

ЛЕКЦИЯ 4

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

4.1 Общие сведения

Рациональное электрическое освещение имеет большое значение для обеспечения нормальных условий труда на ОГР. "Правильное" освещение способствует повышению производительности труда и улучшению качества продукции, повышению безопасности работ, сокращению аварий и несчастных случаев, снижению утомляемости рабочих.

Современное состояние светотехники позволяет создать такое искусственное освещение, которое дает возможность производить горные работы круглосуточно, создает хорошую обзораемость всей территории, отдельных забоев, конвейерных линий, отвалов и т.д. При устройстве электрического освещения на ОГР необходимо учитывать следующие особенности: освещение должно быть эффективно при любой погоде (дождь, снег, туман, испарение и запыленность воздуха в забоях); освещению подлежат большие рабочие площади с постоянно изменяющимися размерами в плане и по глубине; возможность разрушения осветительного оборудования и обрыва питающих сетей при взрывных работах.

Основными световыми величинами являются: световой поток, сила света, освещенность и яркость. *Световой поток Φ* – мощность лучистой энергии, оцениваемая по производимому ею световому ощущению. Распределение светового потока реального источника излучения в окружающем пространстве характеризуется силой света.

Сила света I – угловая пространственная плотность светового потока, равная отношению светового потока Φ к телесному углу ω , в котором равномерно распространяется излучение: $I = \Phi / \omega$. Телесный угол измеряется отношением площади S , которую он вырезает на поверхности сферы, описанной из его вершины, к квадрату радиуса r этой сферы: $\omega = S / r^2$. Единица телесного угла – стерадиан (ср).

Единицей силы света служит кандела (кд): $1 \text{ кд} = 1 \text{ лм} \cdot \text{ср}^{-1}$, которая определяется как сила света, излучаемая в перпендикулярном направлении элементом поверхности черного тела $1:600000 \text{ м}^2$ при температуре затвердения платины.

Освещенность E – плотность светового потока излучения Φ на площади освещаемой поверхности S : $E = \Phi / S$. Единица освещенности люкс (лк). Освещенность не зависит от свойств самой поверхности: формы, цвета, светлоты. Одинаковый световой поток создает равную освещенность на темной и светлой поверхностях при равенстве их площадей. Освещенность поверхности будет равна 1 лк, если на каждый 1 м^2 ее площади упадет световой поток в 1 лм, т.е. $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} / 1 \text{ м}^2$.

Яркость L – отношение силы света I_α в данном направлении к площади S проекции излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению: $L = I_\alpha / S \cdot \cos\alpha$; единица яркости кд/м².

Характеристикой распределения силы света в пространстве является кривая силы света. Распределение силы света может быть задано также и в виде таблиц зависимости силы света I_α от угла α . Для сравнения кривых силы света разных светильников их строят для условной лампы со световым потоком $\Phi_y = 1000 \text{ лм}$.

4.2 Электрические источники света

По принципу преобразования электрической энергии в энергию видимых излучений источника света на тепловые и газоразрядные. К тепловым относятся лампы накали-

вания ЛН и КГ, к газоразрядным – люминесцентные, дуговые ртутные высокого давления ДРЛ, металлогалогенные ДРИ, дуговые ксеноновые трубчатые ДКсТ, натриевые лампы.

К основным электрическим и световым характеристикам, которые необходимо учитывать при выборе источников света, относятся: срок службы; единичная мощность; световая отдача (лм/Вт), характеризующая экономичность источника света и определяемая отношением светового потока Φ к потребляемой мощности P : $C = \Phi/P$; спектральный состав (цветность излучения).

Лампы накаливания (ЛН) являются тепловыми источниками света, светоизлучателем в которых служит вольфрамовая нить, помещенный в вакуум или инертную среду. В осветительных установках зданий, сооружений и открытых пространств применяют ЛН общего назначения, изготавливаемые в диапазоне мощностей 15-1500 Вт на напряжение 127 и 220 В. Световая отдача возрастает с увеличением их мощности и у ламп 220 В находится в пределах 7 (15Вт) – 19,5 лм/Вт (1500Вт). Световая отдача ламп на 127 В на 10-12% выше. Средний срок службы ЛН 1000 ч, выпускают лампы на повышенное напряжение 135 и 235 В, имеющие срок службы 2500 ч и пониженные на 15-20% световые характеристики. Эти лампы применяют в труднодоступных осветительных установках, в производственных помещениях, для дежурного и охранного освещения, в сетях которых напряжение может длительно превышать номинальное. Для прожекторов выпускают ЛН, имеющие концентрированное в одной плоскости тело накала, обеспечивающее яркий узкий пучок света. Прожекторные лампы ПЖ имеют срок службы 400 ч и светоотдачу 17 лм/Вт. Для освещения рабочих мест и переносного освещения выпускаются ЛН местного освещения на напряжение 12 и 36 В мощностью до 100 Вт. Кроме того, выпускаются ЛН специального назначения, отличающиеся номинальными значениями мощности и напряжения, формой колбы и цоколя; к ним относятся лампы для судов, самолетов, автомобилей и рудничные ЛН для использования в аккумуляторных светильниках, а также в фарах, установленных на электровозах, погрузочных машинах и т.д.

ЛН очень чувствительны к отклонениям напряжения в питающей сети. При изменении напряжения на лампе на 1% световой поток изменяется на $\pm 3,7\%$, световая отдача – на $\pm 2,2\%$ и срок службы – на $\pm 14\%$. Преимущества ЛН – простота устройства и схемы включения, низкая стоимость, надежность и удобство в эксплуатации, недостатки – низкая экономичность и малый срок службы.

Лампа КГ (кварцевая галогенная) представляет собой трубку из кварцевого стекла, с обоих концов заканчивающуюся цоколями или гибкими токопроводами с наконечниками. В трубке коаксиально на вольфрамовых проволочных держателях смонтирована нить накала. Газовое наполнение ламп – аргон, ксенон, а в качестве галогенной добавки используют йод, бромистый метил или бромистый метилен. Промышленностью выпускаются лампы КГ мощностью от 1 до 20 кВт, напряжением 220-240 В со световой отдачей 22 лм/Вт и сроком службы 2500-3000 ч. Лампы КГ применяются в светильниках и прожекторах для освещения ОГР и больших производственных площадей.

Основными преимуществами галогенных ламп по сравнению с ЛН и другими источниками света являются: непосредственное включение в сеть, малые габариты и масса, повышенные срок службы и светоотдача, нечувствительность к резким перепадам температур и влажности.

Газоразрядные лампы основаны на использовании видимого излучения, возникающего вследствие электрического разряда в газах, парах металлов и их смесях. К таким источникам света относятся люминесцентные, дуговые ртутные, ксеноновые и натриевые лампы.

Люминесцентная лампа (ЛЛ) представляет собой трубку, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором. По концам трубки впаяны вольфрамовые нити, присоединенные к двухштырьковым цоколям. В трубку вводят дозированное количество ртути и инертный газ, основное назначение которого – облегчение зажигания и уменьшение распыления нитей в процессе горения. Возникающее при электрическом разряде в парах ртути ультрафиолетовое излучение, воздействуя на люминофор, преобразуется в видимое излучение. Изменением состава люминофора достигается изменение спектрального состава видимого излучения ламп.

ЛЛ получили наибольшее распространение в осветительных установках и по своим характеристикам значительно отличаются от ЛН. В настоящее время выпускают ЛЛ дневного света (ЛД), белого (ЛБ), дневного света улучшенной цветопередачи (ЛДЦ), белого света улучшенной цветопередачи (ЛБЦ), а также естественной цветности (ЛЕЦ). Лампы по форме изготавливают прямыми (8, 15, 20, 30, 40, 65, 80 и 150 Вт), U-образными (8-80Вт), W-образными (30 Вт) и кольцевыми (20-40 Вт). Средний срок службы ЛЛ 10000 ч, световая отдача 45-60 лм/Вт. Наиболее экономичны лампы белого света ЛБ, срок службы которых составляет 15000 ч и светоотдача 75 лм/Вт.

Преимущества ЛЛ – высокая экономичность, разнообразная цветность излучения, большой срок службы; недостатки – сложность включения, ограниченная мощность, зависимость световых характеристик от температуры окружающей среды, пульсации светового потока, ухудшающие условия зрительного восприятия движущихся предметов ("стробоскопический эффект").

ЛЛ рассчитаны на работу при температуре 18-25 °С. При низких температурах снижается световая отдача и ухудшается зажигание, при высоких – световая отдача также падает. Для таких условий применяют специальные амальгамные лампы (ЛБА), дающие максимальную светоотдачу при повышенной температуре. Для зажигания и обеспечения устойчивой работы ламп применяют включение последовательно с ними пускорегулирующих аппаратов (ПРА). Схемы ПРА подразделяют на стартерные аппараты (УБ) и бесстартерные (АБ). Кроме того они разделяются на индуктивные (И), емкостные (Е) и компенсированные (К) с пониженным (П) и особо низким (ПП) уровнями шума. В одноламповых светильниках устанавливают аппараты УБИ и АБИ, в светильниках с четным числом ламп – двухламповые компенсированные аппараты 2УБК, 2АБК.

Схема включения ЛЛ в сеть показана на рис.30, а. Последовательно с лампой включен дроссель LL (УБИ), а параллельно – стартер SA, служащий для автоматизации подогрева электродов лампы при ее включении. В схему включены конденсатор С1 для повышения коэффициента мощности и конденсаторы С2, С3 и С4 для снижения уровня радиопомех. Дроссель и конденсаторы комплектуются в ПРА. При включении лампы в сеть между электродами стартера возникает тлеющий разряд, нагревающий биметаллический электрод, который замыкается с другим электродом стартера. При этом электроды разогреваются и начинают ионизировать газ в трубке. При закороченных электродах стартера они остывают и разрывают цепь тока. Возникающий при размыкании цепи импульс повышенного напряжения в обмотке дросселя зажигает лампу.

В осветительных установках с ЛЛ наиболее широко применяются двухламповые стартерные ПРА по схеме с расщепленной фазой типа 2УБК (рис.30, б). В цепь одной лампы включены дроссель и конденсатор, вследствие чего одна из ламп питается током, отстающим по фазе от напряжения, а другая – питается током, опережающим по фазе напряжение. При этом пульсации световых потоков ламп сдвигаются во времени и суммарный световой поток становится почти постоянным, а пульсации – незаметными для глаза. Коэффициент мощности такого ПРА не ниже 0,92.

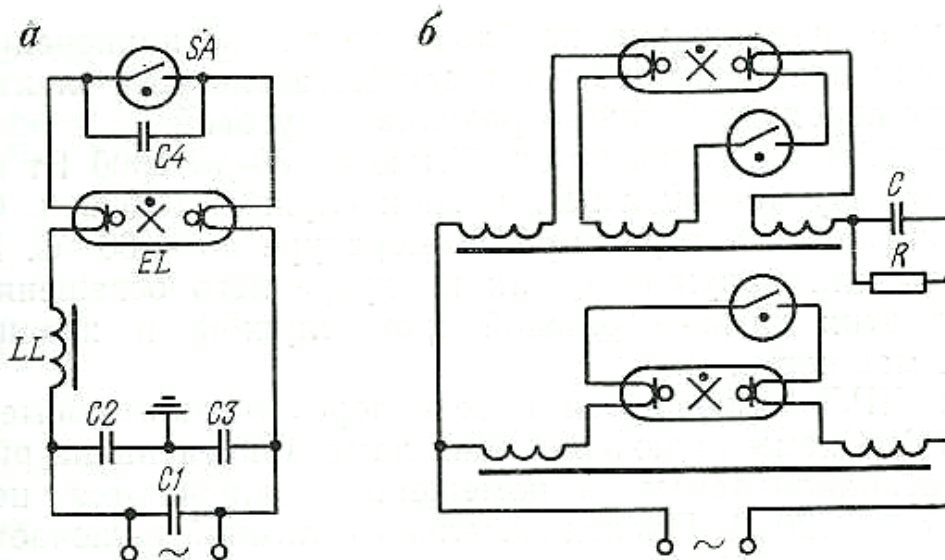


Рис.30. Схемы зажигания люминесцентных ламп: а – от однолампового ПРА; б – от двухлампового ПРА.

Дуговые ртутные лампы высокого давления с исправленной цветностью типа ДРЛ представляют собой колбу 1, внутри которой установлена кварцевая разрядная трубка 2 с парами ртути и аргона при давлении $(2-5) \cdot 10^5$ Па, в которую впаяны основные 3 и зажигающие электроды 4 (рис.31, а). Зажигающие электроды соединены с противоположными основными электродами через высокоомные резисторы. При включении лампы в цепь переменного тока возникает тлеющий разряд между основными и зажигающими электродами. Электроны из этого вспомогательного тлеющего свечения ускоряются полем в основной промежутке, вследствие чего возникает пробой и устанавливается разряд между основными электродами. Процесс разгорания лампы и стабилизации ее параметров наступают через 7-10 мин после включения, что является ее недостатком.

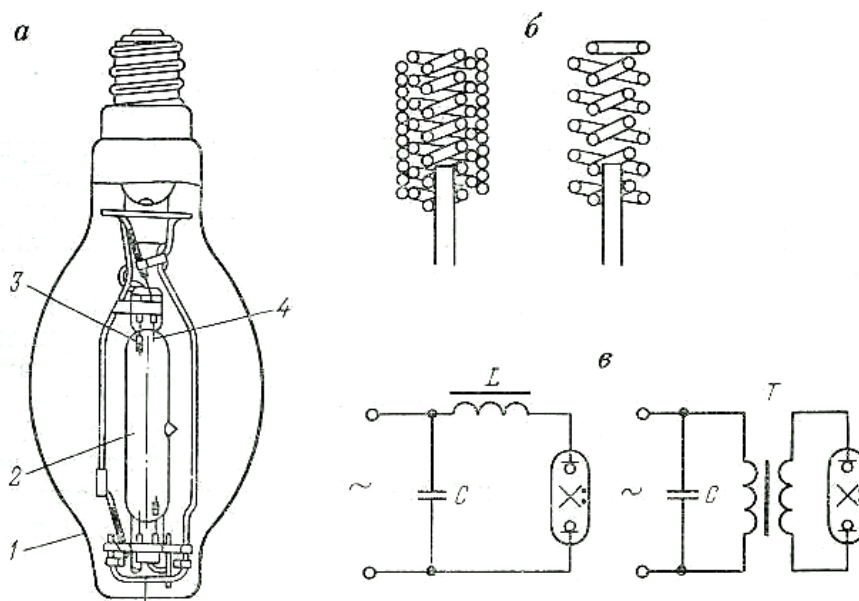


Рис.31. Дуговая ртутная лампа ДРЛ: а – устройство лампы; б – варианты конструкций полых катодов; в – схемы включения ламп.

В современных разработках ДРЛ применяют основные электроды с полостями (рис.31, б). Эффект полого катода на десятки вольт снижает напряжение, необходимое

для возникновения тлеющего разряда между основными и вспомогательными электродами, и облегчает переход тлеющего разряда в дуговой.

Лампы ДРЛ выпускают мощностью от 80 до 1000 Вт и имеют световую отдачу 40-60 лм/Вт и срок службы 15000 ч. Они надежно зажигаются и горят при температуре до -60°C . Их применяют как для наружного, так и внутреннего освещения. Преимущества этих ламп – большой срок службы и значительная единичная мощность.

Лампы ДРЛ включаются в сеть через одноламповые индуктивные ПРА. Схемы включения этих ламп приведены на рис.31, в. Лампы, устанавливаемые в помещении, включаются непосредственно в сеть 220 В. Последовательно с лампой включается балластный дроссель, обеспечивающий зажигание и нормальную работу ламп.

Металлогалогенные лампы ДРИ (дуговая ртутная с иодидами) – это усовершенствованные лампы ДРЛ. В отличие от ламп ДРЛ в разрядную трубку ламп ДРИ вводятся добавки к парам ртути в виде йодидов металлов – натрия, таллия или индия. Эти добавки обеспечивают повышенную светоотдачу и улучшенную цветопередачу; выпускаются мощностью от 250 до 3500 Вт со световой отдачей 75–100 лм/Вт и продолжительностью горения до 9000 ч. Лампы используются для освещения открытых пространств, железнодорожных станций, стадионов, заводских территорий, а также больших помещений различного назначения (концертные залы, телестудии и т.п.), в которых требуется обеспечение правильной цветопередачи. Лампы ДРИ включают в сеть через ПРА, состоящий из балластного дросселя и полупроводникового импульсного зажигающего устройства. Разгораются лампы ДРИ быстрее, чем лампы ДРЛ.

Дуговые ксеноновые трубчатые лампы ДКсТ являются наиболее мощными газоразрядными источниками света, применяемыми для освещения ОГР. Лампы ДКсТ изготавливаются мощностью от 2 до 100 кВт; их световая отдача до 45 лм/Вт. Ксеноновая лампа представляет собой прямую трубку 1 из кварцевого толстостенного стекла, заполненную ксеноном (рис.32, а). С обоих концов трубки вмонтированы электроды 2 из торированного вольфрама, служащие для подключения лампы к электрической сети.

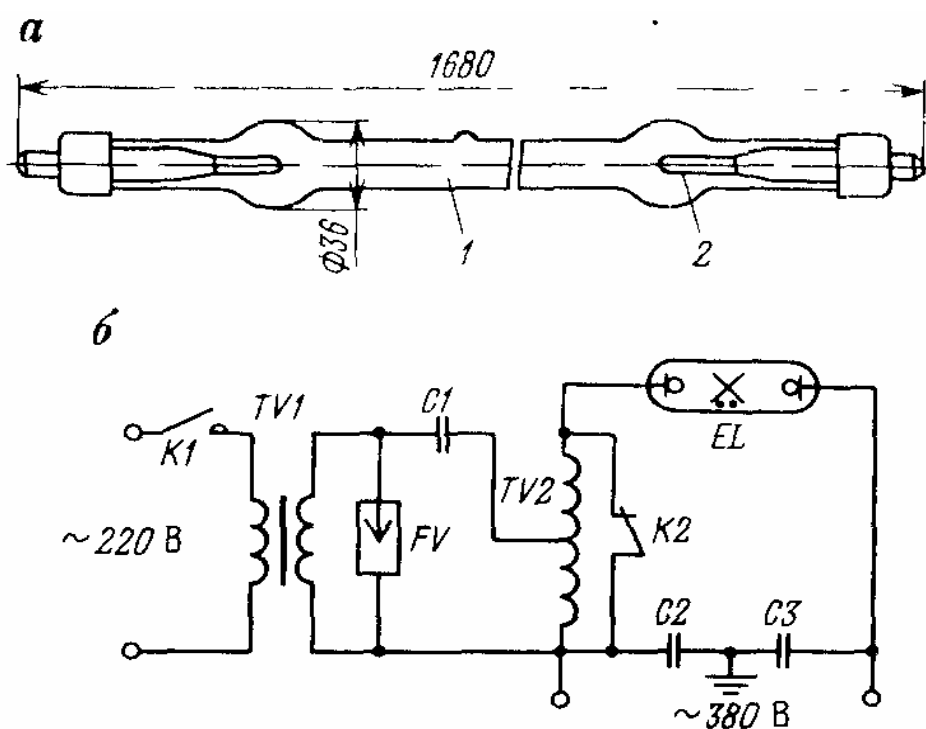


Рис.32. Дуговая ксеноновая трубчатая лампа ДКсТ-10000 (а) и схема включения (б)

Температура внешней среды не оказывает влияния на зажигание и горение лампы. Средний срок службы ламп 1350 ч, а при стабилизации напряжения – 3000 ч. Спектральный состав света ксеноновых ламп наиболее близок к естественному солнечному свету, что создает хорошие условия освещения. Большая единичная мощность ламп позволяет осветить большое открытое пространство глубоких карьеров и отвалов, строительных площадок, железнодорожных станций, обеспечивая при этом значительную экономию средств и материалов. Недостатки ламп – сложность пускового устройства, большая пульсация светового потока, повышенное ультрафиолетовое излучение. В настоящее время начат выпуск ламп в колбе из легированного кварца типа ДКсТЛ, в которых последний недостаток устранен.

Лампа ДКсТ зажигается от специального пускового устройства, в основу которого положен принцип искрового генератора (рис.32, б). При включении устройства в сеть напряжение со вторичной обмотки трансформатора TV1 подается на конденсатор С1. При достижении на конденсаторе напряжения, равного напряжению пробоя разрядника FV, он разряжается на первичную обмотку импульсного трансформатора, в которой индуктируются высоковольтные высокочастотные импульсы напряжения, приложенные к электродам лампы. Происходит пробой разрядного промежутка лампы, и она зажигается. После зажигания искровой генератор отключается, а вторичная обмотка трансформатора TV2 шунтируется. Конденсаторы С2, С3 служат для защиты сети от импульса высокого напряжения, возникающего при зажигании лампы. Величина напряжения импульса при зажигании лампы достигает 20–25 кВ. Поэтому изоляция провода, соединяющего лампу с пусковым устройством, должна выбираться из расчета на номинальное напряжение 25 кВ. Пусковое устройство устанавливается у основания прожекторной мачты и монтируется в пылевлагонепроницаемом металлическом шкафу.

Натриевые лампы выпускаются низкого и высокого давления, отличаются друг от друга световой отдачей и спектральным составом излучения. Натриевые лампы низкого давления (0,5–1,2 Па) имеют световую отдачу 150 лм/Вт. Однако излучаемый ими желтый свет делает их малопригодными для общего освещения. Натриевые лампы высокого давления (27 кПа) имеют сплошной спектр, излучая золотисто-белый свет. Выпускаются лампы ДНаТ (дуговая натриевая трубчатая) мощностью 250–1000 Вт, световой отдачей 90–120 лм/Вт и сроком службы до 15000 ч. Лампа ДНаТ-400 состоит из прямой разрядной трубки, смонтированной внутри внешней колбы из тугоплавкого стекла. Разрядная трубка лампы выполняется из светопропускающего (до 90%) керамического материала – поликристаллической окиси алюминия или монокристалла сапфира, стойких к парам натрия при высоких температурах и давлении. Внутри трубки вводятся дозированные количества амальгамы натрия, ртути и инертного газа (аргон, ксенон). Торцы трубки закрыты металлокерамическими (с использованием ниобия) элементами с укрепленными на них активированными вольфрамовыми электродами. Для зажигания ламп ДНаТ применяются унифицированные импульсные зажигающие устройства, аналогичные тем, которые используются для зажигания ламп ДРИ. Высокая световая отдача, малые габариты, высокая яркость и большой срок службы натриевых ламп высокого давления открывают широкие возможности для их широкого применения в осветительных установках.

4.3 Осветительные приборы ОГР

Осветительный прибор состоит из источников света и осветительной арматуры. Осветительная арматура предназначена для рационального перераспределения светового

потока ламп, защиты их от загрязнений и механических повреждений, крепления ламп и подвода напряжения питания.

Осветительные приборы разделяют на приборы ближнего действия (светильники) и приборы дальнего действия (прожекторы).

Основными параметрами светильника являются: класс светораспределения силы света, коэффициент полезного действия, защитный угол и конструктивное исполнение.

Светильники по характеру светораспределения разделяются на 5 классов: П – прямого света, у которых более 80% светового потока направлено в нижнюю полусферу; Н – преимущественного прямого света (60-80%), Р – рассеянного света (40-60%), В – преимущественно отраженного света (20-40%) и О – отраженного света (меньше 20%). Установлено семь типовых кривых силы света: К – концентрированная, Г – глубокая, Д – косинусная, Л – полуширокая, Ш – широкая, М – равномерная и С – синусная.

Экономичность светильника характеризуется его КПД $\eta_{св}$, под которым понимается отношение светового потока $\Phi_{св}$, выходящего из светильника, к световому потоку ламп $\Phi_{л}$, установленных в этом светильнике: $\eta_{св} = (\Phi_{св} / \Phi_{л}) \cdot 100\%$. КПД серийных светильников составляет 40-90%.

Для ограничения слепящего действия светильников в них предусматривается защитный угол γ , образуемый горизонталью и линией, касательной к светящемуся телу лампы и краю отражателя (рис.33, а). Угол γ характеризует зону, в пределах которой глаз наблюдателя защищен от прямого действия лампы. Чем больше защитный угол, тем меньше слепящее действие оказывает источник света. Минимальный угол γ светильников принимается равным 15° .

Наружное освещение открытых пространств на ОГР, автодорог и подъездных путей, распредпунктов и подстанций производится светильниками с лампами накаливания типов СПО, СПП, СЗП, рассчитанными на установку ламп мощностью 150-500 Вт и имеющими симметричное широкое или равномерное светораспределение. С лампами ДРЛ применяют светильники подвесные типов СПП, СПОР, СПОГ, СЗПР и консольные типов СКЗР, РКУ, ЖКУ и СКЗПР. Кривая распределения силы света светильника СПО-300 наружного освещения показана на рис.33, б.

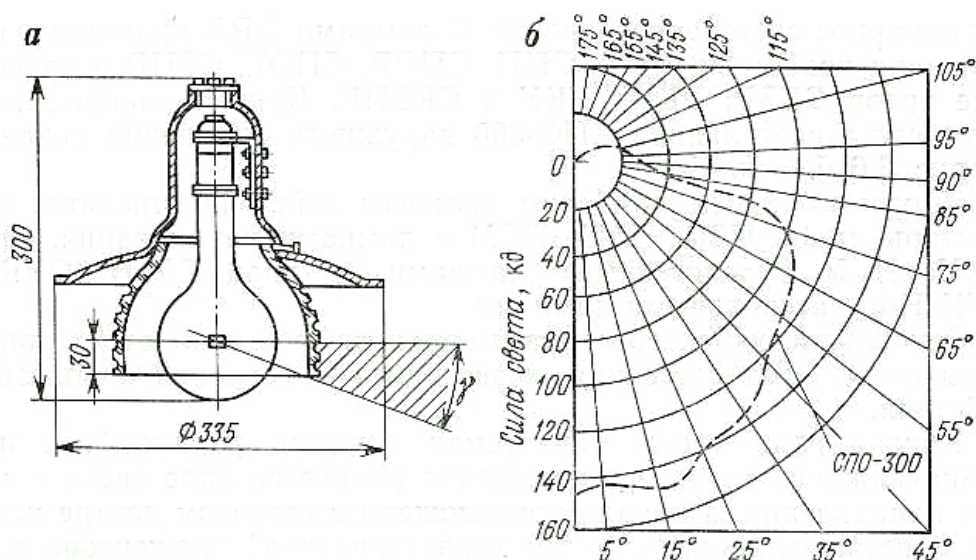


Рис. 33. Светильник СПО-300, его защитный угол (а) и кривая распределения силы света (б)

К осветительным приборам дальнего действия относятся прожекторы типов ПЗС, ПЗМ, ПСМ с лампами накаливания, типов ПКН, ИСУ, с галогенными лампами и типов СКсН, ОУКсН, ОУКсНФ с ксеноновыми лампами.

Основными характеристиками прожекторов являются: кривая силы света, угол рассеяния, коэффициенты усиления и полезного действия.

Кривая силы света является основной характеристикой прожектора и определяет распределение светового потока от источника в различных угловых зонах. Кривая силы света прожекторов изображается в полярной или прямоугольной системе координат. Угол рассеяния – угол, на границе которого сила света составляет 10% максимальной осевой силы света прожектора. Этот угол у прожекторов составляет 25-35°. Коэффициент усиления прожекторов – отношение максимальной силы света I_{\max} к средней сферической силе света $I_{\text{ср.сф}}$ применяемого источника: $k = I_{\max} / I_{\text{ср.сф}}$, где $I_{\text{ср.сф}} = \Phi_{\text{л}} / 4\pi$.

На ОГР наибольшее распространение получили прожекторы заливающего света типов ПЗС, ПЗМ и среднего светораспределения типа ПСМ. Прожектор ПЗС-45 (рис.34, а) состоит из корпуса 1, передней рамы с защитным стеклом 2, стеклянного зеркального отражателя 5, лиры с опорной плитой 4 и фокусирующего устройства 3. Прожектор рассчитан на ЛН 1000 Вт, 127 и 220 В, но возможна установка ламп ДРЛ. Прожекторы типа ПЗМ имеют стальной хромированный отражатель, в остальном конструкция прожектора не отличаются от конструкции прожектора ПЗС. Недостатки – низкий КПД (25–30%) и быстрое загрязнение через вентиляционные отверстия в корпусе прожектора.

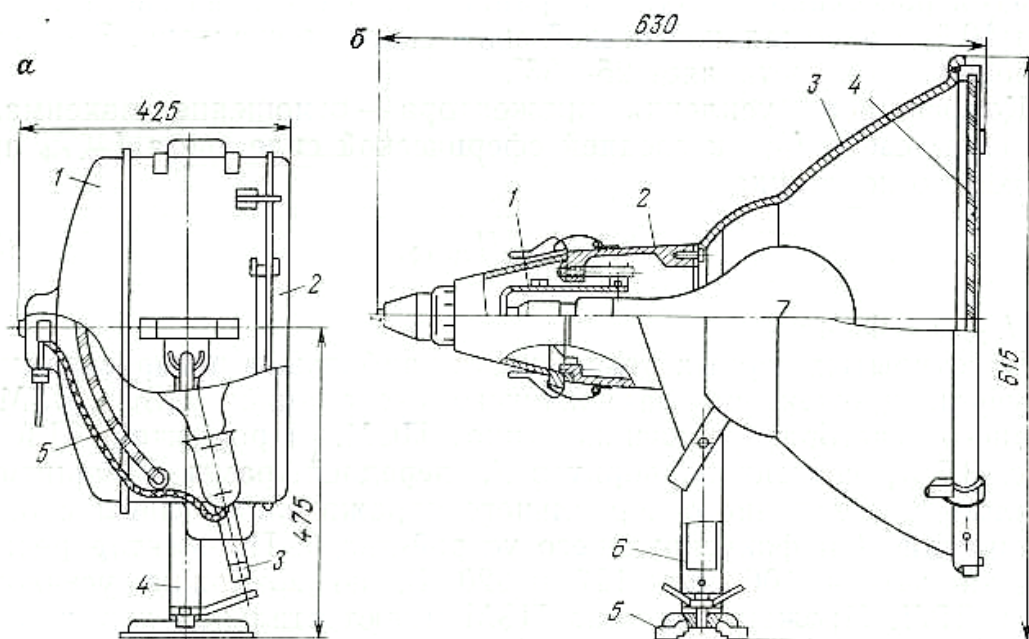


Рис.34. Прожекторы ПЗС-45 (а) и ПСМ-50 (б)

Прожектор ПСМ-50 состоит из корпуса 2, алюминиевого зеркального отражателя 3, рамы с защитным термостойким стеклом 4, основания 5, лиры 6, фокусирующего устройства 1 (рис.34, б). Прожекторы надежно защищены от влаги и пыли и имеют более высокий, чем у прожекторов ПЗС, КПД, который достигает 35–40%.

Прожекторы ПКН выпускают двух типов – ПКН-1000 и ПКН-1500 соответственно для ламп КГ-1000 и КГ-1500 Вт. Прожекторы ПКН-1500 (рис.35, а) имеют ребристый литой алюминиевый корпус 2 и откидную литую раму 1 с термостойким защитным стеклом. Отражатель 4 – алюминиевый, зеркальный параболоцилиндрической формы. Прожектор крепится на лире 3, которая обеспечивает поворот его в горизонтальной и вертикальной плоскостях. КПД прожекторов типа ПКН составляет 60%.

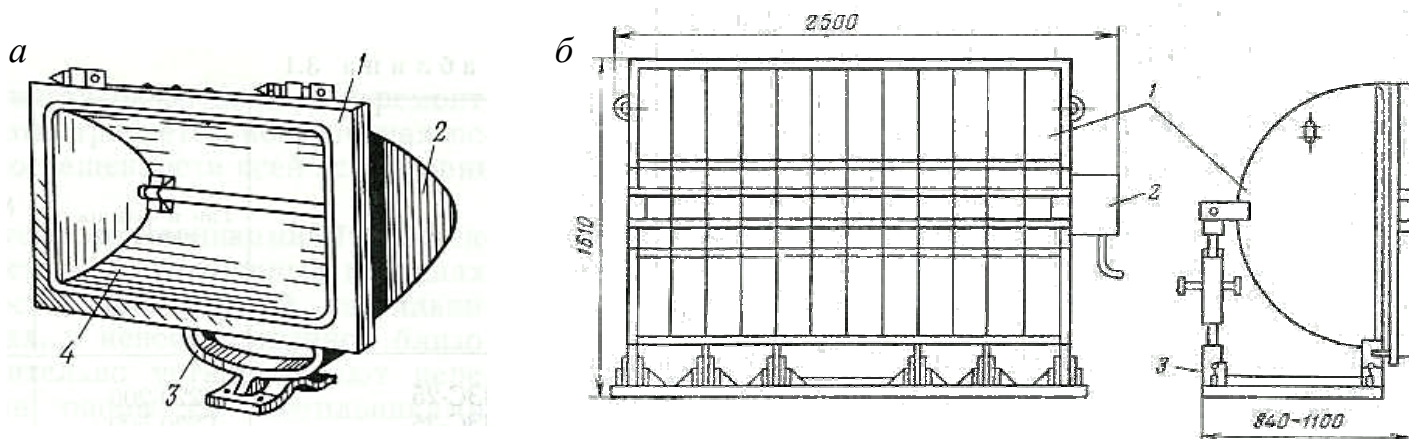


Рис.35. Прожектор ПКН-1500 (а) и осветительное устройство ОУКсН-20000 (б)

Светильники прожекторного типа ИСУ выпускаются с лампами КГ мощностью 2 и 5 кВт; по устройству и внешнему виду аналогичны прожектору ПКН, имеют КПД 65%.

Осветительные устройства с ксеноновыми лампами из корпуса светильника, пускового устройства и лампы мощностью 10, 20 или 50 кВт. Наибольшее распространение на ОГР получили осветительные устройства ОУКсН-20000 с двумя ксеноновыми лампами ДКсТ-20000 (рабочей и резервной). Светильник, входящий в комплект ОУКсН-20000 (рис.35, б), имеет установленный на раме 3 параболоцилиндрический отражатель 1 из полированной листовой нержавеющей стали. Он может поворачиваться и закрепляться под необходимым углом наклона. Блок зажигающего устройства 2 закреплен на корпусе светильника. КПД осветительного устройства составляет 76%. Устройство ОУКсНФ-50000 для ламп ДКсТ мощностью 50 кВт принципиально не отличаются от осветительного устройства для ламп 20 кВт; КПД составляет 70 %.

4.4 Системы электрического освещения ОГР

Необходимое освещение территории ОГР создается комбинированными системами общего и местного освещения.

Система общего освещения предназначена для обеспечения необходимого минимального уровня освещенности на всей территории ОГР. Общее освещение осуществляется светильниками наружной установки, стационарными или передвижными прожекторами и светильниками с галогенными, ртутными и ксеноновыми лампами, которые устанавливают на опорах вдоль бортов карьера, на рабочих уступах и на нерабочих площадках. Рассчитывается оно на создание освещенности, равной 2 лк в зоне производства работ и 0,5 лк в остальной части территории ОГР, где необходимо обеспечить только возможность передвижения обслуживающего персонала и транспорта.

Система местного освещения применяется тогда, когда на отдельных участках ОГР (места бурения, экскаваторные забои, автомобильные и железные дороги, места разгрузочных и ремонтных работ и т.д.) по условиям работы требуется повышенная освещенность по сравнению с уровнем освещенности всей территории горных разработок.

Местное освещение осуществляется светильниками и прожекторами, которые устанавливают на самих передвижных машинах. В случае недостаточной освещенности, создаваемой светильниками, установленными на механизмах, в непосредственной близости к рабочим площадкам дополнительно устанавливают передвижные прожекторные мачты или опоры со светильниками. Применение одного местного освещения без системы общего освещения запрещается.

Наиболее распространена *система комбинированного освещения*, включающая общее освещение всей площади ОГР и местное освещение отдельных участков работ, где требуется создание более высоких освещенностей.

В большинстве случаев для освещения ОГР применяют светильники типов СПО, СПП, СЗП, СВПР, СПОГ, а также прожекторы типов ПЗС, ПЗМ, ПСМ, ПКН и ИСУ. В качестве собственных источников света на горных и транспортных машинах применяют прожекторы, фары и зеркальные лампы. Для освещения помещений насосных и компрессорных станций, депо, различных цехов и мастерских на промплощадках используют светильники нормального исполнения с ЛН и ЛЛ.

Обогатительные фабрики, конвейерные галереи, железнодорожные бункера, подземные дренажные выработки и другие помещения, опасные в отношении взрыва метана или пыли, освещаются светильниками повышенной надежности (типа РЛ, РПЛ, Н4Б, Н4Т2 и др.) или взрывозащищенными (типа РВЛ, ВЗГ, НОТЛ и др.).

Выездные траншеи, автодороги и другие транспортные магистрали, места работы машин и механизмов, лестницы, пути хождения людей, проходы между зданиями промплощадки освещаются светильниками наружной установки типов СПО, СПП, СЗП, СЗПР. Светильники подвешивают на стационарных или передвижных опорах ниже проводов. Территории электроподстанций, железнодорожных станций, открытых складов освещаются прожекторами, устанавливаемыми на стационарных прожекторных мачтах.

При устройстве общего и местного освещения применяют светильники и прожекторы на стационарных и передвижных опорах и мачтах. Мачты применяют металлические, деревянные и железобетонные высотой 6–20 м с установкой одного или нескольких прожекторов. При производстве взрывов передвижные мачты переводят в транспортное положение и передвигают на безопасное расстояние. Прожекторные мачты устанавливают по внешним бортам карьера и на промежуточных горизонтах.

В состав электроосветительных установок входят, помимо световых приборов, осветительные трансформаторы, коммутационная и защитная аппаратура, провода и кабели. Для питания осветительных установок на промплощадке ОГР, отвалах, охранного освещения, автодорог вне карьера используют обычные силовые трансформаторы напряжением 6000/400/230 В.

Стационарные и передвижные осветительные установки на ОГР питаются напряжением 127 или 220 В от трансформаторов типов ТМ, ОМ и КТП напряжением 6000/230 В, трансформаторов типов ТСМ и ТС напряжением 400/133 В. Переносные светильники местного освещения подключают к понижающим трансформаторам малой мощности типов ТС, ТСЗ, ОСВУ напряжением 220-380/12-36 В. Осветительные трансформаторы устанавливают на опорах линий, ПКТП, на подстанциях мачтового типа, в помещениях на промплощадке, в кабинах горных машин. Осветительные сети ОГР выполняют голыми алюминиевыми проводами, бронированными кабелями с бумажной и резиновой изоляцией (СБ, СРБ, АСБ, ВРБ, НРБ), гибкими кабелями (КГЭШ, КГ, КГН, КРШС) и изолированными проводами (ПР, ПРГ, АПР, АППВ, ВВГ, АВВГ и др.).

4.5 Расчеты электрического освещения ОГР

Расчеты светотехники сводятся к обоснованию типа и мощности осветительных приборов, их количества и размещения для обеспечения необходимой освещенности рабочих мест согласно с действующими нормами и правилами. При расчетах освещения могут использоваться разные методы: точечный, метод коэффициента использования осветительной установки, метод расчета по нормативным величинам.

Точечный метод используется для расчетов при однорядном или локализованном размещении светильников, а также для местного и внешнего освещения. Он позволяет при наличии кривой или таблиц распределения силы света светильника определить освещенность в любой точке освещаемой поверхности. Однако этот метод не учитывает освещенности, создаваемой отраженным световым потоком.

В соответствии с точечным методом порядок расчета такой:

- выбирают тип светильника;
- принимают расстояние между светильниками l и высоту их подвешивания h ;
- вычисляют угол α наклона луча к освещаемой поверхности;
- определяют минимальную освещенность $E_{мин}$ согласно нормам (например, по [7]);
- находят горизонтальную и вертикальную освещенность в заданной точке, лк:

$$E_z = \frac{cI_\alpha \cos^3 \alpha}{k_3 h^2}; \quad E_g = E_z \operatorname{tg} \alpha,$$

где I_α – сила света условной лампы со световым потоком 1000 лм под углом α (определяется по таблицам или кривым); k_3 – коэффициент запаса; c – коэффициент, который определяется отношением светового потока реальной лампы Φ_l к световому потоку условной лампы, то есть $c = \Phi_l / 1000$.

Если точка освещается несколькими светильниками (n), то:

$$E_z = \sum_1^n e_{zi}; \quad E_g = \sum_1^n e_{gi}.$$

Сравнивают найденную освещенность с минимально допустимой по нормам. Должны выполняться такие условия:

$$E_z \geq E_{мин}; \quad E_g \geq E_{мин}.$$

Если эти условия не выполняются, то необходимо при тех же светильниках уменьшить расстояние между ними или при том же расстоянии принять светильники большей мощности.

Метод коэффициента использования осветительной установки применяют для расчетов общего равномерного освещения при заданной освещенности горизонтальной поверхности, если нет затеняющего ее оборудования. Основная расчетная формула:

$$\Phi_l = \frac{E_{мин} k_3 S_{oc} Z}{N_{св} n_l \eta_{св} \eta_0},$$

где Φ_l – световой поток лампы в светильнике, лм; $E_{мин}$ – нормируемая минимальная освещенность, лк; S_{oc} – освещаемая площадь, м²; Z – отношение средней освещенности к минимальной (для ЛН и ДРЛ $Z = 1,15$, для ЛЛ – $Z = 1,1$); $N_{св}$ – количество светильников; n_l – количество ламп в светильнике; $\eta_{св}$ – световой КПД светильника; η_0 – коэффициент использования светового потока, значение которого зависит от индекса помещения и коэффициентов отражения света от потолка, стен и расчетной поверхности. Индекс помещения определяется по формуле:

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

где A , B , h – соответственно длина, ширина освещаемого помещения и высота подвешивания светильников.

При освещении лампами накаливания или ДРЛ сначала определяют необходимое количество светильников, а затем вычисляют нужный световой поток Φ_l одной лампы и светильника. Если невозможно выбрать лампу с допуском в пределах $-10...+20\%$ светового потока Φ_l , то количество светильников корректируется.

Если люминесцентные светильники размещаются рядами, то сначала намечается количество рядов, выбирается тип и мощность лампы (то есть определяется световой поток $\Phi_{л}$). Затем необходимое количество светильников

$$N_{св} = \frac{E_{мин} k_3 S_{ос} Z}{\Phi_{л} n_{л} \eta_{св} \eta_0}$$

По известному числу рядов определяют количество светильников в каждом ряду.

При расчетах освещения ОГР прожекторами выбирают тип и количество прожекторов, высоту их установки, оптимальный угол наклона оптической оси прожектора и место его расположения. Последовательность расчетов такая:

- определяют нормируемую минимальную освещенность;
- принимают коэффициент запаса;
- выбирают тип прожектора;
- вычисляют необходимый общий световой поток:

$$\sum_{i=1}^n \Phi = \sum_{i=1}^n E_{мин. i} S_{ос. i} k_3 k_n,$$

где $E_{мин. i}$ – необходимая освещенность для отдельных участков, лк; $S_{ос. i}$ – площадь отдельных освещаемых участков, м²; $k_3 = 1, 2 \dots 1, 5$ – коэффициент запаса; $k_n = 1, 15 \dots 1, 5$ – коэффициент, учитывающий потери света в зависимости от конфигурации освещаемых плоскостей;

- определяют необходимое количество прожекторов и места их установки:

$$N_{пр} = \Sigma \Phi / (\Phi_{л} k),$$

где $\Phi_{л}$ – световой поток лампы прожектора, лм; $k = \eta_{пр} \eta_0 z$ – расчетный коэффициент для разных типов прожекторов (справочные данные);

- определяют высоту установки прожектора:

$$H \geq \sqrt{I_{макс} / 300},$$

где $I_{макс}$ – максимальная (осевая) сила света прожектора, кд (справочные данные);

- находят оптимальный угол наклона оптической оси прожектора:

- при освещении горизонтальной поверхности

$$\theta_z = \arcsin \sqrt{m_{пр} + n_{пр} (E_z H^2)^{2/3}};$$

- при освещении вертикальной поверхности

$$\theta_в = \arctg \sqrt{I_{макс} / (E_в H^2)},$$

где $m_{пр}$ и $n_{пр}$ – коэффициенты углов рассеивания прожекторов в горизонтальной и вертикальной плоскостях; E_z , $E_в$ – расчетная освещенность соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях, лк. Если плоскость освещается одним прожектором, то

$$E_z = k_3 E_{мин}, \quad E_в = k_3 E_{мин}.$$

При освещении территории несколькими прожекторами их световые пятна перекрывают друг друга, поэтому

$$E_z = k_3 E_{мин} / 2, \quad E_в = k_3 E_{мин} / 2.$$

Методика расчета освещения больших плоскостей ксеноновыми лампами (ДКСТ) базируется на использовании кривых относительных изолукс и вспомогательных расчетных таблиц. Кривые относительных изолукс – это кривые, которые соединяют точки одинаковой расчетной освещенности в плоскости, перпендикулярной оптической оси прожектора или светильника, которая расположена на расстоянии 1 м от светового центра прожектора. В качестве координат каждой точки кривых относительных изолукс на

этой плоскости приняты значения ξ и η , причем ось ξ отвечает оси X , а η – оси Y в прямоугольной системе координат на освещаемой плоскости.

Освещение в точках горизонтальной плоскости рассчитывают так:

- определяют высоту установки светильника (прожектора) H и угол его наклона θ ;
- на плане ОГР чертят координатные оси X и Y с началом координат в месте установки светильника или прожектора, причем ось X соединяют с проекцией оптической оси прожектора на освещаемую поверхность;

- на оси X в масштабе плана (1:2000 или 1:5000) откладывают произвольные значения расстояний X (5, 10, 20, 30 и т.д.) от начала координат;

- задают точку, в которой определяют освещенность. На плане находят ее координаты X и Y . Рассчитывают отношение X/H , а затем значение координаты ξ :

$$\xi = (\cos \theta - \frac{X}{H} \sin \theta) / \rho$$

и коэффициента перехода от относительной плоскости к расчетной

$$\rho = \sin \theta + \frac{X}{H} \cos \theta;$$

- находят значение координаты η :

$$\eta = Y / (\rho H).$$

При известных ξ и η по графику относительной освещенности светильника или прожектора (кривых относительных изолукс) находят значение относительной освещенности ε и определяют горизонтальную освещенность в расчетной точке:

$$E_2 = \frac{\varepsilon}{k_3 H^2 \rho^3}.$$

Рассчитанная освещенность должна быть не меньше нормируемой ($E_2 \geq E_{мин}$).

Кривые одинаковой горизонтальной освещенности (изолуксы) осветительного прибора строят в такой последовательности. Задают последовательно разные значения отношения X/H при соответствующем оптимальном угле θ . Для каждого значения X/H находят величины ξ , ρ и ρ^3 , а затем рассчитывают относительную освещенность как

$$\varepsilon = k_3 E_2 \rho^3 H^2.$$

По кривым относительных изолукс принятого типа светильника или прожектора находят координату η . Для этого через точку полученного значения ξ проводят вертикальную линию до пересечения ее с кривой найденной относительной освещенности ε , точку пересечения проектируют на ось ординат и определяют ординату η . При известных значениях η , ρ и H координату Y находят так:

$$Y = \rho H.$$

Координаты X и Y определяют положение точки с заданной горизонтальной освещенностью E_2 . Если выполнить такие расчеты для ряда отношений X/H при постоянных значениях величин E_2 , H и θ , то получают достаточное количество точек для построения кривой одинаковых значений горизонтальной освещенности (изолуксы), которые используют для изготовления шаблонов при расчете количества прожекторов.

Расчет осветительных сетей

Сечение проводов или жил кабелей осветительных сетей определяют по потере напряжения (с последующей проверкой на нагрев по таблицам допустимых нагрузок) и по термической стойкости к действию токов КЗ.

Сечение проводов или жил кабелей (мм^2) рассчитывается:

- для однофазной двопроводной сети

$$S = 2P_p l 10^5 / (\Delta U \% \gamma U^2);$$

- для трехпроводной сети (две фазы с нулевым проводом)

$$S = 2,5P_p l 10^5 / (\Delta U \% \gamma U^2);$$

- для трехпроводной сети с нулевым проводом

$$S = P_p l 10^5 / (\Delta U \% \gamma U^2),$$

где P_p – расчетная нагрузка, кВт; l – длина отрезка сети, м; $\Delta U \%$ – допустимая потеря напряжения на отрезке сети. В осветительных подземных сетях она равняется 4%, в осветительных сетях поверхности – 2,5%; γ – удельная проводимость проводов, м/Ом·мм²; U – линейное напряжение сети, В.

Для удобства расчетов значения $10^5 / \gamma U^2 = C$ для разного рода сетей и напряжений приведены в справочной литературе.

По полученным значениям сечений выбирают необходимый кабель.

Расчетную нагрузку освещения определяют методом коэффициента спроса

$$P_p = k_n k_c \sum_{i=1}^n P_{св.i} n_i,$$

где $P_{св.i}$ – мощность светильника, Вт; n – количество светильников; k_n – коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующих устройствах: 1,2 – для ЛЛ со стартерными схемами зажигания; 1,3...1,35 – для ЛЛ с безстартерными схемами зажигания; 1,1 – для ртутных ламп большого давления; 1,0 – для ЛН; k_c – коэффициент спроса, принимается 1,0 для осветительных установок ОГР.

По механической прочности сечение жил гибких кабелей для питания передвижных осветительных установок принимается не менее 4 мм², но не более 10 мм², для ответвлений к светильникам – не менее 2,5 мм², для источников питания осветительной сети, которые смонтированы на специальных тележках в составе общего энергопоезда, – не менее 10 мм², а для установленных отдельно – не менее 16 мм². Выбранное сечение жил кабеля проверяют на термическую стойкость:

$$I_{сп} \geq I_{к}^{(3)},$$

где $I_{сп}$ – предельно допустимый кратковременный ток КЗ в кабеле, А; $I_{к}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ в начале проверяемого кабеля, А:

$$I_{к}^{(3)} = 1,1U_0 / \left(\sqrt{3} \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n R_i \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2} \right),$$

где U_0 – среднее номинальное (линейное) напряжение ступени КЗ, которое принимается 133; 230 или 400 В; $\sum_{i=1}^n R_i$, $\sum_{i=1}^n X_i$ – соответственно суммы активных и реактивных сопротивлений сети до точки КЗ, Ом.

При выполнении сети кабелями разного сечения их сопротивления могут быть сведены к одному сечению с помощью коэффициента приведения (справочные данные).

Сети освещения должны быть обеспечены защитой от токов КЗ, токов утечки, перегрузки; световой сигнализацией о срабатывании защит; местным и дистанционным управлением осветительным аппаратом.

Необходимая мощность трансформатора для питания осветительных устройств:

$$S_{m.ос} = 10^{-3} P_p / (\eta_c \eta_{св} \cos \varphi), \text{ кВА},$$

где $\eta_c = 0,95...0,96$ – КПД осветительной сети; $\eta_{св}$ – КПД светильников; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности светильников.