

ЛЕКЦИЯ 5 РУДНИЧНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

5.1 Общие сведения

Электрическое освещение подземных горных выработок должно обеспечивать необходимую освещенность на рабочих местах для повышения производительности труда, предотвращения травматизма, качественного наблюдения за машинами и механизмами, улучшения санитарно-гигиенических условий и т.п.

Специфика горных работ предопределяет такие виды рудничного освещения:

- общее – осветительными приборами, которые питаются от электрической сети;
- местное – осветительными приборами, установленными на горных машинах или агрегатах, которые получают питание от их сетей;
- местное – посредством индивидуальных осветительных приборов с автономными источниками питания;
- комбинированное, вместе с общим используется местное освещение.

Общее освещение светильниками широко применяется в технологическом процессе горных работ. Поэтому ПБ регламентируют для освещения сетевыми светильниками такие подземные сооружения и призабойные пространства:

- электромашинные, лебедочные, диспетчерские камеры, камеры ЦПП, локомотивных гаражей, помещения медпунктов, взрывчатых материалов, ремонтных мастерских;
- транспортные выработки в границах околоствольного двора;
- приемные площадки уклонов и бремсбергов, выработки, где происходит перегрузка угля, пункты посадки людей в транспортные средства и подходы к ним;
- призабойное пространство стволов, соединений и камер во время проходки;
- очистные выработки, оборудованные механизированными комплексами и струговыми установками (светильниками, входящими в их состав);
- постоянно обслуживаемые электромашинные установки, передвижные подстанции и распределительные пункты вне границ специальных камер;
- выработки, оборудованные ленточными конвейерами и подвесными дорогами, предназначенными для перевозки людей;
- ходки, оборудованные средствами механизированной перевозки людей.

Для характеристики освещения и параметров источников света используют такие основные величины светотехники.

Световой поток Φ – это мощность лучистой энергии, оцениваемая по световому ощущению, которое она производит на глаз человека. Единица измерения светового потока – люмен (лм).

Сила света I источника определяется пространственной плотностью светового потока и равняется отношению светового потока к телесному углу, в котором он распространяется. Единица измерения силы света – кандела (кд). Для точечного источника света, который излучает световой поток равномерно во всех направлениях, сила света

$$I = \frac{\Phi}{\omega} = \frac{\Phi}{4\pi}.$$

Телесный угол ω – это отношение площади F , которую он вырезает на поверхности сферы, описанной из точки расположения источника, к квадрату радиуса R этой сферы:

$$\omega = \frac{F}{R^2} = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi.$$

Источники света распределяют световой поток в пространстве неравномерно, поэтому для них составляют таблицы или в полярной системе координат строят кривые распределению силы света для условной лампы со световым потоком 1000 лм. При расчетах полученное значение силы света нужно умножить на величину C (отношение светового потока реальной лампы $\Phi_{пл}$ к световому потоку условной лампы 1000 лм):

$$C = \frac{\Phi_{пл}}{1000}.$$

Освещенность E – это поверхностная плотность светового потока, определяемая отношением светового потока Φ к площади поверхности F , на которую он падает:

$$E = \frac{\Phi}{F} = \frac{I_{\alpha} \cos \alpha}{R^2},$$

где I_{α} – сила света источника в направлении освещаемой точки; α – угол наклона освещаемой поверхности к световому потоку; R – расстояние от источника света до освещаемой точки.

Единица освещенности – люкс (лк), $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$. От освещенности зависит, как человек видит разные предметы.

Электрическое освещение должно быть равномерным без резких теней. Для подземных выработок ПТЭ и ПБ при разработке месторождений подземным способом установлены нормы минимальной освещенности [13, 14].

Яркостью B называется отношение силы света в данном направлении к площади излучающей поверхности F , перпендикулярной этому направлению:

$$B = \frac{I_{\alpha}}{F \cos \alpha}.$$

Единица яркости – кандела на квадратный метр (кд/м^2).

Избыточная яркость вредно воздействует на зрение человека, поэтому яркие источники света помещают в колпаки, рассеивающие свет, или в специальную арматуру.

5.2 Источники света

Электрическим источником света называется устройство, преобразующее электрическую энергию в световую. По способу получения светового излучения источника света разделяют на тепловые и разрядные. В свою очередь разрядные источники света могут быть лампами низкого и высокого давления. В некоторых из них используется люминофорное покрытие.

В *лампах накаливания* свет создается вольфрамовой нитью, свитой в моноспираль и нагретой электрическим током до $2800 - 3000 \text{ }^{\circ}\text{C}$. В некоторых лампах моноспираль свивают в биспираль, которую помещают в стеклянную колбу. Лампы мощностью до 60 Вт изготавливаются пустотелыми (вакуумными), а большей мощности – заполняют смесью аргона и азота или криптоном и ксеноном. Газонаполненные лампы позволяют повысить температуру нагрева спирали, что увеличивает их световую отдачу, которая рассчитывается как отношение светового потока к мощности потребления (лм/Вт).

Световая отдача ламп накаливания в зависимости от их конструкции, мощности и напряжения колеблется в границах от 6 до 20 лм/Вт. Лампы накаливания с биспиралью имеют световую отдачу на 20% выше, чем лампы с обычной нитью накаливания.

По типу крепления в патроне лампы бывают с нарезным и штифтовым цоколем. Недостаток нарезного цоколя – возможность откручивания лампы при вибрациях и тряске.

Условное обозначение ламп накаливания состоит из таких элементов:

- буквенная часть: В – вакуумная; Г – газонаполненная, аргоновая, моноспиральная; Б – аргоновая, биспиральная; БК – криптоновая, биспиральная;

- первая цифровая часть состоит из двух чисел, которые указывают диапазон напряжения в вольтах (например 125–135; 215–225; 220–230);

- вторая цифровая часть – номинальная мощность в ваттах (25, 40, 60, 75, 150 и т.д.).

Лампы накаливания на напряжение 127 и 220 В изготавливаются в пределах шкалы мощностей от 15 до 1500 Вт. Срок службы в зависимости от номинального напряжения составляет от 1000 до 2500 часов, до конца которого световой поток ламп накаливания снижается приблизительно на 10 – 15% в результате распыления вольфрамовой нити.

Преимущества ламп накаливания: простота конструкции и эксплуатации, небольшие размеры, возможность работы при любой температуре окружающей среды, низкая стоимость. Недостатки: малая световая отдача; высокая чувствительность к колебаниям напряжения (каждый процент повышения напряжения увеличивает световой поток лампы на 3,5%, но сокращает ее срок службы приблизительно на 10%); сравнительно малый срок службы, технические параметры зависят от мощности и номинального напряжения.

Лампы накаливания как источники света – неперспективные. По расчетам наилучшее излучение происходило бы при температуре 6000 – 6500 К, но и при этом излучатель имел бы световой КПД не более 14%, что отвечает световой отдаче 90 лм/Вт.

Принцип работы *разрядных ламп* основан на использовании свойства газов, паров металлов или смеси газа с парами металлов светиться в электрическом поле. При этом большая часть излучения – это невидимое ультрафиолетовое излучение. Для преобразования его в видимое и повышения светоотдачи лампы внутренняя поверхность трубки или колбы лампы покрывается люминофором (соли разных кислот: вольфраматы, силикаты, фосфаты и др.). Такие газоразрядные лампы имеют название люминесцентных.

Люминесцентная лампа состоит из стеклянной трубки, в концы которой впаяны вольфрамовые электроды, покрытые оксидом. Внутренняя поверхность трубки покрыта слоем люминофора. В трубке содержится капля ртути с аргоном при давлении 0,4–0,53 кПа. В зависимости от состава люминофора изменяется цветность света. Для общего освещения выпускаются люминесцентные лампы дневного (ЛД и ЛДЦ), холодно-белого (ЛХБ), белого (ЛБ) и тепло-белого (ЛТБ) цветов мощностью 15, 20, 40 и 80 Вт.

Для зажигания лампы применяют подогревные (стартерные) и безподогревные схемы. При подогревных схемах (рис.30, а) для зажигания лампы необходимо нагреть электроды до 800 – 1000 °С. Для этого в схемах используют зажигательное устройство – стартер 1 с двумя электродами. Один электрод изготовлен из биметаллической пластинки. При прохождении напряжения между разомкнутыми электродами стартера возникает тлеющий разряд, биметаллическая пластинка нагревается, сгибается и замыкает цепь подогрева. Ток, ограниченный сопротивлением дросселя 2, достигает значения в 2 – 3 раза выше рабочего тока лампы. Электроды быстро разогреваются, а биметаллическая пластинка стартера остывает (1 – 2 с) и размыкает цепь. При этом благодаря дросселю 2 во время размыкания контактов стартера возникает импульс повышенного напряжения, который способен зажечь лампу. Напряжение на лампе становится меньше напряжения сети в результате его потери в дросселе, и поэтому повторно стартер включиться не может. Если лампа не загорается, то процесс повторяется. В стартерной схеме зажигания для повышения коэффициента мощности до значения 0,9 – 0,95 применяют конденсатор 3 емкостью 4 – 8 мкФ, а для устранения радиопомех – конденсатор 4.

Принцип работы безстартерных схем основан на ионизации газового пространства трубки повышенным напряжением, подводимым к электродам в момент зажигания или при быстром разогревании электродов лампы.

На рис.30, б приведена резонансная схема зажигания лампы, которая состоит из двухобмоточного дросселя L1-L2 и конденсатора С. Обе обмотки дросселя, конденсатор и электроды лампы соединены последовательно. Значение индуктивности дросселя и емкости конденсатора подобраны так, чтобы при включении возник резонанс напряжения:

$$\omega(L_1 + L_2) = \frac{1}{\omega C}$$

где ω – угловая частота.

При этом между электродами лампы возникает напряжение 450 – 500 В, достаточное для ее зажигания. После зажигания лампы ее электрическое сопротивление будет относительно небольшим и цепь обмотки L2 дросселя и конденсатора окажется зашунтированной, а резонанс прекратится. На зажимах лампы будет номинальное напряжение.

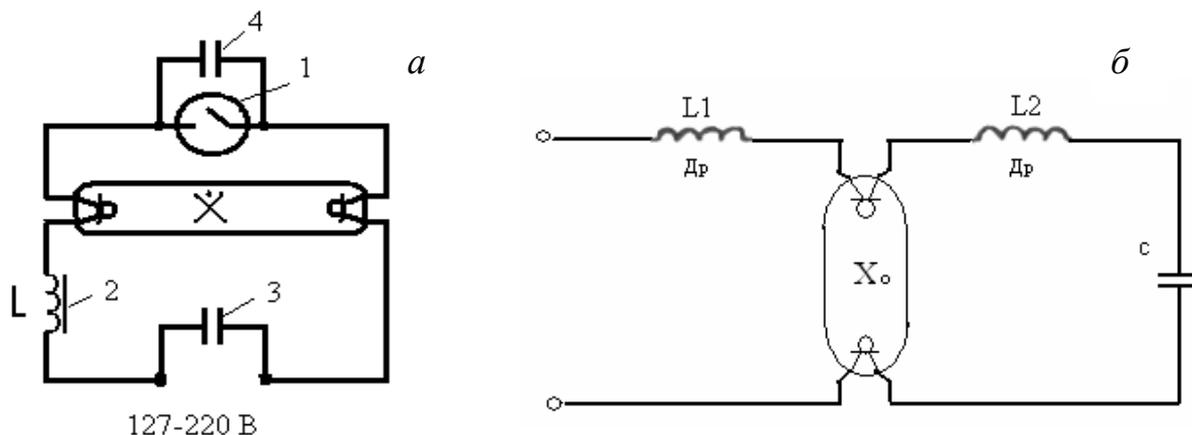


Рис.30. Схема зажигания люминесцентной лампы с предварительным подогревом (а) и резонансная схема (б)

Люминесцентные лампы более экономичны лампы накаливания. Световая отдача этих ламп составляет 22 – 75 лм/Вт, срок службы 2500 – 3000 часов и в значительной мере он зависит от частоты включений. Они имеют разнообразную цветность, малую яркость, стойкость к вибрациям, низкую температуру нагрева трубки (40 – 50 °С). Однако им присущи такие недостатки: явления стробоскопического эффекта; чувствительность к колебаниям напряжения (при повышении напряжения световая отдача уменьшается; при уменьшении напряжения зажигание лампы неустойчивое); чувствительность к колебаниям температуры, при изменении температуры окружающей среды по сравнению с оптимальной 20 – 25 °С световая отдача уменьшается, а при более низкой температуре лампа плохо зажигается; продольная трубчатая форма ламп; малая единичная мощность (до 150 – 200 Вт); значительные потери энергии в пускорегулирующих устройствах.

К разрядным лампам относятся также *дуговые ртутные лампы* (ДРЛ) высокого давления с исправленной цветностью. Они производятся двух- и четырехэлектродными мощностью от 80 до 1000 Вт. Поскольку двухэлектродные лампы нуждаются в сложном зажигающем устройстве, то более распространены четырехэлектродные.

Последняя состоит из кварцевого баллона (горелки), наполненного дозированной каплей ртути и аргоном под небольшим давлением, двух рабочих электродов и двух электродов зажигания. Зажигающие электроды соединены с соответствующими рабочими электродами через высокоомные резисторы. Горелка помещается в стеклянную колбу, заполненную азотом, с цоколем Р-27 или Р-40. Внутри колба покрыта слоем люминофора, превращающего ультрафиолетовое излучение горелки в видимое. При включении лампы возникает тлеющий разряд между каждой парой рабочих и зажигающих электродов.

тродов, в результате действия которого ионизируется газовая среда горелки, что создает условия для возникновения разряда между рабочими электродами, лампа загорается, ртуть испаряется и разряд происходит в парах ртути. Световая отдача ламп ДРЛ составляет 40 – 50 лм/Вт, срок службы до 10000 часов.

Лампы ДРЛ имеют меньшие размеры, большую мощность, чем люминесцентные, а их световой поток и зажигание не зависит от температуры окружающей среды. Но они имеют существенные недостатки – это стробоскопический эффект в результате большой глубины пульсаций светового потока (до 75%), пусковой ток превышает номинальный в 2,5 раза, процесс зажигания лампы продолжается несколько минут, а повторное зажигание возможно через 10 – 15 минут (после охлаждения горелки). Разработаны трехфазные лампы ДРЛТ, у которых глубина пульсаций не превышает 15%.

5.3 Рудничные осветительные приборы

Осветительным прибором называется устройство, имеющее источник света и осветительную арматуру. Последняя предназначена для перераспределения светового потока источника света, устранения ослепляющего действия, закрепления и подключения лампы к системе питания, защиты от механических повреждений, влаги и пыли.

В зависимости от значений телесных углов осветительные приборы разделяют на светильники (приборы ближнего действия) и прожекторы (приборы дальнего действия). Выпускаются светильники для внешнего и внутреннего освещения. В подземных выработках шахт используют рудничные светильники, а также фары и светофоры (табл.7).

Таблица 7 – Технические данные рудничных осветительных приборов

Тип	Исполнение	Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	КПД, %
РП-100М	РП	127	100	1380	60
РП-200	РП	127	200	2700	60
РВЛ-20М	РВ, 1В	127	20	980	65
РВЛ-40М	РВ, 1В	220	40	2480	68
ЛСР01-20	РВ, 1ВА	127	20	980	70
ЛСР02-40	РВ, 1ВА	220	40	2480	70
СЗВ-60	РВ, 1В	127	60	740	50
СЗВ.1.3М	РВ, 1В	127	16	150	45
СКВ-2/8У	РВ	127	8x2	240	40
Луч-2М	РВ, 1В, I	127	25	1740	40
Луч-3М	РВ, 1В, Ia	127	18	400	45
Свет-4 (проход- ческий)	РП	127	300	4250	70
СГГ-5	РП, П	3,6	3,6	30	58
СГГ.5-1М.05	РП, П, Ic	3,6	3,6	30	58
ФВУ-3	РВ	40	48	-	50
ФВУ-1К	РВ	36	18	-	50

Экономичность осветительного прибора определяет его световой КПД – отношение светового потока прибора Φ_{np} к световому потоку источника света Φ_{uc} , то есть

$$\eta_{св} = \frac{\Phi_{np}}{\Phi_{uc}} \cdot 100\%.$$

К электрическим параметрам осветительных приборов относятся их мощность и напряжение. Люминесцентные светильники низкого и высокого давления характеризуются

ются также коэффициентом мощности $\cos\varphi$ и электрическим КПД $\eta_{эл}$, учитывающий потери в пускорегулирующих устройствах (в основном – в дросселях).

Для общего освещения горных выработок применяют светильники РП-100М и РП-200 с лампами накаливания и светильники РВЛ-20М, РВЛ-40, ЛСР01-20 и ЛСР01-40 с люминесцентными лампами.

В светильниках РП-100М и РП-200 использованы лампы накаливания напряжением 127 В мощностью 100 и 200 Вт соответственно со световым потоком 1380 и 2700 лм. Световой КПД составляет 60%, а уровень взрывозащиты – РП. Технические данные рудничных светильников приведены в справочной литературе [7, 8, 9].

Светильник РП-100М (рис.31, а) состоит из корпуса 5, крышки 2, лампы 6, стеклянного колпака 7, защитной решетки 8 с фланцем для ее крепления и колпака на корпусе. Внутри корпуса крепится нарезной патрон 9, а снаружи есть два вводных устройства 4 для подведения кабеля к следующему светильнику. В последнем на линии конечном светильнике есть возможность закрытия неиспользованного вводного устройства заглушкой 10. Для предотвращения выдергивания кабеля его прижимают болтом 3, а для подвешивания светильника в верхней части корпуса предусмотрена скоба 1.

Для освещения камер, штреков, людских ходков в шахтах, опасных по газу и пыли, используются взрывобезопасные светильники РВЛ-20 и РВЛ-40, ЛСР01-20, ЛСР01-40 с лампами типа ЛБ или ЛТБ напряжением 127 и 220 В и мощностью 20 и 40 Вт. Схема зажигания – с предварительным подогревом электродов. Световой КПД светильников составляет $\eta_{св} = 0,65$; коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,5$; электрический КПД $\eta_{эл} = 0,85$.

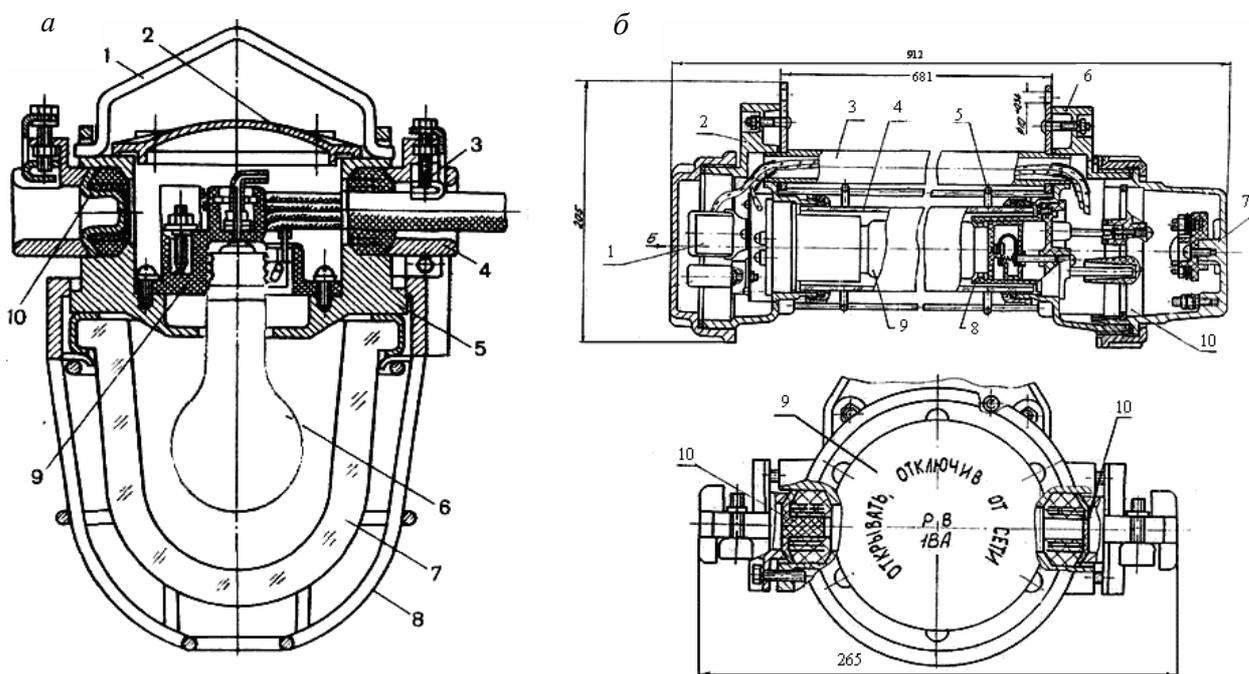


Рис.31. Рудничные сетевые светильники типов РП-100М (а) и ЛСР01-20 (б)

Рудничный светильник ЛСР01-20 (рис.31, б) состоит из двух взрывобезопасных корпусов 2 и 6, которые соединены трубкой 3. В корпуса вмонтированы патроны 8 для установки люминесцентной лампы 9, которая защищена от механических воздействий трубкой из органического стекла 4 и сеткой 5, концы которой закреплены в корпусах. К корпусу 6 крепится коробка вводов 7 с двумя вводными устройствами 10, а в корпусе 2 размещается пускорегулирующее устройство 1. Взрывобезопасность в этих светильниках достигается благодаря применению специальной блокировки. Напряжение к лампе подводится с помощью подпружиненных подвижных контактов. При разрушении стеклян-

ной трубки подвижные контакты разрывают электрическую цепь питания лампы. Размыкание цепи происходит во взрывобезопасных камерах.

Для общего освещения очистных забоев применяются взрывобезопасные светильники Луч-2М, СКВ-2/8У и СЗВ-60, а для местного освещения – взрывобезопасные фары ФВУ-1К и ФВУ-3.

Светильник Луч-2М предназначен для работы со струговыми установками. Он монтируется на скребковых конвейерах или механизированных креплениях очистных комплексов. Светильник с лампой типа ЛБ мощностью 15 Вт на напряжение 127 В имеет безподогревную схему зажигания. Световой КПД светильника составляет 40%. Блокировочное устройство светильника подобно устройству светильника ЛСР01-20. На корпусе светильника размещены кнопки "Сигнал" и "Стоп".

В светильнике типа СЗВ-60 лампа накаливания мощностью 60 Вт на напряжение 127 В защищена двумя светопропускающими колпаками. Внутренний колпак изготовлен из термостойкого стекла, внешний – из ударостойкого поликарбоната. Световой КПД светильника составляет 40%. Камера вводов имеет два вводных устройства и три зажима. Два из них для присоединения лампы, третий – для подключения транзитной жилы кабеля. Это дает возможность равномерно распределить светильники лавы по трем фазам сети. Светильник СКВ-2/8У на напряжение 127 В имеет две люминесцентные лампы ЛБУ8БЗ мощностью 8 Вт каждая с общим световым потоком 240 лм и КПД 40%.

Фары ФВУ-1К и ФВУ-3 оснащены лампами накаливания на напряжение 36 В. Они устанавливаются на комбайнах и предназначены для местного освещения забоя в зоне их работы. Питаются они от трансформаторов, размещаемых в электроблоках комбайнов. Эти фары используются также для местного освещения при проведении горизонтальных выработок. Устанавливаются они на бурильных машинах или проходческих комбайнах.

При проходке стволов применяются светильники "Свет-4" и "Проходка-2". В светильнике "Свет-4" установлена светонаправляющая лампа напряжением 127 В мощностью 300 Вт. Световой КПД равняется 0,7. Уровень взрывозащиты – РП. Взрывобезопасный светильник "Проходка-2" рассчитан на напряжение 127 В и имеет ртутную лампу ДРЛ-125 мощностью 125 Вт с КПД 60%.

Для местного освещения применяются шахтные головные аккумуляторные светильники. ПБ обязывают спуск людей в шахту, их перемещение в выработках, а также выполнение работ производить только с включенным индивидуальным светильником, который должен обеспечивать непрерывное нормальное свечение не менее 10 часов.

В настоящее время применяются головные светильники типов СГГ-1К, СГГ-5, СГГ-5-1, СГД-5, СГД-5-1 и СГГ-3 с герметической аккумуляторной батареей; СЦС, СГМ.1 и СМГВ с сигнализатором метана, а также сигнальные и индикаторные СКС-1К, СИ-1 и СИ-2. Все они имеют уровень взрывозащиты – РП. В светильниках установлена лампа накаливания с рабочей нитью накаливания на 1 А и резервной – на 0,5 А. Они отличаются между собой типом аккумуляторной батареи и незначительными конструктивными особенностями.

Головной аккумуляторный светильник СГГ-5 (рис.32) состоит из корпуса 6 с батареей 7, крышки 3, фары 1 и двужильного соединительного шнура 2. Крышка 3 крепится к корпусу винтами 4. В пластмассовом корпусе фары 14 установлены лампа 13, контактная система и переключатель 8 для включения рабочей или резервной нити накаливания. Отражатель 11 и защитное стекло 10 прижимаются к корпусу фары набросной гайкой 9. Для исключения раскрытия фары в шахте в гайку 9 вкручивают стопорный винт 12 и проводом диаметром не менее 1 мм пломбируют методом сварки. На корпусе есть две скобы 5, с помощью которых светильник закрепляется на поясе рабочего.

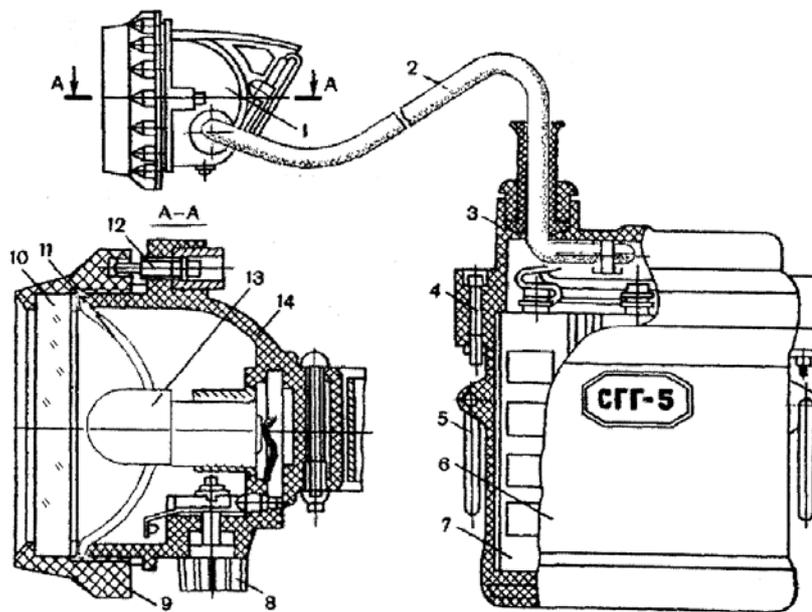


Рис.32. Головной аккумуляторный светильник СГГ-5

Сигнальные светильники СКС-1К используются для светового ограждения подвижного состава рельсового транспорта в шахтах. Они состоят из фар с колпаками красного цвета и аккумуляторной батареи, соединенной двухжильным шнуром. Светильник крепится к борту вагонетки с помощью пружин.

5.4 Светотехнические и электротехнические расчеты

Светотехнические расчеты выполняют для определения необходимого количества и мощности светильников с целью обеспечения заданной минимальной освещенности E_{\min} помещений (выработок) согласно гигиеническим нормам, приведенным в ПТЭ. При этом равномерность освещения горных выработок в одной плоскости на расстоянии 0,75 м между двумя точками должна быть не менее чем 0,1 – 0,3, а в случае необходимости необходимо принять меры по снижению ослепляющего действия светильников.

Для выполнения этих требований ПТЭ регламентируются расстояния между светильниками в зависимости от конкретной выработки и мощности светильника [14, 7, 2]. Поэтому можно определить необходимое количество светильников нужной мощности для освещения выработки. Иногда необходимо выполнить расчеты освещения в местах, для которых отсутствуют рекомендации ПТЭ. В этом случае используются методы: точечный, светового потока и удельной мощности.

Точечный метод позволяет определить освещенность любой точки поверхности. Для этого необходимо иметь кривую распределения силы света принятого светильника и знать расстояние от светильника до расчетной точки. Этот метод не учитывает отраженный световой поток, поэтому он применяется для расчетов освещения в помещениях с низкими коэффициентами отражения стен и потолка.

Если источник света А освещает перпендикулярно расположенную к лучу I_α плоскость ВС (рис.33), то нормальная освещенность в точке О на этой плоскости $E = I_\alpha / R^2$.

Освещенность в точке в горизонтальной плоскости

$$E_z = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h^2},$$

где I_α – сила света под углом α , определяемая по кривой силы света принятого типа светильника с условной лампой 1000 лм (табл.8).

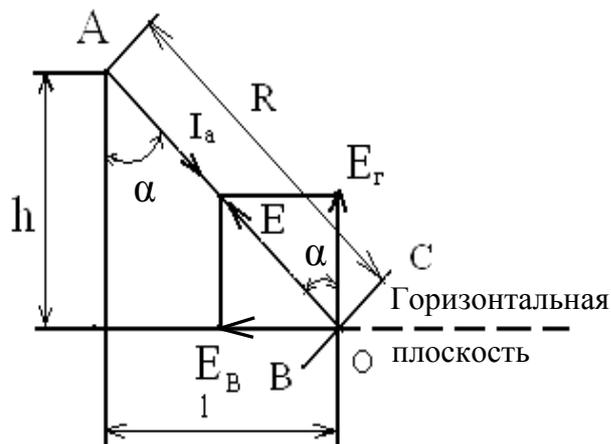


Рис.33. Схема для расчета освещенности точечным методом

Таблица 8 – Сила света рудничных светильников

Угол с осью светильника, град	Сила света светильника, кд			
	РВЛ – 20 ЛСП – 20	РВЛ – 40 ЛСП – 40	РВЛ – 20 ЛСП – 20	РВЛ – 40 ЛСП – 40
	в продольной плоскости		в поперечной плоскости	
0		95		
10	52	92	52	95
20		85		
30		75		
40	43	63	50	95
50		45		
60		32		
70	20	10	50	95
80		4		
90		0		
100	0	3	50	95
110		5		
120		5		
130	8	5	50	95
140		10		93
150		12		87
160	20	15	48	74
170		18		58
180		20		34
	24	20	24	20

Для перехода к реальной лампе вводят коэффициент перехода $C = \Phi_{пл} / 1000$, а также коэффициент запаса $k_3 = 1,2-2,0$, который учитывает загрязнение светильника.

Тогда освещенность в горизонтальной и вертикальной плоскостях составит:

$$E_2 = \frac{CI_\alpha \cos^3 \alpha}{k_3 h^2}; \quad E_g = \frac{CI_\alpha \cos^3 \alpha \sin \alpha}{k_3 h^2} = E_2 \operatorname{tg} \alpha.$$

Если точка O на поверхности освещается несколькими светильниками n , то

$$E_2 = \frac{nCI_\alpha \cos^3 \alpha}{k_3 h^2}.$$

Для расчета освещенности в подземных выработках можно принять $n = 2$.

Полученные результаты расчета сравнивают с нормами освещенности:

$$E_2 \geq E_{2\min}; \quad E_g \geq E_{g\min}.$$

Если нормативная освещенность не обеспечивается, то принимают светильники большей мощности или при той же мощности светильников уменьшают расстояние между ними. Потом расчет повторяют до выполнения вышеприведенного условия.

Метод светового потока учитывает свет, отраженный от стен и потолка, и его целесообразно применять при расчетах освещения в помещениях со светлыми стенами и потолками, которые имеют коэффициент отражения 0,3 и выше. В шахте к таким помещениям принадлежат побеленные камеры ЦПП, ГВУ, ожидания и др.

Для освещения площади S со средней освещенностью E_{cp} необходим такой световой поток:

$$\Phi = \frac{k_3 E_{\min} S}{z_0 \eta_0},$$

где E_{\min} – минимальная освещенность; $k_3 = 1,2 - 2$ – коэффициент запаса; $z_0 = E_{\min} / E_{cp}$ – коэффициент минимальной освещенности, который принимается 0,7 – 0,8; η_0 – коэффициент использования осветительной установки, определяемый по таблицам в справочниках по светотехнике в зависимости от типа светильника и показателя помещения i :

$$i = \frac{AB}{h(A+B)},$$

где A, B – длина и ширина помещения; h – высота подвеса светильников.

По показателю помещения, типу светильника и коэффициентам отражения стен и потолка по таблицам определяют коэффициент использования осветительной установки.

При заданном типе светильника и его известном световом потоке Φ_l рассчитывается необходимое их количество, то есть

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_l \eta_{ce}} = \frac{k_3 E_{\min} S}{z_0 \eta_0 \eta_{ce} \Phi_l},$$

а затем выбирается схема их размещения в помещении. Для обычных помещений расстояние между светильниками рекомендуется принимать $(1,5 - 2,0)h$.

Однако с помощью этого метода невозможно определить равномерность освещения помещения.

Метод удельной мощности применяют при ориентировочных расчетах освещения. Значение удельной мощности (то есть мощности, приходящейся на m^2 освещаемой поверхности) зависит от вида и назначения освещаемых выработок (то есть от нормируемой освещенности), типа светильников и высоты их подвеса. Это значение устанавливается на основе практических или экспериментальных данных освещения горных выработок (табл.9).

Если известны площадь S освещаемой поверхности и удельная мощность p_y , то общая мощность P ламп всех светильников определяется: $P = p_y S$.

Таблица 9 – Значения удельной мощности

Выработка	Удельная мощность, Вт/м ²
Очистные и подготовительные забои	5
Штреки с механизированной откаткой и доставкой	3
Главные откаточные пути	1–2
Электромашинные камеры	8 – 10
Околоствольный двор	6 – 8
Вспомогательные выработки и ходки с неинтенсивным движением	1

Затем рассчитывается количество светильников для освещения помещения:

$$n = \frac{P}{P_l \eta_{эл}},$$

где P_l – мощность лампы принятого светильника.

Согласно требованиям ПБ осветительные установки должны питаться при напряжении не более 220 В, а осветительные установки очистных выработок и светильники местного освещения с лампами накаливания, встроенными в горные машины, – напряжением не выше 127 В. *Электротехнические расчеты* выполняют для определения мощности осветительного трансформатора, запитывающего светильники, сечений кабельных линий, уставок максимальных реле или плавких вставок предохранителей для защиты осветительной сети.

Расчетная мощность осветительного трансформатора (пускового агрегата, осветительного аппарата) $S_{m.p}$ (кВА) при питании:

- светильников с лампами накаливания

$$S_{m.p} = \frac{P_n n_i}{1000 \eta_m};$$

- светильников с люминесцентными лампами

$$S_{m.p} = \frac{P_l n_j}{1000 \eta_c \eta_{эл} \cos \varphi_{св}};$$

- при одновременном применении светильников с лампами накаливания и люминесцентными лампами

$$S_{m.p} = \frac{10^{-3}}{\eta_c} \sqrt{\left(P_n n_i + \frac{P_l n_j}{\eta_{эл}} \right)^2 + \left(\frac{P_l n_j}{\eta_{эл}} \operatorname{tg} \varphi_{св} \right)^2},$$

где P_n, P_l – мощности ламп (Вт) накаливания и люминесцентной соответственно; n_i, n_j – количество ламп накаливания и люминесцентных соответственно; $\eta_c = 0,92-0,95$ – КПД сети; $\eta_{эл}$ и $\cos \varphi_{св}$ – электрический КПД и коэффициент мощности светильника.

Если расчетная мощность трансформатора более 4 кВА, то принимают два трансформатора или больше, но каждый должен питать отдельную осветительную сеть.

В настоящее время для питания осветительных установок выпускаются взрывобезопасные трансформаторы ТСШ-4/0,7 и ТСШ-4/0,7-38 мощностью 4 кВА. Первичная обмотка трансформатора может быть соединена в звезду или треугольник для подключения в сеть 660 или 380 В соответственно. Вторичную обмотку можно соединить в треугольник для напряжения 133 В или в звезду для 230 В.

Для питания осветительной сети при напряжении 127 В используют также пусковые агрегаты типа АПШ. Однако следует отдавать предпочтение взрывобезопасным осветительным аппаратам АОС-4 и АОС-4В на первичное напряжение 380, 660 В (АОС-4) и 660, 1140 В (АОС-4В). Они включают в себя осветительный трансформатор мощностью 4 кВА, автоматический выключатель, магнитные пускатели ПМЕ-211 и блоки защиты от токов КЗ в осветительной сети, от токов утечки на землю при снижении сопротивления изоляции ниже допустимого значения, от замыканий и разрыва жил дистанционного управления, от подачи напряжения на поврежденную осветительную сеть.

В осветительных аппаратах осуществлена стабилизация выходного напряжения с помощью полупроводниковых переключателей на трех тиристорах, которые автоматически переключают выводы на вторичной обмотке трансформатора при изменении напряжения на первичной обмотке.

В последнее время разработаны шахтные взрывобезопасные источники питания (ИПШ) для ручных электросверл, цепей освещения и устройств автоматики. Источники имеют три независимых канала питания нагрузки, МТЗ с плавным регулированием ее уставок и защиту обслуживающего персонала от поражения электрическим током.

Торезким электротехническим заводом разработаны шахтные осветительные агрегаты типа АШТ-О и пусковые типа АШТ-П. Электрическая схема АШТ-О обеспечивает защиту от токов КЗ в отходящих силовых цепях и в первичной цепи силового трансформатора; защиту от токов утечки на землю; защиту от обрыва или увеличения сопротивления цепи заземления; нулевую защиту. Электрическая схема АШТ-П обеспечивает защиту от токов КЗ в силовых цепях отходящих присоединений и в первичной обмотке силового трансформатора; защиту от перегрузки и токов утечки на землю; блокировку включения отходящего присоединения при снижении его сопротивления изоляции ниже критического; защиту от потери управляемости при обрыве или замыкании в цепи дистанционного управления и защиту от увеличения сопротивления цепи заземления; нулевую защиту, защиту от самовключения при увеличении напряжения питающей сети. На каждом присоединении возможно реверсирование ручного электроинструмента.

Основные технические данные всех рассмотренных источников питания для освещения приведены в литературе [2, 7–9].

Сечение кабеля осветительной сети выбирают таким, чтобы отклонение напряжения на зажимах наиболее отдаленных от источника питания ламп не превышало 4% от номинального, а именно:

$$S = \frac{100PL}{\gamma U_{ном}^2 \Delta U\%} = \frac{M}{c \Delta U\%},$$

где $\gamma = 53$ См/м – удельная проводимость меди; $c = \frac{\gamma U_{ном}^2}{100}$ – коэффициент осветительных линий, выполненных кабелем с медными жилами (справочные данные); M – момент нагрузки, который зависит от способа размещения светильников:

- при сосредоточенной нагрузке в конце линии

$$M = PL;$$

- для линии с несколькими рассредоточенными нагрузками

$$M = P_1 L_1 + P_2 L_2 + \dots + P_n L_n;$$

- для линий с равномерно распределенной нагрузкой

$$M = \frac{\sum PL}{2},$$

где P – нагрузка, кВт; L – длина линии, м; L_1, L_2, \dots, L_n – длина отрезков линии от места присоединения нагрузки до источника питания, м; $\sum P$ – суммарная мощность всех светильников, кВт.

Для питания светильников в лавах принимают гибкие четырехжильные кабели с сечением рабочей жилы до 6 мм², а для стационарного освещения выработок могут применяться бронированные кабели с бумажной изоляцией и сечением до 10 мм² (свинцовая оболочка используется как заземляющая жила). Кабели осветительной сети не проверяют по допустимой токовой нагрузке, поскольку наибольший ток нагрузки источника питания, мощность которого составляет 4 кВА, меньше допустимого по нагреву тока кабеля с минимальным сечением жил 2,5 мм² (допустимым для использования в шахтах).

Уставки максимальных реле и номинальные токи плавких вставок предохранителей для защиты осветительной сети определяются согласно требованиям ПБ.