывается цветовой температурой. Существуют следующие три главные цветности света: тепло-белая < 3300 К, нейтрально-белая 3300 - 5000 К, белая дневного света > 5000 К. Лампы с одинаковой цветностью света могут иметь весьма различные характеристики цветопередачи, что объясняется спектральным составом излучаемого им света.

Цветопередача. В зависимости от места установки ламп и выполняемой ими задачи искусственный свет должен обеспечивать возможность наиболее лучшего восприятия цвета (как при естественном дневном свете). Данная возможность определяется характеристиками **цветопередачи источника света**, которые выражаются с помощью различных степеней "общего коэффициента цветопередачи" **R_a** .

Коэффициент цветопередачи отражает уровень соответствия естественного цвета тела с видимым цветом этого тела при освещении его эта-

лонным источником света. Для определения значения фиксируется Ra сдвиг цвета с помощью восьми указанных в DIN 6169 стандартных эталонных цветов, который наблюдается при направлении света тестируемого источника света на эти эталонные цвета. Чем меньше отклонение цвета излучаемого тестируемой лампой света от эталонных цветов, тем лучше характеристики цветопередачи этой лампы.

Источник света с показателем цветопередачи $Ra = 100$ излучает свет, оптимально отражающий все цвета, как свет эталонного источника света. Чем ниже значение Ra , тем хуже передаются цвета освещаемого объекта.

КПД светильника. КПД светильника является важным критерием оценки энергоэкономичности светильника. КПД светильника отражает отношение светового потока светильника к световому потоку установленной в нем лампы.

Перечислим основные электрические характеристики ламп и в целом всех источников света:

Номинальное напряжение – напряжение, при котором лампа работает в наиболее экономичном режиме и на которое она рассчитывалась для ее нормальной эксплуатации. Для лампы накаливания номинальное напряжение равно напряжению питающей электрической сети. Обозначается такое напряжение $U_{л.н}$ и измеряется в вольтах. Газоразрядные лампы такого параметра не имеют, так как напряжение разрядного промежутка определяется характеристиками примененного для ее стабилизации пускорегулирующего аппарата (ПРА).

Номинальная мощность $P_{л.н}$ – расчетная величина характеризующая мощность потребляемую лампой накаливания при ее включении на номинальное напряжение. Для газоразрядных ламп, в цепь которых включают пускорегулирующие аппараты, номинальная мощность считается основным параметром. Основываясь на ее значении, путем экспериментов, определяются остальные электрические параметры ламп. Нужно учесть, что для определения мощности потребляемой из сети нужно сложить мощности лампы и пускорегулирующего аппарата.

Номинальный ток лампы $I_{л.н}$ – ток потребляемый лампой при номинальном напряжении и номинальной мощности.

Род тока – переменный или постоянный. Данный параметр нормируется только для газоразрядных ламп. Он влияет на другие параметры (кроме указанных ранее), которые изменяются с изменением рода тока, причем это относится к лампам, работающим только на постоянном или только на переменном токе.

4.4. Сравнение источников света

4.4.1. Естественное освещение

Источником естественного освещения является **Солнце**. При температуре порядка 13,5 миллионов градусов Кельвина в ядре протекает реакция термоядерного синтеза – соединение двух атомов водорода в один атом гелия. Выделяющаяся огромная энергия идет как на поддержание реакции термоядерного синтеза в самом ядре, так и поддержания теплового равновесия этой звезды в целом.

При температуре порядка шести тысяч градусов Кельвина в поверхностном слое **Солнца** происходит возбуждение атомов с последующим испусканием квантов света (фотонов) в окружающее пространство. Диапазон длин электромагнитных волн охватывает весь оптический диапазон, включая инфракрасное, видимое и ультрафиолетовое излучения.

Установлено, что на один квадратный метр поверхности Земли, в районе экватора, в полдень за одну секунду переносится 1000 Вт оптического излучения. Тогда на один квадратный километр поверхности солнечная радиация будет составлять один миллион (10^6) кВт в секунду. При радиусе Земли около 6370 км площадь, освещаемая Солнцем, будет составлять примерно $127 \cdot 10^6$ км², а энергия Солнца за одну секунду составит $1,27 \cdot 10^{14}$ кВт. Эта энергия почти в 5000 раз больше электрической энергии, вырабатываемой всеми электростанциями на планете Земля за один год.

Совершенно очевидно, что перед нами всегда стоит задача использования естественного освещения как можно более эффективно и рационально – это будет экономить электрическую энергию преобразуемую при искусственном освещении (увеличение площади оконных проемов, световые фонари и т.п.).

4.4.2. Искусственное освещение

4.4.2.1. Классификация источников света

Нет ни одной отрасли народного хозяйства, где бы ни использовалось искусственное освещение. Начало развития отрасли производства источников света было положено в 19 веке. Поводом для этого послужило изобретение дуговых ламп и ламп накаливания.

Тело, излучающее свет в результате преобразования энергии называется источником света. Почти все производимые в настоящее время типы источников света являются электрическими. Это значит, что для создания светового излучения в качестве первичной затрачиваемой энергии используют электрический ток. ***Источниками света*** считают приборы с излучением света не только в видимой части спектра (длины волн 380 – 780 нм), но и ультрафиолетовой (10 – 380 нм) и инфракрасной (780 – 106нм) областях спектра.

Различают следующие виды источников света:

- тепловые,
- люминесцентные и
- светодиодные.

Тепловые источники излучения являются самыми распространенными. Излучение в них появляется вследствие нагревания тела накала до температур, при которых появляется не только тепловое излучение в инфракрасном спектре, но и наблюдается видимое излучение.

Люминесцентные источники излучения способны излучать свет независимо от того в каком состоянии находится их излучающее тело. Свечение в них

возникает через преобразование различных видов энергии непосредственно в оптическое излучение.

В светодиодных источниках излучения свет образуется в полупроводниковом кристалле при переходе электронов с одного энергетического уровня на другой, в результате чего происходит излучение фотонов.

На основании изложенных различий источники света делят на четыре класса.

Тепловые

Сюда относят всевозможные типы ламп накаливания, включая галогенные, а также электрические инфракрасные нагреватели и угольные дуги.

Люминесцентные

К ним относят следующие виды электрических ламп: дуговые ртутные лампы, различные лампы тлеющего разряда, люминесцентные лампы низкого давления, лампы дугового, импульсного и высокочастотного разряда, в том числе и те, в которые добавлены пары металлов или на колбу которых нанесено люминофорное покрытие.

Смешанного излучения

Такие виды ламп освещения одновременно используются тепловое и люминесцентное излучение. Примером могут служить дуги высокой интенсивности.

Светодиодные

К светодиодным источникам света относят все типы ламп и световых приборов с использованием светоизлучающих диодов.

Кроме того, существуют другие признаки по которым производится классификация ламп (по области применения, конструктивно-технологическим признакам и тому подобные).

4.4.2.2. Практические свойства источников света

Лампа накаливания

Лампа накаливания - это электрический источник света, который излучает световой поток в результате накала проводника из тугоплавкого металла (вольфрама).

Достоинства:

- невысокая стоимость;
- мгновенное зажигание при включении;
- небольшие габаритные размеры;
- широкий диапазон мощностей.

Недостатки:

- большая яркость (негативно воздействует на зрение);
- небольшой срок службы - до 1000 часов;
- низкий КПД (только 0,03 часть потребляемой лампой электрической энергии преобразуется в видимый световой поток) остальная энергия преобразуется в тепловую.

Люминесцентная лампа

Люминесцентные лампы, называемые еще, лампами дневного света, представляют собой запаянную с обоих концов стеклянную трубку, изнутри покрытую тонким слоем люминофора.

Достоинства:

- хорошая светоотдача и более высокий КПД (в сравнении с лампами накаливания);
- разнообразие оттенков света;

- рассеянный свет;
- длительный срок службы (2 000 -20 000 часов в отличие от 1 000 у ламп накаливания), при соблюдении определенных условий.

Недостатки:

- химическая опасность (ЛЛ содержат ртуть в количестве от 10 мг до 1 г);
- неравномерный, неприятный для глаз, иногда вызывающий искажения цвета, освещённых предметов (существуют лампы с люминофором спектра, близкого к сплошному, но имеющие меньшую светоотдачу);
- со временем люминофор срабатывается, что приводит к изменению спектра, уменьшению светоотдачи и как следствие понижению КПД ЛЛ;
- мерцание лампы с удвоенной частотой питающей сети;
- наличие дополнительного приспособления для пуска лампы — пускорегулирующего аппарата (громоздкий дроссель с ненадёжным стартером);
- очень низкий коэффициент мощности ламп — такие лампы являются неудачной для электросети нагрузкой (проблема решается с применением вспомогательных устройств).

Галогенные лампы

Галогенная лампа – это лампа накаливания, в колбу которой закачан буферный газ: пары галогенов (брома или йода). Данная особенность повышает срок службы лампы до 2000—4000 часов, а так же позволяет повысить температуру спирали.

Достоинства:

- выпускаются в богатом ассортименте;
- позволяют лучше управлять световым пучком и направлять его с большей точностью;
- компактны.

Недостатки:

- сильный нагрев;
- сравнительно недолговечны, примерно 2000-4000 часов;
- нельзя дотрагиваться к поверхности стекла лампы пальцами (перегорает).

Светодиодные лампы

В светодиодных лампах или светильниках (в обиходе — «ледовых», от аббревиатуры LED, Light Emitting Diode) в качестве источника света используются светодиоды, данный вид светильников применяются для промышленного, бытового и уличного освещения.

Достоинства:

- самый большой срок службы среди всех ламп (от 10 000 до 100 000 часов);
- низкое энергопотребление;
- устойчивость к вибрации и механическим ударам;
- безотказная работа при различных температурах от - 60 до +60°C;
- светодиодные лампы изготавливаются на любое напряжение, нет необходимости установки дополнительных балластных резисторов;
- обладает "чистым цветом", что важно в световом дизайне.

Недостатки:

- самый главный недостаток - высокая цена;
- ограничена сфера применения, в некоторых случаях лампы накаливания нельзя заменить светодиодными.

Металлогалогенные лампы

Металлогалогенные лампы (МГЛ / НМЛ) являются одним из видов газоразрядных ламп (ГРЛ) высокого давления. От других ГРЛ отличаются тем, что

для коррекции спектральной характеристики дугового разряда в парах ртути, в горелку МГЛ дозируются специальные излучающие добавки (ИД), представляющие собой галогениды некоторых металлов.

Достоинства:

- светоотдача в 10 раз больше, чем у ламп накаливания.
- компактный источник света
- надежная работа при низких температурах и различных условиях эксплуатации;
- возможность применять лампы разной цветности.

Недостатки:

- время разгорания 30-50 секунд, после отключения не включаются пока не остынут;
- высокая стоимость.

Дуговые ртутные люминесцентные лампы

Лампы ДРЛ (Дуговые Ртутно Люминесцентные) имеют очень высокую световую отдачу (до 60 лм/Вт) и относятся к ртутным разрядным лампам высокого давления с исправленной цветностью. ДРЛ лампа состоит из кварцевой трубки (горелки), находящейся в стеклянной колбе, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора, он в свою очередь преобразовывает ультрафиолетовое излучение, возникающее в следствии дугового разряда в трубке, в видимый свет, который может улавливать человеческий глаз.

Достоинства:

- хорошая световая отдача (до 55 лм/Вт);
- большой срок службы (10000 ч);
- компактность;
- неприхотливость к условиям окружающей среды (кроме сверхнизких температур).

Недостатки:

- преобладание в спектре лучей сине-зеленой части, ведущее к плохой цвето-передаче, что исключает применение ламп, когда объектами которые необходимо осветить, являются лица людей или окрашенные поверхности;
- возможность работы только на переменном токе;
- необходимость включения через балластный дроссель;
- длительность разгорания при включении (около 7 минут) и долгое начало повторного зажигания (около 10 мин).
- пульсации светового потока, большие чем у люминесцентных ламп;
- уменьшение светового потока к концу службы.

Энергосберегающие лампы

Энергосберегающие лампы работают по тому же принципу, что и обычные люминесцентные лампы, с тем же принципом преобразования электрической энергии в световую. Зачастую термин «энергосберегающая лампа» обычно применяют к компактной люминесцентной лампе, которую можно поставить на место обычной лампы накаливания без всяких переделок.

Достоинства:

- экономичны;
- долгий срок службы;
- низкая теплоотдача;
- большая светоотдача;
- выбор желаемого цвета.

Недостатки:

- высокая цена;
- экологически вредная.

Газоразрядные лампы

Газоразрядная лампа – это источник света, излучающий энергию в видимом диапазоне. Свечение в лампе создается непосредственно или опосредованно от электрического разряда в газе, парах металла или в смеси пара и газа.

Достоинства:

- высокий КПД;
- длительный срок службы по сравнению с лампами накаливания;
- экономичность;
- высокая степень цветопередачи;
- хорошая стабильность цвета;
- хорошие характеристики светового потока в течение всего срока службы.

Недостатки:

- высокая стоимость;
- необходимость пускорегулирующей аппаратуры;
- долгий выход на рабочий режим;
- высокая чувствительность;
- наличие токсичных компонентов и как следствие необходимость в инфраструктуре по сбору и утилизации;
- невозможность работы на любом роде тока;
- невозможность изготовления ламп на самое разное напряжение (от долей вольта до сотен вольт);
- наличие мерцания и гудения при работе на переменном токе промышленной частоты;
- прерывистый спектр излучения;
- непривычный в быту спектр.

Натриевые лампы

Натриевые лампы высокого давления (ДНаТ) имеют самую высокую светоотдачу среди всех известных газоразрядных ламп (100 - 130 лм/Вт), но плохую цветопередачу ($Ra = 20-30$), и характеризуются минимальным снижением светового потока при длительном сроке службы.

- со временем лампы теряют яркость, тускнеют и неравномерно освещают дорогу
- ослепление встречных водителей и пешеходов.

Инфракрасные лампы

Лампа инфракрасная - это прибор, по принципу действия напоминает лампу накаливания. Колба инфракрасной лампы (обычно красного, реже – синего стекла) участвует в формировании спектра излучения, и увеличивает общий КПД лампы. Проходя через цветное стекло, оставшаяся в излучении доля видимого света «окрашивается» в инфракрасные цвета.

Инфракрасные лампы подразделяются на:

- медицинские инфракрасные лампы;
- инфракрасные лампы для обогрева;
- инфракрасные лампы для сушки;

Кварцевая лампа

Кварцевая лампа - это ртутная газоразрядная лампа, имеет колбу из кварцевого стекла, предназначена для получения ультрафиолетового излучения. Применяют подобные лампы для обеззараживания различных помещений, предметов, продуктов питания.

Ультрафиолетовые лампы

Ультрафиолетовая лампа работает по тому же принципу, что и обычная люминесцентная лампа: ультрафиолетовое излучение образуется в колбе вследствие взаимодействия паров ртути и электромагнитных разрядов. Газоразрядная трубка изготавливается из специального кварцевого или увиолевого стекла, имеющих способность пропускать УФ-лучи.

4.5. Системы и виды производственного освещения

При освещении производственных помещений используют **естественное освещение**, создаваемое прямыми солнечными лучами и рассеянным светом небосвода и меняющемся в зависимости от географической широты, времени года и суток (связанной с вращением Земли по гелиоцентрической орбите – с разницей действительных расстояний зимой и летом в пять миллионов километров, а также собственного вращения вокруг оси наклоненной к плоскости вращения), степени облачности и прозрачности атмосферы; **искусственное освещение**, создаваемое электрическими источниками света, и совмещенное освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняют искусственным.

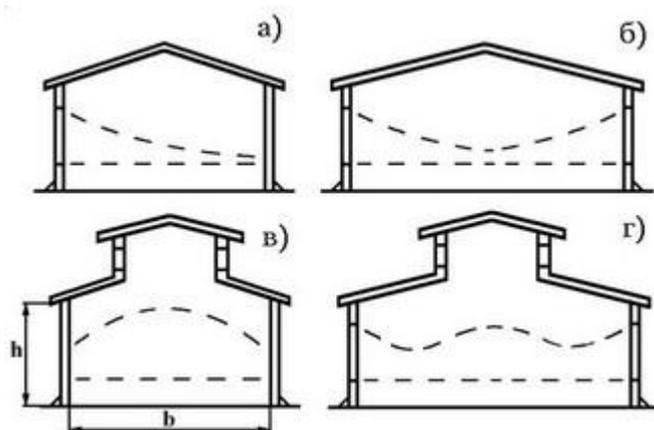


Рис. 1. Схема расположения световых проемов и освещенности помещений:

а – боковое одностороннее освещение (при $b \geq 12 \text{ м}$);

в – верхнее (при $b > 5h$); г – комбинированное

Конструктивно *естественное освещение* подразделяют на боковое (одно- и двухстороннее), осуществляемое через световые проемы 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, эритемным, 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.

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 0,5лк, на открытых территориях - не менее 0,2лк.

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

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 длиной волны $\lambda = 0,254...0,257\text{мкм}$.

Эритемное облучение создается в производственных помещениях, где недостаточно солнечного света (северные районы, подземные сооружения). Максимальное эритемное воздействие оказывают электромагнитные лучи с длиной волны $\lambda = 0,297\text{мкм}$. Они стимулируют обмен веществ, кровообраще-

ние, дыхание и другие функции организма человека.

Дежурное освещение – это освещение в нерабочее время. В данном случае область применения, величины освещенности, равномерность и требования к качеству не нормируются.

Общее освещение – это освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (общее равномерное освещение) или применительно к расположению оборудования (общее локализованное освещение).

В дополнение к общему освещению светильниками, концентрирующими световой поток непосредственно на рабочих местах, создается *местное освещение*, а также *комбинированное освещение*, при котором к общему освещению добавляется местное.

Совмещенное освещение – это освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным.

4.6. Энергосберегающие технологии

Применение технологий энергосбережения актуально сегодня во всех сферах человеческой жизнедеятельности, но, в первую очередь — в промышленности. Именно на поддержку производственных циклов расходуется восемьдесят процентов энергии.

4.6.1. Основные парадигмы энергосберегающего освещения

В области экономии электрической энергии самым простым и распространенным способом является оптимизация ее потребления на освещение производственных помещений. Ключевыми мероприятиями оптимизации потребления электроэнергии на освещение являются:

- максимальное использование дневного света (повышение прозрачности и увеличение площади окон, дополнительные окна, применение оптимально-

го режима бодрствования максимально совпадающего со световым днём – при возможности);

- повышение отражающей способности помещений, покраска стен и потолка производственных помещений в близкий к белому цвету;
- оптимальное размещение световых источников (местное освещение, направленное освещение);
- включение осветительных приборов только в рабочее время и только по необходимости;
- повышение светоотдачи существующих источников (замена люстр, плафонов, удаление грязи с плафонов, применение более эффективных отражателей);
- замена ламп накаливания на энергосберегающие (люминесцентные, компактные люминесцентные, светодиодные);
- применение устройств управления освещением (датчики движения и акустические датчики, датчики освещенности, таймеры, системы дистанционного управления);
- внедрение автоматизированной системы диспетчерского управления наружным освещением (АСДУ НО);
- установка интеллектуальных распределённых систем управления освещением (минимизирующих затраты на электроэнергию для данного объекта).

Факторы, сдерживающие энергосбережение:

- Одним из препятствий к повсеместному осуществлению энергосбережения в быту на постсоветском пространстве является отсутствие массовой бытовой культуры энергосбережения вследствие длительного советского периода низких цен на энергоносители в прошлом.
- В современный период широко распространена практика применения для населения низких тарифов социальной направленности на многие виды ресурсов (электроэнергия, газ, горячее и холодное водоснабжение, централь-

ное отопление), также снижающая заинтересованность потребителей в экономии энергоресурсов.

- Отсутствие средств у предприятий ЖКХ на реализацию энергосберегающих программ, низкая доля расчетов по индивидуальным приборам учёта и применение фиксированных нормативов. Например, при расчёте оплаты без приборов учёта по установленному нормативу у потребителя возникает противоположный сбережению мотив к расточительству. При фиксированном тарифе каждая лишняя потреблённая единица ресурса (кубометр газа или горячей воды) удешевляет потребителю удельную стоимость ресурса.
- Незаинтересованность бытовых организаций в повсеместном внедрении приборов учёта. Расчёт потребления энергии и других ресурсов по приборам учёта (счётчики газа, горячей и холодной воды, тепла) в большинстве случаев невыгоден для бытовых организаций. Приобретение и монтаж индивидуальных приборов учёта в большинстве случаев осуществляется за счёт конечного потребителя. Стоимость работ по индивидуальной установке приборов учёта многократно превышает себестоимость аналогичных работ при массовой организованной установке счётчиков силами ресурсоснабжающих организаций. Всё это серьёзно сдерживает внедрение приборов учёта.

- **4.6.2. Критерии энергоэффективности источников света**

Световой поток - базовая энергетическая характеристика источника света. **Световой поток** - мощность излучения или количество света, излучаемого лампой во всех направлениях.

У многих производителей источников света информация о световом потоке указана либо на упаковке, либо на самом изделии. Наилучшими по надежности и энергоэффективности являются светодиодные источники света. Таким образом, если вы решили правильно подобрать светодиодную лампу взамен

лампы накаливания или компактной люминесцентной, выберите изделие с таким же цоколем, формой с равным или большим *световым потоком*.

Ниже приведены таблицы со средними значениями светового потока бытовых ламп с цоколем E27 и G13 различной "мощности": обычных, люминесцентных и светодиодных.

1

<i>Световой поток ламп накаливания</i>									
Мощность, Вт	5	15	25	40	60	75	100	150	200
Световой поток, Лм	20	120	220	415	710	935	1380	2160	3040

<i>Световой поток люминесцентных трубчатых ламп</i>							
Мощность, Вт	15	18	23	30	36	58	70
Световой поток, Лм	740	1050	1450	1900	2750	4000	5250

<i>Световой поток компактных люминесцентных ламп (КЛЛ)</i>						
<i>Лампы с вольчатого типа (3U, 4U) – E27</i>						
Мощность, Вт	15	20	26	30	35	40
Световой поток, Лм	850	1200	1560	1800	2100	2400

<i>Световой поток компактных люминесцентных ламп (КЛЛ)</i>						
<i>Лампы спирального типа – E27</i>						
Мощность, Вт	9	12	15	20	26	35
Световой поток, Лм	540	720	900	1280	1560	2100

<i>Световой поток светодиодных ламп</i>									
Мощность, Вт	4	6	10	12	13-T8	20-T8	25-T8	26	32
Световой поток, Лм	410	705	930	1200	1200	1600	2500	2600	3600

У светодиодов световой поток колеблется от 80 до 150 Лм на 1 Вт затраченной энергии. Это обуславливается некоторыми отличиями вольтамперных характеристик светодиодов и систем охлаждения. Световой поток экспериментальных

светодиодов доходит до 220 Лм/Вт, но такие светодиоды не встречаются в массовом производстве.

Чтобы проще было проводить сравнительный анализ, можно обратиться к таблице, где приведены соотношения светового потока (люмен) к мощности осветительного прибора (Вт) для ламп накаливания, люминесцентных и светодиодных ламп.

Лампа накаливания, мощность, Вт	Люминесцентная лампа, мощность, Вт	Светодиодная лампа, мощность, Вт	Световой поток, Лм
20	5-7	2-3	Около 250 Лм
40	10-13	4-5	Около 400 Лм
60	15-16	8-10	Около 700 Лм
75	18-20	10-12	Около 900 Лм
100	25-30	12-15	Около 1200 Лм
150	40-50	18-20	Около 1800 Лм
200	60-80	25-30	Около 2500 Лм

Исходя из этих данных, видно, что светодиодные лампы почти в 7-8 раз эффективнее, чем лампы накаливания, и почти в 2 раза – люминесцентных ламп и КЛЛ.

Распределение светового потока в помещении

Кроме общей характеристики силы светового потока также следует принимать во внимание распределение этого светового потока в пространстве. Его направленность определяют углом расходимости лампы. Данная характеристика касается источников света, которые создают направленный тип излучения.

Расходимость в 120 градусов говорит о то, что сила светового потока снижается в 2 раза в направлении, которое имеет угол в 60 градусов по отношению к оси светового пучка источника света.

Лампы, имеющие расходимость в 120 градусов, обладают очень широкой диаграммой направленности, которая практически соответствует равнояркой площадке.

Светодиодные лампы с широким углом излучения позволяют получить более равномерное освещение помещения, но тут необходимо учесть одну тонкость, заключающуюся в высокой яркости светодиодных ламп при больших углах к излучающей плоскости, что может стать причиной дискомфорта.

Для этого необходимо обращать внимание на реализацию требований наличия защитного угла в ходе монтажа широкоугольного типа светодиодных ламп в светильники, включая и те, которые врезаются в потолок. Узконаправленного излучения лампы (от 20 до 30 градусов) применяются для создания акцентов в интерьере, в частности при оформлении дизайна потолка, но в целом они малоприспособлены для обычного освещения.

К тому же, в отличие от люминесцентных ламп и ламп накаливания, светодиодная лампа, следовательно, и светодиод, испускает направленный свет, из чего можно заключить, что и освещенность от светодиодной лампы будет значительно выше. Поэтому, используя светильник светодиодный уличный в качестве освещения, можно достичь гораздо лучшей освещенности, чем при использовании других ламп.

Применение светодиодных светильников в производственных помещениях и ЖКХ желательно использование рассеивателей света, для получения более равномерного освещения рабочих поверхностей.

Что касается цветовой температуры, то чем холоднее свет лампы, тем больше световой поток и яркость лампы.

Энергосберегающее освещение помещений с высотой потолков

свыше 6 метров

До недавнего времени использование высокоэффективного источника света - люминесцентной лампы было невозможно в помещениях с большой высотой потолков. Между тем, люминесцентная лампа имеет ряд существенных преимуществ:

- светоотдача лампы с трубкой T5 - до 105 лм/Вт;
- высокий уровень цветопередачи - индекс 85;
- срок службы от 20000 до 58000 ч;
- малая чувствительность к включениям/выключениям;
- время включения при использовании электронного балласта - менее 0,9 сек
- низкая цена - 130-200 руб. (80Вт);
- низкое содержание ртути 5-20 мг.

С недавнего времени использование люминесцентных ламп стало возможным и в помещениях с высотой потолков свыше 6 м. За счет применения специально рассчитанных отражателей, имеющих сложную форму поверхности и высококачественное покрытие, светильники с люминесцентными лампами стало возможным использовать на высотах до 45 м. В частности, одним из производителем таких светильников является концерн EAE (Турция).

За счет правильно подобранного отражателя, позволяющего использовать люминесцентную лампу с учетом конкретной задачи (освещение складских проходов, освещение производственных помещений, прочих условий) появляется возможность направить световой поток точно в то место, где он необходим. Избежав при этом лишнего рассеивания, и, соответственно, расходования электроэнергии. Так, например, обычно для освещения межстеллажных проходов на складах используются светильники круглой в сечении формы. Результатом использования круглой формы является то, что значительная часть светового потока попадает на сами стеллажи, а не в рабочую зону - проходы. При

использовании люминесцентных светильников с эффективными отражателями в производственных помещениях достигается большая равномерность освещения по сравнению с классическими светильниками.

Люминесцентные светильники для помещений с большой высотой потолков обладают большим количеством преимуществ:

- Время включения лампы составляет менее секунды. Это также позволяет использовать светильник в качестве аварийного источника света, а значит, не требуется дополнительных аварийных светильников. Светильник может комплектоваться встроенным аккумулятором.

- Быстрое включение, а также небольшая чувствительность к количеству включений/выключений позволяет использовать люминесцентные светильники в системах автоматизации.

- Высокий индекс цветопередачи обеспечивает качество освещения пригодное практически для работ любого уровня сложности.

- Электронный пускорегулирующий аппарат (ЭПРА) не только экономит энергию, но и поддерживает долгий ресурс лампы, отсутствие мерцания лампы.

- Коэффициент мощности свыше 0,95 не требует дополнительной компенсации реактивной мощности. Для сравнения коэффициент мощности светильников с ДРЛ не превышает 0,8.

- Срок службы лампы - свыше 20 000 часов. На рынке существуют специальные люминесцентные лампы, срок службы которых достигает 58 000 часов. Конечно, их стоимость дороже. Но, если оценить стоимость работ по замене ламп на больших высотах, это может оказаться более выгодным решением.

- Светильники выпускаются различных классов защиты. В частности светильники ЕАЕ серии REVO - IP20, IP40, IP65. Светильники с классом защиты IP65 комплектуются закаленным стеклом с защитной пленкой. В случае разрушения ударопрочного стекла, осколки останутся на пленке. Нанесение пленки на обычные светильники невозможно, из-за высокой температуры работы ламп.

Основной эффект экономии возникает за счет снижения потребления

электроэнергии. Для промышленных помещений эта величина составляет от 30% до 60%. Для складских комплексов - от 50 до 75%. За счет столь высоких показателей экономии, срок окупаемости светильников приемлем даже для российских условий.

Автоматизации в системах освещения

В европейских странах средства автоматизации используются довольно широко и позволяют дополнительно экономить значительное количество электроэнергии. На российских предприятиях автоматизация освещения практически не применяется, так как используемые типы ламп не позволяют гибко управлять освещением. Использование светильников с люминесцентными лампами дает возможность внедрять управление освещением с различной степенью автоматизации - начиная от простейших элементов управления (датчиков присутствия и движения) и заканчивая системами позволяющими осуществлять сложное управление:

- ✓ · по заданному производственному графику;
- ✓ · осуществлять зональное разделение освещения;
- ✓ · управлять освещением производственного комплекса с одного рабочего места;
- ✓ · регулировать уровень освещенности в зависимости от уровня естественной освещенности;
- ✓ · регулировать уровень освещенности в зависимости от требований, предъявляемых к технологическому процессу.

В целях создания комфортных условий в учебных аудиториях и экономии электроэнергии рекомендуем использовать автоматические системы управления освещением. При использовании автоматизированной системы управления освещением используются светильники с датчиками регулирования уровня освещенности. В светильниках применяется электронная ПРА с автоматическим поддержанием заданного уровня освещенности. К электронной ПРА под-

ключается датчик естественного уровня освещенности, который фиксирует интенсивность внешнего освещения поступающий через окна. В ясную солнечную погоду светильник автоматически уменьшает световой поток, в пасмурную погоду или темное время суток светильник автоматически увеличивает световой поток. Регулировка происходит плавно, почти незаметно для человеческого глаза, в пределах от 5 до 100% светового потока лампы. При регулировании поддерживается заданный нормативный уровень освещенности.

Такие светильники с автоматическим поддержанием заданного уровня освещенности наиболее часто применяется в учебных аудиториях, школьных классах и дошкольных учреждениях. В силу того, что большие окна данных помещений способствуют проникновению большого количества естественного светового потока.

К сожалению, решение вопроса о дополнительном автоматическом включении искусственного освещения до сих пор зависит исключительно от индивидуального отношения к этому учителей, среди которых еще широко распространено мнение о вреде смешанного освещения, и они предпочитают заниматься даже в полумраке. Это очень вредно для человеческого глаза, так как приспособление к низкому освещению сопровождается его чрезмерным напряжением. При частом повторении это может быть одной из причин ухудшения зрения. Между тем, исследования, показывают, что смешанное освещение безвредно. Надо лишь заботиться о том, чтобы при смешанном освещении не ощущалось два, совершенно отдельных, световых потока. Поэтому для того, чтобы избежать субъективизма во включении дополнительного искусственного освещения, лучшим и перспективным решением является применение системы регулирования искусственного освещения, автоматически включающего искусственное освещение при понижении уровня естественного освещения в наиболее отдаленной от окна точке помещения ниже 400 лк.

4.6.3. Определение сроков окупаемости

При модернизации систем освещения с целью энергосбережения возможно использование более энергоэффективных источников света, обеспечивающими одинаковые световые потоки. В упрощенном варианте принимаем замену только самих источников света при обеспечении функционирования всех остальных элементов осветительной системы. Данное допущение обосновано при замене ламп накаливания ламп и компактных люминесцентных ламп с цоколем E14 и E27. При замене люминесцентных ламп на светодиодные (цоколь G13) из светильника убирается ПРА (ЭПРА), так как светодиодные лампы снабжены собственными преобразователями переменного питания.

Введем обозначения:

$W_{1(2)}$ – мощность в (*Вт*) первого и второго источника света;

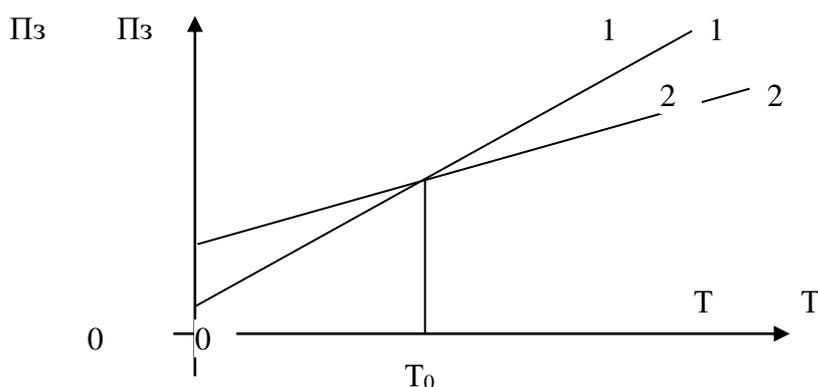
$C_{1(2)}$ – розничная цена в (*руб*) первого и второго источника света;

$T_{1(2)}$ – срок службы в (*час*) первого и второго источника света;

$C_э$ – цена одного киловатта/час (*руб*).

Задачи будут двух планов.

Первый – рассчитать приведенные затраты двух источников света и построить графики (они будут прямолинейными).



Начальные точки (при $T = 0$) - есть розничная цена первого C_1 и второго C_2 источников света.

Так как срок службы может быть различным, то через T_1 первый источ-

ник света нужно менять (приобретать замену) следовательно в расчет дополняется цена новой первой лампы всего за время сравнительной эксплуатации возможна эксплуатация (n) источников света с меньшим сроком службы.

В заданиях указывается время работы в течение суток, так при работе 1 час сутки за год источник света работает – 365 часов, если 2 часа в сутки – то за год 730 часов, и т.д. По заданным числу часов в сутки и числе лет работы определяется T_p – время работы источника тока. Если разделить T_p на срок службы T_1 то получим, что $n = \frac{T_p}{T_1}$ округляется до большего целого.

Итак приведенные затраты на эксплуатацию Z_{np-1} первого источника света в течение T_p равны

$$Z_{np-1} = n \cdot C_1 + \frac{W_1}{1000} \cdot C_э \cdot T_p$$

и второго $Z_{np-2} = C_2 + \frac{W_2}{1000} \cdot C_э \cdot T_p$.

Эти значения наносят на график и строят прямые, а также определяют время окупаемости T_0 , при условии равенства приведенных затрат обоих вариантов. Экономическую эффективность сравниваемых вариантов определяется при времени эксплуатации больше чем время окупаемости вариантов $T > T_0$.

Задачи второго профиля

В этих задачах необходимо только определить время окупаемости (T_0) при использовании более *энергоэффективных* источников света.

Расчет проводится также по упрощенной методике. Так как время окупаемости (T_0) может оказаться больше срока службы заменяемой лампы (T_1), то появляется необходимость в расчетах учитывать цену большего количества за-

меняемых источников. Для этого вначале определяем приближенное значение срока окупаемости $(n \cdot T_1)$, где n – возможное количество используемых заменяемых источников света, тогда приравняв затраты на первый и второй источники свет, получим

$$n \cdot C_1 + \frac{W_1}{1000} \cdot C_3 \cdot (n \cdot T_1) = C_2 + \frac{W_2}{1000} \cdot C_3 \cdot (n \cdot T_1) \text{ и далее}$$

$$n \cdot C_1 + \frac{W_1}{1000} \cdot C_3 \cdot (n \cdot T_1) - \frac{W_2}{1000} \cdot C_3 \cdot (n \cdot T_1) = C_2$$

$$n \cdot C_1 + C_3 \cdot n \cdot T_1 \left(\frac{W_1}{1000} - \frac{W_2}{1000} \right) = C_2 \text{ откуда имеем}$$

$$n = \frac{C_2}{C_1 + C_3 \cdot T_1 \left(\frac{W_1}{1000} - \frac{W_2}{1000} \right)}$$

Округляем значение n до большего значения и составляем уравнение равенства приведенных затрат

$$n \cdot C_1 + \frac{W_1}{1000} \cdot C_3 \cdot T_0 = C_2 + \frac{W_2}{1000} \cdot C_3 \cdot T_0 \text{ откуда}$$

$$C_3 \cdot T_0 \cdot \left(\frac{W_1}{1000} - \frac{W_2}{1000} \right) = C_2 - n \cdot C_1$$

$$T_0 = \frac{(C_2 - n \cdot C_1) \cdot 1000}{C_3 \cdot (W_1 - W_2)}$$

Это и есть время окупаемости затрат.

В задачах это время нужно пересчитать из условий работы энергосберегающих источников света в годы (месяцы) для чего разделить на произведение числа часов работы в один день на число дней в году.

И ещё!

В задачах о замене светильников решение производить без учета дополнительной сменяемости, т.е.

$$C_1 + \frac{W_1}{1000} \cdot C_э \cdot T_0 = C_2 + \frac{W_2}{1000} \cdot C_э \cdot T_0 \quad \text{и}$$

$$T_0 = \frac{(C_2 - C_1) \cdot 1000}{C_э \cdot (W_1 - W_2)} \quad (\text{час}) \quad !$$

Литература

1. Айзенберг Ю.Б. Современные проблемы энергоэффективного освещения // Энергосбережение. 2009. № 1.
2. Баранов Л.А., Захаров В.А. Светотехника и электротехнология. М.: Колос С, 2008. 344 с.
3. Варфоломеев Л.П. Элементарная светотехника. М., 2013. 288 с.
4. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Ч. 1. Ростов н/Д: Тера, 2004. 344 с.
5. Гуторов М.М. Основы светотехники и источники света: учебное пособие. М.: Энергоатомиздат, 2014. 384 с.
6. Живописцев Е.Н., Косицин О.А. Электротехнология и электрическое освещение. М.: Агропромиздат, 1990. 303 с.
7. Жилинский Ю.Н., Кумин В.Д. Электрическое освещение и облучение. М.: Колос, 1982. 272 с.
8. Информационный бюллетень "Энергосовет". 2010. № 6 (11).
9. Козинский В.Д. Электрическое освещение и облучение. М.: Агропро-издат, 1991. 239 с.
10. Баев В.И. Практикум по электрическому освещению и облучению: учеб. пособие для ВУЗов. М.: Колос С, 2008. 191 с.
11. Справочная книга по светотехнике / под общ. ред. проф. Ю.Б. Айзенбер-га. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Знак, 2007.
12. Степанцов В.П. Светотехническое оборудование сельскохозяйственного производства: справочное пособие. Минск: Урожай, 1987. 216 с.
13. Шашлов А.Б. Основы светотехники. М.: Логос, 2011. 871 с.
14. Шашлов А.Б. Основы светотехники: учебник. М.: Логос, 2015. 272 с.

Учебное издание

Яковенко Николай Иванович
Жиряков Алексей Васильевич
Ковалев Виталий Витальевич

СВЕТОТЕХНИКА

Учебное пособие

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 25.04.2018

Формат 60x84 1/16. Бумага печатная. Усл. печ. л.8,19.

Тираж 100 экз. Изд. №5873.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, БГАУ