

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. П. Степанцов, Р. И. Кустова

СВЕТОТЕХНИКА

Допущено
Министерством образования
Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов учреждений высшего образования
по специальности
«Энергетическое обеспечение сельского хозяйства
(по направлениям)»

Минск
БГАТУ
2012

УДК 628.9(07)
ББК 31.294я7
С24

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
«Электроснабжение» БНТУ *В. Б. Козловская*;
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение»
ГГТУ им. П. О. Сухого *А. Г. Усс*;
старший преподаватель кафедры «Электроснабжение»
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. Д. Елкин*

Степанцов, В. П.

С24 Светотехника : учебное пособие / В. П. Степанцов, Р. И. Кустова. — Минск : БГАТУ, 2012. — 568 с.
ISBN 978-985-519-448-5.

Изложена информация о современном состоянии и перспективах развития сельскохозяйственной светотехники, сконцентрированы и обобщены материалы, позволяющие всесторонне проанализировать эффективность эксплуатации светотехнических установок, используемых в сельскохозяйственном производстве. Выводы по результатам анализа и рекомендации по совершенствованию установок предложены в форме размышлений, которые помогут обучающимся сформировать собственное мнение о состоянии светотехнического оборудования и путях его модернизации в условиях конкретного хозяйства или предприятия.

Пособие носит практико-ориентированный характер и предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства (по направлениям)», и может быть использовано учащимися средних специальных учебных заведений, обучающимися по специальности 2-74 06 31 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства».

УДК 628.9(07)
ББК 31.294я7

ISBN 978-985-519-448-5

© БГАТУ, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Светотехника — область науки и техники, предметом которой являются исследования принципов и разработка способов получения, пространственного перераспределения и измерения параметров оптического излучения, преобразования его в другие виды энергии и использования в различных технологических целях. Сфера интересов светотехники распространяется на разработку и конструирование источников оптического излучения, осветительных, облучательных¹ и светосигнальных приборов и устройств, систем управления ими, нормирование, проектирование, монтаж, наладку и эксплуатацию установок.

Сегодня невозможно переоценить значение оптического излучения (ультрафиолетового, видимого и инфракрасного), естественно или полученного искусственно, для человека и общества. Все живое на нашей планете возникло и существует благодаря оптическому излучению и вызываемой им реакции фотосинтеза зеленых растений.

На фоне развития электроэнергетики все явственнее проявляется тенденция к увеличению потребления электрической энергии в осветительных и облучательных установках, что составляет в развитых странах 20 и более процентов общего ее расхода на удовлетворение все возрастающих потребностей.

Современное человечество немислимо без использования видимого излучения (света), создающего необходимые условия освещения и обеспечивающего зрительное восприятие (видение) окру-

¹ К облучательным относят приборы (устройства, установки) оптического излучения, оказывающие непосредственное влияние на технологические процессы, в результате чего повышается их эффективность, увеличивается урожай растений, продуктивность животных, птицы и тому подобных биологических объектов. При этом положительное воздействие достигается благодаря проникающей способности излучения в объект, его поглощения объектом и специфического воздействия на клеточном и молекулярном уровнях.

жающих нас предметов. Свет создает необходимые условия для жизнедеятельности (работы, учебы, отдыха и быта) человека (растений, животных, птицы и других биологических объектов). Без искусственного света не может обойтись современное производство, строительство, транспорт.

Оптическое излучение все в большей степени используется в современных технологических процессах промышленности и сельскохозяйственного производства, становится частью фотохимических технологий, производства животноводческой и птицеводческой продукции, обеспечения урожайности растительных культур. Анализ структуры баланса электрической энергии, потребляемой сельскохозяйственным производством, позволяет увидеть тенденцию к возрастанию доли ее использования в осветительных и облучательных установках.

По проблемам и способам использования оптического излучения сельскохозяйственное производство особо выделяется из всех отраслей народного хозяйства. Здесь оптическое излучение повсеместно используется в облучательных установках для непосредственного электротехнологического воздействия на живые организмы и растения. Оно не только создает благоприятные условия для выполнения зрительных работ обслуживающим персоналом, но и воздействует на обмен веществ, стимулирует продуктивность и резистентность, вызывает общефизиологические сдвиги тонизирующего и терапевтического характера, оказывает влияние на нервную систему, является основой нормального углеродного питания, существования и формирования растений.

Рациональное искусственное освещение сельскохозяйственных помещений позволяет увеличить продуктивность животных и птицы. Например, увеличение освещенности коровников с 10 до 100 лк приводит к росту молочной продуктивности коров в среднем на 8 %. Содержание свиноматок при освещенности 100 лк способствует повышению их плодовитости на 5,8 %, увеличению средней массы поросят при рождении — на 4,5...16 % в сравнении с животными, находящимися в помещении с освещенностью 6...10 лк. У коров наибольшая продуктивность наблюдается при световом дне 14...16 ч, у подсвинков — 12 ч. Применение дифференцированного, в зависимости от возраста птицы, светового дня увеличивает ее продуктивность до 10 %.

Искусственная компенсация ультрафиолетовой недостаточности, имеющей место в основном в зимнее время, повышает удои

коров на 5...13 % при сохранении жирности молока на том же уровне или некотором ее увеличении. У телят среднесуточные приросты массы повышаются на 7...13 %, а у поросят — на 20 %. У свиней на откорме при улучшении качества мяса среднесуточный прирост массы увеличивается на 4...10 %. Ультрафиолетовое облучение сельскохозяйственной птицы вызывает повышение яичной продуктивности на 10...15 %. Прединкубационное облучение яиц увеличивает выводимость цыплят на 5...10 %. При облучении цыплят-бройлеров и мясных утят наряду с повышением прироста массы на 4...11 % увеличивается выход тушек первой категории на 4...7 %. Большое значение искусственное ультрафиолетовое облучение приобретает при безвыгульном содержании коров, телят, свиней, птицы.

Как видим, эффективное использование оптического излучения и достижений современной светотехники — важный резерв повышения производительности труда, продуктивности сельскохозяйственных животных, птицы и растений, качества выпускаемой продукции, снижения травматизма и сохранения здоровья человека.

При формировании необходимых компетенций (знаний, навыков, умений) инженера во время его обучения в высшем учебном заведении по специальности 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства (по направлениям)» раздел «Светотехника» изучается в объеме 68 учебных аудиторных часов (34 часа лекций, 18 лабораторных и 16 практических занятий) при изучении дисциплины «Электротермия и светотехника». Целью дисциплины «Электротермия и светотехника» применительно к разделу «Светотехника» является формирование целостной системы научно-технических знаний в области современной светотехники, привитие инженерных навыков практического применения этих знаний для решения задач сельскохозяйственного производства.

Задачи раздела «Светотехника» дисциплины:

— изучение физических и энергетических основ преобразования электрической энергии в оптическое излучение и современных способов рационального и эффективного использования его в технологических процессах сельскохозяйственного производства;

— изучение устройства, принципа действия, технических параметров и характеристик, областей применения основных видов светотехнического оборудования и установок;

— приобретение знаний по расчету и выбору светотехнического оборудования, инженерным методам его проектирования и экс-

плуатации, технико-экономическому обоснованию вариантов технических решений, способам экономии энергии в осветительных и облучательных установках.

«Электротермия и светотехника» относится к специальным дисциплинам, и для ее успешного освоения необходимо знание дисциплин естественно-научного цикла (математика, физика) и цикла общепрофессиональных и специальных дисциплин (теоретические основы электротехники, автоматика и электроника, метрология и электрические измерения, монтаж электрооборудования и средств автоматики, ремонт электрооборудования).

Во время обучения рациональному использованию светотехнического оборудования должно быть обеспечено формирование определенных компетенций:

— **академических**, включающих базовые теоретические знания в области современной светотехники, владение современными методами поиска, обработки и использования информации в предметной области, способность проявлять творчество в профессиональной деятельности;

— **социально-личностных**, включающих способность к социальному взаимодействию и межличностным коммуникациям, умение работать в команде;

— **профессиональных**, включающих знания и умения по выбору энергоэффективного светотехнического оборудования, способов и схем автоматического управления осветительными и облучательными установками, а также по проектированию, испытаниям и эксплуатации светотехнического и электротехнического оборудования осветительных и облучательных установок, ведению технической и эксплуатационной документации.

В результате изучения раздела «Светотехника» дисциплины «Электротермия и светотехника» обучаемые должны:

— *знать* физические основы преобразования электрической энергии в энергию оптического излучения и рационального ее использования в светотехнических установках сельскохозяйственного производства;

— *уметь* рассчитывать и проектировать светотехнические установки сельскохозяйственного назначения;

— *иметь представление* об устройстве, принципе действия и эффективном использовании современных источников оптического излучения, приборов и оборудования, принципах управления и автоматизации, правилах эксплуатации и безопасного обслуживания светотехнических установок сельскохозяйственного назначения.

В предлагаемом учебно-методическом комплексе изложена информация о современном состоянии и перспективах развития сельскохозяйственной светотехники. В нем сконцентрированы и обобщены материалы, позволяющие проанализировать и оценить эффективность эксплуатации светотехнических установок, используемых в сельскохозяйственном производстве. Выводы по результатам анализа и рекомендации по совершенствованию установок предложены в форме размышлений, которые помогут обучающимся сформировать собственное мнение о состоянии светотехнического оборудования и путях его модернизации в условиях конкретного хозяйства или предприятия.

Учебно-методический комплекс носит практико-ориентированный характер. Основное внимание уделено светотехнической части осветительных и облучательных установок и учтен тот фактор, что даже при оптимальном выборе и размещении источников оптического излучения, светильников и облучателей не всегда получаем эффективно работающую установку. При проектировании и эксплуатации светотехнических установок необходимо дополнительно решать вопросы надежного электроснабжения, оптимальной компоновки и устройства электрических сетей, их комплектования аппаратами управления, защиты и системами автоматического управления, организации надлежащей эксплуатации, рациональной экономики электрической энергии.

Издание предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства (по направлениям)» и учащихся средних специальных учебных заведений, обучающихся по специальности 2-74 06 31 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства».

Авторы высказывают искреннюю благодарность заведующей кафедрой «Электроснабжение» БНТУ, кандидату технических наук, доценту Козловской В. Б. и работникам кафедры «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого кандидату технических наук, доценту А. Г. Усс и старшему преподавателю В. Д. Елкину за проделанную работу по тщательному рецензированию и справедливые замечания.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1.1. ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ: ПОНЯТИЕ, ПРИРОДА, СВОЙСТВА

Возвращение электрона возбужденного атома материальной среды на исходную орбиту сопровождается излучением электромагнитной энергии. Электромагнитное излучение с длиной волны от 1 нм^1 до 1 мм называют оптическим излучением.

Оптическое излучение — одна из форм существования материи, имеющей массу покоя, равную нулю, и движущейся в вакууме со скоростью $c = 2,988 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Оптическое излучение характеризуется волновыми и квантовыми свойствами.

Согласно волновой теории оптическое излучение распространяется в пространстве в виде электромагнитных волн, представляющих собой периодические колебания напряженностей электрического и магнитного полей. Исходя из волновых свойств, оптическое излучение характеризуют *длиной волны, скоростью распространения и частотой повторения амплитуды*:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \quad (1.1)$$

где λ — длина волны, м (нм, мкм); ν — частота повторения амплитуды волны, с^{-1} ; c — скорость распространения волны, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Согласно квантовой теории М. Планка энергия излучается порциями, минимальное значение которых называют *квантом*. Кванты оптического излучения называют *фотонами*.

Энергия фотона Q (Дж) равна произведению постоянной величины h на частоту ν :

¹ Длину волны оптического излучения принято измерять в нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) или микрометрах ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$).

$$Q = h \cdot \nu, \quad (1.2)$$

где h — постоянная Планка, равная $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

Для получения оптического излучения необходимо привести состояние атома материи в возбужденное состояние, что может быть осуществлено путем нагрева, электрического разряда или иным способом.

В невозбужденном состоянии элементарные частицы атома материи, например, ядро и электроны, находятся в состоянии энергетического равновесия. Положительный заряд ядра атома уравновешивается отрицательными зарядами электронов, вращающихся вокруг него по определенным орбитам.

При подведении энергии извне атом материи возбуждается, что проявляется переходом его электронов на орбиту с более высоким энергетическим уровнем (рис. 1.1). Электроны долгое время в возбужденном состоянии находиться не могут и постоянно стремятся возвратиться на орбиту состояния энергетического равновесия. Переход электронов возбужденного атома на исходную орбиту устойчивого энергетического состояния осуществляется как непосредственно с орбиты на орбиту, так и через орбиты промежуточного состояния.

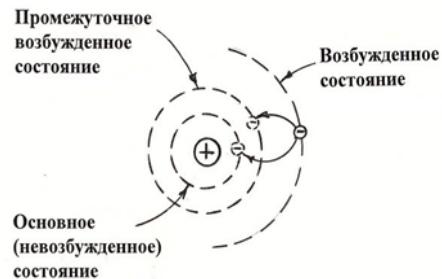


Рис. 1.1. Модель перехода электронов возбужденного атома в состояние устойчивого энергетического равновесия

При переходе с орбиты более высокого энергетического уровня на орбиту состояния энергетического равновесия электроны испускают избыточную энергию в виде электромагнитного излучения. Значение энергии излучения определяется разностью энергий энергетических уровней и зависит от строения атома, его структуры и количества энергетических уровней, на которые может перемес-

титься электрон в возбужденном состоянии. Значение энергии, в свою очередь, определяет частоту и длину волны излучения (1.1, 1.2). С уменьшением длины волны оптического излучения значение энергии фотонов возрастает.

Перемещение электрона возбужденного атома с орбиты на орбиту сопровождается излучением фотона определенной длины волны и энергии. Перемещение электрона возбужденного атома через промежуточные орбиты вызывает несколько фотонов излучения, которые отличаются значениями длин волн и энергии. Совокупность монохроматических излучений различных длин волн и энергий может создать иллюзию сплошного спектра излучения.

Интенсивность монохроматического излучения определяется произведением энергии фотона на число фотонов, проходящих через замкнутый контур пространства в единицу времени. Эту величину называют *потоком монохроматического излучения* Φ_λ (Вт) длины волны λ :

$$\Phi_\lambda = Q \frac{n_\lambda}{\tau}, \quad (1.3)$$

где n_λ — число фотонов, прошедших через замкнутый контур за время τ .

1.2. СПЕКТР ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕГО ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ

Электромагнитное излучение характеризуется чрезвычайно широким интервалом длин волн. Лишь небольшую часть этого интервала между областями рентгеновских лучей ($\lambda > 1 \dots 10$ нм) и радиоизлучений ($\lambda < (3,4 \dots 10) \cdot 10^5$ нм) составляет оптическое излучение.

Отметим, что общепринятые границы оптического излучения с соседними областями спектра электромагнитного излучения нечеткие, так как воздействие рентгеновского и оптического излучений (оптического и радиоизлучений) на приемники в этих нечетких диапазонах, определяемое в основном энергией фотонов (квантов), примерно одинаково. Поэтому границы оптического излучения чаще всего для удобства указывают в пределах $1 \dots 1 \cdot 10^6$ нм (от 1 нм до 1 мм) [30].

Воздействие отдельных диапазонов оптического излучения на приемники определяется длиной волны и энергией фотона. С уменьшением длины волны энергия фотона возрастает, увеличи-

вая и усложняя взаимодействие излучения с приемником. Тем не менее излучения близких по значению длин волн с одинаковым характером воздействия на приемники условно объединяют в некоторые диапазоны, или зоны.

Так, излучение оптической области подразделяют на ультрафиолетовое (УФ), видимое и инфракрасное (ИК)². УФ- и ИК-излучения, в свою очередь, условно делят на зоны А, В и С, а видимое — на семь основных цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый (табл. 1.1) [30].

Таблица 1.1

Спектральное распределение оптического излучения

Вид оптического излучения	Зоны излучения	Длина волны излучения, нм
Ультрафиолетовое излучение	Зона С (УФ-С)	< 280
	Зона В (УФ-В)	280...315
	Зона А (УФ-А)	315...380
Видимое излучение	Фиолетовый цвет	380...450
	Синий цвет	450...480
	Голубой цвет	480...510
	Зеленый цвет	510...555
	Желтый цвет	555...585
	Оранжевый цвет	585...620
	Красный цвет	620...780
Инфракрасное излучение	Зона А (ИК-А)	780...1400
	Зона В (ИК-В)	1400...3000
	Зона С (ИК-С)	> 3000

Из всех видов оптического излучения в сельскохозяйственном производстве наиболее широко используется видимое излучение. Видимым называют такое излучение, которое способно непосредственно вызывать зрительные ощущения. Излучение этого диапазона (380...780 нм) применяют для создания необходимого уровня освещенности объектов видения, ускорения реакции фотосинтеза у зеленых растений, увеличения продуктивности и регулирования биологических ритмов сельскохозяйственных животных и птицы.

² В переводе с латинского языка «инфра» означает «вперед», то есть перед красным, а «ультра» — «за», то есть за фиолетовым.

УФ-излучение (1...380 нм) отличается относительно высокой энергией фотонов, способных оказать существенное влияние на биологические объекты. По воздействию на биологические объекты УФ-излучение подразделяют на зоны А (315...380 нм), В (280...315 нм) и С (100...280 нм). УФ-излучения короче 100 нм интенсивно поглощаются воздухом, поэтому в сельскохозяйственном производстве практически не используются.

Длинноволновое УФ-излучение (зона УФ-А) обладает сравнительно небольшой фотобиологической активностью, но способно вызвать пигментацию кожи человека, оказывает положительное влияние на организм животных и птицы, повышая их биологическую активность, определяет формативный эффект у растений. Излучение этого диапазона способно вызывать свечение некоторых веществ, и его используют для люминесцентного анализа химического состава и биологического состояния продуктов.

Средневолновое УФ-излучение (зона УФ-В) оказывает тонизирующее и терапевтическое действие на живые организмы. Оно способно вызывать эритему и загар, превращать в организме животных необходимый для роста и развития витамин D в усвояемую форму, обладает мощным антираhitным действием. Эти излучения вредны для большинства растений.

Коротковолновое УФ-излучение (зона С) отличается бактерицидным действием, поэтому его широко используют для обеззараживания воды и воздуха, дезинфекции и стерилизации различного инвентаря и посуды.

ИК-излучение (780...10⁶ нм) характеризуется относительно небольшой энергией и высокой проникающей способностью фотонов. Глубоко проникая в поверхностные слои тканей живого организма или вещества приемника, ИК-излучения большую часть энергии своих фотонов расходуют на образование теплоты, так как этой энергии в большинстве случаев недостаточно для оказания какого-либо воздействия на фотобиологические реакции. Глубина их проникновения в тело животного достигает 2,5 мм, зерно — 2 мм, сырой картофель — 6 мм, хлеб при выпечке — 7 мм, слой воды — 30...45 мм. Излучения практически не поглощаются воздухом.

ИК-излучение также делят на зоны А (780...1400 нм), В (1400...3000 нм), С (3 мкм...1 мм), хотя это деление несколько условно, так как отличительное воздействие излучения указанных зон на приемники выражено не так четко, как для УФ. В сельскохозяйственном производстве ИК-излучения используют в основном для

обогрева молодняка животных и птицы, сушки и дезинсекции сельскохозяйственных продуктов (зерно, фрукты, чай, хмель и др.), пастеризации молока, сушки лакокрасочных и пропиточных покрытий.

ИК- и УФ-излучения невидимы для человеческого глаза.

1.3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Спектр оптического излучения неразрывно связан с процессом переноса лучистой энергии от тела излучающего к телу поглощающему. Он может быть линейчатым, состоящим из монохроматического излучения одной или нескольких длин волн, сплошным или смешанным (рис. 1.2).

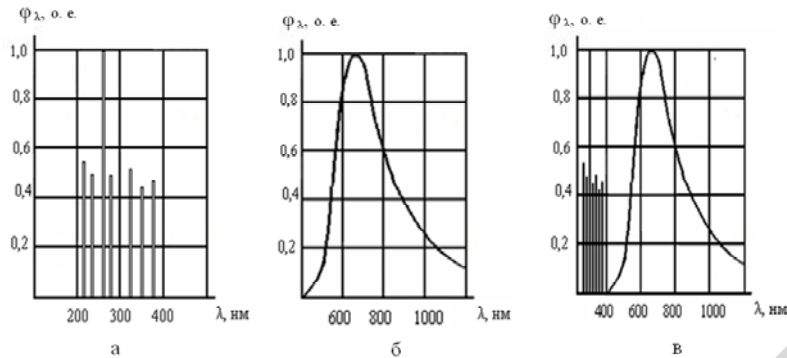


Рис. 1.2. Примеры распределения оптического излучения по спектру: а — линейчатый; б — сплошной; в — смешанный

Примером монохроматического излучения является луч лазера. Линейчатый спектр получается при электрическом разряде в газах или парах металлов низкого давления. Сплошной спектр излучают тела при нагреве. Сложный спектр излучения характерен для большинства естественных и искусственных излучателей.

Для характеристики распределения потока излучения по спектру пользуются понятием *спектральная плотность потока излучения* $\varphi_{e\lambda}$ ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1}$):

$$\varphi_{e\lambda} = \frac{d\Phi_{\lambda}}{d\lambda}, \quad (1.4)$$

где $d\Phi_{\lambda}$ — значение однородного потока излучения на полосе спектра $d\lambda$.

Значение спектральной плотности потока излучения $\varphi_{e\lambda}$ удобнее представлять графически в виде *относительной спектральной плотности излучения* φ_{λ} (относительные единицы):

$$\varphi_{\lambda} = \frac{\varphi_{e\lambda}}{(\varphi_{e\lambda})_{\max}}, \quad (1.5)$$

где $(\varphi_{e\lambda})_{\max}$ — максимальное значение спектральной плотности излучения излучателя.

Сумма потоков монохроматического излучения источника определяет его *полный поток излучения* Φ_{Σ} (Вт):

$$\Phi_{\Sigma} = \int_{\lambda_{\text{н}}=1\text{нм}}^{\lambda_{\text{к}}=1\text{мм}} \Phi_{\lambda} \cdot d\lambda. \quad (1.6)$$

Зная распределение оптического излучения по спектру и значения потоков монохроматического излучения каждой длины волны, несложно методами математического интегрирования определить суммарный *поток излучения* Φ_{Σ} :

$$\Phi_{\Sigma} = \int_{\lambda_{\text{н}}=1\text{нм}}^{\lambda_{\text{к}}=1\text{мм}} \varphi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda = (\varphi_{e\lambda})_{\max} \int_{\lambda_{\text{н}}=1\text{нм}}^{\lambda_{\text{к}}=1\text{мм}} \varphi_{\lambda}(\lambda) d\lambda. \quad (1.7)$$

Распределение потока излучения в пространстве характеризуется *силой излучения*. Сила излучения I , $\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$, определяется отношением потока излучения $d\Phi$ к телесному углу $d\omega$ с вершиной в точке расположения излучателя, в пределах которого равномерно распределен этот поток:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}. \quad (1.8)$$

Телесный угол — коническое тело, вершиной которого служит центр сферы произвольного радиуса, а основанием является часть поверхности этой сферы, на которую этот конус опирается (рис. 1.3). Величина телесного угла ω определяется отношением площади основания сферической части конуса $S_{\text{осн}}$ к квадрату радиуса сферы r^2 :

³ Единицей измерения телесного угла является стерадиан (ср). 1 ср — телесный угол, вырезающий на поверхности сферы участок, площадь которого эквивалентна квадрату радиуса сферы.

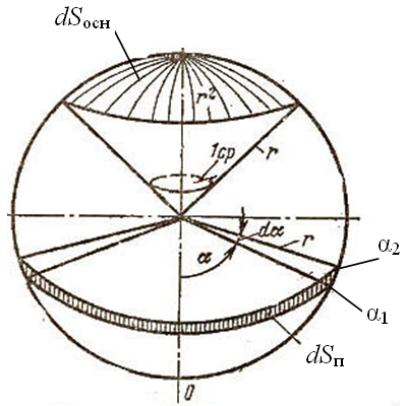


Рис. 1.3. К определению телесного угла

$$\omega = \frac{S_{\text{осн}}}{r^2}. \quad (1.9)$$

Отношение потока излучения Φ , падающего на облучаемую поверхность, к площади этой поверхности S называют *облученностью* E ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$):

$$E = \frac{d\Phi}{dS}, \quad (1.10)$$

где $d\Phi$ — значение потока излучения, равномерно распределившегося по поверхности dS , Вт; dS — площадь облучаемой поверхности, м^2 .

Облученность в какой-либо точке M , лежащей на поверхности dS , можно определить и через силу излучения точечного излучателя (рис. 1.4):

$$E_M = \frac{I_\alpha \cdot \cos \beta}{l^2} \quad (1.11)$$

или для поверхности, расположенной горизонтально ($\alpha = \beta$, $l = \frac{h}{\cos \alpha}$):

$$E_M = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}, \quad (1.12)$$

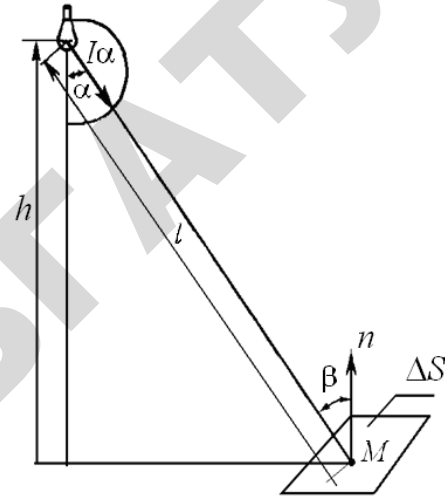


Рис. 1.4. Определение облученности в точке при известном распределении силы излучения источника

где I_α — сила излучения от точечного излучателя в направлении облучаемой точки M , $\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$; β — угол между нормалью к поверхности и направлением силы излучения, град.; α — угол между направлением силы излучения и осью симметрии излучателя, град.; l — расстояние между излучателем и облучаемой точкой, м; h — высота подвеса излучателя, м.

Результат воздействия оптического излучения на объект определяется не только облученностью и спектральным составом излучения, но и временем облучения. Чем дальше поток излучения падает на облучаемую поверхность, тем большее количество энергии может быть ею поглощено при одной и той же облученности. Величина, определяющая общее количество энергии излучения, приходящейся на единицу площади облучаемой поверхности в течение времени действия излучения, называется *дозой облучения* или *экспозицией* H , $\text{Дж} \cdot \text{м}^{-2}$:

$$H = \int_{t_1}^{t_2} E \cdot dt, \quad (1.13)$$

где t — продолжительность облучения, с.

Плотность потока на поверхности излучателя (*светимость*) $M_{и}$, Вт · м⁻², определяют как:

$$M_{и} = \frac{d\Phi}{dS_{изл}}, \quad (1.14)$$

где $S_{изл}$ — площадь излучающей поверхности, м.

Приведенные выше величины (энергия излучения, поток излучения, сила излучения, облученность, энергетическая экспозиция) позволяют определить параметры излучателя без учета его эффективного воздействия на приемники и образуют систему энергетических величин оптического излучения (приложение 1).

1.4. КРИВАЯ СИЛЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ИСТОЧНИКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ

Распределение силы излучения излучателя в различных направлениях пространства может быть представлено в виде графиков, таблиц или математических выражений. Если изобразить значения силы излучения в различных направлениях пространства радиус-векторами, длина которых в принятом масштабе будет определять модуль вектора силы излучения, то часть пространства, ограниченная замкнутой поверхностью, представляющей геометрическое место концов радиус-векторов силы излучения, называется *фотометрическим телом* излучателя (рис. 1.5). Фотометрическое тело некоторых излучателей симметрично относительно оси источника и, следовательно, может быть принято за тело вращения. Такие излучатели называют *круглосимметричными* [14, 30].

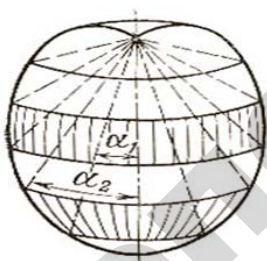


Рис. 1.5. Фотометрическое тело излучателя

Для круглосимметричных излучателей распределение силы излучения может быть представлено продольной *кривой распределения силы* излучения, полученной как результат сечения фотометрического тела любой плоскостью, проходящей через ось излучателя. Как правило, кривые распределения силы излучения изображают в полярных координатах (рис. 1.6).

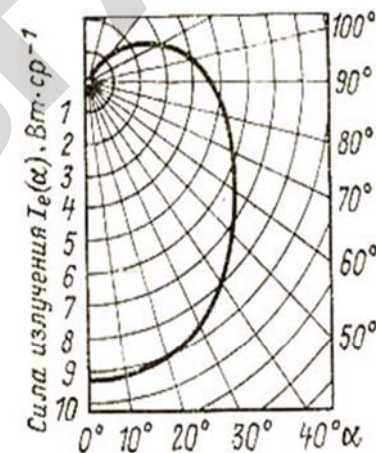


Рис. 1.6. Кривая распределения силы излучения

Зная распределение силы излучения симметричного излучателя (форму кривой распределения силы излучения), несложно определить поток излучателя. Для этого воспользуемся *зональным телесным углом*, который образуется двумя коническими поверхностями и представляет собой разность двух телесных углов: $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$. Зональный телесный угол ограничен двумя коническими поверхностями, образующие которых смещены на угол $d\alpha$ (рис. 1.3).

Элементарный зональный телесный угол определяется как:

$$d\omega = 2\pi \sin\alpha d\alpha. \quad (1.15)$$

Интегрирование равенства (1.15) в пределах соответствующих меридианных углов от α_1 до α_2 дает формулу для вычисления его значения:

$$\Delta\omega_{\alpha_1-\alpha_2} = 2\pi \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin\alpha d\alpha = 2\pi(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2). \quad (1.16)$$

Если принять, что сила излучения в пределах зонального телесного угла $\Delta\omega_{\alpha_1-\alpha_2}$, ограниченного меридианными углами $\alpha_1 \dots \alpha_2$, относительно постоянна $I_{\text{ср}}$, то поток излучения в пределах этого зонального телесного угла равен:

$$\Phi_{\alpha_1-\alpha_2} = 2\pi I_{\text{ср}} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = I_{\text{ср}} \Delta\omega_{\alpha_1-\alpha_2}. \quad (1.17)$$

Разбив пространство на ряд зональных телесных углов, заключенных между меридианными углами $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, и определив средние значения силы излучения для этих зональных телесных углов $I_{\alpha_1-\alpha_2}, I_{\alpha_2-\alpha_3}, \dots, I_{\alpha_{n-1}-\alpha_n}$, например, по кривой распределения силы излучения, можно вычислить поток излучения, распространяющийся в пределах каждой зоны $\Phi_{\alpha_1-\alpha_2}, \Phi_{\alpha_2-\alpha_3}, \dots, \Phi_{\alpha_{n-1}-\alpha_n}$, сумма которых дает приближенное значение полного потока излучения излучателя Φ :

$$\Phi = \sum_{\alpha_1-\alpha_2}^{\alpha_{n-1}-\alpha_n} \Phi_{\alpha_i-\alpha_{i+1}} = \Phi_{\alpha_1-\alpha_2} + \Phi_{\alpha_2-\alpha_3} + \dots + \Phi_{\alpha_{n-2}-\alpha_{n-1}} + \Phi_{\alpha_{n-1}-\alpha_n}. \quad (1.18)$$

Значения зональных телесных углов для интервалов меридианных углов в 10° приведены в приложении 2.

1.5. ОБЛУЧЕННОСТЬ ОТ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, СФЕРЫ, ЦИЛИНДРА

При известном значении силы излучения точечного излучателя облученность в любой точке, лежащей на поверхности, может быть определена по условию (1.11), при расположении поверхности горизонтально ($\alpha = \beta, l = \frac{h}{\cos \alpha}$) — по выражению (1.12), а для вер-

тикальной поверхности ($\cos \beta = \sin \alpha, l = \frac{h}{\cos \alpha}$):

$$E_M = \frac{I_\alpha \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2}. \quad (1.19)$$

Если горизонтальная поверхность расположена перпендикулярно потоку излучения ($\beta = 0, l = \frac{h}{\cos \alpha}$), то:

$$E_M = \frac{I_\alpha \cdot \cos^2 \alpha}{h^2}. \quad (1.20)$$

Объекты сельскохозяйственного производства при моделировании представляют в виде сферы или цилиндра и при светотехнических расчетах определяют не облученность какой-либо конкретной точки, а среднюю облученность всей облучаемой поверхности [11, 15, 30]. Если объект облучения представлен в виде сферы, а точнее, в виде полусферы (так как вторая половина сферы затенена), то ее среднюю облученность определяют, исходя из следующих соображений (рис. 1.7).

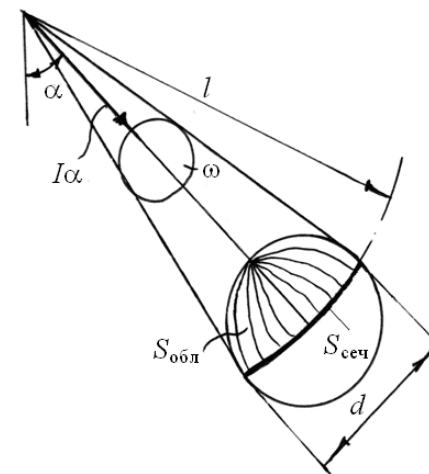


Рис. 1.7. К вопросу определения облученности сферы

Площадь облучаемой поверхности (полусферы) $S_{\text{обл}} = \frac{\pi d^2}{2}$, площадь сечения сферы $S_{\text{сеч}} = \frac{\pi d^2}{4}$, и телесный угол в направлении сфе-

ры $\omega = \frac{S_{\text{сеч}}}{l^2} = \frac{\pi d^2}{4l^2}$. Так как средняя облученность поверхности сферы

$E_{\text{ср}} = \frac{\Phi}{S_{\text{обл}}}$, значение потока излучения $\Phi = I_{\alpha} \cdot \omega$, а $l = \frac{h}{\cos \alpha}$, то:

$$E_{\text{ср}} = \frac{\Phi}{S_{\text{обл}}} = \frac{2I_{\alpha} \pi d^2}{4\pi d^2 l^2} = 0,5 I_{\alpha} \frac{\cos^2 \alpha}{h^2}, \quad (1.21)$$

где d — диаметр сферы.

Если объект облучения представлен в виде цилиндра диаметром d и длиной l_1 , то площадь его облучаемой поверхности (полуцилиндра, так как его вторая половина затенена) $S_{\text{обл}} = \frac{\pi d l_1}{2}$, площадь

сечения $S_{\text{сеч}} = d \cdot l_1$ и телесный угол $\omega = \frac{d \cdot l_1}{l^2}$.

Тогда среднюю облученность поверхности цилиндра при $E_{\text{ср}} = \frac{\Phi}{S_{\text{обл}}}$, значении потока излучения $\Phi = I_{\alpha} \cdot \omega$, а $l = \frac{h}{\cos \alpha}$ опре-

делим как:

$$E_{\text{ср}} = \frac{2I_{\alpha} d l_1}{l^2 \pi d l_1} = \frac{2I_{\alpha} \cos^2 \alpha}{\pi h^2} = 0,64 \frac{I_{\alpha} \cos^2 \alpha}{h^2}. \quad (1.22)$$

Анализ формул (1.12, 1.19, ..., 1.22) позволяет получить единую формулу для определения облученности различных тел:

$$E_{\text{тела}} = K_{\text{ф}} \frac{I_{\alpha} \cos^2 \alpha}{h^2}, \quad (1.23)$$

где $K_{\text{ф}}$ — коэффициент формы поверхности тела, равный: $\cos \alpha$ для горизонтальной плоской поверхности, $\sin \alpha$ — вертикальной плоской поверхности, 1 — горизонтальной плоской поверхности, расположенной перпендикулярно потоку излучения, 0,5 — сферической поверхности, 0,64 — цилиндрической, расположенной горизонтально, нормально к распределению потока излучения, и $0,64 \cos \alpha$ — цилиндрической, расположенной продольно к распределению потока излучения.

Излучатель не всегда может быть представлен в виде точечного. Если его длина составляет более половины расстояния между ним и поверхностью облучения, то его называют *линейным* (иначе *светящейся линией*). Примером таких излучателей являются газоразрядные лампы низкого давления.

Для определения облученности от линейных излучателей невозможно применять вышеприведенные формулы из-за значительных ошибок в расчетах (более 5%). Формулы, по которым производятся расчеты облученности, несколько видоизменяются. Методику их получения покажем на примере определения облученности плоской поверхности, расположенной параллельно линейному излучателю. За линейный излучатель примем цилиндр диаметром более чем на порядок меньше его длины, поток излучения с элемента поверхности которого подчиняется закону $I_{\alpha L} = I_{0L} \cdot \cos \alpha$, что справедливо для большинства газоразрядных ламп низкого давления.

Положение расчетной точки M определяем таким образом, чтобы ее проекция на плоскость F совпала с проекцией конца линейного излучателя на расчетную плоскость S (рис. 1.8). Выделим на линейном излучателе бесконечно малый элемент dL , положение которого относительно расчетной точки M определяется высотой расположения H_p и углами φ и α .

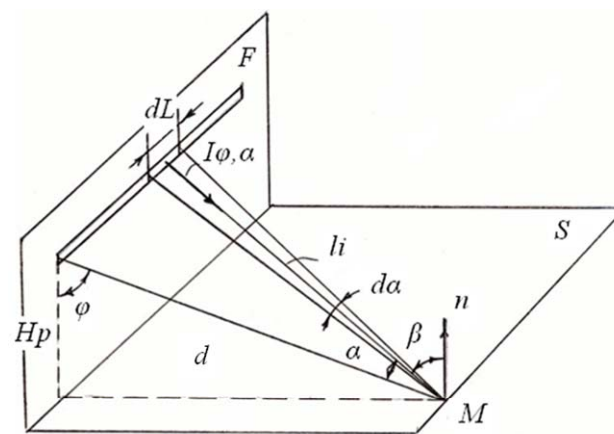


Рис. 1.8. Облученность горизонтальной поверхности от линейного излучателя

Облученность в расчетной точке M от элемента линейного излучателя dL определим по классической формуле светотехники (1.11):

$$dE_M = \frac{dI_{\varphi,\alpha} \cos\beta}{l_i^2}, \quad (1.24)$$

где $dI_{\varphi,\alpha}$ — сила излучения элемента линейного излучателя dL в направлении точки M ; β — угол между вектором силы излучения $dI_{\varphi,\alpha}$ и нормалью к облучаемой поверхности n в точке M ; l_i — расстояние от элемента линейного излучателя dL до точки M .

Учтя, что $dI_{\varphi,\alpha} = I_{\varphi} dL \cos\alpha$, $\cos\beta = \frac{H_p}{l_i}$, $l_i = \frac{H_p}{\cos\varphi \cos\alpha}$ и $dL \cos\alpha = l_i d\alpha$,

имеем:

$$dE_M = \frac{I_{\varphi}}{H_p} \cos^2 \varphi \cos^2 \alpha d\alpha. \quad (2.25)$$

Облученность в точке M от всего линейного излучателя определяется интегрированием формулы (1.25) по длине линии L :

$$E_M = \int_L dE_M = \frac{I_{\varphi}}{H_p} \cos^2 \varphi \int_0^{\alpha_k} \cos^2 \alpha d\alpha.$$

После подстановки $\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$ и интегрирования по $d\alpha$

имеем:

$$E_M = \frac{I_{\varphi}}{H_p} \cos^2 \varphi \left(\alpha_k + \frac{\sin 2\alpha_k}{2} \right), \quad (1.26)$$

где I_{φ} — сила излучения с единицы длины линейного излучателя

в плоскости, перпендикулярной к оси линии $\left(\varphi = \arctg \frac{d}{H_p} \right)$; α_k —

угол, под которым виден линейный излучатель с точки расчета; H_p — высота расположения линейного излучателя над облучаемой поверхностью.

Силу излучения I_{φ} с единицы длины линии в плоскости, перпендикулярной к ее оси, с некоторым приближением можно определить по формуле:

$$I_{\varphi} = \frac{\Phi}{\pi^2 L}, \quad (1.27)$$

где Φ — поток светящейся линии.

1.6. ПРИЕМНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Тела (физические или биологические объекты), в которых происходит поглощение и преобразование оптического излучения, называют *приемниками* оптического излучения.

Воздействие оптического излучения на приемники определяется их оптическими свойствами, в частности, *отражением*, *поглощением* и *пропусканием* [11, 15, 30]. При этом (рис. 1.9) — $\Phi = \Phi_{\alpha} + \Phi_{\rho} + \Phi_{\tau}$, где: Φ — поток оптического излучения, попавший на приемник; Φ_{α} — поток оптического излучения, поглощенный приемником; Φ_{ρ} — поток оптического излучения, отраженный от поверхности приемника; Φ_{τ} — поток оптического излучения, прошедший через приемник.

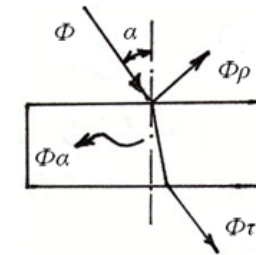


Рис. 1.9. Взаимодействие оптического излучения с приемником

Отражением называют процесс возвращения излучения объектом без изменения длин волн монохроматических излучений, его составляющих. Различают три вида отражения: направленное (в том числе зеркальное), рассеянное (диффузное) и направленно-рассеянное (рис. 1.10).

Пропусканием называется прохождение излучения сквозь среду без изменения длин волн соответствующих его монохроматических излучений. Пропускание, так же, как и отражение, бывает трех ви-

дов: направленное (в том числе зеркальное), рассеянное (диффузное) и направленно-рассеянное (рис. 1.10).

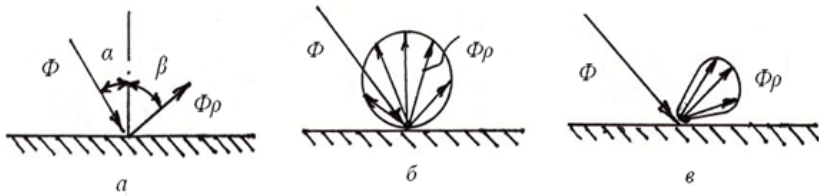


Рис. 1.10. Распределение отраженных потоков оптического излучения:
а — направленное; б — рассеянное; в — направленно-рассеянное

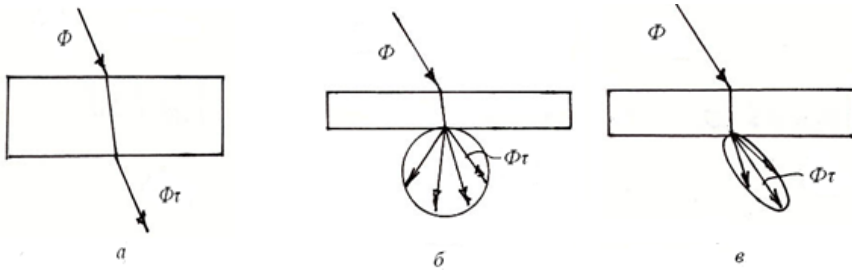


Рис. 1.11. Распределение пропущенных потоков оптического излучения:
а — направленное; б — рассеянное; в — направленно-рассеянное

Количественная оценка оптических свойств тел определяется *интегральными коэффициентами* поглощения $\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi}$, отражения

$\rho = \frac{\Phi_p}{\Phi}$ и пропускания $\tau = \frac{\Phi_t}{\Phi}$, при этом очевидно, что $\alpha + \rho + \tau = 1$.

Однако большинство приемников обладает избирательной (селективной) чувствительностью к излучению разных длин волн.

Для характеристики тел, способных поглощать, отражать и пропускать излучение определенной длины волны излучения, то есть монохроматическое излучение, вводят понятие *спектральных коэффициентов* поглощения α_λ , отражения ρ_λ и пропускания τ_λ :

$\alpha_\lambda = \frac{(\Phi_a)_\lambda}{\Phi_\lambda}$, $\rho_\lambda = \frac{(\Phi_p)_\lambda}{\Phi_\lambda}$, $\tau_\lambda = \frac{(\Phi_t)_\lambda}{\Phi_\lambda}$. При этом, как и ранее, сумма

спектральных коэффициентов монохроматического излучения определенной длины волны равна 1, то есть $\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$.

Очевидно, что интегральные коэффициенты связаны со спектральными коэффициентами следующими соотношениями:

$$\rho = \frac{\int_{\lambda_{\text{HM}}}^{\lambda_{\text{MM}}} \varphi(\lambda) \rho_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{\text{HM}}}^{\lambda_{\text{MM}}} \varphi(\lambda) d\lambda}; \quad \alpha = \frac{\int_{\lambda_{\text{HM}}}^{\lambda_{\text{MM}}} \varphi(\lambda) \alpha_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{\text{HM}}}^{\lambda_{\text{MM}}} \varphi(\lambda) d\lambda}; \quad \tau = \frac{\int_{\lambda_{\text{HM}}}^{\lambda_{\text{MM}}} \varphi(\lambda) \tau_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{\text{HM}}}^{\lambda_{\text{MM}}} \varphi(\lambda) d\lambda}.$$

В числителе приведенных формул указан поток сложного излучения, соответственно, отраженный, поглощенный и пропущенный, а в знаменателе — падающий поток излучения.

Зависимость, определяющую чувствительность приемника к монохроматическому излучению разных длин волн, называют *спектральной чувствительностью* приемника. Как правило, показатель спектральной чувствительности приемника (рис. 1.12) приводят для поглощенного потока излучения, так как только он может переходить в другие виды энергии и оказывать какое-то действие (физическое, химическое, биологическое и иное), ожидаемое или нежелательное.

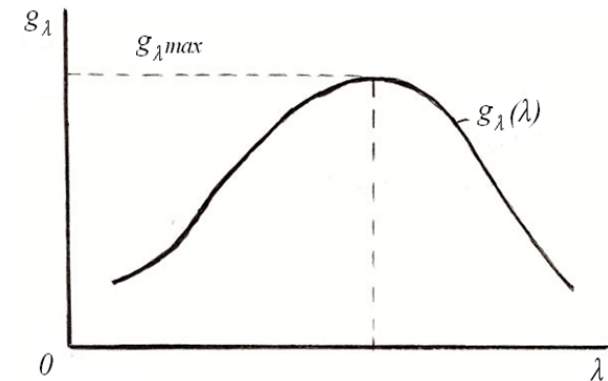


Рис. 1.12. Спектральная чувствительность

Спектральную чувствительность приемника к монохроматическому потоку излучения определяют по формуле [11, 15, 30]:

$$g_{\lambda} = C \frac{\Phi_{\alpha\lambda}}{\Phi_{\lambda}}, \quad (1.28)$$

где C — коэффициент, определяемый выбором единиц измерения величины; $\Phi_{\alpha\lambda}$ — поглощенный приемником поток монохроматического излучения; Φ_{λ} — полный поток монохроматического излучения, падающий на приемник.

В некоторой части спектра спектральная чувствительность имеет максимальное значение $g_{\lambda\max}$. Если все другие значения спектральной чувствительности $g_{\lambda}(\lambda)$ разделить на $g_{\lambda\max}$, то получим *относительную спектральную чувствительность* $K_{\lambda}(\lambda)$:

$$K_{\lambda}(\lambda) = \frac{g_{\lambda}(\lambda)}{g_{\lambda\max}}. \quad (1.29)$$

Относительная спектральная чувствительность — величина безразмерная. Ею удобнее пользоваться для оценки спектральной чувствительности различных приемников. Она также может быть выражена графически (рис. 1.13).

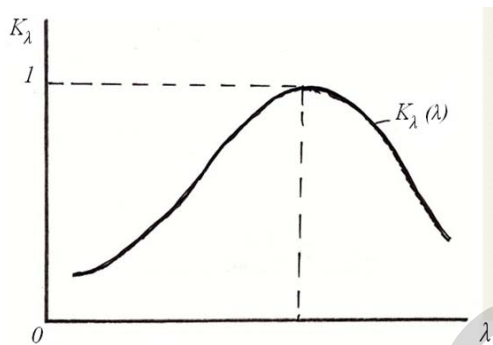


Рис. 1.13. Относительная спектральная чувствительность

Зная зависимость спектральной чувствительности приемника от длины волны попавшего на него потока излучения $g_{\lambda}(\lambda)$, несложно получить значение *интегральной чувствительности приемника*:

$$g = \int_{1\text{нм}}^{1\text{мм}} g_{\lambda}(\lambda) d\lambda. \quad (1.30)$$

С другой стороны, интегральная чувствительность приемника может быть определена как отношение поглощенной энергии излучения Q_{α} к падающей на приемник энергии Q :

$$g = C \frac{Q_{\alpha}}{Q}. \quad (1.31)$$

1.7. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПРИЕМНИКАМИ, ПОНЯТИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПОТОКА

Из всей энергии оптического излучения, упавшей на приемник живой или неживой природы, только та часть может быть преобразована в другой вид энергии (электрическую, тепловую, химическую, биологическую), которая им поглощается. Отраженный или прошедший сквозь тело поток оптического излучения не оказывает на него никакого действия.

Поглощенный приемником поток оптического излучения, преобразованный в нем в другой вид энергии и вызвавший в приемнике какое-либо ожидаемое полезное действие, называют *эффективным потоком*. Как видим, эффективный поток отличается от поглощенного потока уровнем реакции на него приемника энергии излучения.

Не весь поглощенный поток излучения оказывает эффективное действие на приемник. Некоторая его составляющая может оказывать и побочные эффекты или преобразовываться в тепловую энергию и расходоваться на нагрев приемника. К тому же спектральная чувствительность приемника, определяющая значение эффективного потока, для большинства приемников, в частности, биологических, характеризуется многофакторной зависимостью, в том числе и от внешних условий окружающей среды.

Если известна спектральная плотность потока излучения $\Phi_{e\lambda}$ и спектральная чувствительность приемника g_{λ} , то эффективный поток $\Phi_{\text{эф}}$ можно определить как:

$$\Phi_{\text{эф}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{e\lambda}(\lambda) \cdot g_{\lambda}(\lambda) d\lambda, \quad (1.32)$$

или, воспользовавшись значениями относительной спектральной чувствительности приемника $K_{\lambda}(\lambda)$, как:

$$\Phi_{\text{эф}} = g_{\lambda \text{ max}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_{e\lambda}(\lambda) \cdot K_{\lambda}(\lambda) d\lambda \quad (1.33)$$

Графическая иллюстрация определения эффективного потока приведена на рис. 1.14, где в одномерном масштабе изображены спектральная плотность потока излучения $\varphi_{e\lambda}$ и спектральная чувствительность приемника g_{λ} , а эффективный поток $\Phi_{\text{эф}}$ определяется площадью заштрихованной фигуры.

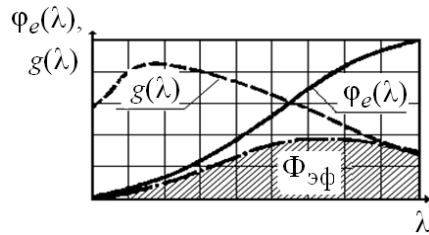


Рис. 1.14. Графическая иллюстрация определения эффективного потока

Преобразование оптического излучения начинается с поглощения энергии молекулами вещества и подчиняется основным законам Бугера–Ламберта, Эйнштейна, Бунзена–Роско и Арндта–Шульца.

Закон ослабления Бугера–Ламберта устанавливает взаимосвязь силы излучения I , прошедшего слой вещества среды толщиной l , и силы излучения на поверхности приемника I_0 (рис. 1.15):

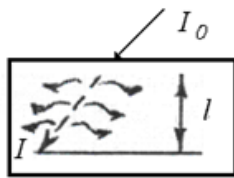


Рис. 1.15. Поглощение оптического излучения приемником

$$I = I_0 e^{-k_{\lambda} l}, \quad (1.34)$$

где k_{λ} — показатель поглощения, определяемый физико-химическими свойствами вещества (величина, обратная расстоянию, на ко-

тором монохроматический поток излучения, образующий параллельный пучок, ослабляется за счет поглощения в веществе в e раз).

Учтя, что спектральный коэффициент поглощения равен отношению поглощенного потока монохроматического излучения $(\Phi_{\alpha})_{\lambda}$ к потоку монохроматического излучения, попавшего на

приемник, $\Phi_{\lambda} = \alpha_{\lambda} \Phi_{\lambda}$, а силы излучения пропорциональны

соответствующим потокам — $I_0 = I \equiv (\Phi_{\alpha})_{\lambda}$ и $I \equiv \Phi_{\lambda}$, то после несложных преобразований имеем:

$$\alpha_{\lambda} = 1 - e^{-k_{\lambda} l} \quad (1.35)$$

Закон квантовой эквивалентности Эйнштейна указывает на то, что каждый поглощенный фотон вызывает одну элементарную реакцию. В частности, эта реакция может быть химическим превращением либо физическим возбуждением молекул вещества.

В соответствии с законом квантовой эквивалентности Эйнштейна число прореагировавших молекул n_{α} определяется поглощенной энергией фотонов излучения Q :

$$n_{\alpha} = \frac{Q}{h\nu}, \quad (1.36)$$

где h — постоянная Планка, ν — частота монохроматического излучения.

Закон Бунзена–Роско определяет количественный процесс преобразования энергии излучения. Как правило, не вся поглощенная лучистая энергия преобразуется в эффективную (полезную). Например, при облучении растений часть поглощенной лучистой энергии расходуется на процесс фотосинтеза, а часть на нагрев листьев.

Количественно процесс преобразования энергии излучения определяют через показатель *квантовый выход* η_k :

$$\eta_k = \frac{n_{\alpha \text{эф}}}{n_{\alpha}}, \quad (1.37)$$

где $n_{\alpha \text{эф}}$ — количество эффективно преобразованных поглощенных фотонов; n_{α} — количество поглощенных фотонов.

Так как $n_{\alpha \text{эф}} = n_{\alpha} \eta_{\text{к}} = \frac{Q}{h\nu} \eta_{\text{к}}$, а $Q = \alpha_{\lambda} \cdot \Phi_{\lambda} \cdot \tau$ и $\alpha_{\lambda} = 1 - e^{-k_{\lambda} l}$, то

$$n_{\alpha \text{эф}} = \eta_{\text{к}} \frac{(1 - e^{-k_{\lambda} l}) \cdot \Phi_{\lambda} \cdot \tau}{h \cdot \nu}, \text{ или, введя коэффициент } a = \eta_{\text{к}} \frac{(1 - e^{-k_{\lambda} l})}{h \cdot \nu},$$

значение которого определяется свойствами приемника, получим:

$$n_{\alpha \text{эф}} = a \cdot \Phi_{\lambda} \cdot \tau. \quad (1.38)$$

Формула (1.38) указывает, что количество эффективно преобразованных фотонов (например, при фотохимической реакции) определяется произведением мощности излучения Φ_{λ} на время его действия τ и не зависит от соотношения сомножителей. Из чего следует, что один и тот же эффект может быть получен варьированием значений лучистого потока или времени — уменьшением лучистого потока и увеличением времени облучения или наоборот.

Закон Арндта–Шульца указывает на взаимосвязь мощности воздействующего оптического излучения и жизнедеятельности живых организмов — слабое раздражение возбуждает, среднее раздражение подавляет и сильное раздражение приостанавливает жизнедеятельность, что проиллюстрировано на рис. 1.16.



Рис. 1.16. Воздействие мощности оптического излучения на технологический эффект

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните физическую сущность получения оптического излучения. Какие параметры характеризуют его волновую и квантовую природу?

2. Укажите границы областей спектра оптического излучения и его характерных участков (зон, диапазонов). Расскажите о свойствах УФ- (по зонам УФ-А, УФ-В, УФ-С), видимого и ИК излучений и приведите примеры использования на объектах сельскохозяйственного производства.

3. Разъясните физический смысл понятий: спектральная плотность потока излучения, поток излучения, сила излучения, плотность облучения (облученность), доза облучения (экспозиция). Назовите единицы их измерения и приведите математические формулы их зависимости друг от друга.

4. Перечислите основные величины энергетической системы измерения оптического излучения и единицы их измерения.

5. Что такое кривая силы излучения источника и как с ее помощью можно определить поток излучения?

6. Каким образом рассчитывается облученность от точечного источника горизонтальной и наклонной поверхностей?

7. Расскажите об оптических свойствах приемников оптического излучения: спектральных и интегральных коэффициентах поглощения, отражения и пропускания.

8. Расскажите о воздействии оптического излучения на приемники оптического излучения и поясните понятия абсолютной, относительной и интегральной спектральной чувствительности приемников.

9. Поясните физический смысл эффективного потока оптического излучения.

10. Сформулируйте законы (Бугера–Ламберта, Эйнштейна, Бунзена–Роско и Арндта–Шульца), описывающие основополагающие принципы взаимодействия оптического излучения с приемниками.

2. СВЕТОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2.1. ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Количественная оценка эффективного действия оптического излучения в системе рассмотренных ранее энергетических величин и единиц их измерения (§ 1.3) представляет некоторые трудности. Для ее упрощения применительно к объектам сельскохозяйственного производства предложены другие системы, учитывающие эффект воздействия излучения на приемник: световая, бактерицидная, витальная и фотосинтетическая [11, 15]. Каждая из предложенных систем эффективных величин основана на спектральной чувствительности какого-то одного из группы близких по спектральной чувствительности приемников, который принято называть *образцовым* или *эталонным*¹.

К образцовому приемнику предъявляется ряд требований:

— Он должен реагировать на любое однородное излучение в пределах того участка спектра, на котором располагаются кривые спектральной чувствительности всех приемников данной группы.

— Его реакция на облучение должна поддаваться непосредственному или косвенному измерению с требуемой точностью.

— Эффективные величины системы, созданной на основе выбранного образцового приемника, должны обладать свойством аддитивности.

¹ Отметим, что спектральные чувствительности реальных существующих в природе приемников несколько отличаются от спектральной чувствительности образцового приемника, и расчет эффективного воздействия оптического излучения на каждый конкретный приемник с использованием той или иной системы эффективных величин является приближенным.

В качестве образцового приемника в *системе световых величин* принят усредненный глаз человека, максимальное значение спектральной чувствительности которого наблюдается при длине волны $\lambda_{\max} = 555$ нм (рис 2.1). Система позволяет количественно оценить способность потока оптического излучения создавать видимость окружающих нас предметов в условиях дневного зрения.

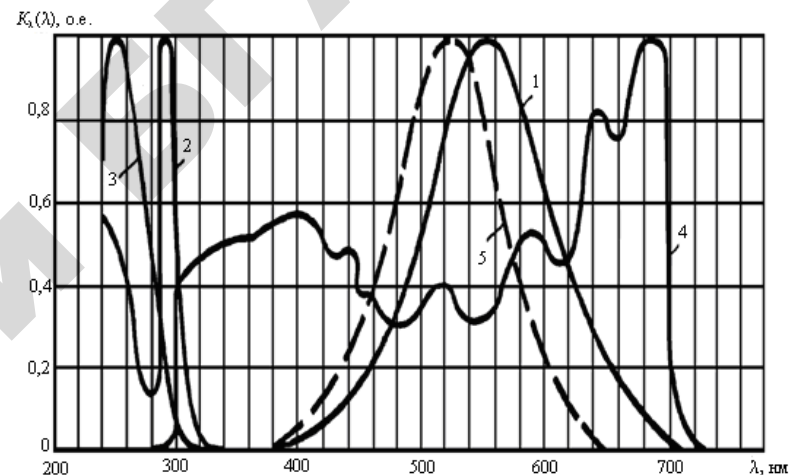


Рис. 2.1. Относительные спектральные чувствительности образцовых приемников: светоадаптированного усредненного глаза человека в условиях дневного зрения (1); кожи человека на витальное (2) и бактерий на летальное (3) действия ультрафиолетового излучения; среднего листа растений (4); усредненного глаза человека в условиях ночного зрения (5)

Система бактерицидных величин определяет способность коротковолнового УФ-излучения губительно воздействовать на бактерии, приводя к их летальному исходу. Образцовый приемник, на базе которого построена система, учитывает усредненное избирательное действие излучения на различные виды бактерий. Максимальное значение спектральной чувствительности этого образцового приемника наблюдается при длине волны $\lambda_{\max} = 254$ нм (рис 2.1).

*Система витальных величин*² оценивает общебиологическое действие ультрафиолетового излучения с длиной волны 0,28...0,38 нм

² Система витальных величин ранее существовала под названием «система зрительных величин».

(антирадитное, тонизирующее, терапевтическое) на организм человека и животных, сопровождаемое образованием эритемы (покраснения) на участках кожи, подвергнувшихся облучению. За образцовый приемник в этой системе принята кожа человека (рис. 2.1), максимальное значение спектральной чувствительности которой отмечается при длине волны $\lambda_{\max} = 297$ нм.

Система фотосинтетических величин оценивает эффективность реакции фотосинтеза в зеленом листе растений, в результате которой образуется биомасса растения, поглощается углекислый газ из воздуха и выделяется кислород. За образцовый приемник в системе принят усредненный лист зеленого растения, расчетная относительная спектральная чувствительность которого по И. И. Свентицкому [15] приведена на рис. 2.1. Максимальное значение спектральной чувствительности этого листа растений отмечается при длине волны $\lambda_{\max} = 680$ нм.

Эффективным потоком в системе световых величин и единиц их измерения является световой поток. За единицу светового потока в соответствии с международным соглашением принят люмен (лм). Люмен — световой поток, излучаемый абсолютно черным телом площадью $0,5305$ мм² при температуре затвердевания платины (2045 К).

Установлено, что при воздействии монохроматическим излучением с длиной волны 555 нм и мощностью 1 Вт на светоадаптированный глаз стандартного фотометрического наблюдателя создается 683 лм светового потока. Следовательно, число $683 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$ является световым эквивалентом мощности излучения.

Значение светового потока Φ_C в общем потоке оптического излучения Φ_e можно определить по формуле:

$$\Phi_C = 683 \int_{380\text{нм}}^{780\text{нм}} \varphi_{e\lambda}(\lambda) \cdot K_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (2.1)$$

где $\varphi_{e\lambda}$ — спектральная плотность потока излучения; K_λ — относительная спектральная чувствительность светоадаптированного глаза стандартного фотометрического наблюдателя.

При численном интегрировании в пределах зоны видимого излучения формула (2.1) может быть представлена в виде:

$$\Phi_C = 683 \sum_{i=1}^n \varphi_{e\lambda}(\lambda_i) \cdot K_\lambda(\lambda_i), \quad (2.2)$$

где $\varphi_{e\lambda}(\lambda_i)$ — значение потока оптического излучения в i -м диапазоне спектра зоны видимого излучения, Вт; $K_\lambda(\lambda_i)$ — относительная спектральная чувствительность светоадаптированного глаза стандартного фотометрического наблюдателя в i -м диапазоне спектра зоны видимого излучения, отн. ед.

Другие величины системы световых величин, такие как сила света, освещенность, светимость, экспозиция, можно получить по аналогии с рассмотренными выше величинами системой энергетических величин (приложение 1). Так, пространственную плотность светового потока (силу света) определяют отношением светового потока точечного источника Φ_C , расположенного в вершине телесного угла, к телесному углу ω , в пределах которого равномерно распределен этот поток, то есть

$$I_C = \frac{d\Phi_C}{d\omega}. \quad (2.3)$$

За единицу силы света принята кандела (кд), одна из основных единиц системы СИ. Кандела равна силе света источника, испускающего монохроматические излучения частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, значением в $1/683 \text{ Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$. Силу света в 1 кд излучает в перпендикулярном направлении элемент черного тела площадью $1/600000$ м² при температуре затвердевания платины (2045 К) и давлении $101\,325$ Па. Из определения силы света следует, что $1 \text{ кд} = 1 \text{ лм} \cdot \text{ср}^{-1}$ или $1 \text{ лм} = 1 \text{ кд} \cdot \text{ср}$.

Отношение светового потока Φ_C , падающего на поверхность и равномерно по ней распределяющегося, к площади этой поверхности S называют освещенностью E_C , то есть

$$E_C = \frac{d\Phi_C}{dS}. \quad (2.4)$$

За единицу освещенности принят люкс (лк), равный освещенности поверхности площадью 1 м^2 , на которой равномерно распределен световой поток в 1 лм ($1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} \cdot \text{м}^{-2}$).

Плотность светового потока на поверхности источника (светимость) M_C , лк, определяют как:

$$M_C = \frac{d\Phi_C}{dS_{\text{ист}}}, \quad (2.5)$$

где $S_{\text{ист}}$ — площадь излучающей поверхности источника.

Количество энергии видимого излучения, приходящееся на единицу площади облучаемой поверхности в течение времени ее действия, называют *световой экспозицией* H_C , лк · с:

$$H_C = \int_{t_1}^{t_2} E_C(t) dt, \quad (2.6)$$

где t — продолжительность облучения, с.

Величины и единицы измерения витального излучения. Принято считать, что общее благоприятное действие УФ-излучения на животных и птиц пропорционально его витальному действию.

Исходной величиной в системе витальных величин служит витальный поток Φ_V (приложение 1). За единицу измерения витального потока принято воздействие монохроматического лучистого потока с длиной волны 297 нм и мощностью 1 Вт на образцовый приемник — кожу человека. Этой единице присвоено название *вит* (тысячная доля единицы — *милливит*, или сокращенно *мвит*).

Силой витального излучения I_V называется пространственная плотность витального потока, равная отношению витального потока Φ_V источника, расположенного в вершине телесного угла, к телесному углу ω , в котором равномерно распределено излучение, то есть $I_V = \frac{d\Phi_V}{d\omega}$. Единицей измерения силы витального излучения является *вит · ср⁻¹* или *мвит · ср⁻¹*.

Плотность витального потока по поверхности облучаемого объекта называют витальной облученностью, или вита-облученностью E_V , которая определяется как $E_V = \frac{d\Phi_V}{dS}$. Единицей измерения витальной облученности служит *вит · м⁻²* или *мвит · м⁻²*.

Витальная экспозиция (количество витального облучения) H_V , характеризующая количество энергии витального излучения, упавшего на единицу облучаемой поверхности за время t , определяется по формуле $H_V = \int_{t_1}^{t_2} E_V(t) dt$. Единица измерения витальной экспозиции — *вит · с · м⁻²* или *мвит · с · м⁻²*.

Величины и единицы измерения бактерицидного излучения. В бактерицидной системе величин эффективным потоком, определяе-

мым по бактерицидному действию коротковолнового УФ-излучения на различные виды бактерий, является бактерицидный поток Φ_B . Наибольшим бактерицидным действием (способностью вызывать гибель бактерий) обладает УФ-излучение с длиной волны 254 нм. За единицу бактерицидного потока принято разрушающее действие на бактерии монохроматического излучения с длиной волны 254 нм и мощностью 1 Вт. Единицей измерения бактерицидного потока служит *бакт* (*бк*), а его тысячная доля — *миллибакт* (*мбк*).

Остальные величины и единицы этой системы образованы аналогично вышеприведенным (световой и витальной) системам. Единицей измерения *силы бактерицидного излучения* I_B является *бк · ср⁻¹* или *мбк · ср⁻¹*. Бактерицидную облученность E_B принято выражать в *бк · м⁻²* (*мбк · м⁻²*), а бактерицидную экспозицию (количество бактерицидного облучения) H_B — в *бк · с · м⁻²* (*мбк · с · м⁻²*).

В основе построения **фотосинтетической системы величин и единиц измерения** лежит понятие *фитопотока*. Фитопоток Φ_F количественно определяет содержание в потоке излучения энергии, потенциально доступной растениям для осуществления реакции фотосинтеза. За единицу фитопотока принят *фит*, численно равный монохроматическому потоку оптического излучения мощностью 1 Вт с длиной волны 680 нм. В качестве производных величин в рассматриваемой эффективной системе используются: сила фитоизлучения I_F (пространственная плотность фитопотока), *фит · ср⁻¹*; фитооблученность E_F , *фит · м⁻²*; фитоэкспозиция H_F (количество фитооблучения), *фит · с · м⁻²*.

Величины и единицы измерения действия инфракрасного излучения. Эффективное тепловое действие ИК-излучений оценивают в абсолютных единицах энергетической системы величин: поток ИК-излучения $\Phi_{ИК}$, *Вт*; сила ИК-излучения $I_{ИК}$, *Вт · ср⁻¹*; ИК-облученность $E_{ИК}$, *Вт · м⁻²*; экспозиция (количество облучения) ИК-излучения $H_{ИК}$, *Дж · м⁻²*.

2.2. УСЛОВИЯ ВИДИМОСТИ ОКРУЖАЮЩИХ ПРЕДМЕТОВ

Преобразование оптического излучения в зрительные ощущения является сложным фотобиологическим процессом. Отраженный от поверхности объектов различения световой поток, пройдя через зрачок и среднюю глазную яблочку, падает на сетчатку и преобразуется

в импульсы электрического тока, посылаемые по нервным волокнам в головной мозг, где и формируется образ объекта. Уровень зрительного ощущения определяется плотностью светового потока на сетчатке глаза (освещенностью сетчатки глаза) $E_{\text{сет}}$.

При известном значении светового потока, прошедшего через зрачок глаза, освещенность сетчатки глаза может быть определена как (рис. 2.2):

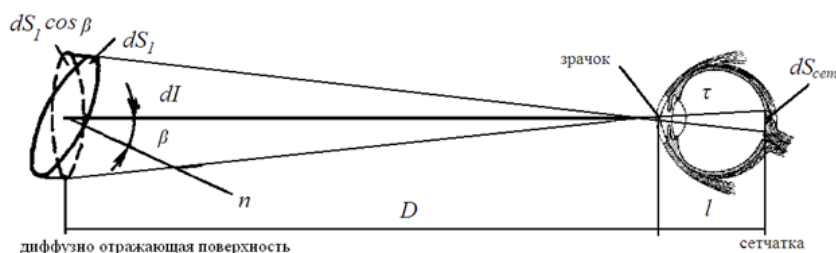


Рис. 2.2. Схема отражения видимого изображения на сетчатке глаза

$$E_{\text{сет}} = \tau \frac{d\Phi_{\text{зр}}}{dS_{\text{сет}}}, \quad (2.7)$$

где τ — коэффициент пропускания светового потока средой глазного яблока; $d\Phi_{\text{зр}}$ — световой поток от элемента диффузно отражающей поверхности dS_1 , падающий на зрачок глаза; $dS_{\text{сет}}$ — площадь изображения элемента поверхности различения dS_1 на сетчатке глаза.

Световой поток элемента диффузно отражающей поверхности dS_1 , падающий на зрачок глаза, равен

$$d\Phi_{\text{зр}} = dE_{\text{зр}} \cdot S_{\text{зр}}, \quad (2.8)$$

где $dE_{\text{зр}}$ — элементарная освещенность входной поверхности зрачка; $S_{\text{зр}}$ — площадь входной поверхности зрачка.

Элементарная освещенность входной поверхности зрачка $dE_{\text{зр}}$, создаваемая силой света dI в направлении глаза наблюдателя, равна

$$dE_{\text{зр}} = \frac{dI}{D^2}, \quad \text{где } D \text{ — расстояние от объекта различения до глаза на}$$

$$\text{блюдателя. Тогда } d\Phi_{\text{зр}} = \frac{dI \cdot S_{\text{зр}}}{D^2} \text{ и } E_{\text{сет}} = \tau \frac{dI \cdot S_{\text{зр}}}{D^2 \cdot dS_{\text{сет}}}.$$

Так как площадь проекции элемента поверхности dS_1 на плоскость, перпендикулярную линии зрения, равна $dS_1 \cdot \cos\beta$, то из очевидной пропорции (рис. 2.2) $\frac{dS_1 \cdot \cos\beta}{dS_{\text{сет}}} = \frac{D^2}{l^2}$ имеем $D^2 = \frac{dS_1 \cdot \cos\beta \cdot l^2}{dS_{\text{сет}}}$. Следовательно:

$$E_{\text{сет}} = \frac{\tau \cdot S_{\text{зр}}}{l^2} \cdot \frac{dI}{dS_1 \cdot \cos\beta} = C \cdot \frac{dI}{dS_1 \cdot \cos\beta}, \quad (2.9)$$

где $C = \frac{\tau \cdot S_{\text{зр}}}{l^2}$ — постоянная величина для глаза наблюдателя, работающего при заданных условиях зрения.

Формула (2.9) указывает на то, что освещенность сетчатки глаза $E_{\text{сет}}$, определяющая уровень зрительного ощущения видимого излучения, пропорциональна величине

$$B_C = \frac{dI}{dS_1 \cdot \cos\beta}, \quad (2.10)$$

где B_C — яркость диффузно отражающей поверхности dS_1 .

Яркость B_C ($\text{кд} \cdot \text{м}^{-2}$) диффузно отражающей поверхности — отношение силы света dI в направлении глаза наблюдателя к площади проекции элемента поверхности dS на плоскость, перпендикулярную линии зрения $dS \cdot \cos\beta$. Яркость поверхности определяется ее освещенностью и коэффициентом отражения видимого излучения.

Если объект, который глаз пытается обнаружить, поместить на фоне такого же цвета, то вероятность подобного действия будет зависеть от значений яркостей объекта B_0 и фона $B_{\text{ф}}$. При одинаковых значениях яркости одноцветных объекта и фона ($B_0 = B_{\text{ф}}$) объект практически не отличим от фона. Некоторая минимальная разность яркостей объекта B_0 и фона $B_{\text{ф}}$, при которой с заданной вероятностью обеспечивается обнаружение объекта, называется *пороговой разностью яркостей (разностным порогом)* $\Delta B_{\text{пор}}$:

$$\Delta B_{\text{пор}} = B_0 - B_{\text{ф}}. \quad (2.11)$$

Отношение разности яркостей объекта и фона к яркости фона называют *яркостным контрастом*³:

³ Понятие *яркостной контраст* характерно при одноцветных объекте и фоне. При разноцветных объекте и фоне используется понятие *цветовой контраст*, а в общих случаях, когда указанные особенности не выделяются, просто *контраст*.

$$K = \frac{B_0 - B_\Phi}{B_\Phi}. \quad (2.12)$$

Яркостной контраст объекта и фона, обеспечивающий заданную вероятность обнаружения объекта, принято называть *пороговым контрастом* $K_{\text{пор}}$:

$$K_{\text{пор}} = \frac{\Delta B_{\text{пор}}}{B_\Phi}. \quad (2.13)$$

Вероятность обнаружения объекта или различения его формы увеличивается с ростом его контраста⁴ с фоном, углового размера, времени наблюдения и яркости фона, на которую адаптирован глаз наблюдателя. Чем больше значение контраста объекта наблюдения по сравнению с его пороговым значением, тем объект наблюдения становится заметнее, с большей вероятностью и меньшим напряжением выполняется зрительная работа по его обнаружению. С учетом указанного свойства зрительного процесса принято определять *видимость* объекта v как отношение контраста объекта наблюдения с фоном к пороговому значению контраста:

$$v = \lg \frac{10K}{c \cdot K_{\text{пор}}}, \quad (2.14)$$

где c — коэффициент запаса (по Р. Блэкуэллу равный 1,8...2).

*Угловым размером объекта*⁵ называют отношение его абсолютного размера к расстоянию до глаза наблюдателя.

2.3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Измерение значений величин оптического излучения осуществляют *визуальными* (зрительными) или *физическими* методами.

Визуальные методы измерения используются применительно к видимому излучению. Они основаны на сравнении яркости, соз-

⁴ Контраст объекта различения с фоном — отношение абсолютной величины разности между яркостью объекта и фона к яркости фона.

⁵ Угловой размер объекта измеряется в градусах или минутах.

даваемой двумя источниками излучения — эталонным и исследуемым. Примером визуального метода измерения является использование светоизмерительной скамьи для определения силы света источника (рис. 2.3).

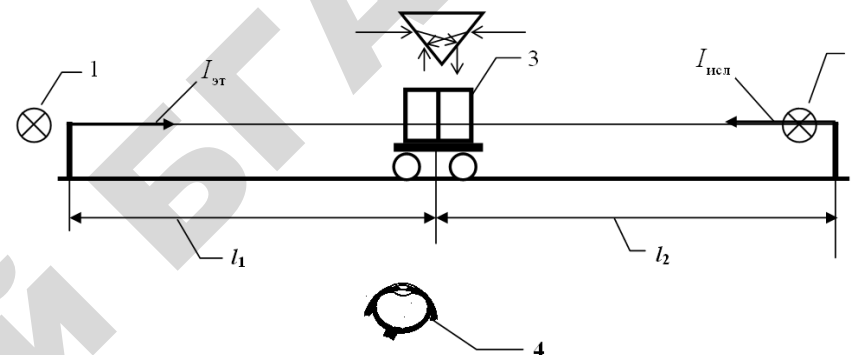


Рис. 2.3. Визуальное измерение значения силы света исследуемого источника:
1 — эталонный источник; 2 — исследуемый источник;
3 — призма (фотометрическая головка); 4 — глаз наблюдателя

Известно, что значение освещенности точки зависит от значения силы света и квадрата расстояния от источника до точки (1.11) при $\alpha = 0$. Поэтому если освещенность (яркость) граней призмы 3 будет одинаковой, то из $\frac{I_{\text{эт}}}{l_1^2} = \frac{I_{\text{исл}}}{l_2^2}$ следует, что $I_{\text{исл}} = \frac{I_{\text{эт}} \cdot l_2^2}{l_1^2}$. Для определения значения $I_{\text{исл}}$ изменением расстояний l_1 и l_2 путем перемещения призмы по направляющим уравнивают яркости двух смежных полей на ее гранях.

При визуальных методах измерения индикатором светового излучения (приемником излучения) является глаз человека. Результаты измерений зависят от его индивидуальных особенностей, физического состояния и усталости организма наблюдающего, окружающих условий, продолжительности процесса измерения. Кроме того, точность визуальных измерений может быть искажена при отличающихся спектрах (цветности) излучения эталонного и исследуемого источников.

Наличие отмеченных недостатков повлекло замену глаза человека как индикатора излучения физическими приемниками, что

привело к переходу от визуальных методов измерения к *физическим* (объективным). В физических методах измерения оценивают оптическое излучение по его воздействию на электрические, физические, тепловые, химические и др. свойства приемников (первичных преобразователей) излучения.

Основные преимущества физических методов измерения:

— возможность непосредственной количественной оценки измеряемых величин;

— измерение величин оптического излучения не только видимой, но и ИК- и УФ-областей;

— быстрота получения и воспроизводимость результатов измерения.

В *физических методах* измерения в качестве измерителей потока излучения применяют фотоприемники, подразделяемые на *селективные*, спектральная чувствительность которых приближена к спектральной чувствительности образцового приемника эффективной системы величин, и *неселективные* (неизбирательные), поглощающие всю энергию источника оптического излучения, независимо от ее распределения по спектру.

В неселективных приемниках энергия оптического излучения, как правило, преобразуется в тепловую. Идеальным неселективным приемником оптического излучения является абсолютно черное тело. Чтобы приблизить реальные тела к характеристикам абсолютно черного тела их зачерняют, покрывая копотью или окислами металлов, добиваясь снижения погрешностей измерений. В качестве неселективных приемников оптического излучения, как правило, применяют термоэлементы — термопары (термостолбики) и терморезисторы.

В качестве селективных применяют фотоэлектрические приемники оптического излучения, в которых, благодаря фотоэффекту, энергия оптического излучения преобразуется в электрическую. По механизму возникновения фотоэлектрического эффекта их подразделяют на: фотоэлементы с внешним фотоэффектом; фотоэлементы с внутренним фотоэффектом; фотоэлементы в запирающем слое (вентильные фотоэлементы).

Принцип действия *фотоэлементов с внешним фотоэффектом* основан на изменении их электрической проводимости за счет эмиссии электронов материала катода при возбуждении его энергией оптического излучения. Фотоэлементы бывают вакуумными и газонаполненными. Их принципиальная схема приведена на рис. 2.4.

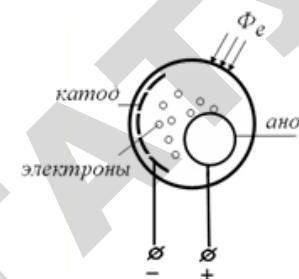


Рис. 2.4. Схема устройства фотоэлемента с внешним фотоэффектом

Катод фотоэлемента изготавливают из материалов, обладающих свойством при поглощении оптического излучения испускать электроны. Для усиления эмиссии электронов его покрывают путем напыления специальным светочувствительным слоем. Анод изготавливают в виде кольца, например, из никелированной проволоки. В газонаполненных фотоэлементах электрический ток за счет ионизации инертных газов под действием потока электронов, покинувших катод при его облучении, сравнительно больший, чем у вакуумных.

Разновидностью фотоэлементов с внешним фотоэффектом являются *фотоэлектронные умножители*, у которых фототок катода усиливается за счет вторичной электронной эмиссии.

В *фотоэлементах с внутренним фотоэффектом* изменение электрической проводимости происходит за счет высвобождения электронов кристаллической решетки под воздействием поглощенной энергии излучения. Примером подобных фотоэлементов являются фоторезисторы, фотодиоды и фототранзисторы.

Фоторезисторы увеличивают электрическую проводимость при переходе электронов кристаллической решетки фоточувствительного слоя (сернистый или селенистый кадмий, висмут, свинец) в свободное состояние под действием оптического излучения. Их включают в цепь постоянного или переменного тока.

В фотодиодах и фототранзисторах под действием оптического излучения изменяется электрическая проводимость *p-n*-перехода. Они в качестве преобразователей оптического излучения используются в цепях постоянного тока.

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом отличаются сравнительно высокой чувствительностью к излучениям УФ-, видимой

и ИК-областям спектра. Однако они характеризуются нелинейной зависимостью фототока от облученности и повышенной чувствительностью к температуре окружающей среды, что затрудняет их использование в качестве первичного преобразователя в приборах для измерения оптического излучения.

Действие *фотоэлемента с запирающим слоем* основано на явлении возникновения электродвижущей силы на электродах под воздействием оптического излучения. Принципиальная схема устройства такого фотоэлемента приведена на рис. 2.5. При попадании оптического излучения через защитный слой лака 4 и тонкий прозрачный электрод 3 (из серебра, золота или платины) на слой полупроводника 2 (закись меди, селен, сернистое серебро) электроны преодолевают запирающий слой, образующийся на границе полупроводника 2 и электрода 3, и не возвращаются обратно из-за вентильных свойств этого слоя. Таким образом осуществляется накопление зарядов противоположного знака на электродах (1 и 3) и создается разность потенциалов, которая может быть определена измерительным прибором 6.

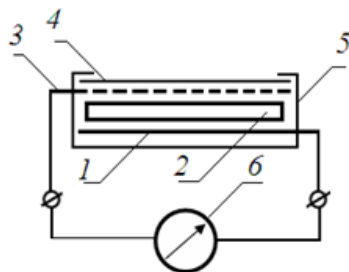


Рис. 2.5. Схема устройства фотоэлемента с запирающим слоем:

1 — токопроводящая подложка; 2 — слой полупроводника; 3 — прозрачный электрод; 4 — защитный слой лака; 5 — корпус; 6 — измерительный прибор

Для приборов измерения параметров оптического излучения, а точнее, освещенности, как правило, полупроводниковый слой фотоэлемента изготавливают из селена, что позволяет получить первичный преобразователь со спектральной чувствительностью, близкой по спектральной чувствительности глаза человека.

Фотоэлементы с запирающим слоем не требуют дополнительных источников питания и промежуточных усилителей сигнала, характеризуются повышенной чувствительностью к величине облу-

ченности и линейной зависимостью тока короткого замыкания от облученности.

Первичные преобразователи оптического излучения, используемые в измерительных приборах, сопоставляются по характеристикам:

— *Спектральная чувствительность* — соответствие спектральной чувствительности преобразователя спектральной чувствительности эталонного приемника. Несоответствия корректируются специальными фильтрами, конструктивными особенностями приборов или введением поправочных коэффициентов при обработке результатов.

— *Фотоэлектрическая зависимость* — изменение тока или разности потенциалов, зафиксированных измерительным прибором, при изменении потока излучения (или облученности) и сопротивления внешней цепи.

— *Вольтамперная характеристика* — изменение тока, зафиксированного измерительным прибором, от приложенного к нему напряжения при неизменном потоке излучения.

— *Угловая погрешность* — реакция преобразователя на изменение угла падения на его приемную поверхность неизменного потока излучения.

— *Частотная характеристика* — реакция преобразователя на изменение частоты модуляции падающего потока излучения.

— *Инерционность* — время отставания момента реакции преобразователя от момента изменения падающего на него потока излучения.

— *Утомление* — понижение чувствительности преобразователя при длительном воздействии на него потока излучения.

— *Старение* — необратимые изменения (понижение чувствительности) параметров и характеристик с течением времени.

При сопоставлении характеристик первичных преобразователей важно проанализировать влияние на них внешних воздействий (температуры и влажности окружающей среды, электрических и магнитных полей и др.).

2.4. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Для оценки эффективного действия оптического излучения применяют специальные приборы, которые состоят из первичного преобразователя, источника питания (при необходимости), элемен-

тов электрической схемы (резисторы, потенциометры, выключатели, переключатели и др.) и измерительного прибора (микроамперметра или милливольтметра), проградуированного в единицах измерения эффективных величин оптического излучения.

Наиболее известными приборами измерения параметров оптического излучения являются:

— для измерения светового действия — люкметры Ю-116, Ю-117, ТКА-ЛЮКС, люксметр-яркомер ARGUS-12 и др.;

— для измерения ультрафиолетового действия — уфиметры УФИ-73 и УФМ-71, дозиметр автоматический ДАУ-81, радиометр РОИ-82 и др.;

— для измерения фотосинтетически активной радиации — фитофотометры ФФМ-71 и ФИТОМ-70;

— для измерения инфракрасного излучения — пиранометр Янишевского, фотощуп ИВФ-1 и различного рода термостолбики.

Люксметр Ю-116 состоит из селенового фотоэлемента типа Ф55С, четырех специальных насадок для увеличения пределов измерения (М, Р и Т) и исправления угловой погрешности (К), резисторов, двух выключателей и электроизмерительного прибора, размещенных в пластмассовом корпусе (рис. 2.6). В корпусе фотоприемника размещен селеновый фотоэлемент и могут быть помещены одна из насадок для увеличения пределов измерения (М, Р и Т) и насадка для исправления угловой погрешности (К). Принципиальная электрическая схема люкметра Ю-116 приведена на рис. 2.7.

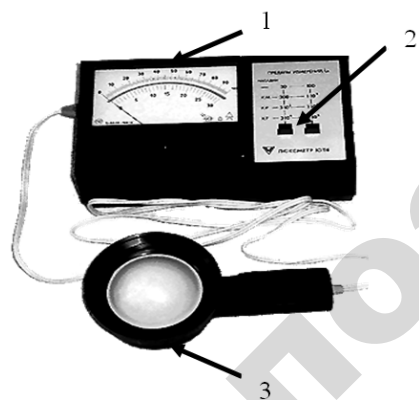


Рис. 2.6. Люксметр Ю-116: 1 — электроизмерительный прибор; 2 — переключатель пределов измерения; 3 — корпус фотоприемника

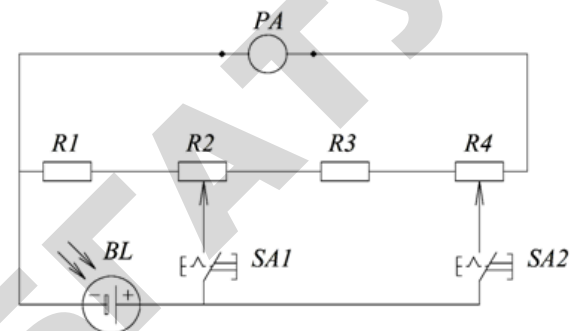


Рис. 2.7. Принципиальная электрическая схема люкметра Ю-116

Две шкалы электроизмерительного прибора, отградуированные в люксах, имеют пределы измерений соответственно на 100 и 30 делений. Диапазоны измерений освещенности — от 5...100 лк без использования насадок до 5000...100000 лк с насадками К и Т. Погрешность измерения — до 10 % исследуемой величины без использования насадок и до 15 % с использованием насадок.

Следует отметить, что селеновые элементы не отличаются стабильностью. Их следует проверять в установленные сроки. Причем проверке должен подвергаться не только фотоэлемент, но и весь прибор, так как фотоэлементы не взаимозаменяемы и могут работать без превышения приведенной погрешности измерений только со своим люксметром.

Прибор не имеет корректирующего фильтра, поэтому при измерении освещенности от источника, спектральный состав которого значительно отличается от спектрального состава стандартного источника, по которому градуировался прибор (характерный для ламп накаливания мощностью 200...300 Вт с цветовой температурой $T = 2854$ К), его показания следует умножить на поправочный коэффициент, равный при освещении лампами: ДНаТ и ДРИ — 1,22; ДРЛ — 1,1; ЛБ и ЛХБ — 1,16; ЛЕ, ЛХЕ, ЛДЦ, ЛД и ламп накаливания — 1,0.

С помощью люкметра Ю-116 можно приближенно определить и фитооблученность, умножив показания прибора на переводной коэффициент, равный для ламп: накаливания — 4,4; ДРЛФ400 — 3,9; ДРЛФ1000 — 4,9; ДНаТ400 — 3,0; ЛБ — 3,4; ЛФ — $3,7 \text{ фит} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{клк}^{-1}$.

Прибор комбинированный ТКА-ПКМ/31 (люксметр) предназначен для измерения освещенности в видимой части спектра (380...760 нм). Конструктивно он состоит из двух функциональных

блоков: фотометрическая головка и блок обработки сигналов, соединенные между собой гибким двухжильным кабелем (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Общий вид люксметра ТКА-ПКМ/31

На лицевой стороне блока обработки сигналов расположены переключатель каналов измерений и жидкокристаллический индикатор, в фотометрической головке — фотоприемник для регистрации измерений, а на задней стенке фотометрической головки — крышка батарейного отсека.

Принцип действия прибора заключается в преобразовании фотоприемником оптического излучения в электрический сигнал с последующей цифровой индикацией числовых значений освещенности (лк). Для измерения освещенности излучения достаточно расположить фотометрическую головку прибора в плоскости измеряемого объекта.

Технические характеристики прибора комбинированного ТКА-ПКМ/31:

Диапазон измерения — 10...200000 лк.

Предел допускаемой основной относительной погрешности — $\pm 8,0\%$.

Пределы измерения (переключение производится вручную), лк, до: 20; 200; 2000; 20000 и 200000.

Источник питания — батарея (типоразмер «Крона») 9 В.

Масса прибора — 0,4 кг.

Габариты, мм, не более:

— блок обработки сигналов — 130×70×30;

— фотометрическая головка — 36(диаметр)×21.

Уфиметр УФМ-71 предназначен для измерения сферической витальной облученности, создаваемой искусственными источниками.

В качестве первичного преобразователя уфиметра использован вакуумный фотоэлемент с внешним фотоэффектом Ф-27, спектральная чувствительность которого приближается к спектру витального действия УФ-излучения. На лицевой панели уфиметра размещены измерительный прибор (микроамперметр), переключатель пределов измерения, два выключателя (один из которых предназначен для включения прибора, а второй — для включения режима установки измерительного прибора на ноль) и ручка потенциометра «Установка нуля». Автономное электропитание прибора состоит из четырех 338 элементов постоянного тока.

Диапазон измерений прибора (от 0 до 3000 мвит · м⁻²) разделен на пять поддиапазонов: 0...30; 0...100; 0...300; 0...1000; 0...3000 мвит · м⁻². Погрешность измерений не превышает 15 %.

Прибор отградуирован по образцовому источнику УФ-излучения, поэтому при измерении витальной облученности, создаваемой другими источниками, результаты необходимо умножать на поправочный коэффициент, равный для ламп типов ЛЭ и ДРТ соответственно 1,6 и 1,45.

Фитофотометр ФФМ-71 предназначен для измерения фитооблученности, создаваемой искусственными источниками излучения.

Первичный преобразователь фитофотометра состоит из трех фоторезисторов с корректирующими фильтрами, закрытых стеклянным полусферическим колпаком с матовой внутренней поверхностью. Спектральная чувствительность фильтров и фоторезисторов подобрана таким образом, что при суммарном взаимодействии спектральная чувствительность первичного преобразователя приближена к спектральной чувствительности зеленого листа растения, а полусферический колпак максимально уменьшает его угловую погрешность.

На лицевой панели фитофотометра расположены измерительный прибор, переключатель пределов измерений, клавиши включения прибора и режима калибровки, ручки потенциометров «Калибровка» и «Напряжение осветителя». Рядом в специальном отсеке находится гнездо для калибровки прибора, внутри которого расположен источник света.

Допустимый диапазон измерения фитофотометра $0...300 \text{ фт} \cdot \text{м}^{-2}$ разделен на пять поддиапазонов: $0...3$; $0...10$; $0...30$; $0...100$ и $0...300 \text{ фт} \cdot \text{м}^{-2}$. Выбор требуемого поддиапазона осуществляется с помощью переключателя пределов измерений. Погрешность измерений в любом поддиапазоне не превышает 15 %.

Дозиметр автоматический ДАУ-81 применяют для измерения лучистой экспозиции (дозы облучения) и энергетической облученности в диапазонах $220...280$, $320...400$ и $380...710 \text{ нм}$, а также автоматического отключения источников оптического излучения при достижении полученной объектом лучистой экспозицией предварительно заданного значения.

Первичными преобразователями в дозиметре являются вакуумные фотоэлементы Ф25 с комплектом светофильтров С3 и С25 (для диапазона $380...710 \text{ нм}$), Ф26 с комплектом светофильтров УФС6, С3 и С23 ($320...400 \text{ нм}$) и Ф29 ($220...280 \text{ нм}$). Лицевая панель измерительного блока дозиметра содержит шестидекадный индикатор и дисковый задатчик лучистой экспозиции, переключатель пределов измерения энергетической облученности, кнопочный выключатель обнуления значения индикатора лучистой экспозиции «Сброс», миллиамперметр для измерения энергетической облученности, отградуированный на сто делений, ручку потенциометра регулировки нуля усилителя, кнопочный выключатель питания «Сеть». На корпусе измерительного блока расположены разъемы для подключения кабелей питания и первичных преобразователей, а также кабеля устройства управления источником излучения, держатели предохранителей и клемма заземления.

Питание дозиметра осуществляется от однофазной электрической сети напряжением 220 В .

Диапазоны измерения в диапазонах спектра оптического излучения:

— энергетической облученности: $220...280 \text{ нм}$ — $0,1...1$ и $1...10 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; $320...400 \text{ нм}$ — $0,1...1$ и $10...100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; $380...710 \text{ нм}$ — $1...10$, $10...100$ и $50...100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$;

— лучистой экспозиции: $220...280 \text{ нм}$ — $10...3 \cdot 10^2 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$; $320...400 \text{ нм}$ — $100...3 \cdot 10^2 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$; $380...710 \text{ нм}$ — $100...1,5 \cdot 10^2 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$.

Погрешность измерений не превышает 15 %.

Дозиметр ДАУ-81 допускает автоматическое отключение источников оптического излучения и подачу звукового сигнала при достижении лучистой экспозицией в зоне размещения первичного преобразователя заданного значения.

2.5. МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА И СИЛЫ СВЕТА ПРИБОРАМИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ

Приборы, предназначенные для измерения облученности (освещенности), могут быть использованы при определении значения и других величин оптического излучения, например, силы или потока излучения (силы света или светового потока).

Так, если поверхность первичного преобразователя, например, люксметра, разместить перпендикулярно направлению силы света источника ($\angle\beta = 0$) и измерить значение освещенности E_C , то значение силы света I_C можно определить как

$$I_C = \frac{E_C}{l^2}, \quad (2.15)$$

где l — расстояние от источника до плоскости фотоэлемента измерительного прибора, м.

Измерение светового потока источника осуществляют в фотометрическом шаре диаметром от $0,5$ до $2,5 \text{ м}$, внутренняя поверхность которого покрыта белой диффузно отражающей краской. Исследуемый источник, значение светового потока которого предполагается определить, помещают внутрь фотометрического шара. Излучаемый световой поток источника $\Phi_{\text{исл}}$, попадая на внутреннюю поверхность фотометрического шара, отражается от нее — Φ_{ρ} , частично поглощается — Φ_{α} и пропускается — Φ_{τ} . В результате многократных отражений на внутренней поверхности фотометра установится некоторый равномерно распределенный световой поток — $\Phi_{\text{вн}}$, значение которого определяется законом сохранения энергии: $\Phi_{\text{исл}} = \Phi_{\rho} + \Phi_{\alpha} + \Phi_{\tau}$, где ρ , α и τ — соответственно интегральные коэффициенты отражения, поглощения и пропускания внутренней поверхности фотометрического шара.

Учитывая, что краска, которой покрывают внутреннюю поверхность фотометрического шара, подбирается таким образом, чтобы коэффициенты поглощения и пропускания поверхности были значительно меньше коэффициента отражения и существенно не влияли на результаты измерений, можем записать, что $\Phi_{\text{вн}} \equiv \Phi_{\text{исл}} \cdot \rho$.

Световой поток $\Phi_{\text{вн}}$ создает на внутренней поверхности одинаковую освещенность $E_{\text{вн}}$ всех ее участков:

$$E_{\text{вн}} = \frac{\Phi_{\text{вн}}}{S_{\text{вн}}} \equiv \frac{\rho \cdot \Phi_{\text{исл}}}{4\pi \cdot r^2}, \quad (2.16)$$

где r — радиус внутренней поверхности шара, м.

Из уравнения (2.16) следует, что освещенность внутренней поверхности фотометрического шара пропорциональна световому потоку исследуемого источника света.

Для измерения освещенности $E_{\text{вн}}$ в поверхности шара вырезают отверстие и закрывают его матированным стеклом молочного цвета, коэффициент отражения которого соответствует коэффициенту отражения внутренней поверхности шара. Далее с помощью люксметра измеряют светимость наружной поверхности стекла M , которая и определяет освещенность внутренней поверхности шара, так как $M = E_{\text{вн}}\tau_c$, где τ_c — коэффициент пропускания видимого излучения матированного стекла.

Для подобного подхода формулу (2.16) представляют в виде:

$$\Phi_{\text{исл}} \equiv \frac{E_{\text{вн}} \cdot 4\pi \cdot r^2}{\rho} \equiv \frac{4M \cdot \pi \cdot r^2}{\rho \cdot \tau_c} \equiv C \cdot M, \quad (2.17)$$

где $C \equiv \frac{4\pi \cdot r^2}{\rho \cdot \tau_c}$ — const для данного фотометрического шара.

На практике при определении светового потока исследуемого источника используется метод сопоставления. Вначале в фотометрический шар устанавливают эталонный источник излучения, световой поток которого заранее известен — $\Phi_{\text{эт}}$, и измеряют значение светимости $M_{\text{эт}}$, а затем эталонный источник заменяют исследуемым и повторно измеряют светимость $M_{\text{исл}}$.

Световой поток исследуемого источника $\Phi_{\text{исл}}$ определяется из соотношения:

$$\Phi_{\text{исл}} = \Phi_{\text{эт}} \frac{M_{\text{исл}}}{M_{\text{эт}}}. \quad (2.18)$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие требования предъявляются к образцовым приемникам оптического излучения?
2. Что Вы знаете о системе световых величин и единиц их измерения, о спектральной характеристике образцовых приемников оптического излучения?
3. Перечислите существующие системы эффективных величин измерения оптического излучения (витальной, бактерицидной, фотосинтетической), используемые в них величины и единицы их измерения. Объясните, на основании спектральной чувствительности каких образцовых приемников они разработаны.
4. Поясните физический смысл понятий яркости диффузно отражающей поверхности, пороговой разности яркостей (разностного порога), яркостного контраста, порогового контраста.
5. Какой принцип лежит в основе визуальных (зрительных) методов измерения действия оптического излучения? Приведите примеры реализации, укажите их достоинства и недостатки.
6. Какие фотоэлектрические приемники применяют в физических методах измерения оптического излучения? Поясните принцип действия фотоэлементов с внешним фотоэффектом, фотоэлементов с внутренним фотоэффектом, фотоэлементов в запирающем слое (вентильных фотоэлементов). Укажите их преимущества и недостатки.
7. Перечислите основные характеристики первичных преобразователей оптического излучения, используемые в приборах для измерения оптического излучения.
8. Какие приборы для измерения параметров видимого излучения Вы знаете? Их устройство, область применения и основные технические характеристики.
9. Какие приборы для измерения параметров витального (бактерицидного, фотосинтетического) излучения Вы знаете? Их устройство, область применения и основные технические характеристики.
10. Каким образом приборы, предназначенные для измерения освещенности (облученности), могут быть использованы при определении значения других величин оптического излучения, например, силы или светового потока?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы. Изучить устройство приборов для измерения эффективного действия оптического излучения, их принцип действия, характеристики и правила пользования, методику измерений.

Задачи работы:

1. Ознакомиться с устройством, принципом действия и характеристиками приборов для измерения эффективного действия оптического излучения (люксметров Ю-116 и ТКА–ПКМ/31, уфиметра УФИ-73 и УФМ-71, радиометра РОИ-82, дозиметра ДАУ-81, фитофотометра ФФМ-71, термостолбика и др.).

2. Освоить методику измерения освещенности, энергетической, витальной, инфракрасной и фитооблученности.

3. Определить значения освещенности (витальной, инфракрасной и фитооблученности), создаваемой искусственными источниками оптического излучения.

Общие сведения. Устройство приборов для измерения эффективного действия оптического излучения, их принцип действия, характеристики и правила пользования, методику измерений изучить по изложенному выше теоретическому материалу.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, изучить устройство, принцип действия и характеристики приборов для измерения эффективного действия оптического излучения (люксметров Ю-116 и ТКА–ПКМ/31, уфиметра УФИ-73 и УФМ-71, радиометра РОИ-82, дозиметра ДАУ-81, термостолбика).

2. Подготовить форму для отчета по лабораторной работе и в соответствии с изученным теоретическим материалом привести в ней краткие сведения о цели и задачах занятия, назначении и принципе действия изучаемых приборов, их принципиальные электрические схемы и характеристики.

Методические указания по выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, паспортам и натуральным образцам приборов изучить устройство, принцип действия, характеристики и методику применения указанных преподавателем люксметров, уфиметров, фитофотометров и приборов для измерения ИК-излучения. Технические характеристики исследуемых в работе приборов представить в форме таблицы.

2. На лабораторном стенде произвести измерения освещенности, витальной и инфракрасной облученности, создаваемые источниками оптического излучения на заданной преподавателем поверхности. Результаты измерений представить в форме таблицы.

3. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Содержание отчета:

1. Название работы.
2. Цель и задачи работы.
3. Краткие сведения о назначении и принципе действия изучаемых приборов, их принципиальные электрические схемы.
4. Технические характеристики изучаемых приборов.
5. Результаты измерений параметров оптического излучения.

Вопросы для подготовки к защите отчета по лабораторной работе:

1. Как устроен селеновый фотоэлемент?
2. Поясните принцип работы фотоэлементов с внешним и внутренним фотоэффектом.
3. Перечислите основные характеристики первичных преобразователей (фотоприемников) приборов для измерения оптического излучения.
4. Какие приборы применяют для измерения витальной облученности, бактерицидной облученности, ИК-облученности и фитооблученности?
5. Приведите основные технические характеристики изученных Вами приборов для измерения оптического излучения.

3. ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

3.1. ИСКУССТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ

Источником оптического излучения называют устройство, преобразующее любой вид энергии в энергию электромагнитного излучения оптической области спектра. В зависимости от способа получения оптического излучения источники подразделяют на 5 классов:

- 1) источники теплового излучения;
- 2) газоразрядные источники оптического излучения:
 - низкого давления;
 - высокого давления;
 - сверхвысокого давления;
- 3) источники смешанного (теплового и газоразрядного) излучения;
- 4) твердотельные источники:
 - светодиоды;
 - электролюминесцентные панели;
- 5) импульсные и лазерные излучатели.

Из приведенных классов источников в дальнейшем рассмотрим только те, которые базируются на использовании электрической энергии и широко применяются в сельскохозяйственном производстве или являются перспективными для использования.

Источники оптического излучения выбирают и сопоставляют по их параметрам, которые подразделяют на:

- 1) *электрические* (род тока, номинальное напряжение и мощность);
- 2) *светотехнические*¹ (световой поток, световая отдача, коэффициент пульсации светового потока, спектр излучения, цветовая температура², индекс цветопередачи);

¹ Параметры перечислены применительно к источникам видимого излучения. Для источников, излучающих в других областях спектра, их наименование и единицы измерения величин несколько видоизменяются.

² Понятие показателя «цветовая температура» приведено в главе 3.2.

3) *эксплуатационные* (срок службы, характер изменения показателей при хранении и эксплуатации, экономия электрической энергии);

4) *стоимостные* (стоимость источника и необходимой пускорегулирующей аппаратуры, материалоемкость изделий, затраты и трудоемкость обслуживания).

Род тока — для питания источников оптического излучения применяют переменный, в том числе повышенной частоты, или постоянный ток.

Номинальное напряжение, В — источники оптического излучения общего назначения изготавливают для эксплуатации в электрической сети с номинальным напряжением 12, 36, 230 и 400³ В или с диапазоном изменения напряжения 215...225, 220...230, 230...240, 235...245 В.

Номинальная мощность, Вт — значение мощности источника (без учета мощности подключенной вместе с ним пускорегулирующей аппаратуры), включенного на номинальное напряжение.

Световой поток, лм — световой поток, излучаемый источником, расположенным в окружающей среде с оптимальными температурой и влажностью, включенным на номинальное напряжение, и измеренный через оговоренное для данного типа источников время эксплуатации.

Световая отдача, лм · Вт⁻¹ — отношение значения излучаемого светового потока к потребляемой электрической мощности, характеризующее экономическую эффективность использования источника.

Коэффициент пульсации светового потока, % — отношение разницы максимального Φ_{\max} и минимального Φ_{\min} значений светового потока источника за период колебаний к удвоенному значению его средней величины Φ_{cp} :

$$K_{\text{п}} = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{2\Phi_{\text{cp}}}. \quad (3.1)$$

Подключенные к сети переменного тока электрические источники излучают световой поток, синхронно изменяющийся с удвоенной частотой сети. Пульсация светового потока приводит к пульсации

³ Несмотря на то, что ГОСТ 29322-92 [8] установил стандарт напряжений 400/230 В взамен 380/220 В, на практике при обозначении параметров свето- и электротехнического оборудования производителями чаще всего применяется система напряжений 380/220 В. Поэтому в дальнейшем при указании значений параметров источников оптического излучения, как правило, указываются данные заводов-производителей.

освещенности рабочей поверхности, снижению работоспособности глаза наблюдателя и может вызвать стробоскопический эффект, последствием которого зачастую является травматизм работающего.

Спектр излучения — распределение потока излучения по спектру, позволяющее судить о потенциальных возможностях использования источника для выполнения требуемых функций в осветительных или облучательных установках.

Отличия в спектрах излучения источников видимого излучения приводят к тому, что их излучения, отражаясь от окружающих предметов различия, по-разному передают их цветовую гамму. Для косвенной оценки качества цветопередачи применяется такой показатель как *индекс (коэффициент) цветопередачи R_a* .

Индекс цветопередачи показывает степень соответствия зрительного восприятия цвета при освещении объекта исследуемым и эталонным источниками в заданных условиях наблюдения. Максимальное значение R_a составляет 100. Источники с индексом 90 и более характеризуются очень хорошей цветопередачей, так как передают все цвета почти натурально. Источники с уровнем индекса 50 и менее цвета освещаемых объектов передают в искаженном виде и характеризуются неудовлетворительной цветопередачей.

Срок службы, час — число часов работы источника.

Различают несколько разновидностей срока службы источников: полный, средний, гарантированный и полезный.

Полный срок службы — число часов работы источника до момента выхода его из строя (потери работоспособности).

Средний срок службы — среднееарифметическое значение полных сроков службы не менее 10 источников (приводится заводами-изготовителями в качестве номинального срока службы источника).

Гарантированный срок службы — гарантированная заводом-изготовителем минимальная продолжительность работы источника.

Полезный срок службы — число часов эксплуатации источника излучения, в течение которых снижение его потока излучения не превышает определенного экономически оправданного значения.

Светотехнические показатели работы источников изменяются при хранении и эксплуатации. Для организации эффективной эксплуатации эти изменения необходимо учитывать, особенно при работе осветительной или облучательной установки в условиях, отличающихся от рекомендуемых заводом-изготовителем оптимальных значений температуры и влажности окружающей среды, диапазона изменения напряжения электрической сети.

3.2. ТЕПЛОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В источниках теплового излучения энергия электромагнитного излучения оптической области спектра образуется при преобразовании энергии теплового движения атомов и молекул тела. Типичным представителем таких источников являются лампы накаливания.

3.2.1. Основные положения теории теплового излучения

Основные законы теплового излучения (законы Планка, Стефана–Больцмана, Вина, Кирхгофа) сформулированы применительно к условному абсолютно *черному телу*. Под абсолютно черным телом понимается приемник оптического излучения, полностью поглощающий падающее на него излучение независимо от направления падения и спектрального состава, или тепловой излучатель, способный создавать при прочих равных условиях наибольший в сравнении с другими тепловыми излучателями поток излучения.

Закон Стефана–Больцмана устанавливает связь между плотностью потока оптического излучения поверхности излучателя $M_{\text{и}}$ и его температурой T :

$$M_{\text{и}} = \sigma \cdot T^4, \quad (3.2)$$

где $M_{\text{и}}$ — плотность потока оптического излучения поверхности абсолютно черного тела, Вт · м⁻²; σ — постоянная, равная $5,672 \cdot 10^{-8}$ Вт · м⁻² · град⁻⁴; T — абсолютная температура, К.

Из закона Стефана–Больцмана следует, что плотность потока оптического излучения поверхности абсолютно черного тела зависит только от его температуры и пропорциональна ее четвертой степени.

Закон Планка определяет зависимость спектральной плотности потока энергетического излучения φ_e от длины волны излучения λ и абсолютной температуры полного излучателя T :

$$\varphi_e(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1}, \quad (3.3)$$

где $\varphi_e(\lambda, T)$ — спектральная плотность потока энергетического излучения абсолютно черного тела, Вт · м⁻² · мкм⁻¹; λ — длина волны излу-

чения, мкм; T — абсолютная температура, К; C_1 — постоянная, равная $3,74 \cdot 10^8 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^4$; C_2 — постоянная, равная $1,43 \cdot 10^4 \text{ мкм} \cdot \text{град}$; e — основание натурального логарифма.

Зависимости спектральной плотности потока энергетического излучения абсолютно черного тела для различных значений абсолютной температуры приведены на рис. 3.1.

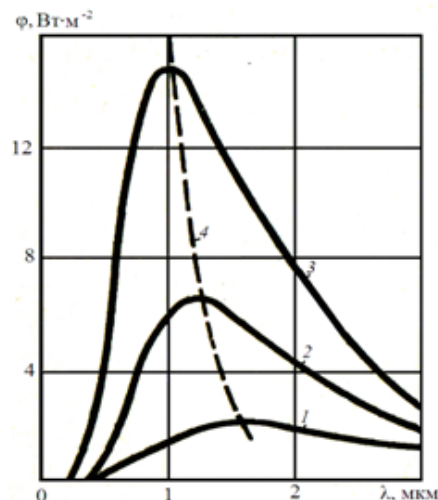


Рис. 3.1. Спектральная плотность потока энергетического излучения абсолютно черного тела для различных значений температуры: 1 — $T = 1800 \text{ К}$ ($\lambda_{\text{max}} = 1,61 \text{ мкм}$); 2 — $T = 2200 \text{ К}$ ($\lambda_{\text{max}} = 1,31 \text{ мкм}$); 3 — $T = 2600 \text{ К}$, $\lambda_{\text{max}} = 1,11 \text{ мкм}$. Кривая 4 — закон смещения Вина

Если продифференцировать уравнение (3.3) по λ и приравнять производную к нулю, получим длину волны излучения с максимальным значением спектральной плотности потока энергетического излучения:

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2896 \text{ мкм} \cdot \text{К}. \quad (3.4)$$

Уравнение (3.4) носит название *закона смещения Вина*.

Закон смещения Вина устанавливает взаимосвязь между абсолютной температурой полного излучателя и длиной волны, при которой спектральная плотность энергетического излучения облучателя имеет максимум. Из него следует, что при повышении температуры абсолютно черного тела максимальное значение спектральной

ной плотности энергетического его излучения смещается в сторону более коротких длин волн.

Подставив в формулу (3.4) предельные значения длин волн области видимого излучения, приходим к выводу, что максимальное значение спектральной плотности энергетического излучения абсолютно черного тела находится в пределах области видимого излучения при температуре 3750...7800 К.

Воспользовавшись законом Стефана–Больцмана и законом смещения, Вин установил, что величина максимального значения спектральной плотности энергетического излучения абсолютно черного тела возрастает пропорционально пятой степени его температуры:

$$\Phi_e(\lambda, T)_{\text{max}} = C_3 \cdot T^5, \quad (3.5)$$

где C_3 — постоянная, равная $1,041 \cdot 10^{-11} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1} \cdot \text{град}^{-5}$.

Способность реальных тел излучать и поглощать оптическое излучение определяется *законом Кирхгофа*, который гласит, что отношение плотностей потока оптического излучения поверхностей реальных излучателей $M_{и1}$ с одинаковыми размерами, формой и температурой равно отношению их коэффициентов поглощения α_i :

$$\frac{M_{и1}}{M_{и2}} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \text{ при } T = \text{const}. \quad (3.6)$$

Учитывая, что коэффициент поглощения абсолютно черного тела равен 1, отношение (3.6) можно представить и в виде:

$$\frac{M_{и1}}{\alpha_1} = \frac{M_{и2}}{\alpha_2} = \dots = \frac{M_{ин}}{\alpha_n} = M_{и}, \quad (3.7)$$

где $M_{и}$ — плотность потока оптического излучения абсолютно черного тела, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$.

Из уравнения (3.7) следует, что отношение плотностей потока оптического излучения поверхностей реальных излучателей к их коэффициентам поглощения — величина постоянная, равная плотности потока оптического излучения абсолютно черного тела. Так как коэффициенты поглощения реальных тел $\alpha_i < 1$, то плотность их потока оптического излучения всегда меньше плотности потока оптического излучения поверхности абсолютно черного тела при одинаковых размерах, форме и температуре.

Исследуя рассмотренные законы теплового излучения применительно к абсолютно черному телу как идеальному излучателю, имеет смысл определить его максимальный коэффициент полезного действия (к.п.д.) для области видимого излучения, который равен отношению светового потока Φ_C (2.1) к полному потоку Φ_Σ (1.7) излучения:

$$\eta_c = \frac{683 \int_{380\text{нм}}^{780\text{нм}} \varphi_{e\lambda}(\lambda) \cdot K_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{1\text{нм}}^{1\text{мм}} \varphi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda}, \text{ отн. ед.} \quad (3.8)$$

Численный анализ показывает, что при повышении температуры излучателя его световой к.п.д. возрастает, в том числе и из-за смещения максимального значения спектральной плотности излучения в сторону коротких волн. Наибольшего значения (около 14,5 % при световой отдаче $89,5 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$) он достигает при температуре около 6600 К, когда максимальное значение спектральной плотности излучения находится в области видимой части спектра. Дальнейшее увеличение температуры приводит к смещению максимального значения спектральной плотности излучения в сторону коротких длин волн и уменьшению светового к.п.д. источника.

Следует отметить, что реальные материалы, используемые при изготовлении излучателей источников теплового излучения, не обладают свойствами абсолютно черного тела, но использование некоторых специальных подходов и переходных величин позволяет применять к ним приведенные для абсолютно черного тела законы, что дает возможность анализировать поведение реальных материалов при изменении их температуры.

При подобном численном анализе оказывается, что для некоторых реальных металлов, например, вольфрама, максимальное значение спектральной плотности излучения при одинаковой температуре лежит в стороне более коротких волн в сравнении с абсолютно черным телом (рис. 3.2). Такое смещение приводит к возрастанию светового к.п.д. излучателя из вольфрама, который при температуре плавления (около 3660 К) достигает значения 8,1 % при световой отдаче $55 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, сопоставимого со значением светового к.п.д. абсолютно черного тела.

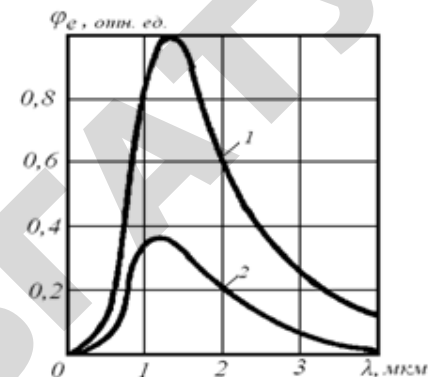


Рис. 3.2. Спектральная плотность потока энергетического излучения при одинаковой температуре тела: 1 — абсолютно черного тела; 2 — вольфрама

Прямое или косвенное использование законов теплового излучения абсолютно черного тела на практике можно показать и на других примерах, в частности, при определении эквивалентных температур реальных излучателей⁴, не обязательно тепловых. Одна из эквивалентных температур — *цветовая температура*, — широко используется в последнее время для оценки цветовых характеристик видимого излучения источника и заводом-производителем указывается в качестве его паспортных данных.

Цветовая температура, T_C , К — это температура излучения абсолютно черного тела, при которой его относительные спектральные плотности излучения совпадают с относительными спектральными плотностями излучения реального источника⁵. Она не определяет температуру реального излучателя, а только указывает на то, что он характеризуется относительной спектральной плотностью излучения, сопоставимой с относительной спектральной плотностью излучения абсолютно черного тела, нагретого до температуры T_C . При этом подразумевается, что цветность излучения и качество пе-

⁴ Эквивалентная температура — это температура абсолютно черного тела, при которой его светотехнические характеристики (плотность потока, спектральная плотность потока или цвет излучения) совпадают с характеристиками реального излучателя.

⁵ При сравнении обычно ограничиваются сравнением относительных спектральных плотностей излучения не на всем диапазоне видимого излучения, а только определенных длин волн, чаще всего 665 и 467 нм.

редачи цветов объектов различия будут примерно одинаковыми при использовании одного или другого источника.

Отметим, что источники видимого излучения изготавливают с широким диапазоном цветовой температуры — от 2700...3200 К для ламп накаливания, 2100...6200 К для газоразрядных ламп высокого давления и до 2800...7000 К и более для газоразрядных ламп низкого давления (люминесцентных ламп). При этом считается, что чем большее значение имеет указанный показатель, тем более близок к естественному цвет излучаемого им светового потока.

3.2.2. Лампы накаливания общего назначения

Лампы накаливания, несмотря на присущие им недостатки — невысокую световую отдачу и сравнительно небольшой срок службы, все еще продолжают оставаться самым массовым искусственным источником видимого излучения. Подобный феномен обусловлен их относительно низкой стоимостью, простотой схемы включения, разнообразием конструкций, напряжений и мощностей, незначительными первоначальными затратами на оборудование и обслуживание осветительных установок, высоким уровнем механизации и автоматизации производства.

При многообразии конструкций все лампы накаливания практически состоят из набора одних и тех же элементов (рис. 3.3): стеклянной колбы, вольфрамовой нити накала, держателей нити накала, токоподводящих электродов и др. Например, лампа накаливания общего назначения состоит из: стеклянной колбы 1, изолирующей тело накала от внешней среды; тела накала 2, изготовленного из вольфрамовой проволоки; молибденовых крючков 3, определяющих форму тела накала и препятствующих его провисанию; никелевых токоподводящих электродов 4; стеклянного стержня (штабика) 6, верхняя часть которого завершается утолщением (линзой) 5, куда впаяны крючки; полого стеклянного цилиндра 10, опрессованного в верхней части (лопаточкой) 7, где соединены штабик 6, электроды 4 и откачная трубка (штенгель) 9 с отверстием 8; резьбового металлического цоколя 12, к которому припаян один из токоподводящих электродов; изолированной от цоколя контактной шайбы 13 с припаянным вторым токоподводящим электродом. Колба и цоколь лампы соединены специальной мастикой 11, контактная шайба крепится к цоколю электроизоляционной стекломассой.

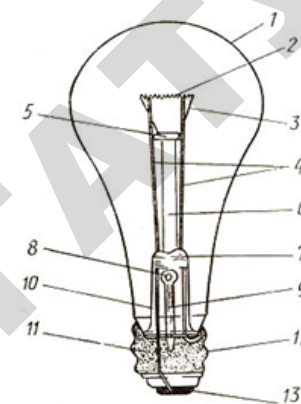


Рис. 3.3. Устройство лампы накаливания: 1 — колба; 2 — тело накала; 3 — крючки-держатели; 4 — электроды; 5 — линза; 6 — штабик; 7 — лопаточка; 8 — откачное отверстие; 9 — штенгель; 10 — полый цилиндр; 11 — мастика; 12 — цоколь; 13 — контактная шайба

Основным элементом лампы, определяющим ее функциональное назначение, является тело накала, которое изготавливают в виде нити, спирали (биспираль⁶) из вольфрама, тугоплавкого металла (температура плавления около 3660 К), обладающего высокой пластичностью и низкой скоростью испарения. При разогреве тела накала до рабочих температур (2400...2900 К) вольфрам начинает испаряться, его частицы оседают на внутренней поверхности колбы, вызывая ее потемнение, диаметр нити тела накала уменьшается, соответственно уменьшая мощность, световую отдачу и срок службы лампы. Для снижения скорости испарения тела накала из стеклянной колбы откачивается воздух, содержащий кислород, (вакуумные лампы) и колба заполняется смесью инертных газов (газонаполненные лампы): азота — для предотвращения электрического пробоя между неизолированными токоведущими частями, аргона, криптона и ксенона — для уменьшения тепловых потерь от тела накала через колбу лампы. При этом колба газонаполненной лампы может быть заполнена аргоно-азотной или криптон-ксеноновой (14 % азота и 86 % аргона или криптона и ксенона) смесью.

Наличие в колбе инертных газов препятствует распылению вольфрама и уменьшает тепловые потери, что позволяет повысить рабочую

⁶ Биспираль — спираль, повторно свернутая в виде спирали.

температуру тела накала с 2400 у вакуумных до 2700 (аргон-азотная смесь)...2800 К (криптон-ксеноновая смесь) у газонаполненных ламп⁷, а следовательно, и световую отдачу, без увеличения скорости распыления вольфрама и снижения срока службы лампы.

Обозначение ламп накаливания общего назначения включает буквы (от одной до четырех), первые из которых указывают особенности изготовления тела накала и заполнения стеклянной колбы: В — вакуумная; Г — газонаполненная моноспиральная (аргон-азотная смесь); Б — газонаполненная биспиральная (аргон-азотная смесь); БК — газонаполненная биспиральная (криптон-ксеноновая смесь). Далее следуют буквы, указывающие на особенности изготовления колбы: МГ — матированная; МЛ — молочного цвета; О — опаловая; З — зеркальная и т. д. Через дефисы после буквенного выражения следуют цифры, определяющие: номинальное напряжение или диапазон напряжения питания в вольтах; номинальную мощность в ваттах и порядковый номер разработки. Порядковый номер разработки указывает на то, что лампа имеет отличия от базовой модели.

Буквенные обозначения маркировки специальных ламп накаливания в основном определяют их назначение и не характеризуют особенности конструкции тела накала и наполнения колбы инертным газом. Так, лампы для местного освещения обозначают буквами МО, МОД (с диффузно отражающим покрытием) и МОЗ (с зеркальным покрытием); прожекторные — ПЖ; автомобильные — А, АМН и АС; зеркальные лампы-светильники, применяемые для освещения — ЗК, ЗС, ЗШ, ЗГ (соответственно концентрированного, среднего, широкого и глубокого светораспределения); коммутаторные — КМ; малогабаритные — ПШ, РН, Ц; миниатюрные — ММ и др. Цифровые обозначения в маркировке подобных ламп также указывают номинальные значения напряжения или диапазон напряжения питания в вольтах и установленной мощности в ваттах.

Технические параметры некоторых ламп, применяемых в светильниках местного освещения (§ 4.3.1) и прожекторах (§ 4.3.2), приведены в приложении 3.

Примеры условного обозначения ламп накаливания общего назначения:

Г220-230-200 — газонаполненная с обычной стеклянной колбой, на диапазон напряжений 220...230 В, номинальной мощностью 200 Вт при расчетном напряжении питания 225 В;

⁷ Смесь криптона и ксенона более эффективна в плане снижения тепловых потерь, но дороже в сравнении с аргоном.

БКМТ215-225-100-2 — биспиральная, газонаполненная криптон-ксеноновой смесью, в матированной колбе, на диапазон напряжения 215...225 В, номинальной мощностью 100 Вт при расчетном напряжении питания 220 В, второй разработки.

Лампы накаливания общего назначения изготавливают мощностью от 15 до 1500 Вт на различные номинальные напряжения питания 12, 24, 36 В и допустимые диапазоны их изменения 215...225, 225...235, 235...245, 245...255 В. При этом для ламп, изготавливаемых с учетом допустимого диапазона изменения напряжения питания, за номинальное (расчетное) напряжение принимают значение напряжения середины диапазона, например, 220 В для диапазона 215...225 В, 225 В для диапазона 220...230 В и т. д. Для этого напряжения приводятся номинальные значения светотехнических и эксплуатационных параметров, в том числе и срока службы (приложение 3).

Вакуумные лампы накаливания общего назначения изготавливают мощностью до 25 Вт включительно, биспиральные, наполненные криптон-ксеноновой смесью — 40...100 Вт, биспиральные, наполненные аргон-азотной смесью — 40...1500 Вт. У ламп накаливания в матированных колбах номинальный световой поток на 3 %, в опаловых — на 10 % и в молочных — на 20 % ниже, чем у ламп с прозрачной колбой. Внешний вид наиболее распространенных ламп накаливания представлен на рис. 3.4.

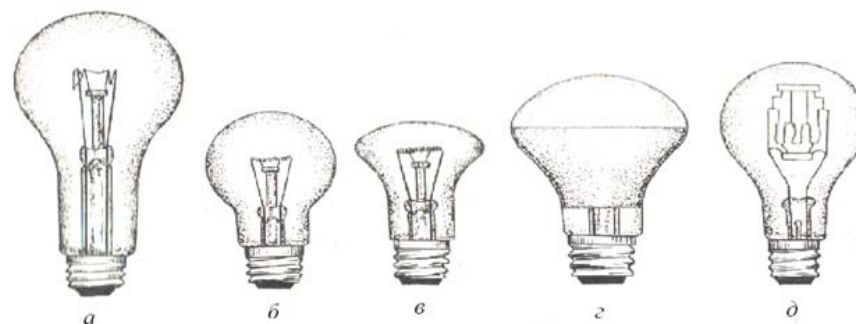


Рис. 3.4. Внешний вид наиболее распространенных ламп накаливания: а — моноспиральная с аргоновым наполнителем (Г); б — вакуумная (В) или биспиральная с аргон-азотным наполнителем; в — биспиральная с криптон-ксеноновым наполнителем (БК); г — в колбе с диффузным или зеркальным отражателем (МОД, МОЗ); д — прожекторная

Геометрические размеры ламп накаливания общего назначения зависят от их назначения, мощности и состава смеси заполнения колбы. При этом тип их резьбового цоколя в основном определяется мощностью и может быть E14 (14 мм) или E27 (27 мм) для ламп мощностью 15...200 Вт, E27 и E40 (40 мм) — 300 Вт и E40 — 300 и более Вт.

Световая отдача у ламп накаливания общего назначения определяется пределами $7,5...20 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$. Их номинальный срок службы равен 1000 ч, продолжительность горения каждой лампы (гарантированный срок службы) — не менее 700 ч.

Лампа накаливания в первые часы работы при включении в сеть на номинальное напряжение должна излучать световой поток, отличающийся не более чем на 5...10 % от номинального значения. В процессе эксплуатации световой поток лампы уменьшается из-за изменения диаметра тела накала при распылении вольфрама, увеличения его сопротивления, понижения потребляемой мощности, температуры тела накала и прозрачности колбы. Для ламп, проработавших 75 % своего номинального срока службы, допускается уменьшение светового потока до 72...85 % номинального значения в зависимости от типа ламп, мощности и особенностей изготовления.

Отклонение питающего напряжения от его номинального значения существенно влияет на изменение параметров ламп накаливания (рис. 3.5). Если напряжение питания выше номинального значения, то возрастают значения тока, мощности, светового потока и световой отдачи ламп и снижается средняя продолжительность горения. При небольших изменениях напряжения (до $\pm 10\%$) можно считать, что отклонение напряжения на $\pm 1\%$ от номинального изменяет световой поток лампы примерно на $\pm 4...5\%$, а среднюю продолжительность горения до $-6...7$ и $+13...25\%$.

Взаимосвязь параметров ламп накаливания с отклонением напряжения питания в интервале $0,9...1,1 \cdot U_n$ аппроксимируется отношениями:

$$\frac{I}{I_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{0,33}; \quad \frac{P}{P_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{1,6}; \quad \frac{\Phi_c}{\Phi_{cn}} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{3,6};$$

$$\frac{\eta_c}{\eta_{cn}} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{2,0}; \quad \frac{t}{t_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{-11,2...14,8},$$

где $I_n, U_n, P_n, \Phi_{cn}, \eta_{cn}, t_n$ — номинальные значения тока, напряжения, мощности, светового потока, световой отдачи и срока службы;

I, P, Φ_c, η_c, t — значения соответствующих параметров при работе лампы накаливания в сети с напряжением U .

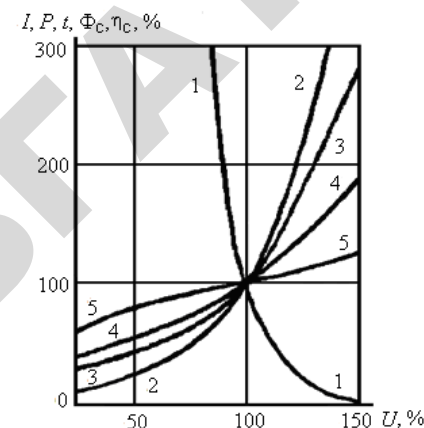


Рис. 3.5. Зависимость параметров ламп накаливания общего назначения от изменения напряжения питающей сети:

1 — средней продолжительности горения; 2 — светового потока; 3 — световой отдачи; 4 — потребляемой мощности; 5 — тока

Учитывая повышенную чувствительность ламп накаливания к значению питающего напряжения, необходимо при их выборе обращать особое внимание на то, чтобы указанный в типе лампы допустимый диапазон изменения напряжения соответствовал действительным значениям отклонений напряжения питающей сети, в которой ее предполагается эксплуатировать. Несоблюдение этого требования может привести к тому, что во время работы электрические, светотехнические и эксплуатационные параметры ламп могут существенно отличаться от указанных в паспорте завода-изготовителя. Например, при включении лампы Б220-230-100 на номинальное напряжение 220 В ее потребляемая мощность понизится и будет равна 97 Вт (-3%), световой поток — 1250 лм ($-7,4\%$), а срок службы увеличится и составит примерно 1300 ч ($+30\%$). Технические параметры ламп общего назначения, при их включении на номинальное напряжение 220 В приведены в табл. 3.1.

Эксплуатировать лампы накаливания общего назначения необходимо при относительной влажности окружающей среды не более 98 %, температуре от -60 до $+50$ °С и внешнем давлении

68...101 кПа (550...760 мм рт. ст.). При эксплуатации следует помнить, что это хрупкие электро- и пожароопасные изделия, не допускающие даже кратковременного соприкосновения с водой в рабочем режиме. Температура колбы лампы при эксплуатации достигает 523 К и зависит от ее положения в пространстве.

Таблица 3.1

Технические параметры ламп накаливания общего назначения при номинальном напряжении питания

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, ч
В220-230-15	14,4	97	1300
В230-240-15	13,5	79	2300
В235-245-15	13	85	3400
В220-230-25	24	212	1300
В230-240-25	22,5	177	2300
В235-245-25	22	165	3400
В220-230-40	39	385	1300
ВК220-230-40	38,6	424	1300
В230-240-40	35,6	315	2500
ВК230-240-40	36	355	2500
В235-245-40	35	300	3400
В220-230-60	58	660	1300
ВК220-230-60	58	728	1300
В230-240-60	54	555	2500
ВК230-240-60	54	610	2500
В235-245-60	52	445	3400
В220-230-75	72	875	1300
В230-240-75	67	735	2500
В220-230-100	97	1250	1300
ВК220-230-100	97	1335	1300
В230-240-100	90	1050	2500
ВК230-240-100	90	1127	2500
В235-245-100	87	900	3400
Г220-230-150	145	1940	1300
Г230-240-150	135	1625	2500
В235-245-150	130	1500	3400
Г235-245-150	130	1500	3400
Г220-230-200	194	2715	1300

Окончание табл. 3.1

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, ч
Г230-240-200	180	2280	2500
Г220-230-300	289	4250	1300
Г230-240-300	270	3590	2500
Г220-230-500	482	7650	1300
Г230-240-500	450	6480	3500
Г220-230-750	723	12080	1300
Г220-230-1000	964	17150	1300
Г230-240-1000	900	14540	2500

Анализируя светотехнические параметры ламп накаливания, замечаем, что их фактическая световая отдача значительно ниже теоретически возможной. С целью повышения световой отдачи осуществляется поиск: новых, оптимальных для ламп накаливания марок и технологических режимов производства вольфрама и форм тела накала из него; новых материалов для тела накала, обеспечивающих селективность излучения или более высокую рабочую температуру; путей снижения тепловых потерь за счет возврата ИК-излучения обратно на тело накала; состава инертных газов, заполняющих колбу лампы, снижающих скорость распыления вольфрама и тепловые потери с тела накала. Совершенствование ламп накаливания направлено на повышение к.п.д., световой отдачи, средней продолжительности горения и стабильности светового потока в течение всего срока службы.

3.2.3 Кварцевые галогенные лампы накаливания

Существенным шагом в направлении совершенствования ламп накаливания явилось появление галогенных ламп накаливания, принцип действия которых может быть пояснен схемой (рис. 3.6), где W — атом вольфрама; nX — n атомов галогена (бром, йод); WX_n — молекула галогенида (бромистый или йодистый вольфрам).

Добавка галогена в колбу лампы накаливания с вольфрамовым телом накала вызывает замкнутый химический цикл, сущность которого для наглядности проследим на примере йода — наименее агрессивного из всех галогенов и используемого наряду с бромом в виде углеводородных соединений в конструкциях современных галогенных ламп накаливания.

В рабочем режиме частички вольфрама с тела накала испаряются и оседают на стенках колбы лампы. У стенок колбы пары йода соединяются с частичками вольфрама (температура 520...1470 К), образуя галогенид — йодистый вольфрам (температура испарения 520...570 К). При температуре 520 К и более это газообразное соединение улетучивается и, из-за повышенной концентрации у стенок, диффузирует в направлении к раскаленной вольфрамовой спирали. Вблизи вольфрамовой спирали йодистый вольфрам распадается на исходные составные части — вольфрам, атомы которого оседают на тело накала (а также и на другие детали с температурой более 1800 К), и йод. Освободившиеся атомы йода под действием диффузии движутся в обратном направлении к стенкам колбы, где соединяются с новой порцией вольфрама. Таким образом осуществляется регенерация испарившегося вольфрама обратно на тело накала.

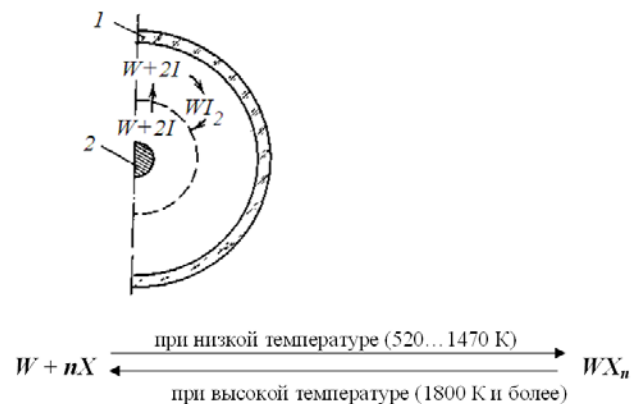


Рис. 3.6. Упрощенная схема действия вольфрам-йодного цикла:
1 — колба из кварцевого стекла; 2 — тело накала в виде вольфрамовой спирали

Вольфрам-галогенный цикл препятствует осаждению вольфрама на стенки колбы лампы, сохраняя их чистыми, светлыми и прозрачными на протяжении всего срока службы. Но он не способен восстановить тело накала в первоначальном виде, не обеспечивает возврат частиц вольфрама на дефектные участки тела накала и не «залечивает» наиболее горячие точки вольфрамовой спирали, с которых испарение вольфрама происходит особенно интенсивно.

Кварцевые галогенные лампы накаливания (рис. 3.7) — высокоинтенсивные (в сравнении с лампами накаливания) источники све-

та, которые характеризуются различной формой конструктивного исполнения, высокой стабильностью светового потока на протяжении всего срока службы, малыми габаритами и массой, нечувствительностью к кратковременному повышению питающего напряжения, резким перепадам температуры и условиям окружающей среды. Они отличаются повышенным сроком службы (2...10 тыс. ч), более высокой термостойкостью и механической прочностью, относительно высокой для ламп накаливания световой отдачей (22...29 лм · Вт⁻¹).



Рис. 3.7. Конструкция трубчатой кварцевой галогенной лампы накаливания:
1 — трубчатая колба из кварцевого стекла; 2 — тело накала из вольфрамовой спирали; 3 — держатели тела накала; 4 — электроды; 5 — токоподводы; 6 — молибденовая фольга; 7 — штенгель

Сфера использования галогенных ламп накаливания постоянно расширяется. Они применяются в разнообразных оптических приборах, кино- и диапроекторной аппаратуре, для общего освещения, в световых приборах автомобилей и самолетов, как источники ИК-излучения. Их номенклатура и выпуск растут быстрыми темпами.

Среди их недостатков следует отметить то, что из-за высокой стоимости кварцевого стекла и недостаточной технологичности изготовления они относительно дороги, к тому же длинные трубчатые лампы следует эксплуатировать только в горизонтальном положении.

Промышленность для применения в осветительных установках выпускает галогенные лампы накаливания типа КГ преимущественно на напряжение 230 В мощностью от 100 до 20000 Вт, а для ИК-нагрева — КГ, КГТ, КГТО, КГТД на напряжение 120, 230 и 400 В мощностью 400, 600, 1000, 2200, 2500, 3300 и 3550 Вт (приложение 3). Условное обозначение таких ламп включает буквы и цифры: первые две буквы указывают на материал стеклянной колбы (трубки) и наличие галогенной добавки в колбе (КГ — кварцевая с галогенной добавкой); третья и последующие буквы — на область применения (Г — термоизлучатель, СМ — самолетная) и (или) конструктивную особенность изготовления (О — с отогнутыми концами, Д — дифференцированное

тело накала, К — концентрированное тело накала, М — малогабаритная); цифры через дефис — номинальное напряжение, В, номинальную мощность, Вт, и порядковый номер разработки.

3.2.4. Инфракрасные зеркальные лампы-термоизлучатели

У всех источников теплового излучения основная часть лучистого потока (68...91 %) приходится на ИК-излучение, поэтому в качестве источников ИК-излучения широкое применение в сельскохозяйственном производстве нашли лампы-термоизлучатели.

Конструкция ламп-термоизлучателей аналогична конструкции осветительных ламп накаливания общего назначения (рис. 3.8). Как и в лампах накаливания, источником ИК-излучения в лампах-термоизлучателях является биспираль из вольфрамовой проволоки, нагреваемая в рабочем режиме до температуры 2000...2600 К. Отличительной особенностью конструкции является только форма колбы лампы, определяющая направление и равномерность распределения потока ИК-излучения, и возможная окраска нижней части колбы красным или синим термостойким лаком для уменьшения интенсивности видимого излучения.

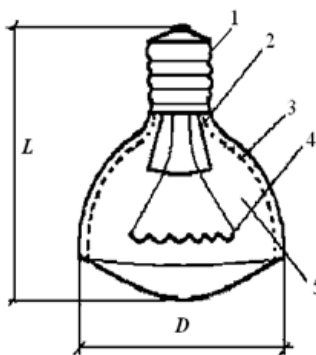


Рис. 3.8. Устройство инфракрасных зеркальных ламп-термоизлучателей:

1 — цоколь; 2 — тепловой экран; 3 — зеркальный слой;

4 — вольфрамовая спираль; 5 — смесь инертного газа (аргон и азот)

Промышленность выпускает специальные инфракрасные лампы-термоизлучатели типов ИКЗ, ИКЗК и ИКЗС, мощностью 250 и 500 Вт, на номинальное напряжение 120 и 230 В (приложение 3). В обозначении

нии типа лампы буквы означают: ИК — инфракрасная, З — зеркальная, К или С — цвет окрашенной колбы (красная или синяя). После букв следуют цифры, указывающие номинальные значения напряжения (В), мощности (Вт) и отличительные особенности конструкции.

Источником ИК-излучения могут служить и лампы накаливания общего назначения или зеркальные осветительные лампы-светильники. В их спектре излучения ИК-область занимает около 70...75 % всего лучистого потока, причем увеличить его долю можно за счет уменьшения на 5...15 % подводимого к лампе напряжения. При его понижении снижается рабочая температура вольфрамовой спирали, уменьшается световая отдача, спектр излучения смещается в ИК-область, увеличивая тем самым долю излучаемого ИК-потока. Понижение рабочей температуры вольфрамовой спирали способствует увеличению срока службы лампы.

Перспективными источниками ИК-излучения для сельскохозяйственного производства являются галогенные лампы-термоизлучатели типов КГТ (приложение 3).

Важным преимуществом ламп-термоизлучателей является их быстрое действие. В отличие от других источников требуемый температурный режим в зоне ИК-нагрева создается лампами-термоизлучателями практически сразу после включения их в сеть, так как вольфрамовая спираль нагревается до рабочей температуры в течение десятых долей секунды. Лампы-термоизлучатели имеют сравнительно большой срок службы и создают высокую плотность ИК-потока. Однако они не подлежат ремонту и создаваемая ими ИК-облученность неравномерна. Некоторая часть потока оптического излучения ламп-термоизлучателей приходится на видимую область спектра, что затрудняет их применение в помещениях, к световому режиму которых предъявляются особые требования. В таких помещениях целесообразнее применять низкотемпературные инфракрасные излучатели: трубчатые электронагреватели (ТЭНы), керамические и пленочные электрические, а также газовые ИК-излучатели.

3.3. ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Поиск путей повышения световой отдачи и невозможность ее существенного увеличения у источников теплового излучения привели к созданию новых видов источников видимого излучения,

в частности, газоразрядных, доля которых в структуре производства и использования неуклонно возрастает.

Газоразрядным называют такой источник, в котором оптическое излучение возникает в результате возбуждения электронов атомов при электрическом разряде в газах, парах металлов или их смесях. Среди них наиболее широкое распространение получили источники, в которых электрический разряд осуществляется в парах ртути. В зависимости от рабочего давления газовой среды в колбе все они подразделяются на источники: низкого (до 0,01 МПа), высокого (0,01...1 МПа) и сверхвысокого (> 1 МПа) давления.

3.3.1. Основные положения теории электрического разряда в газах и парах металлов

Процесс прохождения электрического тока в газовой среде или парах металла называют *электрическим разрядом*. Характер и механизм электрического разряда в основном определяется давлением и свойствами среды, приложенным к электродам напряжением и плотностью тока разряда.

Если герметически запаивают стеклянную трубку, внутри которой по торцам размещены электроды, заполнить газом и к электродам подвести напряжение, то при некоторой напряженности электрического поля в ее среде появляется электрический разряд, при котором начинают направленно перемещаться заряженные частицы, в частности, наиболее подвижные из них — электроны, с поверхности катода в газ (пары металла или их смесь) и далее в анод.

Выход электрона с поверхности твердого проводника катода требует затрат энергии на преодоление потенциального барьера, существующего на границе между электродом и газом, значение которой зависит от материала поверхности катода, его температуры и свойств газа.

Электроны, перемещаясь под действием электрического поля в газовой среде, соударяются с нейтральными атомами и молекулами. Если их кинетическая энергия достаточно высокая, то при соударении они могут ионизировать атом или молекулу, тем самым образуя дополнительные носители электричества. При небольшой кинетической энергии соударение электронов с атомами или молекулами не ионизирует последние, а приводит к переводу их электронов на новые энергетические уровни. Электроны атома или молекулы, возвращаясь в исходное состояние, испускают фотоны оп-

тического излучения. Незначительной кинетической энергии электронов недостаточно даже для возбуждения атома или молекулы, и их соударение с последними приводит только к увеличению температуры газа. К тому же электроны, попадая на анод, часть своей кинетической энергии расходуют на его нагрев. Отметим, что при электрическом разряде в газовой среде наблюдаются все три приведенных случая поведения электронов, а газовая среда при снятии электрического поля практически восстанавливает свои свойства.

В зависимости от плотности разрядного тока различают три основные формы электрического разряда (рис. 3.9):

- *тихий разряд* (плотность разрядного тока до $10^{-2} \text{ А} \cdot \text{м}^{-2}$);
- *тлеющий разряд* (плотность разрядного тока $1 \dots 10^2 \text{ А} \cdot \text{м}^{-2}$);
- *дуговой разряд* (плотность разрядного тока более $10^2 \text{ А} \cdot \text{м}^{-2}$).

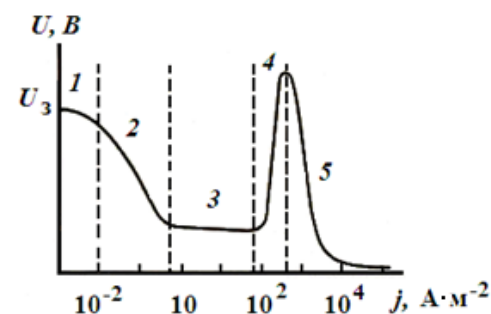


Рис. 3.9. Вольт-амперная характеристика электрического разряда в среде газа: тихий разряд (1), переходная область (2), нормальный (3) и аномальный (4) тлеющие разряды, дуговой разряд (5)

Рабочим режимом источников оптического излучения, как правило, является дуговой разряд, который характеризуется падающей ветвью вольт-амперной характеристики (ВАХ). Падающая ВАХ дугового разряда делает его неустойчивым, так как если его не ограничивать, то из-за большого тока газоразрядный источник разрушается в основном из-за разрушения его электродов. Для ограничения тока газоразрядный источник оптического излучения подключают к электрической цепи последовательно с *балластным сопротивлением* (рис. 3.10) — активным, индуктивным или емкостным.

При подключении газоразрядного источника к сети постоянного тока через активное балластное сопротивление (рис. 3.10) дуговой разряд будет протекать устойчиво при выполнении следующего условия:

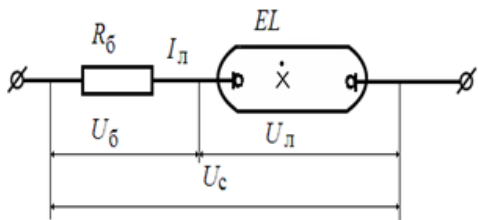


Рис. 3.10. Схема включения газоразрядной лампы в сеть последовательно с активным сопротивлением

$$U_c = U_{л} + I_{л}R_{б}, \quad (3.9)$$

где U_c — напряжение питающей сети, В; $U_{л}$ — напряжение на зажимах лампы в рабочем режиме, В; $I_{л}$ — разрядный ток, А; $R_{б}$ — омическое сопротивление стабилизирующего балласта.

Дифференцируя равенство (3.9) по $I_{л}$ и учтя, что напряжение питающей сети не изменяется при изменении разрядного тока $\frac{dU_c}{dI_{л}} = 0$, получим требование к условию стабилизации дугового разряда:

$$R_{б} + \frac{dU_{л}}{dI_{л}} = 0, \quad (3.10)$$

где $\frac{dU_{л}}{dI_{л}} = R_{л} \equiv -\operatorname{tg}\beta$ — омическое сопротивление источника в рабочем режиме, которое называют дифференциальным сопротивлением разряда (величина отрицательная); β — угол между касательной к ВАХ дугового разряда в точке его стабилизации и осью абсцисс (рис. 3.11).

Графическая иллюстрация условия стабилизации дугового разряда представлена на рис. 3.11, где изображены: ВАХ дугового разряда (кривая 1); опорная прямая, определяющая напряжение питающей сети U_c ; линия $U_c - I_{л}R_{б}$ (прямая 2), проведенная из точки пересечения линии U_c с осью ординат и характеризующая ВАХ балластного сопротивления. Вертикальные отрезки, в частности, $I_{л}R_{б}$ и $U_{л}$, а также им параллельные, в некотором масштабе определяют падение напряжений на балластном сопротивлении и на зажимах лампы в рабочем режиме.

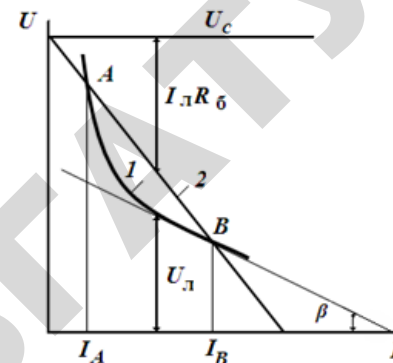


Рис. 3.11. Стабилизация электрического разряда при включении разрядного источника последовательно с балластным сопротивлением

Условие стабилизации дугового разряда (3.10) соблюдается в точках пересечения прямой 2 и кривой 1, то есть A и B . Однако режим в точке A нельзя отнести к стабильному, потому что даже незначительное отклонение тока, например, в сторону увеличения (из-за превышения напряжения U_c суммы значений падений напряжения на балластном сопротивлении и зажимах лампы в рабочем режиме $U_c > U_{л} + I_{л}R_{б}$), приводит к лавинообразному развитию электрического разряда до режима, показанного на рисунке точкой B . Дальнейшее увеличение разрядного тока при данных условиях невозможно, так как имеем $U_{л} + I_{л}R_{б} > U_c$ и $R_{б} + \frac{dU_{л}}{dI_{л}} > 0$.

Последовательное включение с лампой балластного сопротивления неизбежно приводит к дополнительным неэффективным потерям электрической энергии. В связи с этим представляет интерес определение наименьшей величины балластного сопротивления и падения напряжения на нем для обеспечения стабильного дугового разряда при заданном значении разрядного тока. Методология графического определения этих величин приведена на рис. 3.12.

В точке, соответствующей заданному значению разрядного тока I_2 (точка O на ВАХ дугового разряда), проводится касательная до пересечения с осью ординат. Тогда прямая U_2 определяет наименьшее значение напряжения питающей сети, обеспечивающее устойчивый электрический разряд, а $\operatorname{tg}\alpha$ — наименьшее значение балластного сопротивления $R_{б}$.

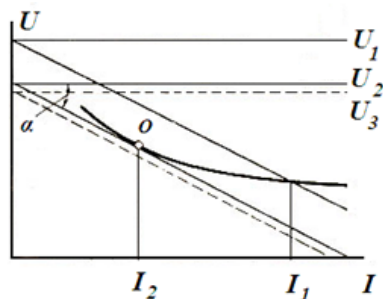


Рис. 3.12. К определению минимального значения балластного сопротивления при заданном разрядном токе

Однако работа газоразрядного источника в режиме точки O в этом случае будет неустойчивой, так как даже незначительное снижение напряжения питающей сети приведет (при неизменном балластном сопротивлении) к прекращению дугового разряда (при напряжении U_3 ВАХ дугового разряда и прямая, характеризующая ВАХ балластного сопротивления, не пересекаются: $U_c < U_n + I_n R_0$). С другой стороны, повышение напряжения питающей сети, например, до U_1 , приведет к скачкообразному возрастанию разрядного тока от I_2 до I_1 .

Газоразрядный источник способен работать при различных отношениях значений напряжений на зажимах лампы в рабочем режиме U_n и питающей сети U_c , но устойчивость его работы в значительной мере определяется этим отношением. Чем меньше U_n/U_c , тем меньше влияют колебания напряжения питающей сети на изменение разрядного тока источника I_n , а следовательно, и других параметров, и наоборот, чем больше U_n/U_c , тем отмеченное влияние сказывается сильнее. Поэтому на практике для обеспечения достаточной надежности работы газоразрядного источника и постоянства его параметров в условиях колебания и отклонения напряжения питающей сети балластное сопротивление подбирают таким образом, чтобы выполнялось условие $U_n \leq 0,65 U_c$.

Работа газоразрядных источников в сети переменного тока несколько отличается от работы в сети постоянного тока и вносит свои дополнительные требования к выбору балластного сопротивления. Во время работы в сети переменного тока процессы появления и прекращения электрического разряда в источнике возобновляются каждый полупериод синусоидального изменения напряжения пи-

тающей сети, при этом параметры источника (напряжение на его электродах, ток и поток излучения) постоянно изменяются. При подключении газоразрядных источников к сети переменного тока в качестве балластного сопротивления может быть использовано как активное, так и индуктивное или емкостное сопротивление. Тип балластного сопротивления оказывает определенное влияние на работу источника, особенности которого рассмотрим при анализе изменения значений напряжения, тока и светового потока лампы за период синусоидального изменения напряжения питающей сети (рис. 3.13).

При работе газоразрядного источника с активным балластным сопротивлением напряжение на его электродах синхронно следует за напряжением питающей сети (рис. 3.13а). Когда напряжение на электродах источника достигает значения напряжения перезажигания⁸ $U_{пз}$, происходит повторный пробой газового промежутка, в нем начинается электрический разряд, в цепи появляется ток i и поток излучения Φ . При снижении напряжения на электродах источника до значения, меньше допустимого режимом стабилизации, электрический разряд прекращается. Ток и поток излучения, следуя режиму стабилизации газового разряда, изменяются в течение не полного полупериода синусоидального изменения напряжения питающей сети. Появляются темновые паузы — в начале ϕ_n и в конце ϕ_k электрического разряда, определяющие пульсацию потока излучения, значение которой оценивается коэффициентом пульсации (3.1).

⁸ Следует различать понятия «напряжение перезажигания» $U_{пз}$ и «напряжение зажигания» U_3 электрического разряда.

Напряжение перезажигания $U_{пз}$ — значение напряжения на электродах, при котором происходит повторный пробой его газового промежутка. Конструктивные параметры источника подбираются таким образом, чтобы значение $U_{пз}$ было меньше значения амплитуды изменения напряжения питающей сети.

Напряжение зажигания U_3 — наименьшее значение напряжения, при котором возникает первичный пробой газоразрядного промежутка и его самостоятельный разряд. Значение U_3 , как правило, значительно больше значения амплитуды изменения напряжения питающей сети. Для первичного пробоя газоразрядного промежутка в схемах включения и при изготовлении источника предусматривают специальные конструктивные решения, направленные на предварительное насыщение газоразрядного промежутка ионизированными электрическими частицами и генерирование повышенного импульса напряжения, превышающего по значению амплитуду изменения напряжения питающей сети. Предварительное насыщение газоразрядного промежутка ионизированными электрическими частицами осуществляется за счет покрытия электродов источника оксидированным слоем и их предварительного подогрева, вследствие чего повышаются их эмиссионные свойства.

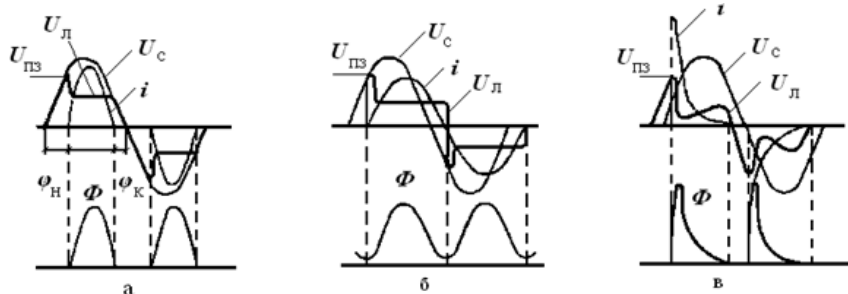


Рис. 3.13. Осциллограммы изменения питающего напряжения U_c , напряжения на электродах $U_л$, тока i и потока излучения Φ газоразрядного источника при различных балластных сопротивлениях: а — активном; б — индуктивном; в — емкостном

Стабилизация электрического разряда с использованием активного балластного сопротивления реализуется относительно просто без больших финансовых затрат, но не лишена некоторых недостатков, ограничивающих ее применение. Во-первых, из-за наличия относительно продолжительных темновых пауз, заметной пульсации потока излучения, а следовательно, низкого значения коэффициента пульсации. Во-вторых, режимы постоянного перезажигания электрического разряда способствуют повышенному расходу эмиссионных свойств оксидного слоя электродов источника и сокращению их эксплуатационных свойств и срока службы. В-третьих, повышенный расход электрической энергии в балластном сопротивлении, снижающий энергетические показатели работы схемы включения источника в сеть.

Использование индуктивного балластного сопротивления для стабилизации электрического разряда в газоразрядном промежутке более перспективно и на практике встречается чаще других схем включения газоразрядных источников в сеть. Так как ток при индуктивной нагрузке отстает от напряжения, то когда его значение в схеме включения газоразрядного источника приближается к нулю, напряжение на электродах источника сопоставимо с напряжением перезажигания, электрический разряд практически не прекращается и перезажигание электрического разряда происходит без заметных темновых пауз (рис. 3.13б). Отсутствие темновых пауз существенно уменьшает пульсацию потока излучения. Форма кривой тока приближается к синусоидальной.

При индуктивном балластном сопротивлении потери мощности в балластном сопротивлении значительно ниже, чем при активном балласте, и составляют 15...20 % мощности источника излучения. Используя явление генерирования электродвижущей силы самоиндукции при индуктивном балластном сопротивлении, несложно организовать импульс повышенного напряжения для первичного пробоя газоразрядного промежутка. В то же время индуктивное балластное сопротивление не лишено недостатков, среди которых следует отметить: большой расход металла на его изготовление, в том числе и цветного (меди), что существенно удорожает изделие; сдвиг фаз между током и напряжением, который приводит к появлению реактивной мощности и, как следствие, снижению коэффициента мощности сети.

Емкостное балластное сопротивление для стабилизации электрического разряда газоразрядных источников применяется относительно редко, причиной чему является чрезмерное искажение формы тока и светового потока источника (рис. 3.13в). Большие паузы и всплески тока приводят к снижению срока службы электродов источника, уменьшению светового потока и световой отдаче, росту коэффициента пульсации потока излучения. Однако применение балластного сопротивления в виде комбинации индуктивности и емкости (индуктивно-емкостного) является весьма перспективным, особенно при работе в сети переменного тока повышенной частоты.

При повышении частоты питающей сети до значения 1 и более кГц напряжение на электродах и ток в схеме включения источника при любом балластном сопротивлении приближаются по форме к синусоиде. Увеличиваются световая отдача (на 5...10 %) и срок службы (на 10...50 %) источника. Снижаются коэффициент пульсации (на 5...10 %), потери электрической мощности в балластном сопротивлении (в 3...4 раза), потребление электроэнергии комплектом «балластное сопротивление — источник излучения» (в среднем на 20 %), материалоемкость балластного сопротивления (на 40...70 %). Исчезает шум от работы балластного сопротивления и появляется возможность регулирования потока излучения источника в диапазоне 10...100 %.

3.3.2. Газоразрядные лампы низкого давления

Газоразрядные лампы низкого давления конструктивно выполнены в виде стеклянной трубки, заполненной аргоном и ртутью.

В результате электрического разряда в среде паров ртути возникает преимущественно УФ-излучение длиной волны 253,7 и 184,9 нм, которое в слое люминофора в результате явления фотолюминесценции⁹ преобразуется в излучение видимой части спектра. Источники, излучающие видимое излучение в процессе электрического разряда и люминесценции, называют *люминесцентными лампами*.

Люминесцентная лампа общего назначения представляет собой запаянную по торцам стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором (рис. 3.14). Внутри торцов трубки в стеклянных ножках сварены электроды с биспиральной нитью из вольфрама, которая покрыта оксидным слоем, снижающим работу выхода электронов. Электроды присоединены к контактным штырькам, закрепленным в цоколе и изолированные от него специальной мастикой. Для снижения износа вольфрамовая нить защищена проволочными экранами.

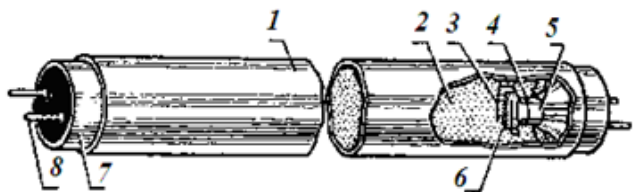


Рис. 3.14. Устройство люминесцентной лампы общего назначения:

- 1 — стеклянная трубка; 2 — слой люминофора; 3 — проволочные экраны;
4 — токоподводящие электроды; 5 — стеклянная ножка;
6 — покрытая оксидированным слоем биспиральная вольфрамовая нить накала;
7 — цоколь; 8 — контактные ножки-штырьки

Полость колбы заполнена аргоном при давлении 400 Па и небольшим количеством ртути (60...120 мг), которая в рабочем режиме при температуре около 40 °С испаряется, создавая парциальное давление около 1 Па. Назначение аргона состоит в уменьшении распыления покрытия электродов и облегчении первичного появления разряда. Пары ртути, легко ионизируясь, обеспечивают электрический разряд и генерирование УФ-излучения при работе лампы. Состав люминофора определяет спектральный состав и цветность излучения.

⁹ Фотолюминесценция — излучение люминофора в результате поглощения фотонов оптического излучения меньшей длины волны.

Люминесцентные лампы различают по форме и размерам колбы, мощности и спектральному составу или цветности излучения. Их условное обозначение может быть представлено в виде:

$$\boxed{1} \boxed{2} \boxed{3} \boxed{4} \boxed{5} - \boxed{6}$$

где 1 — буква Л (люминесцентная), указывающая на принадлежность к виду люминесцентных ламп;

2 — от одной до четырех букв, указывающих на цвет или особенности спектра излучения: Б (белая), Д (дневная), Е (естественная), ТБ (тепло-белая), ХБ (холодно-белая), УФ (ультрафиолетовая), Ф (фотосинтетическая), К (красная), С (синяя), Р (розовая), З (зеленая), Г (голубая), Ц (с улучшенной цветопередачей);

3 — буква, указывающая на конструктивные особенности изготовления: Р (рефлекторная), Щ (щелевая), У (U-образная), К (кольцевая), Б (быстрого пуска), А (амальгамная);

4 — буква О (одноцокольная) у ламп с одним цоколем;

5 — число, означающее номинальную мощность лампы, Вт;

6 — число, указывающее на отличительные особенности лампы в сравнении с базовой моделью.

Приведем некоторые пояснения к буквенному обозначению люминесцентных ламп:

— Цвет и особенности спектра излучения люминесцентных ламп характеризуются цветовой температурой и индексом цветопередачи, которые в зависимости от типа ламп соответственно равны для: ЛД — 6400 К (цветовая температура) и 70 (индекс цветопередачи), ЛДЦ — 6200 и 90, ЛБ — 3450 К и 57, ЛТБ — 2950 и 65, ЛТБЦ — 2800 и 83, ЛХБ — 4200 и 62, ЛЕЦ — 3900 и 85, ЛХЕ, ЛХЕЦ — 5200 и 93.

— Люминесцентная лампа типа ЛДЦУФ предназначена для одновременного освещения и ультрафиолетового облучения, так как ее спектр содержит видимое и УФ-В-излучения.

— Особенностью конструкции рефлекторных (Р) и щелевых (Щ) ламп является наличие отражающего слоя (рефлектора), расположенного внутри стеклянной трубки между самой трубкой и люминофором (рис. 3.15). Отражающий слой наносится не на всю внутреннюю поверхность трубки, а на ее часть. Световой поток излучается лампой только через образованную щель (места на внутренней поверхности трубки без отражающего слоя), что позволяет перераспределять его в заданном направлении. У щелевых ламп (Щ) места на внутренней поверхности трубки без отражающего слоя не

покрываются люминофором. Через образованную щель они излучают наряду с видимым и ультрафиолетовое излучение.

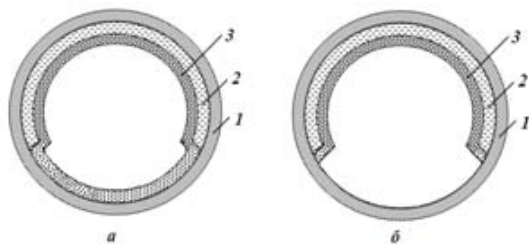


Рис. 3.15. Особенности конструктивного исполнения рефлкторных (а) и щелевых (б) люминесцентных ламп: 1 — стеклянная трубка; 2 — отражающий слой; 3 — люминофор

— U-образные и кольцевые люминесцентные лампы конструктивно отличаются от обычных (прямолинейных) только формой газоразрядной трубки, изогнутой в U-образных лампах в виде латинской буквы «U» или в виде кольца — в кольцевых.

— У амальгамных (А) ламп внутри стеклянной колбы вводят ртуть не в чистом виде, а в виде амальгамного соединения с некоторыми металлами (индий, кадмий, галлий), что снижает экологические последствия при их разрушении.

— Конструкция ламп быстрого пуска (Б) предусматривает наличие узкой металлической полосы вдоль поверхности стеклянной колбы, что облегчает процесс первичного образования электрического разряда и снижает значение напряжения зажигания.

Люминесцентные лампы общего назначения (международная маркировка T12¹⁰, диаметр стеклянной трубки 38...40 мм) изготавливают мощностью от 15 до 150 Вт. Они с использованием соответствующей пускорегулирующей аппаратуры подключаются к электрической сети переменного тока частотой 50 Гц и номинальным напряжением 230 В.

Средний срок службы ламп — 12...15 тыс. часов, световая отдача — 25...80 лм · Вт⁻¹ (приложение 4). Номинальный световой поток лампы излучает после 100 часов эксплуатации, и к концу срока

¹⁰ Международная маркировка позволяет сопоставлять параметры ламп, поставляемых различными зарубежными фирмами, например, Philips, OSRAM, SYLVANIA, GE, V.A.B.S., NARVA и др.

службы он уменьшается на 25...40 %. Лампы могут работать при температуре окружающей среды от 5 до 55 °С, однако оптимальным условиям эксплуатации соответствует температура 18...25 °С и относительная влажность не более 70 %. При температуре окружающей среды < 10 °С и относительной влажности > 80 % ухудшаются условия зажигания ламп.

Изменения относительной влажности и температуры окружающей среды, отклонение напряжения питающей сети от номинального значения оказывают заметное влияние на электрические и светотехнические параметры ламп (рис. 3.16). Эксплуатация ламп при повышенном напряжении питающей сети ведет к уменьшению их срока службы. Понижение напряжения может привести к прекращению электрического разряда и неоднократному повторению процесса зажигания, что также, из-за износа электродов, ведет к уменьшению срока службы.

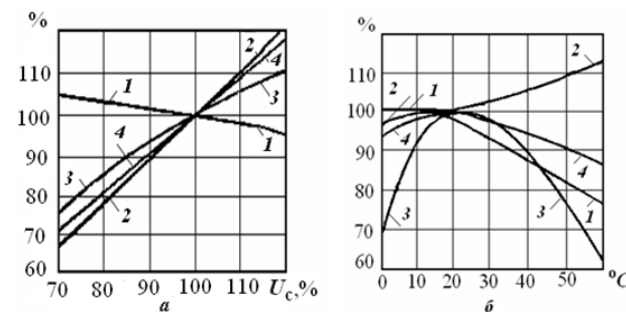


Рис. 3.16. Зависимость напряжения на электродах (1), тока (2), светового потока (3) и световой отдачи (4) лампы от напряжения питающей сети (а) и температуры окружающей среды (б)

Совершенствование люминесцентных ламп направлено на уменьшение их материалоемкости и размеров, улучшение цветности и повышение световой отдачи. Создана и изготавливается в промышленном масштабе серия энергоэкономичных люминесцентных ламп (международная маркировка T8) общего назначения мощностью 15, 18, 36 и 58 Вт со стеклянной трубкой уменьшенного диаметра (26 мм вместо 38...40 мм). Это новое поколение ламп позволяет экономить до 10 % потребляемой энергии и до 30 % материалов (люминофор, алюминий для изготовления цоколя, стекло) при светотехнических параметрах, сопоставимых с характеристиками обычных люминесцентных

ламп (приложение 4). Их средний срок службы — 12...15 тыс. часов, световая отдача — до $60...90 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$.

Ведущими мировыми производителями светотехнической продукции освоен выпуск люминесцентных ламп с диаметром газоразрядной трубки 16 (международная маркировка T5) и 12,5 (международная маркировка T4) мм, пришедшим на смену люминесцентным лампам T8. Кроме уменьшенного диаметра стеклянной трубки они отличаются пониженным содержанием ртути, меньшей длиной, повышенной световой отдачей (до $82...104 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$) и сроком службы (до 20 тыс. часов).

Лампы серии T5 изготавливают мощностью 4, 6, 8, 13, 14, 21, 24, 28, 35, 39, 49, 54 и 80 Вт. Они излучают максимальный световой поток при больших температурах воздуха, окружающего колбу (35°C вместо 25°C для ламп серии T8), что имеет место в реальных условиях эксплуатации. Излучение ламп характеризуется относительно высоким индексом цветопередачи ($R_a = 80...90$, $T_C = 4200$ и 6400 K). За время эксплуатации световой поток ламп после 20 тыс. часов эксплуатации уменьшается всего на 10 % (вместо 30 % после 12 тыс. часов эксплуатации у ламп серии T8).

Лампы серии T4 изготавливают мощностью от 6 до 30 Вт (6, 8, 12, 16, 20, 24 и 30 Вт). $R_a = 80...90$, $T_C = 4200$ и 6400 K , номинальный срок службы — 8000 часов. Используются в компактных светильниках для подсветки прилавков магазинов, кухонных гарнитуров, гардеробных комнат и шкафов, в качестве дополнительного света в общественных помещениях.

Основные технические параметры ламп серии T4 и T5 представлены в приложении 4.

Следует отметить, что промышленностью освоен выпуск малогабаритных люминесцентных ламп мощностью от 4 до 13 Вт, изготавливаемых, как правило, в U-образном виде. Средний срок службы таких ламп — 6...8 тыс. часов.

Большой интерес представляют компактные люминесцентные лампы (КЛЛ), служащие для непосредственной замены малоэффективных ламп накаливания (рис. 3.17). Такая лампа представляет собой компактную конструкцию, включающую миниатюрную стеклянную газоразрядную трубку сложной конфигурации (изогнутую в виде спирали или U-образную), встроенную малогабаритную пускорегулирующую аппаратуру и, в некоторых случаях, пластмассовый рассеиватель. КЛЛ снабжены стандартным резьбовым цоколем типа E14 или E27 и включаются в сеть по тому же принципу, что и лампы накаливания.

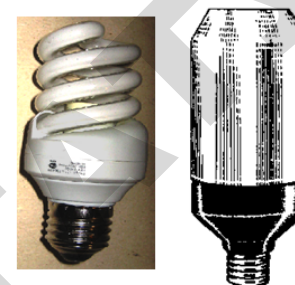


Рис. 3.17. Общий вид компактных одноцокольных люминесцентных ламп

Выпускают компактные люминесцентные лампы мощностью от 3 до 85 Вт, со световой отдачей от 30 до $75 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, сроком службы 5...12 тыс. часов и различной цветовой гаммой излучаемого видимого излучения — так называемым «теплым» (цветовая температура — 2700 K), «холодным» ($4000...4200 \text{ K}$) либо дневным (6400 и более K) светом.

К сожалению, такие лампы до сих пор не имеют единого обозначения, так как их изготавливают, как правило, по лицензионным соглашениям с различными разработчиками из зарубежных стран. Примером компактных одноцокольных люминесцентных ламп являются лампы типов ЛТБО18 и ЛТБО25 со следующими техническими параметрами: напряжение питания — 230 В, мощность — 18 и 25 Вт и световой поток — 675 и 1200 лм соответственно; средняя продолжительность горения — 5000 часов; габариты — 72 (диаметр) и 163 (длина) мм. Сравнивая их с лампами накаливания общего назначения, замечаем, что лампа, например, ЛТБО18, потребляя мощность (без учета потерь в пускорегулирующей аппаратуре) 18 Вт, создает такой же световой поток, как и лампа накаливания мощностью 60...75 Вт, и имеет в пять раз больший срок службы.

3.3.3. Схемы включения в сеть газоразрядных ламп низкого давления

Газоразрядные лампы низкого давления подключают к электрической сети с помощью специальных электротехнических изделий и схем их соединения, обеспечивающих зажигание, разгорание и стабилизацию режима электрического разряда, подавление радиопомех, возникающих при работе, повышение коэффициента мощности

и снижение пульсации светового потока. Совокупность всех элементов, выполняющих вышеуказанные функции и конструктивно оформленных в виде единого устройства или нескольких отдельных блоков, называется пускорегулирующим аппаратом (ПРА). В зависимости от режима зажигания ПРА для включения люминесцентных ламп подразделяют на: импульсного зажигания с предварительным подогревом электродов; горячего зажигания с постоянным подогревом электродов; мгновенного зажигания при холодных электродах лампы.

Основными элементами классической схемы импульсного зажигания с предварительным подогревом электродов являются люминесцентная лампа, дроссель в качестве балластного сопротивления и стартер (рис. 3.18).

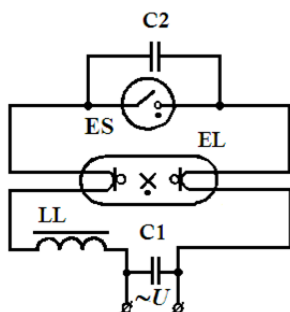


Рис. 3.18. Схема включения люминесцентной лампы с использованием стартера тлеющего разряда: LL — дроссель; EL — люминесцентная лампа; C1 и C2 — конденсаторы; ES — стартер

Стартер тлеющего разряда (рис. 3.19) представляет собой миниатюрную газоразрядную лампу 3 с биметаллическими (одним или двумя) электродами 1 и 2, заполненную смесью 60 % аргона, 28,8 % неона и 11,2 % гелия. Стеклообразная колба лампы стартера помещена в металлический корпус цилиндрической формы 6. Присоединение стартера к схеме осуществляется контактными электродами 7.

Напряжение зажигания разряда в миниатюрной лампе стартера составляет не менее 70 В для стартера 20С-127, 130 В для стартера 80С-220 и 140 В для стартера 65С-220. Стартер рассчитан на зажигание люминесцентной лампы не менее 6...10 тыс. раз, что и определяет срок его службы.

Обозначение стартера включает: С — стартер; 20 и 80 — предельные значения мощности люминесцентных ламп (65 — мощность лампы), для которых предназначен стартер; 127 и 220 — номинальное на-

пряжение сети, соответственно 120 и 230 В. Например, 20С-127 — стартер для люминесцентных ламп мощностью до 20 Вт включительно; 65С-220 — стартер для люминесцентных ламп мощностью 65 Вт; 80С-220 — стартер для люминесцентных ламп мощностью до 80 Вт включительно (исключая 65), то есть 30, 36, 58 и 80 Вт.

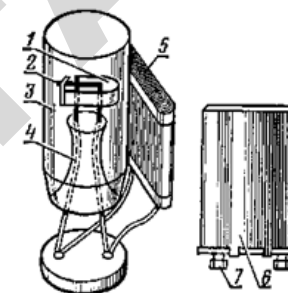


Рис. 3.19. Устройство стартера тлеющего разряда: 1, 2 — биметаллические электроды; 3 — газоразрядная лампа; 4 — токоподводы; 5 — конденсатор; 6 — металлический корпус; 7 — контактные электроды

При подаче напряжения в схему включения люминесцентной лампы (рис. 3.18) ток не проходит через ее газоразрядный промежуток, так как он в достаточной степени не ионизирован и является изолятором. В таком состоянии для его пробоя необходимо напряжение, превышающее в несколько раз значение напряжения сети.

В стартере при этом возникает тлеющий электрический разряд, сопровождающийся протеканием тока (20...50 мкА) в электрической цепи, образованной дросселем, нитями накала электродов люминесцентной лампы и самим стартером. Под действием тлеющего электрического разряда биметаллические электроды стартера разогреваются, изгибаются, накоротко соединяются друг с другом и замыкают цепь накала электродов люминесцентной лампы через дроссель на напряжение сети. Проходящий при этом ток, равный 0,9...2,0 номинального тока люминесцентной лампы, обеспечивает интенсивный подогрев ее электродов. Тлеющий разряд в стартере прекращается, так как разность потенциалов на его электродах равна нулю.

За 1...2 с электроды люминесцентной лампы разогреваются до 700...900 °С, вследствие чего увеличивается электронная эмиссия, ионизируется газовый промежуток и облегчаются условия его пробоя. После прекращения тлеющего разряда в стартере его элек-

троды охлаждаются и, возвращаясь в исходное положение, разрывают цепи накала электродов люминесцентной лампы.

В момент разрыва цепи в дросселе возникает электродвижущая сила (ЭДС) самоиндукции. Образовавшийся за счет ЭДС самоиндукции импульс повышенного напряжения (700...1000 В) прикладывается к электродам люминесцентной лампы, что приводит к пробое ее газоразрядного промежутка и зажиганию. После зажигания люминесцентной лампы напряжение на стартере, включенном параллельно электродам лампы, приблизительно равно половине напряжения сети, и его недостаточно для возникновения тлеющего разряда. Стартер отключается, однако если люминесцентная лампа по какой-либо причине не зажглась, то весь процесс зажигания повторяется.

В схеме конденсаторы С1 и С2 предназначены соответственно для повышения коэффициента мощности и уменьшения радиопомех.

Для двух люминесцентных ламп, размещенных в одном светильнике, их ПРА включают по схеме с так называемой «расщепленной фазой». При этом ПРА первой лампы подключают непосредственно к питающей сети, а второй — через последовательно присоединенный конденсатор, обеспечивающий угол сдвига токов ламп, примерно равный 90° .

В результате сдвига токов ламп их световые потоки сдвинуты по времени один относительно другого, что приводит к уменьшению пульсации суммарного светового потока. При этом полученная объединенная схема включения двух люминесцентных ламп отличается высоким коэффициентом мощности и не требует применения специального компенсационного конденсатора.

В рассмотренной схеме включения люминесцентной лампы самым ненадежным элементом является стартер тлеющего разряда с его подвижными биметаллическими электродами. Надежность схем повышается при использовании различного рода полупроводниковых стартеров, без стартерных ПРА с постоянным подогревом электродов или мгновенного зажигания при холодных электродах лампы.

Бесстартерная схема горячего зажигания люминесцентной лампы с постоянным подогревом электродов в дополнение к дросселю включает накальный трансформатор. При этом зажигание люминесцентной лампы обеспечивается предварительным подогревом электродов, уменьшающим напряжение зажигания до значения сетевого, и наличием проводящей полосы или покрытия на стеклянной трубке, предусмотренной конструкцией для ламп быстрого пуска.

ПРА мгновенного зажигания при холодных электродах лампы содержат индуктивные и емкостные элементы, образующие в режиме холостого хода последовательный резонансный контур. За счет резонанса напряжений в таком контуре обеспечивается надежное зажигание люминесцентной лампы, подключенной параллельно одному из этих элементов. Отпадает надобность в каком-либо предварительном подогреве электродов. Напряжение холостого хода такой схемы, прикладываемое к электродам люминесцентной лампы, в режиме резонанса в 2...2,5 раза больше значения номинального напряжения питающей сети.

Недостатками бесстартерных электромагнитных ПРА являются большие размеры и материалоемкость, повышенные потери мощности в ПРА, достигающие 30...40 % мощности лампы. К тому же при использовании бесстартерных схем горячего или холодного зажигания уменьшается срок службы люминесцентной лампы.

В последнее время для стабилизации электрического разряда газоразрядных источников оптического излучения широкое применение получили бесшумные электронные ПРА (ЭПРА), существенно снижающие материалоемкость изделий (на 40...70 %) и затраты электрической энергии при эксплуатации (потери электрической энергии в ЭПРА не превышают 10 % мощности источника). Подобные ЭПРА, как правило, базируются на двух подходах управления работой газоразрядных ламп, простейшие примеры реализации которых иллюстрируются принципиальными схемами включения, приведенными на рисунках 3.20 и 3.21.

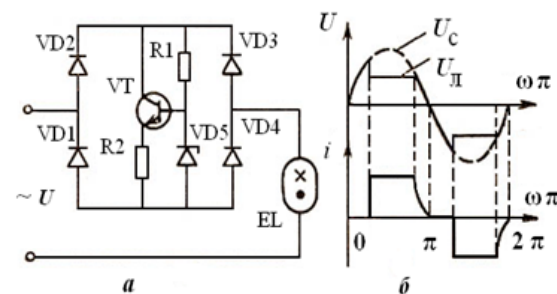


Рис. 3.20. Схема включения газоразрядной лампы с полупроводниковым ПРА непрерывного действия (а) и осциллограммы тока и напряжений (б)

Ограничением на заданном уровне разрядного тока с помощью тиристора по принципиальной схеме, изображенной на рис. 3.20, имитируется работа газоразрядной лампы с активным балластом

с теми же присущими ей недостатками — сложностью зажигания и повышенным значением коэффициента пульсации потока излучения. При широкоимпульсной модуляции (рис. 3.21) увеличивается число перезажиганий лампы и предоставляется возможность плавного регулирования потока излучения в диапазоне 10...100 %.

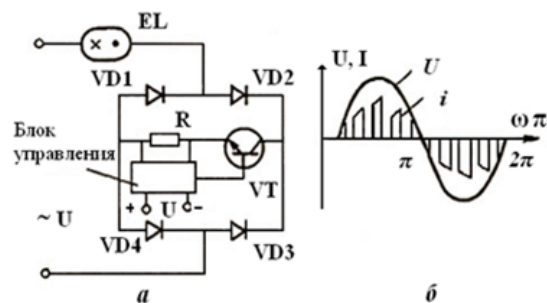


Рис. 3.21. Схема включения газоразрядной лампы с полупроводниковым ПРА широтно-импульсной модуляции (а) и осциллограммы тока и напряжений (б)

Естественно, что в современных условиях практическая реализация ЭПРА включает более сложные функциональные элементы и базируется на использовании микросхем для управления работой лампы, включая управление предварительным разогревом ее электродов при первичном зажигании, защиту от аномальных режимов работы или неисправностей, помехоподавление, корректировку коэффициента мощности и др. К тому же использование ЭПРА позволяет организовать управление работой газоразрядной лампы при применении токов высокой частоты (20 кГц и выше), что значительно повышает ее эксплуатационные характеристики. Обобщенная принципиальная блок-схема устройства ЭПРА представлена на рис. 3.22.

Пришедшие на замену электромагнитным ПРА ЭПРА в настоящее время изготавливаются в разнообразном исполнении и по различным принципиальным схемам. Иллюстрация одного из примеров принципиальной схемы изготовления ЭПРА приведена на рис. 3.23.

ЭПРА отличаются рядом неоспоримых преимуществ, так как они позволяют обеспечить:

— экономию электроэнергии на 20 % в сопоставлении с индукционным электромагнитным балластным сопротивлением;

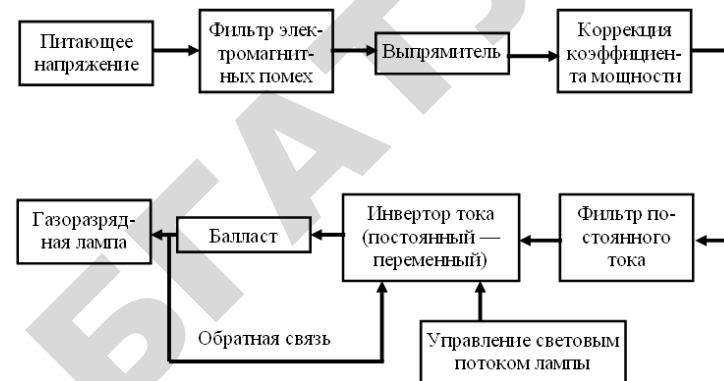


Рис. 3.22. Обобщенная принципиальная блок-схема устройства ЭПРА

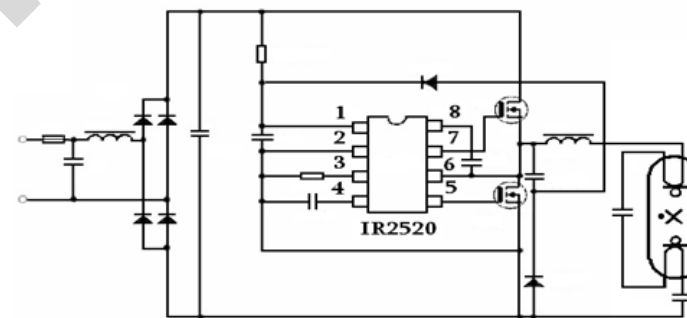


Рис. 3.23. Принципиальная схема ЭПРА на основе микросхемы IR2520 фирмы IR

- высокий коэффициент мощности ($\cos\phi > 0,96...0,98$);
- увеличение срока службы и уменьшение пульсации светового потока ламп;
- отсутствие шума во время работы;
- более широкий диапазон рабочих температур и напряжений питания;
- автоматическое отключение при выходе из строя лампы.

ЭПРА особо эффективны при питании газоразрядной лампы на повышенной частоте переменного тока — от 0,8 и до десятков кГц. В этом случае наблюдается повышение световой отдачи лампы (на 5...7 %), понижение коэффициента пульсации светового потока (до 5...15 %) и повышение срока службы лампы (на 10...50 %).

ЭПРА способны обеспечить регулирование светового потока газоразрядной лампы (например, в зависимости от уровня естественной освещенности) и ее подключение к сети не только переменного тока, но и постоянного (например, напряжением 12 или 24 В).

Электромагнитные ПРА для включения в сеть газоразрядных ламп низкого давления общего назначения имеют следующую структуру обозначения¹¹:

1 2 3 4 5 – 6 7 8

где 1 — цифра, указывающая на число подключаемых ламп;

2 — буква, указывающая на сдвиг фаз тока и напряжения (И — индуктивный; Е — емкостной; при токе, опережающем по фазе напряжение сети, К — компенсированный);

3 — цифры, обозначающие мощность одной лампы, Вт;

4 — буква, указывающая на уровень создаваемого ПРА шума (Н — нормальный, П — пониженный, А — особо низкий, С — очень низкий);

5 — двузначное число, обозначающее номер серии;

6 — трехзначное число, обозначающее номер исполнения;

7 — буквы, обозначающие климатическое исполнение (В — для любого климата (всеклиматическое исполнение), У — умеренного, ХЛ — холодного, УХЛ — умеренного и холодного, Т — тропического);

8 — цифра, обозначающая категорию размещения (1 — на открытом воздухе, 2 — под навесом или в помещениях с климатическими условиями, идентичными уличным, 3 — в помещениях с естественной вентиляцией, 4 — в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями, 5 — в помещениях с повышенной влажностью).

¹¹ Указанная структура условного обозначения введена с 1980 г. До этого в соответствии с ГОСТ 16809–71 в структуру условного обозначения входила информация о количестве одновременно присоединенных ламп, составе и назначении входящих в аппарат балластных элементов, коэффициенте мощности, мощности и типе ламп, напряжении сети, наличии сдвига фаз (при многоламповых ПРА), конструктивном исполнении, уровне создаваемого шума, серии разработки. Например, 2УБИ-40/220–АВПП-900 — устройство балластное индукционное на две лампы мощностью 40 Вт, для напряжения сети 220 (230) В, со сдвигом фаз между токами ламп, встроенного исполнения, с особо пониженным уровнем шума, номер серии разработки 900.

Пример условного обозначения электромагнитного ПРА: 1И 40 П 09 – 051 У4 — одноламповый индукционный ПРА к лампе мощностью 40 Вт, с пониженным уровнем шума, серии разработки 09, исполнения 051, умеренного климатического исполнения У (умеренного), категории размещения 4 (помещения с искусственно регулируемыми климатическими условиями).

Отметим, что приведенная структура условного обозначения не распространяется на ЭПРА. На сегодня их обозначение, как правило, определяется фирмой производителем, например, ELXs 116.900 или ELXs 124.902 (производитель — Vossloh-Schwabe), или поставщиками, например, ЭПРА 2×36 (для подключения двух ламп мощностью по 36 Вт).

3.3.4. Газоразрядные лампы высокого давления и схемы их включения в сеть

Из газоразрядных источников высокого давления, используемых в качестве источников видимого излучения, следует выделить лампы типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ.

Лампы типа ДРЛ (дуговая ртутная люминесцентная) применяют для освещения производственных территорий, строительных площадок, проезжей части дорог, а также помещений промышленных предприятий, не требующих высокого качества цветопередачи.

Конструктивно лампа состоит (рис. 3.24) из ртутно-кварцевой горелки высокого давления 7, заключенной во внешнюю заполненную инертным газом стеклянную колбу 8. На внутреннюю поверхность внешней колбы нанесен люминофор 9, преобразующий УФ-излучение горелки в видимый свет. Колба газоразрядной трубки (горелки) 7 выполнена из кварцевого стекла в виде цилиндрической трубки, в торцы которой впаяны вольфрамовые электроды 10. Внутри колбы горелки находится аргон и дозированное количество ртути.

Газоразрядная трубка лампы содержит четыре электрода (два основных 10 и два поджигающих 5). Поджигающие электроды присоединены через омические сопротивления 6 так, что расстояние между ними и противофазными основными рабочими электродами значительно меньше расстояния между основными электродами (рис. 3.25).

Период разгорания лампы ДРЛ продолжается 3...7 мин. За это время происходят нагревание горелки лампы и испарение ртути. Давление паров ртути повышается, изменяются электрические (ток, мощность и др.) и светотехнические (световой поток, световая от-

дача и др.) параметры. Например, после зажигания в лампе электрического разряда начальное напряжение на ней составляет 25...30 В и по мере разгорания повышается до 115...145 В. В момент зажигания ток в 2...2,6 раза превышает номинальный и по мере разогрева горелки и испарения в ней ртути постепенно уменьшается до номинального значения. Мощность и световой поток лампы возрастают до номинальных значений. После разгорания лампы наблюдается устойчивый режим работы и происходит стабилизация ее электрических и светотехнических параметров. Повторно зажечь погасшую лампу можно лишь после того, как она остынет и пары ртути сконденсируются, то есть примерно через 10...15 мин.

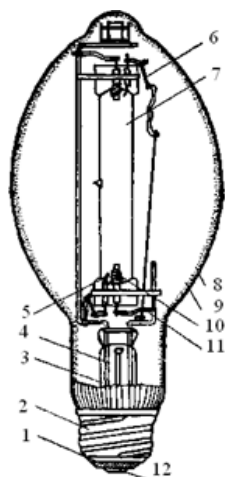


Рис. 3.24. Конструкция четырехэлектродной лампы ДРЛ:

1 — электроизоляционная стекломасса; 2 — стакан цоколя; 3 — стеклянная ножка лампы; 4 и 11 — токоподводы; 5 — поджигающие электроды; 6 — омические сопротивления; 7 — газоразрядная трубка; 8 — стеклянная колба; 9 — люминофор; 10 — рабочие электроды; 12 — контактная шайба

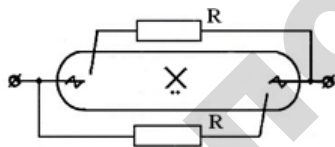


Рис. 3.25. Схема подключения поджигающих электродов в четырехэлектродных лампах ДРЛ

Для ламп ДРЛ характерен относительный недостаток красного цвета в спектре излучения, что вызывает искажение цветовых ощущений при освещении. Проблема неудовлетворительной цветопередачи побудила введение для характеристики ламп дополнительного параметра — «красное отношение», %, определяющего отношение светового потока в области спектра красного цвета (610...700 нм) к полному потоку излучения в области видимого излучения (380...780 нм).

Промышленность выпускает восемь типоразмеров ламп ДРЛ мощностью 50, 80, 125, 250, 400, 700, 1000 и 2000 Вт для включения в сеть переменного тока номинальным напряжением 230 и 400 В (приложение 5). Световая отдача ламп — 40...58,5 лм · Вт⁻¹, номинальный срок службы — 12...20 тыс. часов, «красное отношение» — 6, 10 и 15 %.

Так как горелка лампы ДРЛ помещена в стеклянную колбу, теплоизолирующую ее от окружающей среды, изменение параметров окружающей среды в пределах -30...+40 °С незначительно влияет на изменение электрических и светотехнических параметров. Влияние температуры окружающей среды в основном сказывается только на процессе зажигания и разгорания. Однако из-за изменения свойств люминофора и состава среды в горелке, потемнения поверхности стеклянной трубки горелки световой поток лампы снижается к концу срока службы на 25...30 %. Наблюдается уменьшение и «красного отношения».

На электрические и светотехнические параметры лампы существенное влияние оказывает отклонение напряжения питающей сети от номинального значения. При отклонении напряжения сети в пределе ±10...15 % изменения светового потока и мощности ламп в установившемся режиме аппроксимируются следующими зависимостями:

$$\frac{\Delta\Phi_C}{\Phi_{CH}} \cong 2,5 \frac{\Delta U}{U_H} \text{ и } \frac{\Delta P_C}{P_H} \cong 2,0 \frac{\Delta U}{U_H},$$

где $\Delta\Phi_C$, ΔP , ΔU — отклонения светового потока, мощности и сетевого напряжения от номинальных значений Φ_{CH} , P_H и U_H соответственно.

Существенным недостатком ламп ДРЛ является неудовлетворительная цветопередача излучения ($T_C = 3800 \text{ K}$, $R_a = 42$), ограничивающая сферу применения производственными помещениями, в которых отсутствуют какие-либо требования к различению цветов, а также значительная пульсация светового потока — до 75 %.

Обозначение лампы, например, ДРЛ 250(10)–1, включает:

— буквы ДРЛ, означающие соответственно дуговая, ртутная, люминесцентная;

— цифры, указывающие мощность лампы, Вт;

— цифры в скобках, определяющие красное отношение, %;

— цифра через дефис, указывающая номер разработки, имеющей конструктивные отличия от базовой модели.

Разновидностью ламп ДРЛ являются лампы ДРВ (дуговая ртутная вольфрамовая), которые подключают к электрической сети переменного тока 230 В без каких-либо дополнительных ПРА. В качестве активного балластного сопротивления таких ламп используется смонтированная в колбе вольфрамовая спираль, которая в рабочем режиме одновременно генерирует видимое излучение. Световая отдача ламп ДРВ — $18...28 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, номинальный срок службы — 3...6 тыс. часов, «красное отношение» — до 10...13 % (приложение 5).

Внешне лампы ДРВ не значительно отличаются от ламп ДРЛ, так как ртутно-кварцевая горелка и вольфрамовая спираль смонтированы на общей стеклянной ножке в общей стеклянной колбе. В сравнении с лампами ДРЛ лампы ДРВ имеют некоторые преимущества: более благоприятный для цветопередачи состав излучения и отсутствие достаточно металлоемкого и дорогого ПРА. К недостаткам следует отнести снижение в 1,8...2 раза световой отдачи, срока службы и возрастание коэффициента пульсации светового потока.

Металлогалогенные лампы типа ДРИ (дуговая ртутная с излучающими добавками) — группа источников видимого излучения, в значительной степени определяющая общий прогресс развития газоразрядных источников высокого давления. Принципиально они отличаются от ламп ДРЛ добавками галоидных соединений¹² различных металлов (натрия, таллия, индия и др.) к аргону и ртути газовой горелки и, как правило, отсутствием люминофорного покрытия на внутренней поверхности внешней колбы.

Устройство лампы ДРИ показано на рис. 3.26. В прозрачной термостойкой колбе расположена газоразрядная кварцевая трубка, с обеих сторон которой впаяны электроды. В основании колбы может быть установлен теплоотражающий экран. В качестве внешней колбы применяется эллипсоидная колба (модификация 5), типовая

¹² Как правило, йодных соединений, так как йодиды металлов практически не взаимодействуют с кварцевым стеклом.

для лампы ДРЛ, но без люминофорного покрытия, или цилиндрическая колба (модификация 6). С целью перераспределения светового потока на внутреннюю поверхность колбы может быть нанесено зеркальное покрытие (лампы типа ДРИЗ). Лампы модификации 5 предназначены для работы в любом положении, а модификации 6 — преимущественно в горизонтальном или с отклонением от горизонтального на угол до 20...45°. Лампы без номера имеют эллипсоидную колбу, аналогично лампам ДРЛ, а с номерами разработки (1, 2 и 3) отличаются в основном особенностями токоподвода и габаритами.

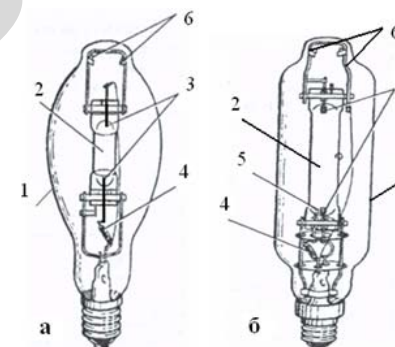


Рис. 3.26. Конструкция металлогалогенных ламп типа ДРИ в эллипсоидальной (а) и цилиндрической (б) колбах: 1 — колба; 2 — разрядная трубка; 3 — основные электроды; 4 — ограничительное сопротивление; 5 — зажигающий электрод; 6 — пружинящие распорки

Электрический разряд в среде галоидных соединений металлов генерирует видимое излучение, дополняющее УФ-излучение в парах ртути. Например, введение йодида таллия насыщает спектр зеленым цветом, натрия — желтоватым цветом, а индия — голубым. Варьирование в процессе изготовления состава смеси в горелке дает возможность получить цветность излучения лампы, близкую к естественному свету даже без использования (полностью или частично) люминофора на внешней колбе. Однако лампы ДРИ с люминофором на внешней колбе обеспечивают более высококачественную цветопередачу.

Лампы ДРИ преимущественно изготавливают 7 типоразмеров мощностью 125, 250, 400, 700, 1000, 2000 и 3500 Вт (250, 400, 700 для ДРИЗ). В зависимости от типоразмера и модификации их световая от-

дача составляет $66...100 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, номинальный срок службы — $0,6...10$ тыс. часов, коэффициент пульсации светового потока — 30% , время разгорания — $2...5$ мин (приложение 5). К концу срока службы световой поток уменьшается на $30...50\%$. Исследования последних лет дают основание предполагать, что световая отдача ламп типа ДРИ будет увеличена до $100...140 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$ при одновременном увеличении их номинального срока службы, расширится и шкала типоразмеров мощности.

Лампы характеризуются удовлетворительной цветопередачей излучения ($T_C = 4200 \text{ К}$, $R_a = 60$). На основании требований к цветопередаче их разделяют на лампы для общего освещения, лампы с улучшенной цветопередачей и лампы специального применения (например, для телевизионных съемок). Их подключают в зависимости от типоразмера к сети напряжением 230 и 400 В . При подключении с помощью некомпенсированных ПРА коэффициент мощности в среднем равен $0,5$.

Обозначение ламп, например, ДРИ250–5, включает:

— буквы ДРИ или ДРИЗ, означающие соответственно дуговая (Д), ртутная (Р), с излучающими добавками (И), зеркальная (З);

— цифры, указывающие мощность лампы, Вт;

— цифра через дефис, указывающая номер модификации или разработки.

Условия окружающей среды не оказывают существенного влияния на изменение параметров ламп. Однако их светотехнические и электрические параметры зависят от отклонения напряжения сети от номинального значения. При изменении напряжения питающей сети в пределах $\pm 10\%$ номинального значения световой поток и мощность ламп изменяются в следующих отношениях:

$$\frac{\Delta \Phi_C}{\Phi_{СН}} \cong 2,5 \frac{\Delta U}{U_H} \text{ и } \frac{\Delta P_C}{P_H} \cong 2,2 \frac{\Delta U}{U_H}.$$

Лампы типа ДНаТ (дуговая натриевая трубчатая) отличаются среди всех газоразрядных ламп самой большой световой отдачей (до $140 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$) и незначительным снижением излучаемого светового потока на протяжении всего срока эксплуатации. Однако в их спектре до 70% излучения сосредоточено в желто-оранжевой области ($560...610 \text{ нм}$), что предопределяет неудовлетворительную цветопередачу их излучения ($T_C = 2100 \text{ К}$, $R_a = 25$) и назначение — освещение улиц, перекрестков и территорий промышленных объектов,

декоративное и архитектурное освещение, так как излучение обеспечивает только хорошее различие положения и формы объектов. Улучшение качества цветопередачи при использовании натриевых ламп может быть достигнуто за счет их совместного применения с ртутными люминесцентными лампами высокого давления.

Тонкостенная трубчатая газоразрядная горелка ламп ДНаТ изготовлена из светопропускающей поликристаллической керамики (окси алюминия), полость которой заполнена ксеноном с добавками натрия (амальгамы натрия) и ртути (амальгамы ртути).

Горелка размещена во внешней колбе из тугоплавкого стекла, которая имеет цилиндрическую или эллиптическую форму и оснащена резьбовым цоколем (рис. 3.27).



Рис. 3.27. Устройство лампы ДНаТ: 1 — колба из термостойкого стекла; 2 — керамическая газоразрядная трубка; 3 — вольфрамовый электрод; 4 — цоколь

Лампы ДНаТ изготавливают мощностью $70, 100, 150, 210, 250, 360, 400, 700$ и 1000 Вт . Их световая отдача — $100...125 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, средняя продолжительность горения — $6...15$ тыс. часов, коэффициент пульсации светового потока — 70% , время разгорания — $5...15$ мин (приложение 5). Повторное зажигание лампы возможно через $2...3$ мин после погасания.

Лампы характеризуются хорошей стабильностью светового потока в течение всего срока службы. Уменьшение светового потока — не более $15...20\%$ за 10 тыс. часов работы. Они малочувствительны

к температуре окружающей среды и работоспособны при ее изменении в диапазоне от -60 до $+40$ °С. Однако колебания напряжения электрической сети существенно сказываются на их световых и электрических параметрах (рис. 3.28).

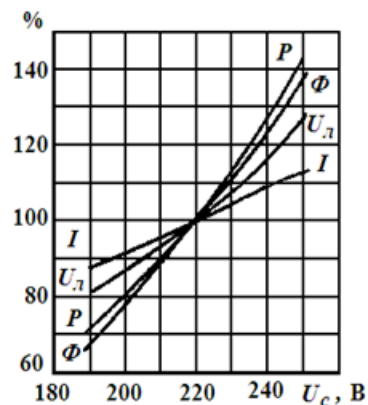


Рис. 3.28. Зависимости мощности P , светового потока Φ , напряжения на лампе $U_{\text{л}}$ и тока I натриевой лампы высокого давления типа ДНаТ от изменения напряжения питающей сети U_c

При эксплуатации ламп типа ДНаТ требуется соблюдать рекомендуемое (указывается на колбе) положение установки ламп: цоколем вверх или вниз с нормированным отклонением угла от вертикального положения.

Обозначение ламп, например, ДНаТ250–5, включает:

— буквы ДНаТ, означающие соответственно дуговая, натриевая, трубчатая;

— цифры, указывающие мощность лампы, Вт;

— цифра через дефис, указывающая номер разработки.

Дуговые ксеноновые лампы (ДКсТ, ДКсШ, ДКсТВ) отличаются сплошным спектром излучения в диапазоне $200 \dots 2000$ нм. Видимое излучение ламп по спектральному составу приближается к естественному солнечному излучению. Свет имеет ровный белый цвет ($T_c = 6000$ К) и хорошую цветопередачу ($R_a = 98$).

Ксеноновые лампы могут быть трубчатыми (с естественным или принудительным водяным охлаждением) или шаровыми (с естественным или принудительным воздушным охлаждением). Конструкция лампы с естественным охлаждением представляет собой за-

полненную ксеноном газоразрядную горелку, выполненную из кварцевого стекла диаметром $22 \dots 42$ мм и длиной $640 \dots 2610$ мм (рис. 3.29). По концам газоразрядной горелки впаяны вольфрамовые активированные электроды. В лампах с водяным охлаждением газоразрядная горелка размещена в стеклянном цилиндре, оснащённом специальными фланцами и патрубками для подвода дистиллированной воды. Лампы с водяным охлаждением из-за лучшего отвода теплоты при одинаковой единичной мощности имеют меньшие габариты.

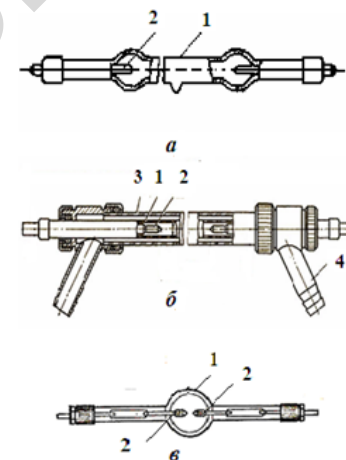


Рис. 3.29. Общий вид ксеноновых ламп типов ДКсТ (а), ДКсТВ (б) и ДКсШ (в): 1 — газоразрядная горелка из кварцевого стекла; 2 — вольфрамовые электроды; 3 — корпус в виде стеклянного цилиндра; 4 — водоподводящие патрубки

Электрический разряд в лампах возникает при высоком напряжении зажигания (до 50 кВ), происходит в среде инертного газа ксенона при больших плотностях тока ($10^5 \dots 10^6$ А · м⁻²) и имеет возрастающую вольт-амперную характеристику, что позволяет стабилизировать разряд с помощью небольших балластных сопротивлений или же вообще обойтись без них. Лампа выходит на рабочий режим практически мгновенно (время разгорания — менее 1 сек), так как плотность ксенона остается практически постоянной при изменении теплового режима.

Условное обозначение типов ксеноновых ламп расшифровывается следующим образом: Д — дуговая, Кс — ксеноновая, Т —

трубчатая, Ш — шаровая, РБ — разборная, М — металлическая, Л — из кварцевого стекла с легирующими присадками, пропускающего излучение с длиной волны менее 300 нм, Э — эритемная (витальная) и В — с водяным охлаждением. Цифры после букв обозначают мощность в ваттах и через дефис — порядковый номер разработки.

Из довольно большого разнообразия ксеноновых ламп для целей освещения в основном применяются дуговые ксеноновые трубчатые лампы с воздушным и водяным охлаждением, соответственно, типов ДКсТ и ДКсТВ.

Лампы ДКсТ и ДКсТВ изготавливают номинальной мощностью 2, 3, 5, 6, 8, 10, 15, 20, 50 и 100 кВт. Их световая отдача составляет $18...45 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$ (с естественным воздушным охлаждением) и $27...42 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$ (с принудительным водяным охлаждением).

Важным недостатком ламп является их сравнительно небольшой срок службы. Средняя продолжительность горения составляет от 100 до 1300 часов, но при стабилизации напряжения, обеспечивающей отклонение от номинального значения $\pm 2\%$, может достигать 3000 часов (приложение 5). Коэффициент пульсации светового потока достигает 130 %.

Лампы мощностью до 10 кВт подключают к электрической сети напряжением 230 В, а более мощные к сети напряжением 400 В. Лампы мощностью 10, 20 и 50 кВт эксплуатируются только в горизонтальном положении с отклонением от него $\pm 30^\circ$, остальные — в любом.

Основная область применения ламп типа ДКсТ (ДКсТВ) — освещение больших открытых пространств и архитектурных сооружений, облучение растений в теплицах.

Включение газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ в сеть переменного тока, как и большинство газоразрядных источников оптического излучения, возможно только путем последовательного соединения с ним специального ПРА. В зависимости от типа и конструктивных модификаций ламп различают и схемы их включения в сеть.

Зажигание электрического разряда в кварцевой горелке двухэлектродных ламп, например, ДРИ и ДНаТ, не может быть осуществлено рабочим напряжением сети, так как напряжение их зажигания значительно выше сетевого. Для первоначального пробоя газового промежутка к электродам лампы должен быть приложен кратковременный импульс напряжения в несколько киловольт. Его

можно получить только при помощи специальной схемы включения лампы, содержащей специальное поджигающее устройство.

В четырехэлектродных лампах ДРЛ зажиганию основного разряда между рабочими электродами предшествует возникновение тлеющего разряда между рабочими и поджигающими электродами, который затем переходит на основные электроды. Для четырехэлектродных ламп ДРЛ зажигание электрического разряда в кварцевой горелке может быть произведено от сетевого напряжения 230 или 400 В. В схеме включения таких ламп (рис. 3.30) последовательно с лампой включается одно- или двухобмоточный дроссель. Так как при индуктивном балласте коэффициент мощности ПРА составляет $0,45...0,6$, то для его повышения до требуемого значения в схему вводится конденсатор С. Емкость конденсатора определяется мощностью лампы.

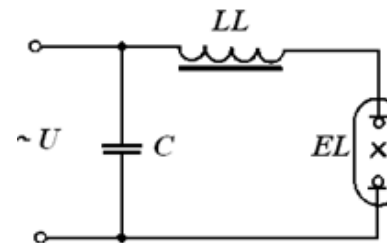


Рис. 3.30. Принципиальная схема включения четырехэлектродной лампы ДРЛ в сеть: LL — балластный дроссель; C — конденсатор; EL — лампа

Конструкция ламп ДРИ и ДНаТ для включения в сеть требует в дополнение к балластному сопротивлению наличия специального зажигающего устройства — УИЗУ (универсальное импульсное зажигающее устройство) или ИЗУ (импульсное зажигающее устройство), генерирующего импульсы высокого напряжения (рис. 3.31). Зажигающие устройства УИЗУ и ИЗУ относятся к генераторам параллельного (УИЗУ) и последовательного (ИЗУ) поджига с емкостным накопителем энергии и полупроводниковым ключом (приложение б). Они обеспечивают надежное зажигание ламп при температуре окружающей среды до -40°C .

Принцип действия импульсных зажигающих устройств покажем на примере УИЗУ. При подключении питания к УИЗУ заряжается конденсатор C2 через цепочку R, C1 и вторичную обмотку импульсного трансформатора TV (рис. 3.32). Когда напряжение C2 достигает

напряжения стабилизации стабилитрона $VD2$, в цепи управляющего электрода тиристора VS появляется ток, тиристор открывается и конденсатор $C2$ разряжается на первичную обмотку импульсного трансформатора TV через тиристор и диод $VD1$. Во вторичной обмотке трансформатора появляются импульсы напряжения (на полуволну около 5 импульсов) в 1900...6000 В, обеспечивающие зажигание лампы. Значение амплитуд импульсов определяется положением переключателя 2 (2', 2''). Амплитуда и длительность импульсов зависят также от значений R и $C1$. Диод $VD1$ предназначен для защиты тиристора VS по обратному напряжению.

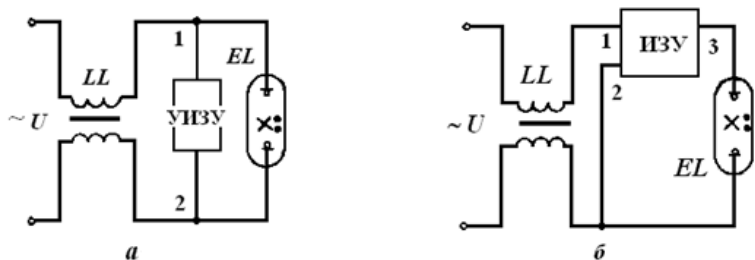


Рис. 3.31. Принципиальная электрическая схема включения ламп ДРИ и ДНаТ с зажигающим устройством типов УИЗУ (а) и ИЗУ (б)

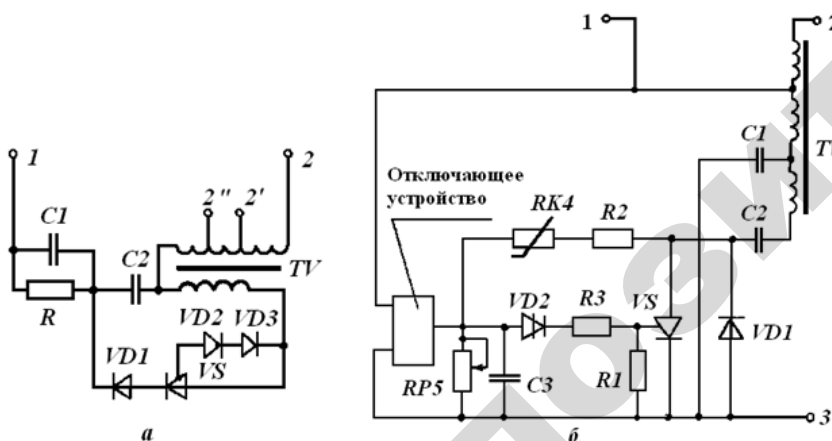


Рис. 3.32. Принципиальные электрические схемы устройства импульсного зажигающего универсального типа УИЗУ (а) и импульсного зажигающего устройства типа ИЗУ (б)

Отметим, что для каждой лампы в зависимости от ее типа и мощности используется свое балластное сопротивление, поскольку для каждой лампы характерны специфические условия разгорания и рабочие режимы. Например, масса дросселя для лампы ДРИ из-за большего рабочего тока примерно на 30 % больше, чем у дросселя для лампы ДРЛ той же мощности. Так как у ламп ДНаТ начальное напряжение горения на 25...30 % ниже, чем у ламп ДРЛ или ДРИ идентичной мощности, то в схемах их включения в сеть нельзя использовать балластные сопротивления, предназначенные для этих ламп. Поскольку коэффициент мощности комплекта «лампа–ПРА» составляет в среднем 0,5, при использовании газоразрядных ламп высокого давления целесообразно одновременно решать проблему его повышения.

В последнее время для включения в сеть газоразрядных ламп высокого давления вместо электромагнитных ПРА активно применяются электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА), сочетающие в единой конструкции балластное сопротивление и устройство импульсного зажигания. Используемые для включения в сеть ламп ДРЛ, ДРИ и ДНаТ ЭПРА отличаются от электромагнитных ПРА рядом неоспоримых преимуществ. Они позволяют значительно уменьшить потери электрической энергии в ПРА, повысить коэффициент мощности, увеличить срок службы ламп и уменьшить пульсацию излучаемого ими светового потока.

Зажигание ламп типа ДКсТ осуществляется с помощью высокочастотного импульсного генератора, подающего на лампу импульсы напряжением до 25 кВ частотой до 1 кГц. Такие генераторы, как правило, работают по принципу емкостного накопления энергии (рис. 3.33). Так, при замыкании контактов SB на первичную обмотку зарядного трансформатора $TV1$ подается сетевое напряжение и конденсатор $C1$ заряжается напряжением до 3,0 кВ. Как только напряжение на $C1$ достигнет напряжения пробоя разрядника FV , последний пробивается и конденсатор $C1$ разряжается на первичную обмотку импульсного автотрансформатора $TV2$. Во вторичной обмотке $TV2$ возникают высоковольтные высокочастотные импульсы, зажигающие лампу. Спустя несколько секунд после зажигания лампы обмотку импульсного трансформатора $TV2$ шунтируют выключателем SA . Дальнейшее развитие и поддержание разряда в лампе происходит за счет напряжения сети без балластного сопротивления. Конденсаторы $C1$ и $C2$ исключают возможность попадания высоковольтных импульсов напряжения в сеть.

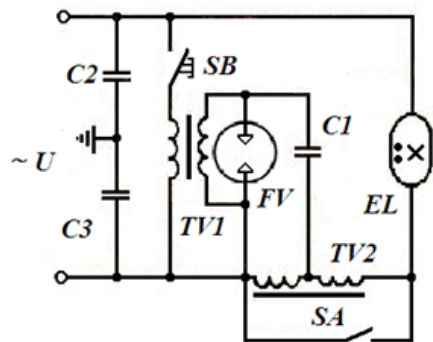


Рис. 3.33. Схема включения лампы типа ДКсТ с помощью емкостного накопителя энергии

Каждому электромагнитному ПРА присваивается условное обозначение, которое характеризует его назначение, устройство, исполнение и параметры. Структура условного обозначения часто используемых ПРА такова:

1 2 – 3 4 / 5 – 6 – 7 8

где 1 — цифра, указывающая на число одновременно присоединяемых к ПРА ламп;

2 — буквы ДБИ (дроссель балластный индукционный);

3 — цифры, указывающие мощность присоединенной лампы, Вт;

4 — буквы, указывающая тип лампы ДРЛ, ДРИ, ДНаТ соответственно для ламп этих типов;

5 — цифры, указывающие напряжение сети, на которое включается ПРА (230 или 400 В);

6 — буква, характеризующая конструктивное использование аппарата (В — встроенные в осветительный прибор, Н — независимые);

7 — трехзначное число, указывающее номер серии разработки ПРА;

8 — буква и цифры, указывающие климатическое исполнение и категорию размещения.

Пример условного обозначения ПРА: 1ДБИ–400ДНаТ/220–В–009 У4 — дроссель балластный индукционный для ламп типа ДНаТ мощностью 400 Вт на напряжение сети 220 (230) В, встроенный, серии разработки 009, климатического исполнения У (умеренного)

и категории размещения 4 (помещения с искусственно регулируемые климатическими условиями).

Следует отметить, что в последнее время довольно часто встречаются условные обозначения ПРА газоразрядных ламп высокого давления, идентичные по структуре с приведенными ранее обозначениями ПРА для люминесцентных ламп.

3.3.5. Специальные газоразрядные источники бактерицидного, витального и фотосинтетического излучений

В сельскохозяйственном производстве для непосредственного электротехнологического воздействия оптическим излучением на живые организмы и растения широкое распространение получили специальные газоразрядные источники излучения в областях УФ (200...380 нм) и фотосинтетически активной (400...700 нм) частей спектра оптического излучения.

По распределению потока оптического излучения между различными областями УФ-спектра различают источники общего УФ (200...380 нм), преимущественно бактерицидного (200...280 нм) и витального (280...315 нм) действия.

К источникам общего УФ-излучения относят дуговые ртутные трубчатые лампы высокого давления типа ДРТ. Лампа ДРТ представляет собой трубку из кварцевого стекла, в концы которой впаяны вольфрамовые самокалящиеся электроды (рис. 3.34). В лампу вводят дозированное количество ртути и аргона. Для удобства крепления к арматуре лампа ДРТ снабжена металлическим хомутом и держателем, которые соединены между собой металлической полоской, используемой для облегчения зажигания лампы. К сети переменного тока лампу присоединяют через ПРА посредством выступающих наружу концов молибденовых вводов.

Схема включения лампы ДРТ в сеть содержит балластный дроссель LL, размыкающий ключ SB и два конденсатора C1 и C2. Если подать на схему напряжение и замкнуть ключ SB, то в электрической цепи (LL, SB и C1) появится ток, величина которого ограничивается сопротивлением дросселя и конденсатора. Резкий разрыв цепи ключом SB вызывает появление в дросселе ЭДС самоиндукции, которая прикладывается к лампе и пробивает газоразрядный промежуток. Металлическая полоска, подключаемая через конденсатор C2 к сети, облегчает пробой лампы. Для повышения коэффициента мощности к входу схемы обычно подключают конденсатор соответствующей емкости.

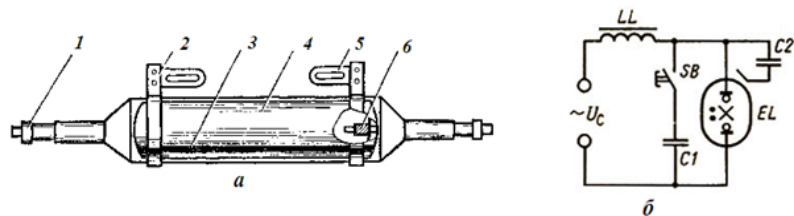


Рис. 3.34. Устройство (а) и схема включения (б) лампы ДРТ: 1 — ввод; 2 — металлический хомут; 3 — металлическая полоска; 4 — стеклянная цилиндрическая колба; 5 — держатель; 6 — вольфрамовый электрод

Период разгорания лампы длится 3...7 мин, в течение которых изменяются ее электрические и светотехнические параметры. Повторное зажигание погасшей лампы возможно после ее остывания (через 7...10 мин).

В качестве источников общего УФ-излучения в основном применяют лампы ДРТ мощностью 100, 120, 125, 230, 250, 400, 1000, 2500, 2800, 4000, 5000 и 6000 Вт, из них в сельскохозяйственном производстве — в основном лампы мощностью 100, 230, 400 и 1000 Вт (приложение 7). Средняя продолжительность горения ламп составляет 2000...2700 часов. В конце срока службы УФ-излучение ламп составляет не менее 60 % номинальных значений.

Разновидностью ламп ДРТ являются лампы типа ДРП мощностью 120, 250 и 400 Вт, типа ДРТ2 мощностью 100 Вт и ДРП2 мощностью 250 и 400 Вт. Указанные лампы отличаются от базовой модели наличием тонкой кварцевой пленки с легирующими добавками, нанесенной на газоразрядную стеклянную колбу, которая отфильтровывает коротковолновое УФ-излучение, генерируемое при электрическом разряде в парах ртути. Благодаря дополнительной пленке излучение с длинами волн 200...280 нм в общем потоке излучения лампы не превышает 5 %. Указанные лампы, а также лампы ДРТ мощностью 100, 120 и 250 Вт имеют четырехэлектродное исполнение, что обеспечивает поджигание газового разряда без каких-либо дополнительных устройств и приспособлений.

В качестве источников витального и бактерицидного излучения используют лампы соответственно ЛЭ (люминесцентная эритемная¹³) и ДБ (дуговая бактерицидная). Эти источники относятся

¹³ С 1983 года вместо термина «эритемная» употребляется термин «витальная», однако в буквенном обозначении источников это изменение не отражено. В тексте далее придерживаемся термина «витальная».

к газоразрядным лампам низкого давления и по конструкции схожи с рассмотренными выше люминесцентными лампами общего назначения.

Бактерицидные лампы являются источником коротковолнового УФ-излучения (диапазон УФ-С), большая часть которого (до 80 %) приходится на излучение с длиной волны около 254 нм. Отличительной особенностью конструкции газоразрядной бактерицидной лампы, в сравнении с люминесцентными лампами низкого давления, является отсутствие люминофора на внутренней поверхности колбы, изготовленной из специального увиолевого стекла с легирующими присадками, хорошо пропускающего УФ-излучение диапазонов УФ-В и УФ-С. Лампы обозначают буквами ДБ и изготавливают на напряжение питающей сети 120 и 230 В номинальной мощностью 15, 30, 36 и 60 Вт. Технические параметры ламп ДБ приведены в приложении 7.

Витальные лампы типа ЛЭ являются источником средневолнового УФ-излучения (диапазон УФ-В). Они выполнены в виде цилиндрических трубок из увиолевого стекла, внутренняя поверхность которых покрыта тонким слоем люминофора, излучающего в УФ-области спектра с длиной волны 280...380 нм (максимум излучения в области 310...320 нм). Кроме сорта стекла, диаметра трубки и состава люминофора трубчатые витальные лампы конструктивно не отличаются от трубчатых люминесцентных ламп низкого давления.

Лампы ЛЭ выпускают мощностью 15 и 30 Вт. Кроме ламп ЛЭ выпускают витально-осветительные люминесцентные лампы ЛЭО, витальные рефлекторные люминесцентные лампы ЛЭР и витально-осветительные рефлекторные люминесцентные лампы типа ЛЭОР. Витально-осветительные лампы ЛЭО предназначены для одновременного освещения помещений и витального облучения находящихся там людей, животных, птицы. Витально-рефлекторные лампы ЛЭР существенно снижают эксплуатационные расходы и увеличивают эффективность установок УФ-облучения, что обусловлено перераспределением витального потока в заданном рефлектором направлении и увеличением временных промежутков очистки ламп от пыли, дыма и копоти.

Обозначение ламп включает буквы ЛЭ, ЛЭО (витально-осветительная), ЛЭР (рефлекторная) или ЛЭОР, после которых следуют цифры, указывающие на мощность лампы в ваттах. Трубчатые витальные газоразрядные лампы низкого давления изготавливают

мощностью 15, 30 и 40 Вт на напряжение питания 120 и 230 В. Их технические параметры приведены в приложении 7.

Следует отметить, что витальные (ЛЭ, ЛЭО, ЛЭР и ЛЭОР) и бактерицидные (ДБ) лампы включают в сеть переменного тока по тем же схемам и при помощи тех же ПРА, что и люминесцентные лампы соответствующей мощности.

Комбинированными источниками витального и видимого излучения являются и лампы типа ДРВЭД (дуговая ртутная вольфрамовая эритемная диффузная), по конструкции изготовления близкие к лампам ДРВ¹⁴ (рис. 3.35). Лампы ДРВЭД изготавливают небольшими партиями мощностью 160 и 250 Вт. Они подключаются к электрической сети напряжением 230 В без каких-либо ПРА при помощи цоколя Е27. В их обозначении после букв ДРВЭД следуют числа, указывающие на номинальное напряжение питания (В) и (через дефис) мощность (Вт), например, ДРВЭД220-250 (приложение 7).

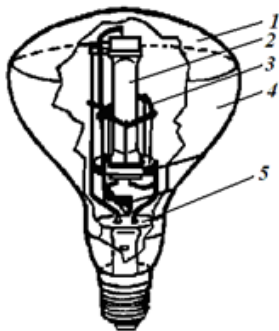


Рис. 3.35. Общий вид лампы ДРВЭД: 1 — внешняя стеклянная колба; 2 — газоразрядная трубка; 3 — вольфрамовая спираль; 4 — диффузно отражающее покрытие на внутренней стороне внешней колбы; 5 — теплоотражающий экран

При искусственном облучении растений применяют источники, преимущественно генерирующие оптическое излучение в диапазоне фотосинтетически активного спектра оптического излучения (400...700 нм). Это могут быть лампы накаливания, в том числе галогенные, люминесцентные (ЛД, ЛБ и др.) и газоразрядные лампы высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКсТ). Однако для этих це-

лей наиболее эффективны специально разработанные лампы с повышенной фитоотдачей: люминесцентные фотосинтетические низкого давления типа ЛФ и ЛФР; дуговые ртутные люминесцентные фотосинтетические типа ДРЛФ; металлогалогенные дуговые ртутные высокого давления типа ДРФ, ДМЗ, ДМ4, ДРОТ и др.); дуговые ртутные вольфрамовые типа ДРВ (приложение 7).

Люминесцентные фотосинтетические лампы низкого давления типа ЛФ и ЛФР (Р — рефлекторная) по конструкции аналогичны люминесцентным лампам общего применения типов ЛБ, ЛД, ЛБР и др. Для включения их в сеть переменного тока используют те же схемы и ПРА соответствующей мощности. Их отличительная особенность — состав люминофора, при котором увеличивается поток излучения в диапазонах от 400 до 450 и от 600 до 700 нм, на которые приходятся максимумы спектральной чувствительности листьев зеленых растений. Их изготавливают мощностью: типа ЛФ — 40 Вт трех модификаций (ЛФ40, ЛФ40-1, ЛФ40-2) и типа ЛФР — 150 Вт, на напряжение питающей сети 230 В.

Конструктивно лампы ДРЛФ схожи с лампами ДРЛ соответствующей мощности. Их отличия в: составе люминофора, обеспечивающего увеличение доли излучения в красной части спектра; наличии под слоем люминофора отражающего покрытия, обеспечивающего требуемое распределение потока излучения в пространстве; увеличенных размерах внешней колбы из термостойкого стекла, снижающих температуру на ее поверхности и повышающих устойчивость к разрушению при попадании на поверхность капель воды; отсутствии люминофора примерно на третьей части стороны колбы, противоположенной цоколю Е40.

О конструкции дуговых ртутных ламп типа ДРВ уже упоминалось ранее. Здесь отметим только то, что использование ламп ДРВ со встроенным активным балластом в виде вольфрамовой спирали позволяет (за счет отсутствия дополнительной ПРА) сократить капитальные затраты на облучательную установку и уменьшить затененность растений естественным солнечным светом. В растениеводстве используют лампы ДРВ мощностью 750 Вт.

Металлогалогенные лампы высокого давления типа ДРФ по конструкции аналогичны металлогалогенным лампам высокого давления общего назначения типа ДРИ. Отличия только в наполнении кварцевой горелки ламп ДРФ, форме и размерах внешней колбы из термостойкого стекла (повышающих устойчивость к растрескиванию при попадании на поверхность капель воды) и наличии

¹⁴ Особенности конструкции ламп ДРВ приведены в § 3.3.4.

на внутренней поверхности колбы диффузно отражающего слоя из алюминия и его сплавов (перераспределяющего лучистый поток в пространстве). Для облечения растений используют лампы ДРФ мощностью 1000 Вт.

Анализ источников с точки зрения значения КПД в области фотосинтетически активной радиации показывает, что для ламп накаливания он не превышает 8...9 %, газоразрядных ламп высокого давления — 20...30 %, люминесцентных ламп — 15...22 %. Люминесцентные лампы дешевы, долговечны и доступны, но для них характерна низкая концентрация мощности и значительные удельные габариты, что не позволяет создавать в фитоустановках высокие уровни облеченности. Этот недостаток отчасти устранен в рефлекторных лампах ЛФР150, которые, наряду с лампами типа ЛФ, рекомендуются применять в облечательных установках стеллажной конструкции.

Дуговые ртутные люминесцентные фотосинтетические лампы ДРЛФ выпускают с рефлекторным покрытием на внешней колбе. Их достоинства: значительная концентрация мощности, большой срок службы, низкая стоимость, благоприятные спектральные характеристики и небольшие размеры; недостаток — низкий КПД в области ФАР. В еще большей степени это относится к лампам «смешанного излучения» типа ДРВ.

Наиболее высокий КПД имеют газоразрядные металлогалогенные (ДРФ, ДМ, ДРОТ и ДРИ) и натриевые (ДНаТ) лампы высокого давления (20...30 %), что открывает им широкие перспективы использования для светокультуры растений.

3.3.6. Светодиоды

Из твердотельных источников оптического излучения наиболее интересными и перспективными являются светодиоды (светоизлучающие диоды) — полупроводниковые приборы с $p-n$ -переходом, излучающие некогерентный свет при пропускании электрического тока.

Принцип действия светодиодов основан на физическом явлении возникновения видимого излучения при прохождении электрического тока через $p-n$ -переход и рекомбинации (соединении) носителей противоположных знаков (дырок и электронов, соответственно в областях p и n) в случае инжекции последних извне. Если приложить к $p-n$ -переходу постоянное напряжение в прямом направлении (плюсом к контакту p , а минусом — к n), через светодиод потечет ток. При прохождении электронов через активную зону $p-n$ -перехода

электроны рекомбинируют с дырками, в результате чего выделяются фотоны оптического излучения. Цвет свечения (длина волны максимума спектра излучения) определяется типом используемых полупроводниковых материалов, образующих $p-n$ -переход.

Достоинства светодиодов:

— светодиоды выполнены в твердом теле, не имеют никаких стеклянных колб и нитей накаливания, что обеспечивает высокую механическую прочность, ударную и вибрационную устойчивость, надежность;

— отсутствие частей с высокой температурой и высокими электрическими напряжениями гарантирует их высокий уровень электро- и пожарной безопасности;

— безинерционность при генерировании излучения делает их незаменимыми источниками в приборах и устройствах, требующих высокого быстродействия;

— миниатюрность;

— большой срок службы и высокий КПД;

— относительно низкие значения напряжения питания, потребляемые токи, энергопотребление;

— многообразие цветов свечения и направленность излучения;

— возможность регулирования интенсивности излучаемого светового потока.

Недостатки светодиодов:

— относительно высокая стоимость, превышающая в настоящее время стоимость ламп накаливания при сопоставимом излучаемом световом потоке в 10 и 100 раз;

— малый световой поток от одного светоизлучающего элемента;

— изменение светотехнических и эксплуатационных параметров со временем;

— повышенные требования к источнику питающего напряжения.

Общий вид и схематическое изображение конструкции светодиода приведены на рис. 3.36. Светодиод состоит из полупроводникового кристалла на подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы. Конструкция светодиода обеспечивает минимальные потери излучения при выводе во внешнюю среду, фокусировку излучения в заданном телесном угле (от 4 до 170 градусов) и эффективный отвод теплоты от полупроводникового кристалла через медное или алюминиевое основание. Линза светодиода фокусирует излучение кристалла и защищает кристалл от влаги и коррозии.

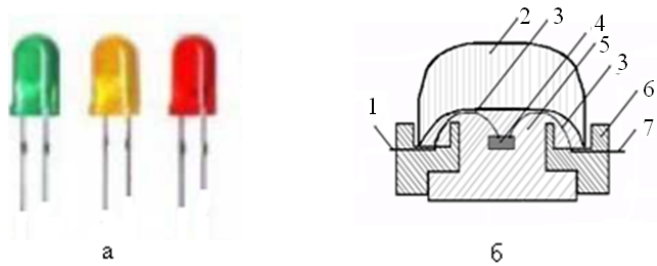


Рис. 3.36. Общий вид (а) и схематическое изображение конструкции (б) светодиода: 1 — анод; 2 — полимерная линза; 3 — токоподводы; 4 — полупроводник; 5 — основание, заполненное силиконом; 6 — корпус; 7 — катод

Цвет излучения определяется используемыми полупроводниковыми материалами и легирующими примесями. Например, алюминий (*Al*), галлий (*Ga*), индий (*In*), фосфор (*P*) вызывают свечение в диапазоне от красного до желтого цветов, а индий (*In*), галлий (*Ga*), азот (*N*) используют для получения голубого и зеленого цветов. Кроме того, если к кристаллу, вызывающему голубое (синее) свечение, добавить люминофор, то получим белый цвет.

Светодиоды характеризуются несколькими основными параметрами: типом корпуса; номинальными рабочими током и напряжением или допустимыми диапазонами их изменения; спектром (цветом) излучения; углом рассеивания светового потока.

Под типом корпуса, как правило, понимают диаметр и цвет линзы (колбы). Цвет линзы может быть красным, желтым, зеленым, голубым, фиолетовым, белым. Однако следует отметить, что большинство современных светодиодов выполнено из бесцветного прозрачного пластика, поэтому цвет светодиода сложно определить до его включения.

По номинальному току потребления светодиоды условно подразделяют на три группы:

- светодиоды с рабочим током менее 30 мА и силой света 500...1000 мкд, применяемые в системах отображения информации;
- светодиоды с рабочим током 30...100 мА и силой света 1...3 кд, используемые как в системах отображения информации, так и в осветительных установках;
- светодиоды с рабочим током более 100 мА и световым потоком более 10 лм, предназначенные для использования в осветительных установках.

Наиболее широко распространены модели светодиодов с током потребления 10...20 мА.

ВАХ светодиода нелинейная, и каждому значению напряжения соответствует своя величина протекающего через светодиод тока. Чем выше напряжение, тем выше значение тока и тем больше излучаемый световой поток (светимость), так как световой поток изменяется (а следовательно, и регулируется) при изменении напряжения.

Применяемые для освещения светодиоды работают от источника постоянного тока напряжением 3,5...24 В. Так как светодиоды не в состоянии стабилизировать потребляемый ток, при их подключении к питающему напряжению используют токоограничивающие резисторы.

Для каждого светодиода существуют допустимые значения напряжения питания U_{\max} и U_{\min} . При подаче напряжения свыше значений U_{\max} наступает электрический пробой, в результате которого светодиод выходит из строя. При напряжении ниже U_{\min} светодиод не генерирует видимое излучение. Диапазон питающих напряжений между U_{\min} и U_{\max} называют «рабочей» зоной (допустимым диапазоном изменения напряжения).

Падение напряжения при номинальном прямом токе — это значение напряжения на токоподводах светодиода при пропускании через него тока номинального значения. Этот параметр существенно влияет на схему подключения светодиода, так как для обеспечения его работы необходим источник питания с напряжением не меньше, чем падение напряжения при номинальном токе.

Светотехнические характеристики светодиода определяются значениями светового потока и осевой силы света, спектром излучения и углом рассеивания светового потока. Сплошной спектр излучения светодиодов, как правило, расположен в видимой области, но может частично располагаться и в коротковолновой ИК-области. Он зависит от состава полупроводниковых материалов, из которых изготовлен кристалл светодиода, температуры окружающей среды, величины питающего напряжения и протекающего через светодиод тока. В осветительных установках интерес представляют светодиоды, излучающие белый свет.

Угол рассеивания светового потока (угол излучения) в основном определяется конструкцией, оптическими свойствами используемых конструкционных материалов и формой линзы (колбы) светодиода.

Светодиод может подключаться к постоянному или переменному напряжению, при этом, как правило, последовательно с токоограничивающим резистором R (рис. 3.37). При подключении свето-

диода к сети переменного тока необходимо использовать как минимум выпрямительный диод.

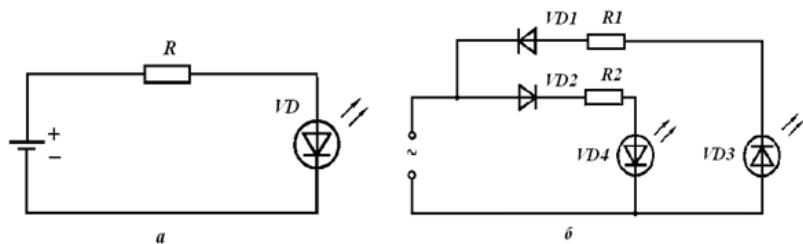


Рис. 3.37. Принципиальные схемы подключения светодиода к источникам постоянного (а) и переменного (б) токов

Светодиоды также допускается питать в импульсном режиме при использовании распространенной в современной электронике широтно-импульсной модуляции. В этом случае, изменяя длительность и частоту импульсов, можно регулировать яркость светодиодов без изменения цветового оттенка.

Срок службы светодиодов достигает 60000...100000 часов. Их световая отдача — 25...50, а у некоторых (цветные, преимущественно спектра излучения в красной области) — до 100 лм · Вт⁻¹, цветовая температура T — 6000...8500 К, индекс цветопередачи R_a — до 80. Они устойчивы к воздействию низких температур.

Светодиоды на сегодня нашли применение для архитектурной и ландшафтной подсветки, световой рекламы, светового дизайна помещений и мебели, в информационных табло, одноцветных дисплеях с бегущей строкой и полноцветных дисплеях больших видеоскранов, светофорах, дорожных знаках и указателях. Комплектуя светодиоды в одно устройство, содержащее их десятки или сотни единиц, создают светодиодные светильники и лампы с резьбовым цоколем E14 и E27, заменяющие лампы накаливания.

К сожалению, недостатки светодиодов, например, такие как сравнительно небольшая единичная мощность (а следовательно, и световой поток), высокая стоимость и необходимость использования понижающих трансформаторов с преобразователями тока (переменного в постоянный) при подключении к питающей сети, на сегодня сдерживают их широкое использование в качестве источников освещения.

3.3.7. Индукционные лампы

Один из недостатков газоразрядных ламп — наличие электродов, являющихся основной причиной выхода ламп из строя из-за перегорания, — побудил к поиску путей его устранения. И в 1976 г. компанией Philips вниманию пользователей был представлен новый тип источника видимого излучения, который отличался принципом возбуждения атомов ртути внутри колбы лампы и явился прототипом современных индукционных ламп.

Принцип действия индукционной лампы проиллюстрирован схемой, приведенной на рис. 3.38. Лампа изготавливается из стеклянной трубки, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором. Колба заполняется инертным газом с добавлением ртути (ртутной смеси). На колбу лампы (или в колбу лампы) монтируется индукционная катушка. Индукционная катушка к электрической сети подключается с помощью специального блока — ЭПРА, независимого от лампы или встроенного в резьбовой цоколь.

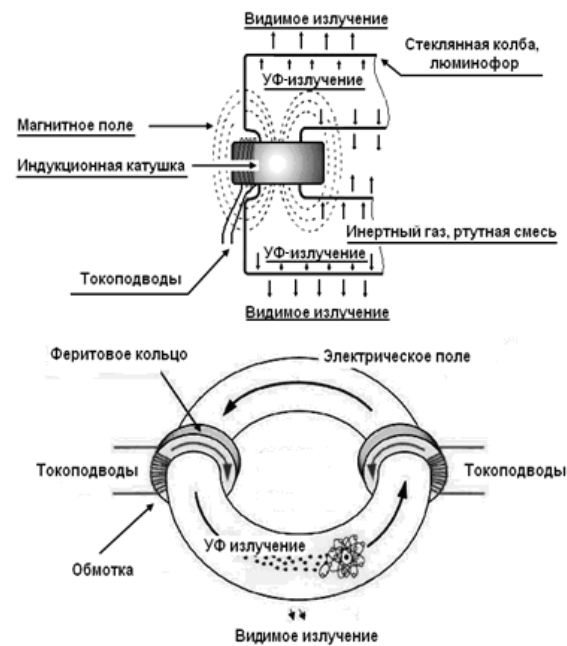


Рис. 3.38. Иллюстрация принципа действия индукционной лампы

При подключении к электрической сети высоко- или низкочастотное напряжение создает сильное магнитное поле, которое возбуждает атомы ртути. Возвращаясь в устойчивое состояние, возбужденные атомы ртути генерируют УФ-излучение, которое люминофором трансформируется в видимое излучение. Отметим, что, как и для обычных люминесцентных ламп, подбором состава люминофора в индукционных лампах можно регулировать цветовую температуру излучения — от 2700 до 6500 К.

ЭРПА индукционной лампы конвертирует низкочастотный переменный ток вначале в постоянный ток, а затем в высокочастотный от 180 кГц до 2,65 МГц. Этот высокочастотный ток и создает электромагнитное поле. К тому же в функцию ЭПРА входит ограничение рабочего тока и создание мощного стартового импульса, зажигающего лампы.

В зависимости от параметров питания индукционные лампы подразделяются на низкочастотные и высокочастотные. В низкочастотных лампах индукционная катушка находится снаружи лампы, в высокочастотных она намотана на вмонтированный в колбу ферритовый стержень (рис. 3.39). Низкочастотные лампы с наружным размещением индукционной катушки имеют некоторые преимущества перед высокочастотными лампами. Во-первых, тепло, выделяемое балластом и магнитами, можно вывести с помощью систем охлаждения. В высокочастотных лампах тепловое излучение выделяется внутри лампы. Кроме этого высокочастотные лампы производятся только в овальной форме, низкочастотные лампы могут быть разных форм, например, круга или прямоугольника, что облегчает и повышает светоотдачу лампы. Также высокочастотные лампы имеют меньший срок службы из-за более высокой рабочей температуры.

Индукционные лампы на сегодня изготавливаются мощностью от 20 до 400 (20, 23, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 80, 100, 120, 150, 165, 200, 250, 400) Вт. Световая отдача — $60 \dots 100 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, номинальный срок службы — $60 \dots 120$ тыс. час, индекс цветопередачи $R_a > 80$. Они отличаются относительно невысокой температурой колбы — $< 80 \text{ }^\circ\text{C}$, практически не измеряемым коэффициентом пульсации светового потока, незначительным снижением светового потока при эксплуатации и нечувствительностью к частым включениям и отключениям.

Основным недостатком индукционных ламп является высокая стоимость. К тому же они выходят на номинальный рабочий режим через 2...3 мин после включения.

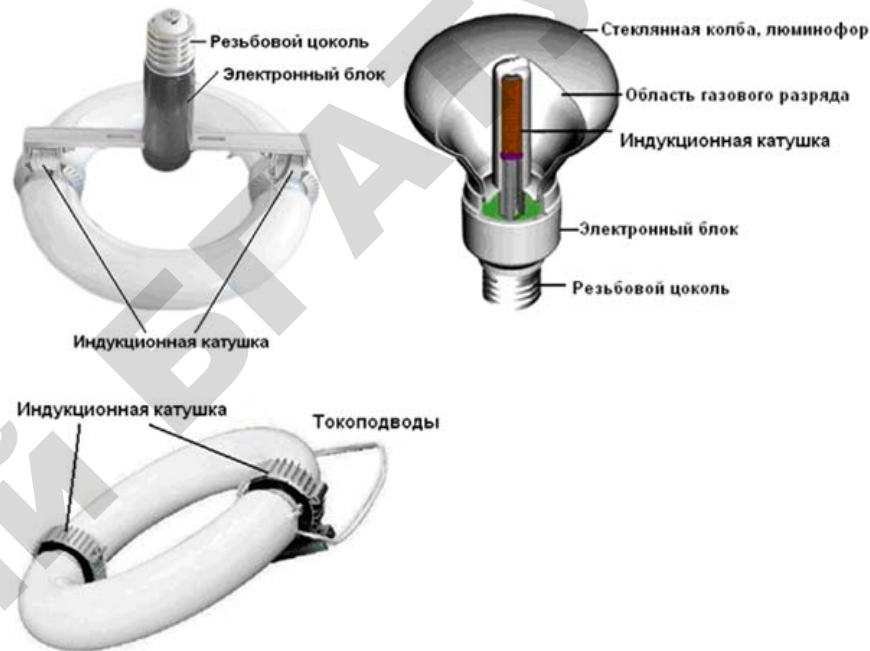


Рис. 3.39. Разновидности исполнения индукционных ламп

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие электрические, светотехнические и эксплуатационные параметры источников оптического излучения используют для их характеристики и учитывают при сравнительной оценке и выборе?

2. Расскажите об известных Вам законах теплового излучения.

3. Поясните принцип действия ламп накаливания и расскажите об их устройстве, обозначении, номенклатуре, основных параметрах и характеристиках.

4. Поясните принцип действия кварцевых галогенных ламп накаливания и расскажите об их устройстве, обозначении, номенклатуре и основных параметрах.

5. Поясните принцип действия газоразрядных ламп, особенности их работы в электрической цепи и условия стабилизации режима дугового разряда.

6. Каковы отличительные особенности работы газоразрядной лампы в сети переменного тока при стабилизации режима дугового разряда с использованием различных балластных сопротивлений?

7. Как устроены газоразрядные лампы низкого давления? Приведите их обозначение, номенклатуру, основные параметры и характеристики.

8. Поясните работу известных Вам схем включения люминесцентных ламп низкого давления в сеть. Объясните структуру обозначения электромагнитных пускорегулирующих аппаратов, применяемых для их включения в сеть.

9. Что Вам известно об использовании электронных пускорегулирующих аппаратов для управления рабочим режимом люминесцентной лампы, их достоинствах и недостатках?

10. Расскажите об устройстве, обозначении, номенклатуре, основных параметрах и характеристиках газоразрядных ламп высокого давления типа ДРЛ.

11. Поясните работу известных Вам схем включения ламп ДРЛ в сеть. Объясните структуру обозначения электромагнитных пускорегулирующих аппаратов, применяемых для управления их работой.

12. Расскажите об устройстве, обозначении, номенклатуре, основных параметрах и характеристиках газоразрядных ламп высокого давления типа ДРИ.

13. Расскажите об устройстве, обозначении, номенклатуре, основных параметрах и характеристиках газоразрядных ламп высокого давления типа ДНаТ.

14. Поясните работу известных Вам схем включения газоразрядных ламп ДРИ и ДНаТ в сеть. Укажите номенклатуру и характеристики применяемой для их включения пускорегулирующей аппаратуры.

15. Поясните принцип действия светодиодов и расскажите об их устройстве, основных параметрах и характеристиках, схемах включения в сеть.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ

Цель работы. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру, а также основные характеристики ламп накаливания и ИК-ламп, исследовать их параметры.

Задачи работы:

1. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру ламп накаливания и ИК-ламп.
2. Исследовать зависимости мощности, температуры тела накала, светового и ИК потоков ламп от величины напряжения питания.
3. Определить зависимость световой и ИК отдач, спектральной плотности излучения от температуры тела накала.

Общие сведения. Устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру, основные характеристики ламп накаливания и ИК-ламп изучить по изложенному выше теоретическому материалу.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, изучить:
 - основные положения теории теплового излучения, понятие полного излучателя, законы теплового излучения;
 - устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру и основные характеристики ламп накаливания и ИК-ламп.
2. В соответствии с требованиями нижеприведенного подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, обозначении и номенклатуре, основных характеристиках ламп накаливания и ИК-ламп, схему стенда для их исследования, формы таблиц для регистрации результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению работы:

1. Изучить устройство экспериментального стенда для исследования зависимости мощности, температуры тела накала, светового и ИК потоков ламп от величины напряжения питания (рис. Л2.1).

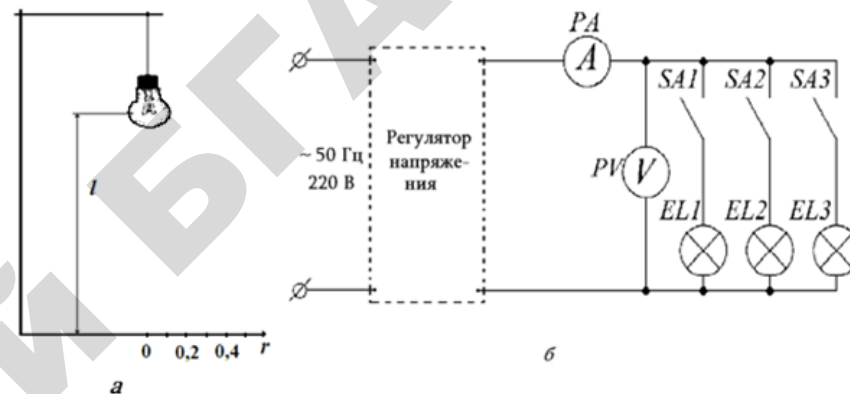


Рис. Л2.1. Конструктивная (а) и принципиальная электрическая (б) схемы экспериментального лабораторного стенда

2. По представленным на экспериментальном стенде натурным образцам ознакомиться с устройством и номенклатурой ламп накаливания и ИК-ламп.
 3. На лабораторном экспериментальном стенде для заданных преподавателем ламп и значений напряжения (180...240 В) определить потребляемый лампами ток (I , А) и создаваемые ими освещенность (E_C , лк) и ИК-облученность ($E_{ИК}$, Вт · м²). Результаты измерений занести в табл. Л2.1.
- Напряжение на лампе задавать регулятором напряжения, величины напряжения и тока определить по показаниям приборов PV и PA , освещенность (E_C) в точке проекции лампы на горизонтальную плоскость (точка 0 на рис. Л2.1) измерять люксметром Ю-116 (ТКА–ПКМ/31), ИК-облученность ($E_{ИК}$) в точках на расстоянии 0...0,5 м от точки проекции лампы на горизонтальную плоскость (точки 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 на рис. Л2.1) — термостолбиком¹⁵.

¹⁵ При измерении ИК-облученности для перевода показаний милливольтметра (мВ) в значение ИК-облученности принять переводной коэффициент, равный 43 Вт · м⁻² · мВ⁻¹.

Таблица Л2.1

Результаты измерений параметров осветительных и инфракрасных ламп

Тип лампы	Измерено						Вычислено							
	U, В	I, А	E _С , лк	E _{ИК} (Вт · м ⁻²) при значении r, равном (м)					P, Вт	R _T , Ом	T, К	η _С , лм · Вт ⁻¹	Φ _{ИК} , Вт _{ИК}	η _{ИК} , Вт _{ИК} · Вт ⁻¹
				0	0,1	0,2	0,3	0,4						
	180													
	200													
	220													
	240													

Примечание. U, I, P — напряжение, ток и мощность ламп; E_С, E_{ИК} — освещенность и ИК-облученность; R_T, T — сопротивление и температура тела накала; η_С, η_{ИК} — световая и ИК отдачи ламп; r — расстояние от точки измерения до центра проекции источника.

4. По результатам измерений рассчитать потребляемую лампой мощность (P, Вт), температуру (T, К) и сопротивление тела накала (R_T, Ом), световой (Φ_С, лм) и ИК (Φ_{ИК}, Вт) потоки ламп, световую (η_С, лм · Вт⁻¹) и ИК (η_{ИК}, Вт_{ИК} · Вт⁻¹) отдачи ламп. Результаты вычислений занести в табл. Л2.1.

5. По результатам расчетов температуры тела накала ламп (T, К) определить значения длины волны, при которой спектральная плотность излучения (φ_λ) имеет максимальное значение, (λ_{max}) и спектральной плотности излучения (φ_λ) при λ_{max}. Результаты произведенных расчетов представить в виде табл. Л2.2.

Таблица Л2.2

Зависимости значений длины волны, при которой спектральная плотность излучения (φ_{λ,T}) имеет максимальное значение, (λ_{max}) и значений спектральной плотности излучения (φ_{λ,T}) при λ_{max} от температуры тела накала ламп

Тип лампы	T, К	λ _{max} , мкм	φ _{λ,T} , Вт · м ⁻² · мкм ⁻¹
	T ₁		
	T ₂		
	T ₃		
	T ₄		

Примечание. φ_λ, λ_{max} — спектральная плотность излучения и длина волны, при которой спектральная плотность излучения имеет максимальное значение; T₁, T₂, T₃ и T₄ — температура тела накала лампы, принятая по результатам расчетов при подключении лампы на напряжение 180, 200, 220 и 240 В соответственно (см. табл. Л2.1).

6. По результатам произведенных вычислений для заданных преподавателем ламп представить графические зависимости:

— потребляемой мощности (P), сопротивления тела накала (R_T), световой (η_С) и ИК (η_{ИК}) отдачи ламп от напряжения питания, то есть P, R_T, η_С и η_{ИК} = f(U);

— значения длины волны, при которой спектральная плотность излучения (φ_{λ,T}) имеет максимальное значение, (λ_{max}) и спектральной плотности излучения (φ_{λ,T}) при λ_{max} от температуры тела накала ламп (T), то есть λ_{max}, φ_{λ,T} = f(T).

7. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Методика вычислений:

Вычисление приведенных в табл. Л2.1 и Л2.2 расчетных величин рекомендуется производить с использованием следующих формул:

1. Мощность лампы:

$$P = U \cdot I. \quad (\text{Л2.1})$$

2. Световой поток для круглосимметричного источника¹⁶:

$$\Phi_C = 4 \cdot \pi \cdot l^2 \cdot E_C,$$

где Φ_С — световой поток исследуемой лампы, лм; l — расстояние от лампы до точки измерения освещенности (рис. Л2.1), м; E_С — измеренное значение освещенности в расчетной точке, лк.

При l = 0,5 м, что имеет место в экспериментальном лабораторном стенде:

$$\Phi_C = 3,14 \cdot E_C. \quad (\text{Л2.2})$$

3. Сопротивление нити накала лампы в горячем состоянии:

$$R_T = \frac{U}{I}, \quad (\text{Л2.3})$$

где U — напряжение питания лампы, В; I — потребляемый лампой ток, А.

¹⁶ Исследуемые в лабораторной работе лампы могут быть приняты за круглосимметричные излучатели.

4. Температура тела накала лампы при заданном напряжении питания:

$$T = \frac{R_T - R_0}{\alpha R_0} + T_0, \quad (\text{Л2.4})$$

где R_0 — температура тела накала лампы при температуре окружающей среды ($T_0 = 293 \text{ K}$); $\alpha = 0,005 \text{ K}^{-1}$ — температурный коэффициент сопротивления вольфрама. Значение R_0 для исследуемой лампы определить по справочной таблице, размещенной на лабораторном стенде.

5. Световая отдача лампы:

$$\eta_C = \frac{\Phi_C}{P}. \quad (\text{Л2.5})$$

6. ИК-поток ИК зеркальной лампы приближенно можно определить как

$$\Phi_{\text{ИК}} = \sum_{i=1}^n E_{\text{ИК}_i} \cdot \pi \cdot (r_i^2 - r_{i-1}^2), \quad (\text{Л2.6})$$

где $E_{\text{ИК}_i}$ — среднее значение инфракрасной облученности i -й части облучаемой поверхности площадью S_i ; r_i, r_{i-1} — расстояние от центра проекции источника концентрических окружностей, ограничивающих поверхность.

Формула Л2.6 приведена с учетом перераспределения потока излучения в ИК зеркальных лампах и его преимущественного направления в нижнюю полусферу. При этом значение $E_{\text{ИК}_i}$ определяется как среднеарифметическое значений, измеренных на границах расчетной зоны (r_i и r_{i-1}).

Для ламп без зеркального покрытия для определения их ИК-потока может быть использована формула Л2.2, преобразованная с учетом ИК-облученности и представленная в виде $\Phi_{\text{ИК}} = 3,14 \cdot E_{\text{ИК}}$ (при этом значение $E_{\text{ИК}}$ равно измеренному в точке r_0).

7. ИК-отдача лампы

$$\eta_{\text{ИК}} = \frac{\Phi_{\text{ИК}}}{P}. \quad (\text{Л2.7})$$

8. Допустим, что тело накала лампы можно рассматривать как полный излучатель (абсолютно черное тело), тогда длину волны, при которой спектральная плотность излучения ($\varphi_{\lambda,T}$) имеет максимальное значение, (λ_{max}) приблизительно можно определить исходя из закона Вина (3.4), а значение спектральной плотности излучения ($\varphi_{\lambda,T}$) при λ_{max} — из формулы (3.5) или закона Планка (3.3).

Содержание отчета:

1. Название работы.
2. Цель и задачи работы.
3. Краткие сведения об устройстве, обозначении и номенклатуре, основных характеристиках ламп накаливания и инфракрасных ламп, включая кварцевые галогенные лампы накаливания.
4. Конструктивная и принципиальная электрические схемы экспериментального лабораторного стенда.
5. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. Л2.1 и Л2.2).
6. Графические зависимости:
 - потребляемой мощности (P), сопротивления тела накала (R_T), световой (η_C) и инфракрасной ($\eta_{\text{ИК}}$) отдач ламп от напряжения питания;
 - значения длины волны, при которой спектральная плотность излучения ($\varphi_{\lambda,T}$) имеет максимальное значение, (λ_{max}) и спектральной плотности излучения ($\varphi_{\lambda,T}$) при λ_{max} от температуры тела накала ламп.
7. Выводы по результатам проделанной работы.

Вопросы для подготовки к защите отчета по лабораторной работе:

1. Сформулируйте известные Вам законы теплового излучения.
2. Поясните принцип действия ламп накаливания и расскажите об их устройстве, обозначении, номенклатуре, основных параметрах и характеристиках.
3. Поясните принцип действия кварцевых галогенных ламп накаливания и расскажите об их устройстве, обозначении, номенклатуре и основных параметрах.

4. Перечислите и поясните основные электрические, светотехнические и эксплуатационные характеристики ламп накаливания.

5. Какие специальные источники инфракрасного излучения применяются в сельскохозяйственном производстве? Их устройство, обозначение, номенклатура, основные параметры и характеристики.

6. Как влияет отклонение питающего напряжения от его номинального значения на электрические, светотехнические и эксплуатационные параметры ламп накаливания?

7. Приведите основные пути повышения световой эффективности и увеличения срока службы ламп накаливания.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БАЛЛАСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И СВОТТЕХНИЧЕСКИЕ ХА- РАКТЕРИСТИКИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

Цель работы. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру, основные характеристики и схемы включения люминесцентных осветительных, витальных и бактерицидных ламп, провести их экспериментальные исследования.

Задачи работы:

1. Изучить устройство и принцип действия, обозначение и номенклатуру люминесцентных осветительных, витальных и бактерицидных ламп, работу схем их включения в сеть и используемую при этом пускорегулирующую аппаратуру.

2. Исследовать влияние вида балластного сопротивления и напряжения питания на мощность, напряжение зажигания, световую отдачу лампы и cosφ схемы включения.

3. Изучить влияние вида балластного сопротивления на форму напряжения на лампе и балластном сопротивлении.

Общие сведения. Устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру, основные характеристики и схемы включения люминесцентных осветительных, витальных и бактерицидных ламп изучить по изложенному выше теоретическому материалу.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, изучить:

— основные положения теории электрического разряда в газах и парах металлов и стабилизации режима дугового разряда газоразрядных ламп;

— устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру и основные характеристики газоразрядных ламп низкого давления (люминесцентных, витальных, бактерицидных и фотосинтетических);

— схемы включения в сеть газоразрядных ламп низкого давления и их работу, устройство, номенклатуру и характеристики пускорегулирующей аппаратуры.

2. В соответствии с требованиями нижеприведенного подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, принципе действия, обозначении, номенклатуре и основным характеристикам газоразрядных ламп низкого давления (люминесцентных, витальных, бактерицидных и фотосинтетических), схему стенда для проведения их исследований, формы таблиц для регистрации параметров газоразрядных ламп низкого давления и пускорегулирующей аппаратуры, результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению работы:

1. Изучить устройство экспериментального стенда для исследования влияния вида балластного сопротивления и напряжения питания на мощность, напряжения зажигания, световой отдачи лампы и $\cos\varphi$ схемы включения, а также вида балластного сопротивления на форму напряжения на лампе и балластном сопротивлении (рис. ЛЗ.1).

2. По представленным на экспериментальном стенде натурным образцам изучить устройство и принцип действия газоразрядных ламп низкого давления, пускорегулирующих аппаратов и элементов схем включения, а также их взаимодействие при зажигании и стабилизации режима дугового разряда ламп.

Технические характеристики изучаемого оборудования представить по форме табл. ЛЗ.1 и ЛЗ.2.

Таблица ЛЗ.1

Технические параметры газоразрядных ламп низкого давления

Наименование ламп	Тип	Мощность, Вт	Напряжение, В	Эффективный поток (лм, вит, бк)	Диаметр, мм	Длина, мм

Таблица ЛЗ.2

Технические параметры пускорегулирующих аппаратов, применяемых для включения газоразрядных ламп низкого давления

Наименование	Тип	Мощность, Вт	Напряжение, В	Ток, А	$\cos\varphi$	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм

3. На лабораторном экспериментальном стенде исследовать влияние вида балластного сопротивления (активного, индуктивного и емкостного) на параметры люминесцентной осветительной лампы (рис. ЛЗ.1а) и схемы включения. Результаты произведенных измерений записать по форме табл. ЛЗ.3.

Напряжение питания схемы включения лампы задавать регулятором напряжения TV , величины напряжения, тока и потребляемой активной мощности определить по показаниям соответствующих приборов PV , PA и PW , освещенность (E_C) в заданной точке измерять люксметром Ю-116 (ТКА-ПКМ/31).

Напряжение зажигания и погасания лампы, а также зажигания стартера определить изменением величины напряжения питания от 0 до 220 В. Остальные характеристики определить при напряжении питания 220 В.

Балластные сопротивления включать в схему переключателем $SA2$.

4. По результатам измерений рассчитать потребляемую балластным сопротивлением мощность, световой поток и световую отдачу лампы, полную мощность и коэффициент мощности схемы включения. Результаты расчетов представить в соответствующих ячейках табл. ЛЗ.3.

Таблица ЛЗ.3

Параметры люминесцентной лампы при использовании различных балластных сопротивлений для стабилизации режима дугового разряда

Балластное сопротивление	Измерено										Вычислено				
	$U_{зс}$, В	$U_{зл}$, В	$U_{пл}$, В	U_C , В	U_L , В	U_B , В	P , Вт	P_L , Вт	I , А	E_C , лк	Φ_C , лм	η_C , лм·Вт ⁻¹	P_B , Вт	S , ВА	$\cos\varphi$
Активное															
Индуктивное															
Емкостное															

Примечание. $U_{зс}$, $U_{зл}$, $U_{пл}$ — напряжения включения «зажигания» стартера, лампы и погасания лампы соответственно; U_C , U_L , U_B — напряжение сети (220 В), на лампе и балластном сопротивлении; P , P_L , P_B — мощность, потребляемая лампой, балластным сопротивлением и всей схемой включения; I — ток схемы включения; E_C — освещенность условной поверхности; Φ_C , η_C — световой поток и световая отдача лампы; S , $\cos\varphi$ — полная мощность и коэффициент мощности схемы включения лампы.

5. Установив регулятором напряжения TV (рис. ЛЗ.1а) номинальное напряжение питания люминесцентной лампы (220 В), изу-

читать влияние вида балластного сопротивления на форму напряжения на лампе и балластном сопротивлении. Форму напряжения в сети, на лампе и балластном сопротивлении зарисовать с экрана осциллографа, подключая его переключателем *S43* на соответствующее напряжение.

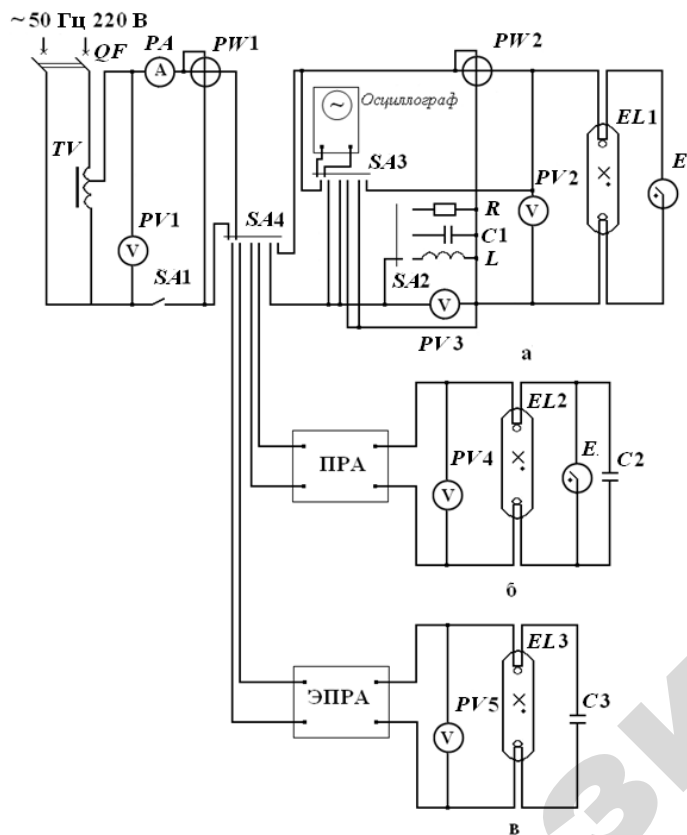


Рис. ЛЗ.1. Принципиальная электрическая схема экспериментального стенда для исследования схем включения в сеть газоразрядных ламп низкого давления с использованием: *а* — активного (*R*), емкостного (*C*) и индуктивного (*L*) балластов; *б* — электромагнитного пускорегулирующего балласта (ПРА); *в* — электронного пускорегулирующего балласта (ЭПРА)

6. Параметры схемы включения люминесцентной лампы и влияние величины напряжения питания на характеристики лампы при

использовании различных пускорегулирующих аппаратов для стабилизации режима ее дугового разряда исследовать в диапазоне $\pm 10\%$ от номинального напряжения питания схемы включения лампы. Для переключения схемы включения люминесцентной лампы на различные типы пускорегулирующей аппаратуры использовать переключатель *S44*, для изменения питающего напряжения — регулятор напряжения *TV*. Результаты произведенных измерений записать по форме табл. ЛЗ.4.

Таблица ЛЗ.4

Параметры схемы включения люминесцентной лампы при использовании различных пускорегулирующих аппаратов для стабилизации режима ее дугового разряда и их зависимости от величины напряжения питания

Измерено				Вычислено				
U_C , В	I , А	P , Вт	E_C , лк	U_L , В	Φ_C , лм	η , лм · Вт ⁻¹	S , ВА	$\cos\varphi$
Электромагнитный пускорегулирующий аппарат								
200								
220								
240								
Электронный пускорегулирующий аппарат								
200								
220								
240								

Примечание. U_C , U_L — напряжение сети и на лампе соответственно; P , I — потребляемая мощность и ток всей схемы включения; E_C — освещенность условной поверхности; Φ_C , η — световой поток лампы и световая отдача лампы при заданной схеме включения с учетом потерь потребляемой мощности в пускорегулирующем аппарате; S , $\cos\varphi$ — полная мощность и коэффициент мощности схемы включения лампы.

По результатам измерений рассчитать световой поток и световую отдачу лампы, полную мощность и коэффициент мощности схемы включения. Результаты расчетов представить в соответствующих ячейках табл. ЛЗ.4.

7. По результатам произведенных вычислений построить графические зависимости изменения потребляемой мощности (P), тока (I) и коэффициента мощности ($\cos\varphi$), а также излучаемого лампой светового потока (Φ_C) от напряжения питания схемы включения (U_C) для исследуемых пускорегулирующих аппаратов (табл. ЛЗ.4).

Привести результаты анализа изменения зависимости зажигания ($U_{3л}$) и погасания лампы ($U_{пл}$), потребляемой лампой мощности

($P_{\text{л}}$), балластного сопротивления ($P_{\text{б}}$), светового потока ($\Phi_{\text{с}}$) и световой отдачи ($\eta_{\text{с}}$) лампы, коэффициента мощности ($\cos\varphi$) схемы включения от вида балластного сопротивления (табл. ЛЗ.3).

По изменению излучаемого светового потока лампы, потребляемой мощности и $\cos\varphi$ схемы включения лампы (табл. ЛЗ.4) сделать вывод о преимуществах (недостатках) использования исследуемой пускорегулирующей аппаратуры для включения люминесцентной лампы.

8. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Методика вычислений:

Вычисление приведенных в табл. ЛЗ.3 и ЛЗ.4 расчетных величин рекомендуется производить с использованием следующих формул:

1. Световой поток люминесцентной лампы:

$$\Phi_{\text{с}} = \frac{E_{\text{с}} \cdot \pi^2 \cdot L \cdot H_{\text{р}}}{\frac{\alpha \cdot \pi}{180} + \frac{\sin 2\alpha}{2}}, \quad (\text{ЛЗ.1})$$

где $E_{\text{с}}$ — освещенность, создаваемая люминесцентной лампой на условной поверхности, лк; L — длина люминесцентной лампы, м; $H_{\text{р}}$ — ближайшее расстояние от люминесцентной лампы до условной поверхности, на которой измеряется освещенность, м; α — угол, под которым виден линейный излучатель с точки расчета, град.

Учитывая конструктивные параметры экспериментального стенда к выполнению лабораторной работы ($L = 0,9$ м; $H_{\text{р}} = 0,1$ м; $\alpha = 77,4^\circ$), световой поток лампы определим как $\Phi_{\text{с}} = 0,56E_{\text{с}}$.

2. Световая отдача лампы:

$$\eta_{\text{с}} = \frac{\Phi_{\text{с}}}{P_{\text{л}}}. \quad (\text{ЛЗ.2})$$

3. Световая отдача лампы с учетом потерь потребляемой мощности в пускорегулирующем аппарате:

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{с}}}{P}. \quad (\text{ЛЗ.3})$$

4. Мощность, теряемая в балластном сопротивлении:

$$P_{\text{б}} = P - P_{\text{л}}. \quad (\text{ЛЗ.4})$$

5. Полная мощность, потребляемая схемой включения люминесцентной лампы (лампой и пускорегулирующей аппаратурой):

$$S = U_{\text{с}} \cdot I. \quad (\text{ЛЗ.5})$$

6. Коэффициент мощности схемы включения:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}. \quad (\text{ЛЗ.6})$$

Содержание отчета:

1. Название работы.
2. Цель и задачи работы.
3. Краткие сведения об устройстве, обозначении и номенклатуре, основных характеристиках газоразрядных ламп низкого давления (люминесцентных, витальных, бактерицидных и фотосинтетических) и схемах их включения в сеть.
4. Технические параметры газоразрядных ламп низкого давления и пускорегулирующих аппаратов, применяемых для их включения (табл. ЛЗ.1 и ЛЗ.2).
5. Принципиальная электрическая схема экспериментального лабораторного стенда.
6. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. ЛЗ.3 и ЛЗ.4).
7. Графические зависимости, результаты анализа и выводы о преимуществах (недостатках) использования исследуемых пускорегулирующих аппаратов в соответствии с п. 7 методических указаний по выполнению работы.

Вопросы для подготовки к защите отчета по лабораторной работе:

1. Поясните принцип действия газоразрядных ламп, охарактеризуйте виды электрического разряда в газах и парах металлов, условия его возникновения и стабилизации рабочего режима.
2. Как устроена люминесцентная лампа? Ее принцип действия, обозначение и номенклатура.
3. Перечислите преимущества и недостатки люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания, параметры их основных электрических, светотехнических и эксплуатационных характеристик.
4. Какие специальные газоразрядные лампы низкого давления применяются в сельскохозяйственном производстве для витально-

го, бактерицидного и фотосинтетического облучения? Их устройство, обозначение, номенклатура, основные параметры и характеристики.

5. Приведите осциллограммы мгновенных значений напряжения, тока и светового потока газоразрядной лампы при стабилизации разряда с использованием различных балластных сопротивлений (активное, индуктивное, емкостное) и по осциллограммам объясните порядок ее зажигания и работы.

6. Опишите принцип работы известных Вам схем включения в сеть газоразрядных ламп низкого давления, используемую при этом пускорегулирующую аппаратуру, пути их совершенствования и сравнительный анализ.

7. Поясните структуру шифра условного обозначения пускорегулирующих аппаратов для люминесцентных ламп.

8. Как влияет отклонение питающего напряжения от его номинального значения на электрические, светотехнические и эксплуатационные параметры люминесцентных ламп?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВОТТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОРАЗРЯД- НЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В ПЕРИОД ИХ РАЗГОРАНИЯ

Цель работы. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру, основные характеристики осветительных, УФ и фотосинтетических ламп высокого давления, схемы их включения в сеть.

Задачи работы:

1. Изучить устройство и принцип действия, обозначение и номенклатуру газоразрядных ламп высокого давления, используемых для освещения, УФ и фотосинтетического облучения, работу схем их включения в сеть и используемую при этом пускорегулирующую аппаратуру.

2. Исследовать изменение электрических и светотехнических параметров газоразрядных ламп высокого давления в период их разгорания.

3. Исследовать зависимости электрических и светотехнических параметров газоразрядных ламп высокого давления от величины напряжения питания.

Общие сведения. Устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру, основные характеристики и схемы включения в сеть осветительных, ультрафиолетовых и фотосинтетических ламп высокого давления изучить по изложенному выше теоретическому материалу и рекомендуемой литературе.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе, рекомендуемой литературе, изучить:

— устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру и основные характеристики газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ;

— схемы включения в сеть газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ, их работу, устройство, номенклатуру и характеристики применяемой для этих целей пускорегулирующей аппаратуры;

— устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру, основные характеристики специальных газоразрядных источников высокого давления (типов ДРТ, ДРВЭД, ДРЛФ и др.) и схемы их включения в сеть.

2. В соответствии с требованиями нижеприведенного подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, принципе действия, обозначении, номенклатуре и основным характеристиках изученных газоразрядных ламп высокого давления, схему стенда для проведения их исследований, формы таблиц для регистрации их параметров, результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению работы:

1. Изучить устройство экспериментального стенда для исследования изменения электрических и светотехнических параметров газоразрядных ламп высокого давления в период их разгорания и зависимости их электрических и светотехнических параметров от величины напряжения питания (рис. Л4.1).

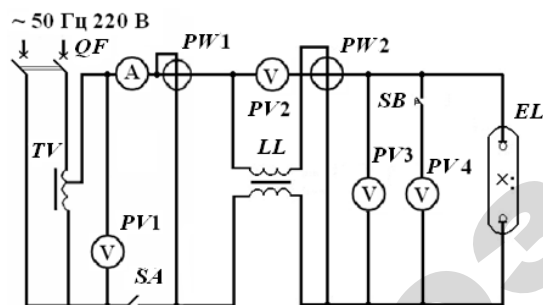


Рис. Л4.1. Принципиальная электрическая схема экспериментального стенда для исследования изменения электрических параметров газоразрядных ламп высокого давления при включении

2. По представленным на экспериментальном стенде натурным образцам изучить устройство и принцип действия газоразрядных

ламп высокого давления, пускорегулирующих аппаратов и элементов схем включения. Технические параметры изучаемых ламп записать в таблицу по форме табл. Л4.1.

Таблица Л4.1

Технические параметры газоразрядных ламп высокого давления

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение, В	Ток, А	Эффективный поток, (лм, вит, бк, фит)	Номинальный срок службы, час	Диаметр, мм	Длина, мм	Тип цоколя

3. Установить напряжение 220 В и включить лампу в сеть. Через каждые 30 с с момента включения измерять электрические и светотехнические параметры лампы и схемы включения. Измерение напряжения на лампе в начальный момент включения осуществлять вольтметром PV4, подключая его через кнопку SB. Результаты измерений записать в соответствующие ячейки таблицы (табл. Л4.2).

Таблица Л4.2

Изменение электрических и светотехнических параметров газоразрядной лампы высокого давления при разгорании

Тип лампы	Измерено							Вычислено				
	t, c	$P, Вт$	I, A	U_B, B	U_L, B	$P_L, Вт$	$E_C, лк$	$\Phi_C, лм$	$\eta_C, лм \cdot Вт^{-1}$	$S, ВА$	$P_B, Вт$	$\cos\varphi$
	0											
	30											
	60											
	...											
	420											

4. После разгорания лампы (примерно через 6...8 мин после включения) изменить автотрансформатором подаваемое на схему напряжение и через 2...4 мин после изменения измерить электрические и светотехнические параметры лампы и схемы включения при установленном напряжении. Результаты измерений записать в соответствующие ячейки таблицы (табл. Л4.2).

5. По результатам измерений рассчитать световой поток и световую отдачу лампы во время разгорания, потребляемую балластным

сопротивлением мощность, полную мощность и коэффициент мощности схемы включения. Результаты расчетов представить в соответствующих ячейках табл. Л4.2 и Л4.3.

Таблица Л4.3

Влияние отклонения напряжения сети на параметры лампы и схемы включения

Тип лампы	Измерено							Вычислено				
	U_C , В	P , Вт	I , А	U_B , В	U_L , В	P_L , Вт	E_C , лк	Φ_C , лм	η_C , лм · Вт ⁻¹	S , ВА	P_B , Вт	$\cos\varphi$
	240											
	230											
	220											
	210											
	200											
	190											
	180											

Примечание. В таблицах Л4.2 и Л4.3: t — время; U_C — напряжение сети; P , I — потребляемая мощность и ток схемы включения; U_B , U_L — напряжение на балластном сопротивлении (дресселе) и лампе; E_C — освещенность условной поверхности; Φ_C , η_C — световой поток лампы и световая отдача лампы; S , $\cos\varphi$ — полная мощность и коэффициент мощности схемы включения лампы; P_B — мощность, теряемая в дресселе.

6. По результатам произведенных вычислений построить графические зависимости:

— изменения напряжения на лампе (U_L) и дресселе (U_B), мощностей, потребляемых схемой включения (P) и лампой (P_L), тока (I) и светового потока (Φ_C) лампы от времени разжигания лампы (t);

— мощностей, потребляемых схемой включения (P), лампой (P_L) и дресселем (P_B), коэффициента мощности ($\cos\varphi$), тока (I), светового потока (Φ_C) и световой отдачи (η_C) лампы от величины напряжения питающей сети (U_C).

7. Проанализировать результаты измерений, расчетов и построенных графических зависимостей и по результатам анализа сделать выводы о характере и количественных показателях изменения электрических и светотехнических параметров лампы и элементов схемы ее включения в сеть при разгорании и изменении величины питающего напряжения.

8. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Методика вычислений:

Вычисление приведенных в табл. Л4.2 и Л4.3 расчетных величин рекомендуется производить по следующим формулам:

1. Световой поток лампы:

$$\Phi_C = 4 \cdot \pi \cdot l^2 \cdot K \cdot E_C, \quad (Л4.1)$$

где Φ_C — световой поток исследуемой лампы, лм; $l = 1$ — расстояние лампы до точки измерения освещенности, м; E_C — значение освещенности в точке измерения, лк; K — коэффициент, учитывающий пространственное распределение светового потока (для лабораторной установки K принять равным для ламп типа: ДРЛ — 0,35; ДРИ — 0,2; ДНаТ — 0,29).

2. Световая отдача лампы:

$$\eta_C = \frac{\Phi_C}{P_L}. \quad (Л4.2)$$

3. Полная мощность, потребляемая лампой и элементами схемы ее включения:

$$S = U_C \cdot I. \quad (Л4.3)$$

4. Мощность, теряемая в балластном сопротивлении:

$$P_B = P - P_L. \quad (Л4.4)$$

5. Коэффициент мощности схемы включения:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}. \quad (Л4.5)$$

Содержание отчета:

1. Название работы.
2. Цель и задачи работы.
3. Краткие сведения об устройстве, обозначении и номенклатуре, основных характеристиках газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ и схемах их включения в сеть.
4. Технические параметры газоразрядных ламп (табл. Л4.1).
5. Принципиальная электрическая схема экспериментального лабораторного стенда.
6. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. Л4.2 и Л4.3).

7. Графические зависимости, результаты анализа и выводы в соответствии с пп. 6 и 7 методических указаний по выполнению работы.

Вопросы для подготовки к защите отчета по лабораторной работе:

1. Поясните принцип действия газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и ДРТ.

2. Расскажите об устройстве, обозначении, номенклатуре, основных параметрах и характеристиках газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ (двухэлектродной и четырехэлектродной), ДРИ, ДНаТ и ДРТ.

3. Приведите основные электрические, светотехнические и эксплуатационные характеристики и области применения газоразрядных ламп высокого давления типа ДРЛ, ДРИ, ДРТ, ДНаТ.

4. Поясните работу известных Вам схем включения ламп ДРЛ в сеть. Объясните структуру обозначения электромагнитных пускорегулирующих аппаратов, применяемых для управления их работой.

5. Поясните работу известных Вам схем включения газоразрядных ламп ДРИ и ДНаТ в сеть. Укажите номенклатуру и характеристики применяемой для их включения пускорегулирующей аппаратуры, принцип работы зажигающих устройств на примере УИЗУ и ИЗУ.

6. Разъясните структуру условного обозначения пускорегулирующих аппаратов для газоразрядных ламп высокого давления.

7. Объясните возможность повторного пуска газоразрядной лампы высокого давления только после ее отключения.

8. Как влияет колебание напряжения питания на основные характеристики газоразрядных ламп высокого давления?

9. Какие специальные газоразрядные источники высокого давления бактерицидного, витального и фотосинтетического излучения применяются в сельскохозяйственном производстве? Их устройство, обозначение, основные параметры и характеристики.

4. УСТАНОВКИ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Условия окружающей среды в помещениях или их отдельных зонах определяются температурой и влажностью воздуха, наличием в нем пыли и агрессивных газов, потенциальной возможностью возникновения взрыво- или пожароопасности. По воздействию условий окружающей среды на электро- и светотехническое оборудование сельскохозяйственные помещения могут быть отнесены к сухим, влажным, сырým, особо сырým, жарким, пыльным, с химически активной или органической средой, пожароопасным и взрывоопасным. По возможности поражения людей электрическим током их подразделяют на: без повышенной опасности; с повышенной опасностью и особо опасные [10].

Сухими называют помещения, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60 %. Примеры помещений сельскохозяйственного назначения, относящихся к категории сухих (и другим нижеприведенным категориям), приведены в приложении 8.

Если сухие помещения одновременно не являются жаркими или пыльными, не содержат химически активную или органическую среду, их относят к *нормальным*.

Влажные — помещения, в которых пары или конденсирующаяся влага выделяются кратковременно и в небольших количествах, а относительная влажность воздуха изменяется в пределах 60...75 %.

В *сырых* помещениях относительная влажность воздуха длительное время превышает 75 %. В подобных помещениях содержащиеся в воздухе пары влаги способны конденсироваться при небольших понижениях температуры. Если относительная влаж-

ность воздуха близка к 100 %, а потолок, стены, пол и находящиеся в помещении предметы покрыты влагой, то такое помещение *особо сырое*.

Жаркими называют помещения, в которых под воздействием различных тепловых излучений температура воздуха постоянно или периодически (более 1 суток) превышает +35 °С.

Пыльные — помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она может оседать на проводниках, попадать внутрь машин, аппаратов, светильников. Указанные помещения в свою очередь подразделяют на помещения: с токопроводящей и нетокопроводящей пылью.

С химически активной или органической средой называют помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары (например, аммиака или сероводорода), газы (например, углекислый) или жидкости невзрывоопасной концентрации, образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

Если в помещении одновременно присутствует несколько отмеченных выше факторов, способных оказать какое-либо воздействие на электрооборудование, то при анализе условий окружающей среды в помещении его следует классифицировать комплексно. Например, если в помещениях с химически активной или органической средой относительная влажность воздуха близка к 100 %, что чаще всего для них характерно, то их относят к особо сырým помещениям с химически активной или органической средой.

Весь объем помещения или отдельная его часть, а также открытое пространство вне помещения могут быть отнесены к пожароопасным или взрывоопасным зонам. Установленное в таких помещениях или зонах электрооборудование представляет опасность из-за потенциальной возможности быть причиной пожара или взрыва вследствие ненормальных рабочих режимов, вызывающих перегрев и искрение.

Пожароопасной зоной называют пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращаются (хранятся, изготавливаются, перерабатываются или применяются) горючие (сгораемые) вещества и в котором они находятся при нормальном технологическом процессе или могут появиться при его нарушениях. С точки зрения требования к электрооборудованию пожароопасные зоны различают по классам (П-I, П-II, П-IIа и П-III).

Пожароопасные зоны класса П-I — расположенные в помещениях зоны, в которых обращаются горючие жидкости¹ с температурой вспышки выше 61 °С.

Пожароопасные зоны класса П-II — расположенные в помещениях зоны, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние волокна и пыль с нижним концентрационным пределом воспламенения более $65 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ к объему воздуха². В подобных помещениях возникающая опасность ограничена только пожаром из-за физических свойств пыли или волокон (степени измельчения, влажности и т. п.) или из-за того, что содержание их в воздухе по условиям эксплуатации не достигнет взрывоопасных концентраций.

Пожароопасные зоны класса П-Па — расположенные в помещениях зоны, в которых обращаются твердые или волокнистые горючие вещества (дерево, ткани, сено, солома и др.), при отсутствии признаков, перечисленных в классе П-II.

Пожароопасные зоны класса П-Пб — расположенные вне помещения зоны, в которых образуются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые горючие вещества.

При определении класса помещений и зон по условиям пожароопасности следует учитывать, что зоны в помещении и вне помещений в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата не относятся в части применения электро- и светотехнического оборудования к пожароопасным, если в аппарате постоянно или периодически обращаются горючие вещества, но технологический процесс ведется с применением открытого огня, раскаленных частей либо аппараты имеют поверхности, нагретые до температуры самовоспламенения горючих паров, пыли или волокон. В связи с этим к пожароопасным в части применения электро- и светотехнического оборудования не относят зоны внутри и вне помещений, в которых твердые, жидкие и газообразные горючие вещества сжигаются в качестве топлива или утилизируются путем сжигания. Класс среды в помещениях или наружных уста-

¹ Горючая жидкость — жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки выше 61 °С. Если температура вспышки горючей жидкости выше 61 °С и она нагрета в условиях производства до или более температуры вспышки, то горючая жидкость относится и к взрывоопасным.

² Минимальная концентрация в воздухе, ниже которой пожара или взрыва не произойдет даже при возникновении источника инициирования.

новках за пределами указанной 5-метровой зоны определяют в зависимости от осуществляемых в них технологических процессов.

Зоны в помещениях вытяжных и приточных вентиляторов (если в приточных системах вентиляции предусмотрена рециркуляция воздуха), обслуживающих помещения с пожароопасными зонами класса П-II, относят к пожароопасным зонам этого класса. Зоны в помещениях вентиляторов местных отсосов относятся к пожароопасным зонам того же класса, что и обслуживаемая ими зона. При размещении в помещениях или наружных установках единичного пожароопасного оборудования, когда специальные меры против распространения пожара не предусмотрены, зона в пределах до 3 м по горизонтали и вертикали от этого оборудования является пожароопасной.

Взрывоопасная зона — помещение или ограниченное пространство в помещении или вне его, в котором имеются или могут образовываться взрывоопасные смеси³. Взрывоопасные зоны делят на классы: В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa.

При определении взрывоопасных зон принимают во внимание следующее:

1. Взрывоопасная зона занимает весь объем помещения, если ее объем превышает 5 % свободного объема помещения.

2. Взрывоопасной считается зона в помещении в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, из которого возможно выделение горючих газов или паров ЛВЖ, если объем взрывоопасной смеси занимает не более 5 % свободного объема помещения. Помещение за пределами взрывоопасной зоны следует считать невзрывоопасным, если нет других факторов, создающих в нем взрывоопасность.

³ Взрывоопасная смесь — смесь с воздухом горючих газов, паров легко воспламеняющейся жидкости (ЛВЖ), горючей пыли или волокон с нижним концентрационным пределом не более $65 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ при переходе их во взвешенное состояние, которая при определенной концентрации может взрываться при возникновении источника инициирования взрыва. К взрывоопасным относят также смесь горючих газов и паров ЛВЖ с кислородом или другими окислителями (например, с хлором).

Легковоспламеняющаяся жидкость (ЛВЖ) — жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки не выше 61 °С. К взрывоопасным относят ЛВЖ, у которых температура вспышки не превышает 61 °С, а давление паров при температуре 20 °С составляет менее 20 кПа.

Концентрацию в воздухе горючих газов и паров ЛВЖ принимают в процентах к объему воздуха, концентрацию пыли и волокон во взвешенном состоянии — в граммах на кубический метр объема воздуха.

3. Взрывоопасная зона наружных взрывоопасных установок ограничена размерами:

— 0,5 м по горизонтали и вертикали от проемов за наружными ограждающими конструкциями помещений со взрывоопасными зонами классов В-I, В-Ia и В-II;

— 3 м по горизонтали и вертикали от закрытого технологического аппарата, содержащего горючие газы или ЛВЖ, а также от вытяжного вентилятора, установленного вне помещения и обслуживающего помещение с взрывоопасными зонами любого класса;

— 5 м по горизонтали и вертикали от устройств для выброса из предохранительных и дыхательных клапанов емкостей и технологических аппаратов с горючими газами и ЛВЖ, а также от расположенных на ограждающих конструкциях зданий устройств для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции помещений с взрывоопасными зонами любого класса;

— 8 м по горизонтали и вертикали от резервуаров с ЛВЖ или горючими газами, а при наличии обвалования — в пределах всей площади внутри обвалования;

— 20 м по горизонтали и вертикали от места открытого слива и налива ЛВЖ. Эстакады с закрытыми сливно-наливными устройствами, эстакады и опоры под трубопроводы для горючих газов и ЛВЖ не относятся к взрывоопасным, за исключением зон в пределах до 3 м по горизонтали и вертикали от запорной арматуры и фланцевых соединений трубопроводов.

Взрывоопасные зоны класса В-I — расположенные в помещениях зоны, в которых выделяются горючие газы и пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовывать с воздухом или другими окислителями взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например, во время разгрузки или загрузки технологических аппаратов, хранения или переработки ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях и т. п.

Взрывоопасные зоны класса В-Ia — расположенные в помещениях зоны, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов, независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения, или ЛВЖ с воздухом или другими окислителями не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Взрывоопасные зоны класса В-Iб — расположенные в помещениях зоны, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопас-

ные смеси горючих газов и паров ЛВЖ с воздухом или другими окислителями не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей и которые отличаются одной из следующих особенностей:

— горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15 % и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях;

— помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения, имеют взрывоопасную зону только в верхней части помещения (взрывоопасная зона условно принимается от отметки 0,75 общей высоты помещения, считая от уровня пола, но не выше кранового пути, если таковой имеется);

— помещения, в которых горючие газы и ЛВЖ имеются в небольших количествах, недостаточных для создания взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения, и в которых работа с горючими газами производится без применения открытого пламени. Зоны не относятся к взрывоопасным, если работа с горючими газами и ЛВЖ производится в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами, как, например, в лабораториях.

Взрывоопасные зоны класса В-Iг — пространства у наружных технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ, надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ и горючими газами, эстакад для слива и налива ЛВЖ, открытых нефтеловушек, прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т. п.

Взрывоопасные зоны класса В-II — расположенные в помещениях зоны, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли и волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом или другими окислителями взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы (например, при загрузке или разгрузке технологических аппаратов).

Взрывоопасные зоны класса В-IIa — расположенные в помещениях зоны, в которых опасные состояния, указанные для зон класса В-II, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

При определении класса помещений и зон по условиям взрывоопасности следует учитывать, что зоны в помещениях и зоны на-

ружных установок в пределах 5 м по горизонтали и вертикали от аппарата, в котором присутствуют или могут возникнуть взрывоопасные смеси, но технологический процесс ведется с применением открытого огня или раскаленных частей либо технологические аппараты имеют поверхности, нагретые до температуры самовоспламенения горючих газов, паров ЛВЖ, пыли или волокон, не относят в части их электрооборудования к взрывоопасным. Классификацию среды в помещениях или наружных установок за пределами указанной 5-метровой зоны следует определять в зависимости от технологических процессов, применяемых в этой среде. Зоны в помещениях и зоны наружных установок, в которых твердые, жидкие и газообразные горючие вещества сжигаются в качестве топлива или утилизируются путем сжигания, также не относятся в части их электрооборудования к взрывоопасным.

Зоны в помещениях вытяжных вентиляторов, обслуживающих взрывоопасные зоны любого класса, относят к взрывоопасным того же класса, что и обслуживаемые ими. Зоны в помещениях приточных вентиляторов, обслуживающих взрывоопасные зоны любого класса, не относят к взрывоопасным, если приточные воздуховоды оборудованы самозакрывающимися обратными клапанами, не допускающими проникновение взрывоопасных смесей в помещения приточных вентиляторов при прекращении подачи воздуха. При отсутствии обратных клапанов помещения приточных вентиляторов имеют взрывоопасные зоны того же класса, что и ими обслуживаемые.

В производственных помещениях без взрывоопасной зоны, отделенных стенками (с проемами или без них) от взрывоопасной зоны смежных помещений, следует принимать взрывоопасную зону, класс которой определяется в соответствии с рекомендациями табл. 4.1 (размер зоны при этом — до 5 м по горизонтали и вертикали от проема двери).

В помещениях котельных, встроенных в здания и предназначенных для работы на газе или жидком топливе с температурой вспышки 61 °С и ниже, требуется предусматривать необходимый минимум взрывозащищенных светильников, включаемых перед началом работы котельной. Выключатели для светильников в этом случае устанавливают вне помещения. Проводка к светильникам должна соответствовать классу взрывоопасной зоны.

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

Класс зоны помещения, смежного с взрывоопасной зоной другого помещения

Класс взрывоопасной зоны	Класс зоны помещения, смежного со взрывоопасной зоной другого помещения и отделенного от него:	
	стенкой (перегородкой) с дверью, находящейся во взрывоопасной зоне	стенкой (перегородкой) без проемов или с проемами, оборудованными тамбур-шлюзами, или с дверями, находящимися вне взрывоопасной зоны
В-I	В-Ia	Невзрывоопасная и непожароопасная
В-Ia	В-Iб	То же
В-Iб	Невзрывоопасная и непожароопасная	- " -
В-II	В-IIa	- " -
В-IIa	Невзрывоопасная и непожароопасная	- " -

— помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность;

— помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырости или токопроводящей пыли; токопроводящих полов (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т. п.); высокой температуры; возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам с одной стороны и металлическим корпусам электрооборудования с другой;

— особо опасные помещения, которые характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости; химически активной или органической среды; одновременно двух или более условий повышенной опасности.

4.2. СТЕПЕНИ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Работоспособность светотехнического и электротехнического оборудования и изделий в значительной мере определяется соот-

ветствием степени их защиты, климатического исполнения и категории размещения условиям окружающей среды, в которой они эксплуатируются.

Степень защиты электротехнического оборудования и изделий определяется их маркировкой, состоящей из букв латинского алфавита *IP* (International Protection), за которыми следуют две цифры, первая из которых означает степень защиты персонала от прикосновения к токоведущим и движущимся частям, попадания через оболочку твердых посторонних тел и пыли, а вторая — от проникновения влаги (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Степени защиты электротехнических изделий и оборудования от попадания посторонних твердых тел, пыли и проникновения влаги

Цифровое обозначение степени защиты	Защита от попадания твердых посторонних тел и пыли (первая цифра в условном обозначении)	Защита от проникновения влаги (вторая цифра в условном обозначении)
1	2	3
0	Защита отсутствует	Защита отсутствует
1	Оборудование защищено от попадания твердых тел размером* 50 мм и более	Оборудование защищено от капель воды (вертикально падающие на оболочку капли воды не оказывают вредного влияния на оборудование, помещенное в оболочку)
2	Оборудование защищено от попадания твердых тел размером 12,5 мм и более	Оборудование защищено от капель воды (капли воды, падающие на оболочку, наклоненную под углом не более 15° к вертикали, не оказывают вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку) — <i>капельзащищенное исполнение</i>
3	Оборудование защищено от попадания твердых тел размером 2,5 мм и более	Оборудование защищено от дождя (капли дождя, падающие на оболочку, наклоненную под углом не более 60° к вертикали, не оказывают вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку) — <i>дождезащищенное исполнение</i>

Окончание табл. 4.2

1	2	3
4	Оборудование защищено от попадания твердых тел размером 1 мм и более	Оборудование защищено от брызг (брызги воды любого направления, падающие на оболочку, не оказывают вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку) — <i>брызгозащищенное исполнение</i>
5	Оборудование защищено от попадания пыли внутрь оболочки в количестве, достаточном для нарушения работы изделия — <i>пылезащищенное исполнение</i>	Оборудование защищено от водяных струй (вода, выбрасываемая через наконечник на оболочку в любом направлении, не оказывает вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку) — <i>струезащищенное исполнение</i>
6	Оборудование полностью защищено от попадания внутрь оболочки пыли — <i>пыленепроницаемое исполнение</i>	Оборудование защищено от воздействий, характерных для палубы корабля (при захлестывании волной вода не должна попадать в оболочку)
7	—	Оборудование защищено при погружении в воду (вода не должна проникать в оболочку в течение определенного времени) — <i>водонепроницаемое исполнение</i>
8	—	Оборудование защищено при неограниченно длительном погружении в воду и определенном давлении (вода не должна проникать внутрь оболочки) — <i>герметическое исполнение</i>

* Любого из параметров — диаметра, высоты, ширины, длины.

В светотехнических изделиях степени защиты отдельных их полостей (мест расположения пускорегулирующей аппаратуры, ламподдержателей, источников излучения) могут несколько отличаться

от общепринятых. Например, в исполнении 2' защита от попадания твердых тел соответствует классу 2, но попадание пыли ограничивается только неуплотненными светопронускающими оболочками. В исполнении 5' и 6' колба лампы не защищена от воздействия пыли, в то время как остальные полости светильника соответствуют степени защиты 5 и 6. В таком исполнении степень защиты маркируется в виде 2'2, 5'4, 6'5 и т. п. (без букв *IP*).

Если для электротехнического изделия по какой-то причине требуется указать только одну степень защиты, то пропущенная в условном обозначении цифра может заменяться буквой X, например, *IPX6*, *IP2X* и т. п.

Следует отметить, что при изготовлении светотехнических и электротехнических изделий используют не все возможные комбинации степеней защиты от попадания твердых посторонних тел, пыли и воды, а преимущественно *IP00*, *IP10*, *IP11*, *IP12*, *IP20*, *IP21*, *IP22*, *IP23*, *IP30*, *IP31*, *IP32*, *IP33*, *IP34*, *IP40*, *IP41*, *IP42*, *IP43*, *IP44*, *IP50*, *IP51*, *IP54*, *IP55*, *IP56*, *IP60*, *IP65*, *IP66*, *IP67* и *IP68*, а также 2'0, 2'1, 2'2, 2'3, 5'0, 5'1, 5'2, 5'3, 5'4, 5'5, 6'0, 6'1, 6'2, 6'3, 6'4, 6'5, 6'6, 6'7 и 6'8. В помещениях, зданиях и сооружениях с технологическим процессом, специфичным для сельскохозяйственного производства, предпочтительно применять электротехнические изделия и электрооборудование степеней защиты *IP23*, *IP30*, *IP31*, *IP41*, *IP44*, *IP51*, *IP54*, *IP55*.

Электротехническое оборудование изготавливают в различных климатических исполнениях, категориях размещения, условиях транспортирования, хранения и эксплуатации. Оно может быть предназначено для эксплуатации в одном из климатических районов: У (латинское обозначение *N*) — с умеренным климатом; УХЛ (*NF*) — с умеренным и холодным климатом; ХЛ (*F*) — с холодным климатом; ТВ (*TH*) — с влажным тропическим климатом; ТС (*TA*) — с сухим тропическим климатом; Т (*T*) — как с сухим, так и с влажным тропическим климатом; О (*U*) — для всех районов на суше, кроме района с очень холодным климатом (общеклиматическое исполнение); М (*M*) — с умеренно холодным морским климатом; ТМ (*TM*) — с тропическим морским климатом; ОМ (*MU*) — с любым морским климатом (как умеренно холодным, так и тропическим), В (*W*) — с любым климатом (всеклиматическое исполнение).

При этом категория размещения может быть: 1 (цифровое обозначение) — для эксплуатации на открытом воздухе; 2 — для эксплуатации под навесом или в помещениях (объемах), где колебания

температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный доступ наружного воздуха; 3 — для эксплуатации в закрытых помещениях (объемах) с естественной вентиляцией без искусственного регулирования климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе; 4 — для эксплуатации в помещениях (объемах) с искусственно регулируемые климатическими условиями, например, в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных помещениях; 5 — для эксплуатации в помещениях (объемах) с повышенной влажностью. Некоторые из приведенных категорий имеют дополнительные подразделения, например, 4: 4.1 — для эксплуатации в помещениях с кондиционированным или частично кондиционированным воздухом; 4.2 — для эксплуатации в лабораториях, капитальных жилых и других помещениях подобного типа.

Каждая из приведенных категорий для определенного климатического района характеризуется допустимыми количественными показателями температуры и влажности окружающей среды. Например, для климатического исполнения У и категорий размещения 1, 2 и 3 допустимыми температурами воздуха (в °С) приняты: максимальная $T_{\max} = 40$, минимальная $T_{\min} = -45$ и средняя $T_{\text{ср}} = 10$ рабочие и максимальная $T'_{\max} = 45$ и минимальная $T'_{\min} = -50$ предельные, при воздействии относительной влажности воздуха со среднемесячным значением $\varphi = 80\%$ в течение 6 месяцев. Для этого же климатического исполнения и категории размещения 4 эти показатели соответственно равны: $T_{\max} = 35$, $T_{\min} = 1$, $T_{\text{ср}} = 20$, $T'_{\max} = 40$, $T'_{\min} = 1$, $\varphi = 65\%$ в течение 12 месяцев, а для категории размещения 5 — $T_{\max} = 35$, $T_{\min} = -5$, $T_{\text{ср}} = 10$, $T'_{\max} = 35$, $T'_{\min} = -5$, $\varphi = 90\%$ в течение 12 месяцев.

В сельском хозяйстве применительно к климатическим условиям Республики Беларусь рекомендуется использовать электротехнические изделия и оборудование климатического исполнения У(*N*) и УХЛ(*NF*) соответствующей категории размещения (табл. 4.3).

Электротехнические и светотехнические изделия, предназначенные для эксплуатации во взрывоопасных помещениях и зонах, подразделяют на группы: I — для шахт и рудников, опасных по газу или пыли; II — для внутренней или наружной установки, за исключением шахт и рудников. Изделия группы II в зависимости от уров-

ня взрывозащиты подразделяют на: повышенной надежности против взрыва (уровень защиты 2); взрывобезопасные (уровень защиты 1) и особо взрывобезопасные (уровень защиты 0). Изделия любого уровня (2, 1 или 0) могут отличаться видом защиты, обозначаемым латинской буквой:

Таблица 4.3

Минимальная степень защиты оболочек электротехнических изделий и оборудования для сельскохозяйственных помещений, зданий и сооружений (при отсутствии дополнительных ограничений по пожаро- или взрывобезопасности)

Наименование помещений, зданий и сооружений	Климатическое исполнение	Степень защиты оболочек	
		для пускорегулирующей аппаратуры и комплектных устройств управления	для светотехнических изделий
1	2	3	4
Инкубатории, котельные, гаражи, отопляемые склады	У3, УХЛ4	IP23, IP30	IP20, IP21, IP31
Подсобные помещения, мастерские, насосные станции	У3	IP31	IP32
Цехи по переработке продуктов животноводства	У3, У2	IP44	IP32, IP43, IP53
Помещения для теплогенераторов	У3, У2	IP44	IP32, IP43, IP53
Цехи по переработке плодов и овощей	У3, У2	IP44	IP32, IP43, IP53
Кормоприготовительные цехи влажных кормов	У5	IP54	IP53, IP54
Доильные залы, молочные отделения	У5	IP54	IP53, IP54
Силосные и сенажные башни	У1, У2	IP54	IP53, IP54

Окончание табл. 4.3

1	2	3	4
Установки под навесом	У1, У2	IP54	IP53, IP54
Овощехранилища, фруктохранилища	У3, У2, У1	IP54	IP32, IP43, IP53
Неотапливаемые подсобные помещения	У1, У2, У5	IP54	IP53, IP54
Моечные отделения по переработке плодов и овощей	У5	IP54	IP53, IP54
Парники и теплицы	У5	IP54	IP53, IP54
Помещения с агрессивной средой: животноводческие и птицеводческие	У5	IP54	IP54
Склады минеральных удобрений	У5	IP54	IP54
Помещения для протравливания семян	У5	IP54	IP54
Пункты послеуборочной обработки зерна и технических культур	У3	IP54	IP51, IP61
Сараи, неотапливаемые склады	У1, У2	IP54	IP23, IP53

— *d* — взрывонепроницаемая оболочка, выдерживающая давление продуктов взрыва внутри нее и предотвращающая их распространение из оболочки в окружающую среду;

— *i* — искробезопасная электрическая цепь, электрический разряд или нагрев в которой не способны воспламенить взрывоопасную среду;

— *e* — отсутствие искрящих контактов при штатном режиме работы и дополнительные меры, затрудняющие нагревы, искрение и образование газоразрядных дуг;

— *o* — заполнение оболочки негорючим маслом или жидким диэлектриком;

— *q* — заполнение оболочки кварцевым песком;

— *p* — продувка оболочки избыточным давлением воздуха или инертного газа;

— *s* — специальная технология обеспечения взрывозащиты, отличающаяся от приведенных выше.

Рассматриваемые изделия группы II, имеющие вид защиты *d* и (или) *i*, подразделяют на подгруппы IIА, IIВ и IIС, а также температурные классы Т1 (предельная температура — 450 °С), Т2 (300 °С), Т3 (200 °С), Т4 (135 °С), Т5 (100 °С) и Т6 (80 °С).

Буквенно-цифровая маркировка изделий группы II, например, IExdeII или 2ExdII, может состоять из:

- цифры (2, 1 или 0), указывающей на уровень взрывозащиты;
- символа из латинских букв Ex, подчеркивающего соответствие изделия требованиям стандартов взрывозащиты;
- латинской буквы (или нескольких букв), обозначающей вид защиты и поясняющей технологию его обеспечения;
- цифры II, обозначающей группу, или символов IIА, IIВ или IIС, приводимых для изделий, подразделяемых на подгруппы;
- буквы Т с цифрой (1, 2, ..., 6), указывающей на температурный класс изделия (Т1, Т2, ..., Т6)⁴.

Допустимые степени защиты светотехнического и электротехнического оборудования и изделий, предназначенных для эксплуатации в пожароопасных и взрывоопасных помещениях и зонах, приведены в табл. 4.4, 4.5 и 4.6.

Таблица 4.4

Минимально допустимые степени защиты оболочек электротехнического оборудования и изделий в зависимости от класса пожароопасной зоны

Вид установки и условия работы	Степень защиты для пожароопасной зоны класса			
	II-I	II-II	II-IIa	II-III
1	2	3	4	5
Установленные стационарно или на передвижных механизмах и установках, искрящие по условиям работы	IP44	IP54	IP44	IP44

⁴ Вместо температурного класса допускается указывать предельную температуру конкретной смеси, например, 500 °С, или (если значение предельной температуры конкретной смеси меньше значения предельной температуры для указанного температурного класса) предельную температуру конкретной смеси и температурный класс изделия в скобках, например, 400 °С (Т1).

1	2	3	4	5
Установленные стационарно или на передвижных механизмах и установках, не искрящие по условиям работы	IP44	IP44	IP44	IP44
Шкафы для размещения аппаратов и приборов	IP44	IP54, IP44	IP44	IP44
Коробки сборок зажимов силовых и вторичных цепей	IP44	IP44	IP44	IP44

Примечание. Для пожароопасной зоны класса II-II при установке в шкафы аппаратов и приборов, искрящих по условиям работы, минимально допустимая степень защиты — IP54 (до освоения промышленностью шкафов со степенью защиты оболочки IP54 допускается применять шкафы со степенью защиты IP44), не искрящих по условиям работы — IP44.

Таблица 4.5

Допустимый уровень взрывозащиты или степень защиты светотехнического и электротехнического оборудования и изделий в зависимости от класса взрывоопасной зоны

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты
Стационарные установки	
В-I	Взрывобезопасная, особо взрывобезопасная
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва — для аппаратов и приборов, искрящих или подверженных нагреву выше 80 °С. Без средств взрывозащиты — для аппаратов и приборов, не искрящих и не подверженных нагреву выше 80 °С. Оболочка со степенью защиты не менее IP54
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP44
В-II	Взрывобезопасная, особо взрывобезопасная
В-IIa	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP54
Установки передвижные (или являющиеся частью передвижных) и переносные	
В-I, В-Ia	Взрывобезопасная, особо взрывобезопасная

Класс взрыво-опасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты
В-Іб, В-Іг	Повышенной надежности против взрыва
В-ІІ	Взрывобезопасная, особо взрывобезопасная
В-Іа	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее <i>IP54</i>

Примечание. Степень защиты оболочки аппаратов и приборов от проникновения воды (2-я цифра обозначения) допускается изменять в зависимости от условий среды, в которой они устанавливаются.

Таблица 4.6

Допустимые степени защиты оболочек светотехнических оборудования и изделий в зависимости от класса пожароопасной зоны

Источник света в светильнике	Степень защиты светильников для пожароопасной зоны класса			
	П-І и П-ІІ	П-Іа, а также П-ІІ при наличии общеобменной вентиляции и местных нижних отсосов отходов	П-Іа в складских помещениях с ценными материалами, горючими или в горючей упаковке	П-ІІІ
1	2	3	4	5
Стационарные светильники				
Лампы накаливания	<i>IP5X</i>	2'X ¹	2'X	2'3
Люминесцентные лампы	5'X	<i>IP2X</i> ²	<i>IP2X</i> ^{2,3}	<i>IP22</i> ²
ДРЛ, ДРИ и ДНаТ	<i>IP5X</i>	<i>IP2X</i> ⁴	<i>IP2X</i> ⁴	<i>IP22</i> ⁴
Переносные светильники				
Все виды ламп	<i>IP54</i>	<i>IP54</i>	<i>IP54</i>	<i>IP54</i>

Примечания:

¹ При наличии сплошного колпака из силикатного стекла.

² При выполнении ввода в светильник проводниками с негорючей оболочкой или в стальной трубе.

³ Применение светильников с отражателями и рассеивателями из горючих материалов запрещено.

⁴ При наличии металлической сетки или иного приспособления, препятствующего выпадению лампы.

4.3. СВЕТОВЫЕ ПРИБОРЫ

Устройство, содержащее корпус, источник(и) света и изделия, предназначенные для крепления источника(ов), включения его(их) в электрическую сеть, перераспределения светового потока, ограничения слепящего действия, защиты от механических повреждений, загрязнения и воздействия окружающей среды, называют *световым прибором*.

Световые приборы подразделяют на осветительные и светосигнальные, а осветительные световые приборы — на *светильники* (приборы ближнего действия), *прожекторы* (дальнего действия) и *комплектные осветительные устройства* на основе щелевых и плоских световодов.

4.3.1. Устройство, классификация, характеристики, условное обозначение и номенклатура светильников

Светильники предназначены для распределения светового потока источника в больших телесных углах (до 4π) и освещения объектов, находящихся от них на небольшом расстоянии (менее 20-кратного размера светильника). Основные элементы конструкции светильников: корпус, источник(и) света, оптическая система, ламподержатель(и) или патрон(ы), ПРА (для газоразрядных источников) и электротехнические изделия, предназначенные для подключения источника к электрической сети, а также другие вспомогательные приспособления. Оптическая система светильников состоит из отражателей, рассеивателей, защитных стекол, экранирующих решеток, колец и предназначена в основном для перераспределения в требуемом направлении светового потока источников, защиты от их слепящего действия или для качественного преобразования свойств видимого излучения (изменения спектрального состава и его поляризации).

Отражатель перераспределяет световой поток источника за счет рассеянного (диффузного), направленного (зеркального) или направленно-рассеянного отражения. Отражатели с диффузным отражением изготавливают из покрытого белой эмалью металла. Материалом для изготовления зеркальных отражателей, существенно изменяющих форму кривой распределения силы света, чаще всего является стекло или металл (алюминий, сталь), обработанные соответствующим гальваническим или механическим способом. На-

правленно-рассеянное отражение характерно для металлических отражателей с травленной или никелированной поверхностью, а также отражателей, покрытых алюминиевой краской.

Рассеиватель служит для равномерного распределения светового потока в заданном отражателем направлении и защиты глаз наблюдателя от чрезмерной яркости источника света. Материалом для изготовления рассеивателей служат прозрачные стекла, предварительно подвергнутые механической и химической матировке; глушенные стекла, в состав которых введены мельчайшие частицы примесей с коэффициентом преломления, не равным коэффициенту преломления стекла; пластмассы.

Светильники классифицируют по распределению светового потока в пространстве, форме кривой силы света (КСС), способу установки и возможности перемещения при эксплуатации, степени защиты от воздействия окружающей среды, климатическому исполнению и категории размещения, степени пожаро- и взрывобезопасности, классу защиты от поражения электрическим током и целевому назначению, учитывающему возможность работы в определенных условиях эксплуатации.

В основу классификации светильников по светораспределению положено отношение светового потока, направленного в нижнюю полусферу пространства Φ_{\downarrow} , к полному световому потоку Φ , излучаемому светильником. В зависимости от значения отношения различают 5 классов светильников (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Классификация светильников по светораспределению.

Класс светильника по светораспределению		$\frac{\Phi_{\downarrow}}{\Phi}, \%$
Наименование	Обозначение	
Светильник прямого света	П	> 80
Светильник преимущественно прямого света	Н	от 60 до 80
Светильник рассеянного света	Р	от 40 до 60
Светильник преимущественно отраженного света	В	от 20 до 40
Светильник отраженного света	О	< 20

По *форме кривой силы света* светильники делят на 7 классов. С учетом того, что форма КСС реальных светильников всегда не-

сколько отличается от типовой, при их классификации дополнительно регламентируются направление силы света с максимальным значением по величине и коэффициент формы КСС. При этом в качестве коэффициента формы КСС (K_{ϕ}) выступает отношение значения максимальной силы света светильника I_{\max} к ее среднеарифметическому значению $I_{\text{ср.ариф}}$ в данной плоскости:

$$K_{\phi} = \frac{I_{\max}}{I_{\text{ср.ариф}}} \quad (4.1)$$

Классификация светильников по форме КСС приведена в табл. 4.8, а типовые КСС, построенные для условия, что в светильнике установлена лампа со световым потоком в 1000 лм, — на рис. 4.1.

Таблица 4.8

Классификация светильников по типу КСС (ГОСТ 13677–82)

Тип КСС		Зона направления максимальной силы света, град	Значение коэффициента формы КСС
Обозначение	Наименование		
К	<i>Концентрированная</i>	0...15	≥ 3
Г	Глубокая	0...30, 150...180	от 2 до 3
Д	Косинусная	0...35, 145...180	от 1,3 до 2
Л	Полуширокая	35...55, 125...145	$\geq 1,3$
Ш	Широкая	55...85, 95...125	$\geq 1,3$
М	Равномерная	0...180	$\leq 1,3$ при $I_{\min} > 0,7 I_{\max}$
С	Синусная	70...90, 90...110	$< 1,3$ при $I_0 < 0,7 I_{\max}$

Примечание. I_0 — значение силы света в направлении оптической оси светильника; I_{\min}, I_{\max} — минимальное и максимальное значения силы света.

На практике для повышения точности и унификации расчетов осветительных установок некоторые из указанных типовых КСС детализируются с расширением количества типов до 13 — К-1, К-2, К-3, Г-1, Г-2, Г-3, Г-4, Д-1, Д-2, Л, Л-Ш, Ш, М [30], при сохранении

их буквенного обозначения и наименования. Детализированные КСС в количественном выражении и поля допусков на значения их силы света, построенные для условия, что в светильнике установлена лампа со световым потоком в 1000 лм, приведены в приложении 9. Светильники, КСС которых невозможно привести к типовой или детализированной, относят к светильникам со специальным светораспределением.

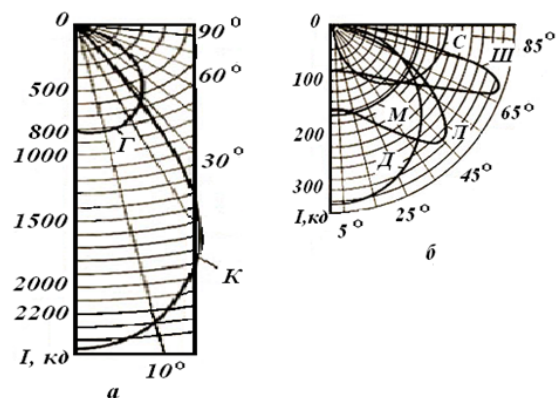


Рис. 4.1. Форма типовых кривых силы света: а — концентрированная (К), глубокая (Г); б — косинусная (Д), равномерная (М), полужирикая (Л), широкая (Ш), синусная (С)

По способу установки светильники подразделяют на: подвесные, потолочные, встраиваемые, пристраиваемые, настенные (типа бра), настольные, напольные, консольные, венчающие, торцевые (рис. 4.2).

В светильниках степень защиты от попадания посторонних твердых тел, пыли и проникновения влаги обозначается в соответствии с маркировкой степени защиты электротехнических изделий и оборудования (см. главу 4.2), при этом:

— по степени защиты от пыли в основном их изготавливают в незащищенном (открытые 2, перекрытые 2'), пылезащищенном (полностью 5, частично 5') и пыленепроницаемом (полностью 6, частично 6') исполнениях;

— по степени защиты от влаги — незащищенном (0); каплезащищенном (2); дождезащищенном (3); брызгозащищенном (4); струезащищенном (5); водонепроницаемом (7) и герметичном (8) исполнениях.

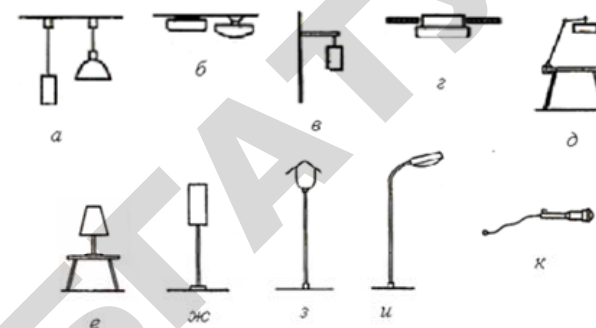



Рис. 4.2. Классификация светильников по способу установки: подвесные (а), потолочные (б), настенные (в), встраиваемые (г), пристраиваемые (д), настольные (е), напольные (ж), венчающие (з), консольные (и), переносные (к)

Светильники, предназначенные для эксплуатации во взрывоопасных помещениях и зонах, чаще всего изготавливают в исполнении: взрывобезопасном (иногда встречающаяся в обозначении маркировка — В) и повышенной надежности против взрыва (Н). Их степень защиты обеспечивается герметизацией токопроводящих контактных элементов и источника света и ограничением предельной температуры наружных частей.


По степени защиты от поражения электрическим током светильники разделяют на четыре класса:

— *Класс 0* — защита от поражения электрическим током обеспечивается только основной (рабочей) изоляцией. Токоведущие части недоступны для прикосновения при замене источника света и профилактическом обслуживании светильника. Присоединение электропроводящих деталей светильника, доступных для прикосновения, к заземляющему проводу не предусмотрено. Питание светильника осуществляется однофазной двухпроводной сетью.


— *Класс I* — защита от поражения электрическим током обеспечивается как основной изоляцией, так и присоединением доступных для прикосновения токопроводящих частей к защитному (заземленному) проводу стационарной однофазной трехпроводной или трехфазной пятипроводной питающей сети. В маркировке светильника может присутствовать символ .

— *Класс II* — защита от поражения электрическим током обеспечивается двойной или усиленной изоляцией. Светильник не име-

ет устройства защитного заземления. Питание светильника осуществляется двухпроводной однофазной сетью. Отличается наличием

в маркировке светильника символа .

— *Класс III* — защита от поражения электрическим током обеспечивается применением безопасного сверхнизкого (< 50 В) напряжения питания. Светильник не имеет зажимов для защитного заземления. Во внутренних цепях светильника не возникает напряжения выше 50 В. В маркировке светильника в обязательном порядке

присутствует символ .

Каждому светильнику присваивают шифр, структура условного обозначения которого такова

$$\boxed{1} \boxed{2} \boxed{3} \boxed{4} - \boxed{5} \times \boxed{6} - \boxed{7} - \boxed{8}$$

где 1 — буква, обозначающая тип источника света (Н — лампы накаливания общего назначения, И — кварцевые галогенные лампы накаливания, Л — прямые трубчатые люминесцентные лампы, Ф — фигурные люминесцентные лампы, Э — витальные лампы, Р — ртутные лампы высокого давления типа ДРЛ, Г — металлогалогенные лампы типа ДРИ, Ж — натриевые лампы, Б — бактерицидные лампы, С — зеркальные лампы-светильники, К — ксеноновые трубчатые лампы, Д (СД) — светодиоды);

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

3 — буква, обозначающая основные назначения светильника (П — для промышленных предприятий, Р — для рудников и шахт, О — для общественных зданий, Б — для жилых (бытовых) помещений, У — для наружного освещения);

4 — двузначное число (01...99), обозначающее номер серии;

5 — цифра (цифры), обозначающая количество ламп в светильнике (в случае одной лампы цифра 1 не указывается);

6 — цифры, обозначающие мощность ламп, Вт;

7 — трехзначное число (000...999), обозначающее номер модификации;

8 — буква и цифра, указывающие на климатическое исполнение и категорию размещения.

Наряду с условными обозначениями светильникам могут быть присвоены и условные наименования (собственные или фирменные

имена), например, «Астра», «Бирюза», «Орфей», «Лада» и др. Однако это наименование должно указываться только после условного обозначения и без последнего применяться не может.

Основными светотехническими характеристиками светильников являются: светораспределение, КПД, защитный угол.

Светораспределение светильников общего освещения определяется формой кривой распределения силы света. Светильники могут быть симметричного (с симметричной формой фотометрического тела) и несимметричного (с несимметричной формой фотометрического тела) светораспределения. Для светильников с симметричным светораспределением характеристикой их светораспределения является продольная кривая распределения силы света, полученная в результате сечения тела излучения любой плоскостью, проходящей через вертикальную ось симметрии светильника (табл. 4.8, рис. 4.1). Для характеристики распределения силы света светильников с несимметричным светораспределением пользуются семейством кривых распределения силы света в разных продольных плоскостях, иногда, например, для светильников с люминесцентными лампами, в двух — продольной и поперечной.

КПД светильника (η) — отношение светового потока светильника $\Phi_{\text{свет}}$ к световому потоку источника света $\Phi_{\text{источ}}$:

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{свет}}}{\Phi_{\text{источ}}} \quad (4.2)$$

КПД характеризует экономичность светильника и зависит от материала осветительной арматуры и конструкции светильника. Его значение, как правило, находится в пределах от 0,5 до 0,8. Общий КПД светильника могут подразделять на КПД в верхнюю ($\eta_{\text{с}}$) и нижнюю ($\eta_{\text{н}}$) полусферы.

Защитный угол светильника γ определяет степень защиты глаза наблюдателя от воздействия ярких частей источника света (рис. 4.3). Его значение можно определить по формуле:

$$\gamma = \arctg \frac{h}{l}, \quad (4.3)$$

где h — минимальная высота от края входного отверстия светильника до светящегося тела источника или минимальная высота экранирующих элементов решетки (рис. 4.3), м; l — максимальное расстояние по горизонтали от основания высоты до края выходного отверстия или между экранирующими элементами решетки, м.

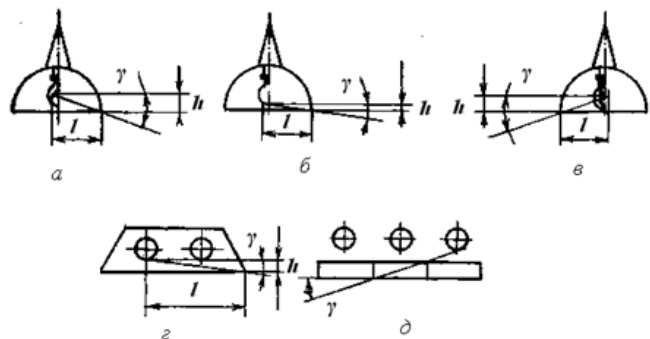


Рис. 4.3. Защитный угол светильников, создаваемый отражателями (а, б, в, з) и экранирующей решеткой (д), для светильников с лампами накаливания (а), газоразрядными лампами высокого давления (б, в) и люминесцентными лампами (з, д)

Защитный угол может быть отнесен к верхней или нижней полусфере.

Искусственное освещение бытовых, общественных и производственных, в том числе сельскохозяйственного назначения, помещений, открытых территорий и навесов осуществляется светильниками с лампами накаливания, газоразрядными лампами высокого и низкого давления. Для этих целей изготавливают большое разнообразие светильников всевозможного назначения, сфер применения, характера светораспределения, защиты от воздействия окружающей среды и т. д. Технические характеристики некоторых из них приведены в приложениях 10 и 11, а их внешний вид — на рис. 4.4 и 4.5. Воспользовавшись приведенными данными, а также дополнительной справочной литературой или каталогами заводов-изготовителей, можно подобрать светильник, отвечающий любым светотехническим, экономическим и эстетическим требованиям.

Из всего многообразия выпускаемых промышленностью светильников в сельскохозяйственном производстве получили широкое распространение немногие. Это светильники с лампами накаливания серий НСП02, НСП03, НПП03, НПП05, НСП11, НСП17, НСП21, НСП22, с люминесцентными лампами — ЛСП01, ЛСП02, ЛСП04, ЛПП07, ЛСП09, ЛСП13, ЛСП15, ЛСП18, ЛСП21, ЛСП22, ЛСП23, с лампами ДРЛ — РПП01, РПП03, РПП04, РСП05, РСП04, РСП11, РСП17, РСП19, РСП20, РСП29, с лампами ДРИ — ГПП01, ГПП03, ГСП04, ГСП05, ГСП25, с лампами ДНаТ — ЖПП01, ЖСП02, ЖСП04, ЖСП11, ЖСП17, ЖСП18, ЖСП21 и др.



Рис. 4.4. Внешний вид светильников для освещения производственных сельскохозяйственных помещений: 1 — НСП20, РСП20; 2 — НСП21; 3 — ГСП10, ЖСП10, РСП10; 4 — РСП05; 5 — Н4БН; 6 — НПП03; 7 — НСП02; 8 — НСП03; 9, 10 — НСП11; 11, 12 — ЛПО22; 13 — ЛПО10; 14 — ЛСО11; 15 — ЛПП12; 16 — ЛСП15; 17 — ЛСП18

Следует отметить, что светильники НСП02, НСП03, РПП01, ЖПП01, РСП29, ЛСП09, ЛСП15, ЛСП21 и ЛСП23 создавались применительно к использованию в производственных сельскохо-

зайственных помещениях (коровниках, свинарниках, птичниках и т. п.) с агрессивной окружающей средой, повышенной пыленностью и влажностью.

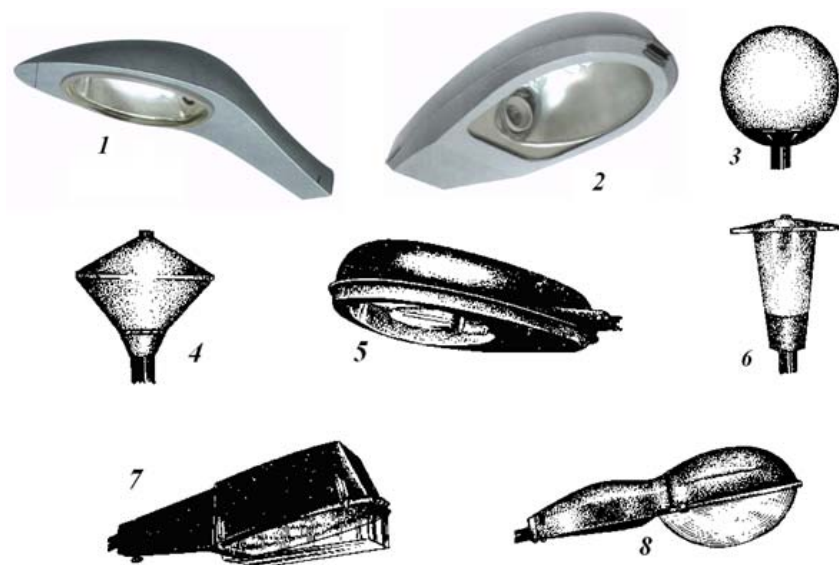


Рис. 4.5. Внешний вид светильников для наружного освещения территорий, проезжей части дорог и улиц: 1, 2 — ГКУ10, ЖКУ10; 3 — РТУ04; 4 — РТУ01; 5 — ЖКУ01, РКУ01; 6 — РТУ02; 7 — ЖКУ02; 8 — РКУ03, ГКУ03, ЖКУ03

4.3.2. Устройство, характеристики и область применения прожекторов

Прожектором называют световой прибор дальнего действия (более 30 м), перераспределяющий световой поток источника внутри малых телесных углов. Они служат для освещения удаленных объектов, находящихся на расстоянии, намного превышающем их размеры.

При освещении прожекторами облегчается эксплуатация осветительной установки за счет сокращения количества обслуживаемых световых точек, уменьшается число опор или мачт, на которые устанавливаются световые приборы, продолжительность электрических сетей, улучшаются условия освещения вертикальных поверхностей. Однако при этом усиливается слепящее действие светового прибора, появляются резкие тени от крупных предметов,

расположенных на освещаемой территории, возникает необходимость квалифицированного ухода за прожекторами (периодическая чистка отражателей и, в ряде случаев, фокусировка).

Прожектор конструктивно состоит из таких же элементов, как и те, что входят в конструкцию светильников, — корпуса, оптической системы, источника света, патрона (ламподдержателей), ПРА (для газоразрядных источников) и других электротехнических изделий, и отличается в основном особенностями оптической системы, предназначенной для перераспределения в требуемом направлении светового потока источника.

Для освещения открытых пространств в сельскохозяйственном производстве применяют прожекторы как нового (типов НО, РО, ЖО, ГО, ИО серий 01, 02, 03, 05), так и предыдущего поколений (типов ПСМ, ПЗС, ПЗР, ПЗМ, ПЗИ, ПФР, ПФС, ПКН, ИЗУ, ПГП, ПГЦ и др.). Внешний вид некоторых из них приведен на рис. 4.6.



Рис. 4.6. Внешний вид прожекторов типов: 1 — ПЗС; 2 — ПЗР; 3 — ПКН; 4 — ПЗИ; 5 — ПГЦ, ПГП; 6 — ГО10; 7 — ИО05; 8 — ГО05, ЖО05, РО05; 9 — НО01, РО01, РО02, ЖО02, ГО02; 10 — ГО03, ЖО03, РО03, ИО03

В качестве источников света в прожекторах используются лампы ДРИ мощностью 400, 700, 1000, 2000 и 3500 Вт, ДРЛ и ДНаТ — 250, 400, 700 и 1000 Вт, лампы накаливания, в том числе прожекторные, — 200, 500, 1000 и 1500 Вт, галогенные лампы накаливания — 1000, 1500 и 2000 Вт и ксеноновые лампы высокого давления — 6, 10, 20 и 50 кВт (приложение 12).

Буквенные обозначения в маркировке прожекторов означают:

— Г, Р, Ж, Н и И в прожекторах типов ГО, РО, ЖО, НО и ИО — тип источника света, соответственно, ДРИ, ДРЛ, ДНаТ, лампы накаливания общего назначения и галогенные;

— ПЗС — прожектор заливающего света со стеклянным отражением;

— ПСМ — прожектор среднего светораспределения с металлическим отражением;

— ПЗР — прожектор с лампой ДРЛ;

— ПКН — прожектор с галогенными лампами накаливания;

— ППП — прожектор с металлогалогенными лампами с параболическим зеркальным отражением;

— ППЦ — то же с параболоцилиндрическим отражением.

Цифры после букв — диаметр (см) выходного отверстия или мощность источника света (Вт).

4.3.3. Устройство, номенклатура и область применения комплектных осветительных устройств

Комплектные осветительные устройства (КОУ) на основе щелевых световодов — класс световых приборов, занимающих промежуточное положение между светильниками и прожекторами, максимально аккумулировавших их достоинства и обеспечивающих эффективное освещение, как правило, производственных помещений с большим содержанием пыли, копоти, влаги и агрессивной среды, в том числе содержащих взрывоопасные и пожароопасные зоны, при снижении металлоемкости осветительных установок в 5...6 раз и затрат на обслуживание.

КОУ со щелевыми световодами поставляются полностью укомплектованными всем необходимым для монтажа и эксплуатации, включая источники света, электротехнические блоки (содержащие ПРА, зажигающие и предохраняющие элементы), монтажные узлы, и собираются непосредственно у потребителя.

Принцип действия КОУ заключается в том, что для освещения используют малое число мощных источников света, световой поток

которых при помощи специальных оптических систем направляют в торец щелевого световода, в котором световой поток равномерно распределяется и посредством отражателя направляется на рабочую поверхность. При этом обеспечивается равномерная освещенность широкой полосы рабочей поверхности освещаемого помещения, а светотехнические и эксплуатационные характеристики КОУ практически не зависят от воздействия окружающей среды.

КОУ состоит из следующих основных узлов: щелевого световода, камеры с источником света, блока ПРА, торцевого и переходного (для некоторых исполнений КОУ) элементов (рис. 4.7). Канал щелевого световода представляет собой полый удлиненный цилиндр из полиэтилентерефталатной пленки. Внутренняя поверхность канала, за исключением продольной светопропускающей полосы (оптической щели), покрыта зеркально отражающим слоем. Полиэтилентерефталатная пленка имеет малую толщину (20...50 мкм) и удельную массу (до 0,05 кг · м⁻²), высокую температуростойкость (от -60 до +140 °С), светостойкость, способна свариваться и склеиваться.

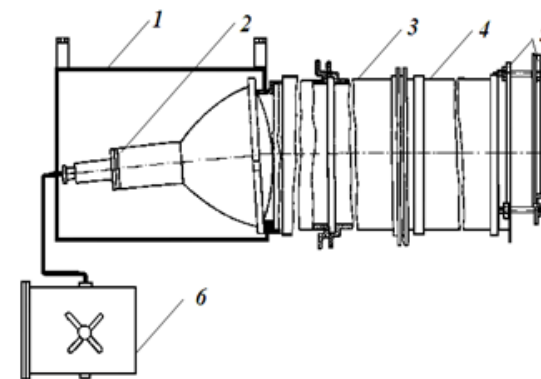


Рис. 4.7. Общий вид комплектного осветительного устройства со щелевым световодом типа КОУ1А-М275-1 × 700-УЗ: 1 — камера; 2 — вводная цассета с источником света; 3 — переходной элемент с двумя прозрачными термостойкими стеклами; 4 — канал щелевого световода; 5 — торцевое устройство; 6 — блок ПРА и защитно-коммутирующей аппаратуры

Вводное устройство с источниками света и блоком ПРА смонтировано в специальной камере, которая обеспечивает их механическую защиту, электрическое питание и защиту от воздействия окружающей среды. Торцевой элемент содержит дополнительный от-

ражатель и является в основном монтажным узлом, служащим для формирования и крепления щелевого световода. Переходной элемент предназначен для передачи излучения источников света к щелевому световоду и одновременной изоляции камеры от освещаемого помещения.

В серию КОУ входят следующие модификации, отличающиеся условиями применения:

— КОУ1 — для производственных помещений с тяжелыми условиями среды (с большим содержанием пыли и влаги), а также с взрывоопасными зонами классов В-Iб и В-IIа, с камерами, устанавливаемыми непосредственно в освещаемом помещении рядом с каналами световодов;

— КОУ1А — для производственных помещений с взрывоопасными зонами классов В-I, В-Iа и В-II, с камерами, вынесенными за пределы ограждающих конструкций помещений и соединяемыми со световодами с помощью переходных элементов;

— КОУ1/С — без камер для помещений со строительными галереями, коммуникационными каналами и другими строительными конструкциями.

Расшифровка условного обозначения КОУ1А-М600-4 × 700/С-УЗ: КОУ — комплектное осветительное устройство; 1 — одностороннего действия (2 — двустороннего); А — имеется переходной элемент; М — мягкая оболочка из пленки (Т — твердая); 600 — диаметр канала щелевого световода (условный), мм; 4 — количество источников света; 700 — мощность источника света, Вт; С — без дополнительной камеры для монтажа в строительных элементах зданий; УЗ — климатическое исполнение, категория размещения.

Номенклатура и технические характеристики некоторых выпускаемых КОУ приведены в приложении 13.

КОУ в первую очередь используют для создания высококачественного и безопасного освещения во взрывоопасных и пожароопасных помещениях малой высоты. Эти устройства обеспечивают сокращение количества используемых источников и светильников, эксплуатационных расходов, протяженности и стоимости распределительной электрической сети, трудоемкости работ по монтажу; повышение надежности осветительных установок благодаря резервированию источников света; снижение затрат материалов и труда на изготовление КОУ в сравнении с производством светильников для тяжелых условий среды; использование газоразрядных ламп высокой мощности и интенсивности вместо большого количества

ламп накаливания и газоразрядных люминесцентных ламп малой мощности. Основные преимущества КОУ: наличие холодного, без электрического потенциала щелевого световода; большая протяженность светящейся полосы с несимметричным в продольных плоскостях светораспределением, обеспечивающим высокую равномерность освещения; незначительное влияние окружающей среды на параметры в процессе эксплуатации благодаря особым аэродинамическим свойствам цилиндрических каналов, оптическая щель которых практически не загрязняется; концентрация нескольких газоразрядных ламп в одной точке обслуживания с возможностью их одновременного или раздельного включения; изменения положения щели путем поворота щелевого световода вокруг оптической оси, а также любого расположения КОУ в пространстве (до вертикального с расположением камеры снизу или сверху); варьирование спектра излучения путем использования светофильтров на вводе в щелевые световоды или применения ламп с разными спектрами излучения.

4.4. НОРМИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ, ПОМЕЩЕНИЙ И ТЕРРИТОРИИ

Нормирование освещенности рабочей поверхности⁵ определяет уровень минимальной освещенности, обеспечивающей необходимые условия видимости предметов, и ее качественных показателей.

Нормирование искусственного освещения в Республике Беларусь регламентируется ТКП 45-2.04-153-2009 [35], которые распространяются на установки искусственного освещения помещений зданий и сооружений различного назначения, мест производства работ вне зданий, территории промышленных и сельскохозяйственных предприятий, наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов. Нормы определяют допустимые значения минимальной освещенности точек рабочей поверхности, которая может принимать одно из значений в соответствии с приведенной шкалой: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 15; 20; 30; 50;

⁵ Рабочая поверхность — поверхность, на которой производится работа и нормируется или измеряется освещенность.

75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000.

В основу нормирования положен характер зрительной работы, определяемый размером объекта различения, разрядом зрительной работы, величиной контраста объекта с фоном и характеристикой фона⁶.

В зависимости от характера зрительная работа в нормах подразделена на шесть видов: наивысшей, очень высокой, высокой, средней, малой и очень малой (грубая) точности. Дополнительно выделены еще два вида — работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах и общее наблюдение за ходом производственного процесса.

Все объекты различения в зависимости от размера (мм) разделены на шесть классов — менее 0,15, 0,15...0,30, 0,30...0,50, 0,5...1,0, 1...5 и более 5.

В зависимости от значения размера углового объекта различения (от менее $0,3 \cdot 10^{-3}$ м и до свыше $10 \cdot 10^{-3}$ м) выделено шесть разрядов зрительной работы — I, II, III, ..., VI. Для дополнительных видов характера зрительной работы (работа со светящимися материалами и изделиями и общее наблюдение за ходом производственного процесса) дополнительно выделено еще два разряда зрительной работы — VII и VIII.

Соотношение контраста объекта различения с фоном и характеристики фона определяют подразряд зрительной работы — а, б, в или г.

Контраст объекта различения с фоном считается большим при $K > 0,5$ (объект и фон резко отличаются по яркости), средним при $K = 0,2...0,5$ (объект и фон заметно отличаются по яркости) и малым при $K < 0,2$ (объект и фон мало отличаются по яркости).

Фон характеризуется коэффициентом отражения. В зависимости от коэффициента отражения фон считается светлым (коэффициент отражения более 0,4), средним (0,2...0,4) и темным (менее 0,2).

Нормированные значения освещенности рабочей поверхности по ТКП [35] представлены в приложении 14. Отметим, что эти значения приведены применительно к обеспечению надлежащих условий видения газоразрядными лампами (если не указано иное). При использовании в осветительных установках светильников с лампами

⁶ Фон — поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он располагается.

накаливания, значение нормируемой минимальной освещенности следует уменьшать на одну ступень по приведенной выше шкале.

Следует отметить, что использование ТКП [35] на практике при определении норм минимальной освещенности конкретных производственных процессов весьма затруднено из-за необходимости учета множества трудно учитываемых параметров (например, разряда зрительной работы, значения контраста объекта с фоном, коэффициента отражения фона и др.). К тому же они не распространяются на осветительные установки ряда объектов, в частности, спортивных сооружений, лечебно-профилактических учреждений, помещений для хранения сельскохозяйственной продукции, размещения растений, животных и птиц.

Несмотря на то, что в ТКП [35] приведены рекомендуемые нормируемые показатели освещения некоторых конкретных общепромышленных помещений и сооружений, основных помещений общественных и жилых зданий, административных и бытовых зданий предприятий, а также сопутствующих производственных помещений предприятий бытового обслуживания, для облегчения труда при разработке проектов установок искусственного освещения на основе этих норм разработаны и активно используются на практике утвержденные в установленном порядке отраслевые нормы освещения, учитывающие специфические особенности технологического процесса и строительных решений зданий и сооружений отрасли. В частности, применительно к объектам сельскохозяйственного производства таким нормативным документом являются «Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений», которые устанавливают уровни минимально допустимой освещенности при выполнении технологических операций на этих объектах, определяют рабочую поверхность и плоскость, для которой нормируется освещенность (приложение 15). Некоторые рекомендуемые уровни минимальной освещенности других помещений, встречающихся в сельскохозяйственном производстве, приведены в приложениях 16 и 17.

ТКП 45-2.04-153-2009 регламентируют не только минимальные значения освещенности рабочих поверхностей, но и качественные показатели обеспечения условий видения — показатели дискомфорта и ослепленности, цилиндрическую освещенность, коэффициенты пульсации и неравномерности освещенности. При этом предельные значения коэффициента пульсации освещенности K_p , коэффициента неравномерности освещенности Z и показателя ослепленности P ус-

тановлены для осветительных установок производственных помещений, а цилиндрической освещенности $E_{ц}$ и показателя дискомфорта M — для осветительных установок жилых и общественных помещений. Из указанных качественных показателей освещения рабочих поверхностей для относительно невысоких сельскохозяйственных помещений к наиболее значимым следует отнести коэффициент пульсации освещенности и показатель ослепленности.

Коэффициент пульсации освещенности $K_{п}$, % — критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока источников, в первую очередь газоразрядных ламп, при питании их переменным током [30]. Он определяется по формуле:

$$K_{п} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{ср}}} \cdot 100\%, \quad (4.4)$$

где E_{\max} , E_{\min} и $E_{\text{ср}}$ — соответственно максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период ее колебания, лк.

Пульсация светового потока газоразрядных ламп, питаемых током промышленной частоты, отрицательно сказывается на зрительной работоспособности и повышает утомление человека, животного или птицы. Она способна вызвать стробоскопический эффект — явление искажения зрительного восприятия вращающихся, движущихся или сменяющихся объектов в мелькающем свете, которое возникает при совпадении кратности частотных характеристик движения объектов и изменения светового потока во времени в осветительных установках, в которых используются газоразрядные источники света, питаемые переменным током.

Нормами, как правило, предусмотрено ограничение значений $K_{п}$ до 10...20 % разряда в зависимости от характера зрительных работ. Коэффициент пульсации освещенности не ограничивается при частоте переменного тока, питающего источники света, 300 Гц и более и для помещений с периодическим пребыванием людей при отсутствии в них условий для возникновения стробоскопического эффекта.

Расчет коэффициента пульсации освещенности при проектировании осветительной установки можно произвести по методам, изложенным в специальной литературе [14, 17, 30].

В осветительных установках помещений, в которых возможно возникновение стробоскопического эффекта, должны предприниматься меры по снижению пульсации светового потока источников.

Например, снижение пульсации светового потока газоразрядных ламп, а следовательно, и освещенности рабочей поверхности, достигается (табл. 4.9):

— поочередным подключением светильников, соседних в ряду и соседних рядов, к разным фазам сети;

— питанием различных люминесцентных ламп в многоламповом светильнике от разных фаз сети;

— включением люминесцентных ламп в светильнике по схемам, обеспечивающим питание половины ламп отстающим, а второй половины — опережающим током;

— установкой в одной точке двух и более светильников с лампами ДРЛ, ДРИ и ДНаТ с питанием от разных фаз.

Таблица 4.9

Примерные значения коэффициента пульсации светового потока различных источников и схем их включения

Тип лампы	Значения коэффициента пульсации светового потока расположенных в одной точке источников при различных способах включения, %			
	одной лампы	двух ламп в схеме отстающего и опережающего тока	двух ламп в схеме с разными фазами	трех ламп в схеме с разными фазами
Лампа накаливания	10...15	—	6...8	1
Люминесцентные лампы типов:				
ЛТБ	21...25	8...10	9...11	2...3
ЛБ	25...34	10,5...14	10...14,4	2,2...3
ЛБЦТ	26...28	10...12	11...13	2...3
ЛХБ	33...35	15...16	14...16	3...3,5
ЛДЦ	40...72	17...23	17...30	3...7
ЛД	50...58	23...25	23...25	5...6
ЛЕЦ	60...68	25...27	25...27	6...7
КЛЛ (компактные)	32...35	13...15	13...15	3...4
Газоразрядные лампы высокого давления типов:				
ДРЛ	58...65	—	28...31	2...5
ДРИ	37...45	—	18...20	2...3
ДНаТ	77...80	—	37,7...40	9...10
ДКсТ	120...130	—	60...65	4...5

Условия расположения светильников и схем включения в них ламп, при которых соблюдаются нормированные значения коэффициента пульсации освещенности, приведены в табл. 4.10.

Таблица 4.10

Условия размещения светильников и схем включения ламп, при которых соблюдаются нормированные значения коэффициента пульсации

Расположение светильников и схема включения ламп	Обеспечиваются нормированные значения коэффициента пульсации, %
Лампы типа ДРЛ:	
совместная установка двух ламп разных фаз;	30
совместная установка трех ламп разных фаз	10, 15, 20, 30
Люминесцентные лампы при любом расположении светильников:	
число ламп в светильнике, кратное трем, с равномерным распределением по фазам сети;	10, 15, 20, 30
число ламп в светильнике, кратное двум, с включением половины ламп по схеме опережающего и половины по схеме отстающего тока, в том числе для ламп:	
ЛБ и ЛТБ	10, 15, 20, 30
ЛХБ	15, 20, 30
ЛДЦ	20, 30
ЛД	30
любое число ламп в светильнике и любая схема включения, в том числе для ламп:	
ЛБ и ЛТБ	30
прочие лампы	
Лампы накаливания при любом расположении светильников	10, 15, 20, 30

Слепящее действие, оказываемое осветительной установкой на глаз человека, для промышленных осветительных установок регла-

ментируется **показателем ослепленности** P . Показатель ослепленности — критерий оценки слепящего действия осветительной установки, определяется по формуле:

$$P = (S - 1) \cdot 1000, \quad (4.5)$$

где S — коэффициент ослепленности, равный отношению пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения.

Показатель ослепленности в зависимости от характера зрительных работ регламентируется в пределах $P = 10 \dots 40$ [35]. Он не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты подвеса светильников над полом, а также для помещений с временным пребыванием людей и для площадок, предназначенных для прохода или обслуживания оборудования.

Показатель ослепленности осветительной установки определяют инженерными методами, изложенными в специальной справочной литературе [14, 17, 30]. В общем случае он является функцией следующих величин: параметров осветительной установки (высоты подвеса светильников над рабочей поверхностью и относительного расстояния между светильниками — отношения расстояния между светильниками к высоте подвеса светильников над рабочей поверхностью); параметров светильников (их светораспределения, яркости световой поверхности и источника, защитного угла и спектрального состава излучения источника света); параметров освещаемого помещения (длины и ширины, от которых зависит количество установленных светильников, находящихся в поле зрения, а также коэффициентов отражения рабочей поверхности, определяющих ее яркость).

Показатель дискомфорта M — критерий оценки дискомфортной блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения, выражающийся формулой [30]:

$$M = \frac{L_C \cdot \omega^{0,5}}{\varphi_0 \cdot L_{ад}^{0,5}}, \quad (4.6)$$

где L_C — яркость блеского источника, $\text{кд} \cdot \text{м}^{-2}$; ω — угловой размер блеского источника, стерадиан; φ_0 — индекс позиции блеского источника относительно линии зрения; $L_{ад}$ — яркость адаптации, $\text{кд} \cdot \text{м}^{-2}$.

4.5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВОК ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Проектирование установок искусственного освещения является непростой задачей, в которой приходится не только решать вопросы инженерного характера (выбор источников света, системы и вида освещения, нормируемой освещенности и коэффициента запаса, осветительных приборов, размещение осветительных приборов в освещаемом пространстве, определение мощности и числа источников света, подведение к ним электрической энергии и обеспечение условий для надлежащей эксплуатации), но и принимать определенные архитектурные решения, так как размещаемые в помещении осветительные приборы и электрическая сеть их питания определяют интерьер помещения и должны не нарушать его эстетического содержания. Правильно спроектированная осветительная установка должна обеспечивать оптимальную освещенность рабочей поверхности при наименьших затратах денежных средств на ее изготовление и эксплуатацию, минимальном потреблении электрической энергии.

Так как осветительная установка представляет собой совокупность светотехнических (источники света и осветительные приборы) и электротехнических (провода и кабели для подвода электрической энергии, выключатели и переключатели, электрические соединители, патроны и стартеры, контактные зажимы, автоматические выключатели и предохранители, шкафы и щиты управления и защиты и т. п.) устройств, то ее проектирование разделяют на два этапа — проектирование светотехнической и электрической частей осветительной установки.

При проектировании светотехнической части осветительной установки придерживаются такой последовательности рассмотрения основных взаимосвязанных вопросов: выбирают источники света, систему и вид освещения, нормируемую освещенность и коэффициент запаса, осветительные приборы; размещают осветительные приборы в освещаемом пространстве; определяют мощность или число источников света, устанавливаемых в осветительные приборы.

4.5.1. Выбор источников света

Выбор источников света определяется: показателями экономической целесообразности и эффективности, зависящими от стоимости источника и электрической энергии, световой отдачи и номи-

Показатель дискомфорта, регламентирующий ограничение слепящего действия в осветительных установках общественных, административных, жилых и бытовых помещений, в зависимости от характера зрительных работ не должен превышать значений 40, 60 или 90 единиц. При проектировании показатель дискомфорта рассчитывается инженерными методами, изложенными в специальной литературе [14, 19, 30], или по упрощенной формуле:

$$M = M_T \cdot K_M, \quad (4.7)$$

где M_T — табличное значение показателя дискомфорта; K_M — поправочный коэффициент:

$$K_M = 0,5 \sqrt{\frac{\Phi_{\text{ср}}}{S_{\text{вых}}}}, \quad (4.8)$$

где $\Phi_{\text{ср}}$ — реальный световой поток светильника в нижнюю полу-сферу, клм; $S_{\text{вых}}$ — площадь выходного отверстия светильника, м².

Табличное значение показателя дискомфорта M_T зависит от параметров освещаемого помещения (отношений длины и ширины к высоте), коэффициентов отражения поверхностей помещения (потолка, стен, пола и рабочей поверхности), отношения светового потока светильника, направленного в нижнюю полусферу, к его полному световому потоку [30].

Цилиндрическая освещенность $E_{\text{ц}}$ — характеристика насыщенности помещения светом. Определяется как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально расположенного цилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю [30].

Цилиндрическая освещенность от отдельных светильников определяется делением вертикальной освещенности плоскости, перпендикулярной проекции луча, на π . Расчет цилиндрической освещенности при нескольких светильниках в осветительной установке производится инженерным методом по справочным данным [14, 30].

Коэффициент неравномерности освещенности — отношение максимальной освещенности рабочей поверхности E_{max} к минимальной E_{min} , не должен превышать для работ I–III разрядов при люминесцентных лампах 1,3 и при других источниках света — 1,5, а для работ IV–VII разрядов — 1,5 и 2,0 соответственно. Неравномерность освещенности допускается повышать до 3,0 в тех случаях, когда по условиям технологии светильники общего освещения могут устанавливаться только на площадках, колоннах или стенах помещения.

нального срока службы лампы; требованиями к цветопередаче при выполнении зрительных работ в освещаемом помещении, учитываемыми показателем цветовой температуры и индексом цветопередачи источника; родом тока, номинальным значением питающего напряжения, его возможным кратковременным изменением; температурными условиями эксплуатации и некоторыми другими. При выборе источников света также необходимо учитывать высоту помещения, способ размещения в нем светильников, архитектурные и эстетические требования к размещаемому в помещениях светотехническому оборудованию, требования к качественным показателям освещенности, например, к регламентируемому значению коэффициента пульсации освещенности.

Учитывая более высокую световую отдачу и сравнительно большой срок службы газоразрядных источников ТКП 45-2.04-153-2009 рекомендуют их преимущественное применение для освещения производственных, административных, бытовых и жилых помещений, и только в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности допускается использовать лампы накаливания.

Лампы накаливания следует применять для освещения помещений, в которых производятся грубые работы или осуществляется общий надзор за работой оборудования, особенно если эти помещения не предназначены для постоянного пребывания людей: технические этажи и подполья, подвалы и чердаки, туннели и проходы, кладовые и склады, насосные и тепловые пункты, электрощитовые и вентиляционные и другие вспомогательные помещения. Их применяют для выполнения архитектурно-художественных требований к осветительной установке или требований к оформлению интерьера и в случаях невозможности использования газоразрядных ламп по условиям окружающей среды (для определенных условий окружающей среды светильники с газоразрядными лампами не выпускаются), выполнения требований к максимальному значению напряжения питания (12...36 В) или роду тока (постоянный). В исключительном случае при наличии технико-экономического обоснования лампы накаливания допускается использовать в помещениях основного производственного назначения, например, для хранения сельскохозяйственной продукции, размещения животных и птицы.

В общественных зданиях, служебно-бытовых помещениях и невысоких производственных помещениях преимущественное распространение получили люминесцентные лампы. Увеличение высоты помещения приводит к росту числа относительно мало-

мощных светильников с люминесцентными лампами, возрастанию материалоемкости осветительной установки и трудоемкости ее обслуживания, поэтому в высоких производственных помещениях (6 и более м) в основном применяют газоразрядные лампы высокого давления (типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ⁷).

Выполнение нормативных требований к коэффициенту пульсации проще всего осуществить при использовании в относительно невысоких помещениях люминесцентных ламп, так как даже при использовании маломощных газоразрядных ламп высокого давления его снижение трудно осуществимо. Обратим внимание на то, что из всех газоразрядных ламп высокого давления наименьшим значением коэффициента пульсации светового потока, а следовательно, и освещенности рабочей поверхности, отличаются лампы ДРИ. У ламп ДРЛ и ДНаТ он значительно выше, что усложняет технические решения по его приведению к нормативным показателям.

Выполнение нормативных требований к цветоразличению при выполнении зрительных работ в освещаемом помещении осуществляется выбором типа источника, удовлетворяющего установленным требованиям [35] к его минимальному индексу цветопередачи и диапазону цветовой температуры.

ТКП 45-2.04-153-2009 все зрительные работы по характеру цветоразличения делят на четыре группы:

I — контроль цвета с очень высокими требованиями к цветоразличению (контроль готовой продукции на швейных фабриках, тканей на текстильных фабриках, сортировка кожи, подбор красок для цветной печати и т. п.);

II — сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличению (ткачество, швейное производство, цветная печать и т. п.);

III — различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению (сборка радиоаппаратуры, прядение, намотка проводов и т. п.);

IV — требования к цветоразличению отсутствуют (механическая обработка металлов, пластмасс, сборка машин и инструментов и т. п.).

⁷ Учитывая специфичный спектр излучения ламп ДНаТ, при их применении в производственных помещениях повышенное внимание уделяют выполнению нормативных требований по обеспечению качественных показателей освещенности [35], в частности индексу цветопередачи и диапазону цветовой температуры (табл. 4.11, 4.12). При этом следует учитывать, что отмеченные требования, как правило, выполняются при применении ламп ДНаТ в сочетании с лампами ДРЛ и ДРИ в одном или рядом стоящих светильниках.

Требования к минимальному индексу цветопередачи и диапазону цветовой температуры источников света, применяемых в производственных помещениях, жилых и общественных зданиях в системах общего и комбинированного освещения, приведены в таблицах 4.11, 4.12 и 4.13. Тип источников света, удовлетворяющих указанным требованиям, может быть принят по табл. 4.14.

Таблица 4.11

Требования к минимальному индексу цветопередачи и диапазону цветовой температуры источников света, применяемых в производственных помещениях в системах общего освещения

Характеристика зрительной работы по требованиям к цветоразличению	Освещенность, лк	Минимальный индекс цветопередачи источника света R_a	Диапазон цветовой температуры источника света $T_{ц}$, К
I	300 и более	90	5000...6000
II	300 и более	85	3500...6000
III	500 и более	50	3500...6000
	300, 400	50	3500...5500
	150, 200	45	3000...4500
	менее 150	40	2700...3500
IV	500 и более	50	3500...6000
	300, 400	40	3500...5000
	150, 200	29	2600...4500
	менее 150	25	2400...3500

Таблица 4.12

Требования к минимальному индексу цветопередачи и диапазону цветовой температуры источников света, применяемых в производственных помещениях в системах комбинированного освещения

Характеристика зрительной работы по требованиям к цветоразличению	Освещенность при системе комбинированного освещения, лк	Минимальный индекс цветопередачи R_a источника света в системе освещения		Диапазон цветовой температуры $T_{ц}$, К, источника света в системе освещения	
		общего	местного	общего	местного
		3	4	5	6
I	150 и более	85	90	5000...6000	5000...6000
II	150 и более	50	85	3500...5000	3500...6000

1	2	3	4	5	6
III	500	50	50	3500...5500	3500...5500
	300, 400	40	50	3200...5000	3500...5000
	150, 200	35	50	3000...4500	3500...5000
IV	500	50	50	3500...6000	2800...5500
	300, 400	35	50	3200...5000	2800...5000
	150, 200	25	50	2400...4500	2800...4500

Таблица 4.13

Требования к минимальному индексу цветопередачи и диапазону цветовой температуры источников света, применяемым для освещения жилых и общественных зданий

Характеристика зрительной работы по требованиям к цветоразличению	Освещенность, лк	Минимальный индекс цветопередачи источника света R_a	Диапазон цветовой температуры источника света $T_{ц}$, К
1	2	3	4
Обеспечение зрительного комфорта			
Сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличению и выбор цвета, например, в кабинетах рисования, химических лабораториях, выставочных залах, макетных и т. п.	300...500	85	3500...5000
	150...300	85	3500...4500
Различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению, например, в комнатах кружков учебных заведений, торговых залах магазинов, ателье химической чистки одежды, обеденных залах, спортзалах и т. п.	300...500	55	3500...5000
	150...300	50	3000...4500
	менее 150	50	2700...3500

1	2	3	4
Требования к цветоразличению отсутствуют, например, в рабочих комнатах, чертежных бюро, книгохранилищах, архивах и т. п.	300...500	55	3000...5000
	150...300	50	3000...4500
	менее 150	45	2700...3500
Обеспечение психоэмоционального комфорта			
Различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению, например, в концертных залах, зрительных залах клубов, актовых залах, вестибюлях и т. п.	300...500	80	2700...4500
	150...300	55	2700...4200
	менее 150	50	3000...3500
Требования к цветоразличению отсутствуют, например, в зрительных залах кинотеатров, лифтовых холлах, коридорах, проходах, переходах и т. п.	менее 150	45	2700...3500
Обеспечение зрительного и психоэмоционального комфорта			
Различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению, например в:			
а) жилых комнатах, кухнях	100	80	2700...4000
б) прихожих, ванных комнатах	50	80	2700...4000
Требования к цветоразличению отсутствуют, например, на лестничных клетках, в лифтовых холлах, вестибюлях и т. п.	менее 100	45	3000...3500

Цветовые характеристики оптического излучения источников

Тип источника	Цветовая температура, К	Индекс цветопередачи	Красное отношение, %
Лампа накаливания	2700	—	29,4
Галогенные лампы накаливания	3200	100	—
Люминесцентные лампы типа:			
ЛД	6400	70	—
ЛДЦ, ЛДЦ УФ	6200	90	—
ЛБ	3450	57	—
ЛТБ	2950	65	—
ЛТБЦ	2800	83	—
ЛХБ	4200	62	—
ЛЕЦ	3900	85	—
ЛХЕ, ЛХЕЦ	5200	93	—
Газоразрядные лампы высокого давления типа:			
ДРЛ	3800	42	6–15
ДРИ	4200	60	—
ДНаТ	2100	25	—
ДКсТ	6200	97	—

При выборе источников света необходимо помнить, что расход электрической энергии уменьшается при использовании вместо ламп накаливания⁸ компактных люминесцентных ламп (примерно на 40...60 %), люминесцентных ламп (40...54 %), ламп типа ДРЛ (41...47 %), ламп типа ДРИ (54...65 %), ламп типа ДНаТ (57...71 %). Замена люминесцентных ламп на лампы типа ДРИ позволяет экономить 20...23 % электрической энергии, ламп ДРЛ на лампы ДРИ — 30...40 % и ламп ДРЛ на лампы ДНаТ — 38...50 %.

Выбирая источник света, следует учитывать и их недостатки: люминесцентные лампы ненадежно зажигаются при температуре окружающей среды ниже +10 °С; газоразрядные источники не сле-

⁸ С учетом снижения нормируемой освещенности для ламп накаливания на одну ступень в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-153-2009.

дует применять (из-за возможного их отключения), если в электрической сети возможны понижения напряжения более чем на 10 %; газоразрядные лампы высокого давления не могут применяться, если в питающей электрической сети возможно даже кратковременное исчезновение напряжения, так как до их повторного зажигания должен пройти довольно продолжительный по времени период их остывания и разгорания до номинального режима.

4.5.2. Выбор системы и вида освещения

В осветительных установках применяют одну из двух общепринятых систем — общего или комбинированного освещения.

При общем освещении светильники размещают в верхней зоне помещения равномерно (общее равномерное освещение) или применительно к расположению оборудования (общее локализованное освещение). Система комбинированного освещения характеризуется наличием местных светильников, установленных непосредственно на рабочих местах и концентрирующих световой поток на рабочие поверхности. Светильники местного освещения дополняют освещенность рабочих мест, создаваемую светильниками общего освещения. Применение одного местного освещения внутри здания не допускается [1, 14, 16, 30, 35].

Систему комбинированного освещения применяют тогда, когда на рабочей поверхности необходимо создать освещенность более 200 лк при газоразрядных лампах и 100 лк при лампах накаливания. При этом освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять 10 % нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения, но не менее 200 лк (и не более 500 лк) при газоразрядных лампах и, соответственно, не ниже 75 лк (не более 150 лк) при лампах накаливания. Создавать системой общего освещения освещенность более 750 лк при газоразрядных лампах и 300 лк при лампах накаливания допускается только при наличии обоснований.

При обеспечении одинаковой освещенности осветительные установки с системой общего освещения обладают большей энергоемкостью по сравнению с установками, выполненными системой комбинированного освещения, поэтому нормами для систем общего освещения установлены при той же точности работ более низкие уровни освещенности.

Независимо от принятой системы общее освещение может быть выполнено с равномерным или локализованным размещением светильников. Локализованное размещение светильников применяют при наличии в одном помещении рабочих и вспомогательных зон (предусматривая менее интенсивное освещение вспомогательных зон) или крупногабаритных предметов, затеняющих рабочие поверхности.

Различают следующие виды освещения: рабочее, аварийное, охранное и дежурное. Аварийное освещение подразделяют на освещение безопасности и эвакуационное.

Рабочее освещение — освещение, обеспечивающее нормируемые значения освещенности и качественных показателей освещения в помещениях и в местах производства работ вне зданий.

Освещение безопасности — освещение для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Его следует предусматривать для случаев, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать: взрыв, пожар, отравление людей; длительное нарушение технологического процесса; нарушение работы таких объектов как диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения, канализации и теплофикации, установки вентиляции и кондиционирования воздуха для производственных помещений, не допускающих прекращения работ; нарушение режима детских учреждений, независимо от количества находящихся в них детей.

Освещение безопасности должно создавать на рабочих поверхностях производственных помещений и вне зданий, требующих обслуживания оборудования и механизмов при отключении рабочего освещения, наименьшую освещенность в размере 5 % освещенности, нормируемой для рабочего освещения, но не менее 2 лк внутри здания и 1 лк для территорий предприятий и не более 30 лк при газоразрядных лампах и 10 лк при лампах накаливания.

Эвакуационное освещение — освещение для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения. Его следует предусматривать в помещениях и местах производства работ вне зданий: в местах, опасных для прохода людей; в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей, при числе эвакуирующихся более 50 человек; по основным проходам производственных помещений, в которых работают более 50 человек; в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, где выход людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения связан

с опасностью травматизма из-за продолжения работы производственного оборудования; в помещениях общественных зданий, административных и бытовых зданий промышленных предприятий, если в помещениях одновременно могут находиться более 100 человек; в производственных помещениях без естественного света.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать освещенность на полу проходов (или на земле) и на ступенях лестниц в помещениях не менее 0,5 лк, а на открытых территориях не менее 0,2 лк, при неравномерности (отношение максимальной освещенности к минимальной) по оси проходов не более 40:1.

Светильники, обеспечивающие освещение безопасности в помещениях, могут использоваться для обеспечения эвакуационного освещения, а все светильники аварийного освещения (безопасности и (или) эвакуационного) — для обеспечения нормируемых характеристик освещения совместно со светильниками рабочего освещения. В то же время светильники аварийного и рабочего освещения должны быть запитаны по различным питающим линиям и схемам.

При использовании светильников аварийного освещения для обеспечения нормируемых характеристик освещенности рабочих поверхностей они должны включаться одновременно со светильниками рабочего освещения и оставаться в рабочем состоянии при их аварийном отключении. Если же светильники аварийного освещения не используются совместно со светильниками рабочего освещения для обеспечения нормируемых характеристик освещенности рабочих поверхностей, они должны автоматически включаться при аварийном отключении светильников рабочего освещения.

В светильниках освещения безопасности и эвакуационного освещения следует применять лампы накаливания, светодиодные источники видимого излучения и (или), при обеспечении некоторых дополнительных ограничений, газоразрядные лампы низкого и высокого давления, в частности, при использовании люминесцентных ламп температура окружающей среды в помещениях должна быть не менее 10 °С и напряжение их питания во всех рабочих режимах не ниже 90 % номинального значения. Использование газоразрядных ламп высокого давления допускается при условии обеспечения их мгновенного или быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии после кратковременного отключения питающего напряжения, так и в холодном состоянии.

Охранное освещение — освещение вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время. Оно должно обеспечивать освещен-

ность не менее 0,5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости или на уровне 0,5 м от земли на одной стороне вертикальной плоскости, перпендикулярной линии границы. При использовании для охраны специальных технических средств значение нормируемой освещенности, создаваемой охранным освещением, может отличаться от указанного. В этом случае ее следует принимать по техническому заданию на проектирование охранного освещения.

Дежурное освещение — освещение помещений и мест производства работ вне зданий в нерабочее время. ТКП 45-2.04-153-2009 не регламентирует какие-либо требования к его организации, области применения, значениям создаваемой им минимальной освещенности. Однако в сельскохозяйственных помещениях для содержания животных принято из числа светильников рабочего освещения выделять светильники дежурного освещения, предназначенного для периодического контроля в нерабочее время состояния животных и безопасного движения дежурного персонала в проходах и коридорах. В помещениях для содержания животных они должны составлять приблизительно 10 %, а в родильных отделениях — 15 % от общего числа светильников рабочего освещения в помещениях. К дежурному освещению иногда относят наружное освещение входов в помещениях и световые указатели выходов из помещения.

4.5.3. Выбор нормируемой освещенности и коэффициента запаса

Требуемый уровень минимальной освещенности при проектировании осветительной установки определяют по ТКП [35] в зависимости от характеристики зрительных работ, наименьшего размера объекта различения, контраста объекта различения с фоном и характеристики фона или по отраслевым нормам искусственного освещения, учитывая, что в нормах искусственного освещения значение минимальной освещенности по умолчанию приведено⁹ для условия использования в осветительных установках более энергоэкономичных газоразрядных источников низкого или высокого давления. При этом если в осветительной установке применены лампы накаливания, а нормированная минимальная освещенность приведена только для газоразрядных источников, то ее значение следует снижать по шкале (0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 7; 10; 20; 30; 50; 75; 100;

⁹ Если иное не оговорено дополнительно.

150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000):

— на одну ступень при системе комбинированного освещения для нормируемой освещенности 750 лк и более;

— на одну ступень при системе общего освещения для I...V и VII разрядов работ при освещенности, не превышающей 300 лк;

— на две ступени при системе общего освещения для VI и VIII разрядов работ.

При выборе нормируемой освещенности по ТКП [35] ее значение следует повышать на одну ступень при выполнении работ:

— отнесенных к I–VI разрядам, если зрительная работа выполняется более половины рабочего дня;

— с повышенной опасностью травматизма, в случаях, если освещенность от системы общего освещения составляет 150 лк и менее;

— со специально повышенными санитарными требованиями, если освещенность от системы общего освещения составляет 500 лк и менее;

— подростками (в том числе при производственном обучении), если освещенность от системы общего освещения составляет 300 лк и менее;

— в помещениях без естественного освещения при постоянном пребывании работающих, если освещенность от системы общего освещения составляет 750 лк и менее;

— с наблюдением за деталями, вращающимися со скоростью $500 \text{ об} \cdot \text{мин}^{-1}$ и более, или объектами, движущимися со скоростью $1,5 \text{ м} \cdot \text{мин}^{-1}$ и более;

— с постоянным поиском объектов различения на поверхности $0,1 \text{ м}^2$ и менее;

— когда более половины работающих старше 40 лет.

Отраслевые нормы — это расписание значений минимальной освещенности рабочих поверхностей основных технологических операций производственных процессов, характерных для рассматриваемого помещения. Пользование ими в практических расчетах упрощает выбор нормируемой освещенности и приводит к единству принимаемых решений. Однако следует отметить, что отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений [25], используемые в республике, давно не пересматривались и их следует привести в соответствие с современными требованиями [35].

При эксплуатации осветительной установки освещенность на рабочих местах уменьшается. Основная причина снижения освещенности — уменьшение светового потока источников света в процессе эксплуатации вследствие старения как источников света, так и рассеивателей и отражателей светильников, загрязнения источников света, осветительной арматуры, стен, потолка и рабочей поверхности освещаемого помещения.

Поскольку нормированные значения освещенности должны быть обеспечены в течение всего периода эксплуатации осветительной установки, уменьшение освещенности компенсируется в светотехнических расчетах введением коэффициента запаса K_z , значение которого определяется наличием пыли, дыма и копоти в рабочей зоне помещения, конструкцией светильников, типом источников света и периодичностью чисток светильников. Значения коэффициентов запаса K_z в соответствии с рекомендациями [35] для различных эксплуатационных групп светильников¹⁰ приведены в таблице 4.15.

Таблица 4.15

Рекомендуемые для расчета осветительных установок значения коэффициента запаса K_z при указанном количестве чисток светильников во время эксплуатации*

Помещения и территории	Коэффициент запаса K_z **	Количество чисток светильников в год
1	2	3
1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащие в рабочей зоне:		
а) пыли, дыма, копоти с концентрацией:		
свыше $5 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$	2,0; 1,7; 1,6	18; 6; 4
от 1 до $5 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ***	1,8; 1,6; 1,6	6; 4; 2
менее $1 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ***	1,5; 1,4; 1,4	4; 2; 1

¹⁰ Эксплуатационная группа светильников (от 1 до 7) определяется по ТКП 45-2.04-153-2009 в зависимости от конструктивно-светотехнической схемы светильников, устанавливаемых в них источников света (лампы накаливания и газоразрядные лампы высокого давления, люминесцентные лампы) и группы твердости (твердые, средней твердости, мягкие) светотехнических материалов (покрытий).

Окончание табл. 4.15

1	2	3
б) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы большой коррозионной способности ****	1,8; 1,6; 1,6	6; 4; 2
2. Производственные помещения с особым режимом по чистоте при обслуживании светильников:		
а) с технического этажа	1,3	4
б) снизу из помещения	1,4	2
3. Помещения общественных и жилых зданий:		
а) пыльные, жаркие и сырые	1,7; 1,6; 1,6	2
б) с нормальными условиями среды	1,4	2; 1; 1
4. Территории с воздушной средой, содержащей:		
а) большое количество пыли (более $1 \text{ мг} \cdot \text{м}^3$)	1,5	4
б) малое количество пыли (менее $1 \text{ мг} \cdot \text{м}^3$)	1,5	2
5. Населенные пункты	1,6–1,7; 1,5; 1,5	2; 2; 1

* Значения приведены соответственно для 1–4, 5–6 и 7 эксплуатационных групп светильников.

** Значения K_3 приведены для газоразрядных светильников. При применении ламп накаливания их следует умножать на 0,85.

*** Значения K_3 следует снижать при односменной работе на 0,2 и при двухсменной работе на 0,15.

**** Значения K_3 следует снижать при односменной работе на 0,1.

Значения коэффициентов запаса K_3 приводятся и в отраслевых нормах искусственного освещения. Так, для сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений отраслевые нормы [25] рекомендуют коэффициент запаса K_3 для ламп накаливания — 1,15, а для газоразрядных ламп — 1,3. При этом чистка светильников должна производиться не реже 1 раза в 3 месяца. Как видим, для большинства сельскохозяйственных помещений, зданий и сооружений, отличающихся наличием значительного количества пыли в воздухе, а также паров и газов, способных ускорить коррозию

электротехнического и светотехнического оборудования, они явно занижены в сравнении с ТКП 45-2.04-153-2009.

4.5.4. Выбор светильников

Важным вопросом, решаемым при устройстве осветительной установки и определяющим ее экономичность, качество освещения, удобство эксплуатации, соблюдение эстетических требований к оформлению интерьера помещения, является выбор светильников и их расположение в освещаемом помещении. Тип, следовательно, и устройство светильника в значительной мере определяют качество освещения — равномерность освещения рабочей поверхности, распределение освещенности по поверхностям помещения (соотношение горизонтальной и вертикальной освещенностей), степень смягчения теней, прямой и отраженной блескости.

При выборе светильника учитывают его назначение и эксплуатационную группу, способ монтажа и вид крепления, принятый источник света, характер окружающей среды, светораспределение, требования к ограничению слепящего действия, экономическую целесообразность. В общих случаях наиболее целесообразный тип светильника следует определять на основе полного технико-экономического сопоставления возможных вариантов.

Приступая к выбору светильников, необходимо иметь четкое представление о категории помещения, в котором предполагается их эксплуатировать (см. главу 4.1). Примерное разделение некоторых сельскохозяйственных помещений по категориям в зависимости от условий окружающей среды приведено в приложении 8.

При выборе светильников необходимо сопоставить степень их защиты и характер окружающей среды, в которой они будут эксплуатироваться. В табл. 4.16 для различных категорий помещений и наружных осветительных установок приведены рекомендации по минимально допустимой степени защиты и выводы о целесообразности использования светильников. Отметим также, что для сырых, особо сырых помещений и помещений с химически активной средой предпочтительны светильники с корпусами и отражателями из влагостойкой пластмассы, фарфора, покрытые силикатной эмалью. В жарких помещениях или зонах рекомендуется употреблять амальгамные люминесцентные лампы. В пыльных помещениях целесообразно применять в светильниках лампы с внутренним отражающим слоем и не использовать светильники с экранирующими

решетками, сетками и подобными им элементами, способствующими скапливанию пыли.

Допустимые степени защиты светильников для взрывоопасных и пожароопасных помещений и зон приведены в табл. 4.4...4.6. Необходимые уровни взрывобезопасности в основном обеспечиваются применением специальных взрывозащищенных светильников, например, типов ЛСП03Ех, ЛПП05Ех, РСР11Ех, РСР18Ех, РСР21Ех, ГСП11Ех, ГВП142Ех, ЖСП11Ех, ЖВП142Ех, ЖПП142Ех, ЖСП21Ех, НСП18Ех, НСП21Ех, Н4БН, Н4Т2Н, В4А, В3Г и др.

Для освещения низких вспомогательных помещений, как правило, применяют светильники НПП03, НПП05, РПП01, ГПП01, ЖПП01, ЖСП20, ЛСП18, ЛСП23 и др.; в производственных помещениях: с нормальными условиями окружающей среды — РСР05, РСР08, РСР13, ЛСП02, ЛСП13 и др., с повышенным содержанием пыли и повышенной относительной влажностью — НСП02 и НСП03 и др., в пыльных и влажных помещениях — РСР12 и РСР14 и др., с нетокопроводящей и негорючей пылью при запыленности до $10 \text{ мг} \cdot \text{м}^3$ — НСП21 и НСП22 и др., с тяжелыми условиями окружающей среды — ЛСП18, НСП17, РСР21 и др.

Таблица 4.16

Минимально допустимые степени защиты светильников в непожаро- и невзрывоопасных помещениях с разными условиями среды и в наружных установках

Степень защиты светильников	Тип источника света	Характеристика помещений							
		с нормальной средой	влажные	сырые	особо сырые	с химически активной средой	жаркие	пыльные	наружные установки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IP20	ЛЛ	+	×	—	—	—	+	× ⁵	—
	ЛН, ГЛВД	+	×	× ¹	—	—	+	× ⁵	—
IP23	ЛЛ, ЛН, ГЛВД	(-)	+	× ²	× ²	× ^{2,8}	×	× ⁵	+
2'0	ЛЛ	+	×	(-)	—	—	×	—	—
	ЛН, ГЛВД	+	×	(-)	—	—	× ⁷	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5'0	ЛН, ГЛВД	(-)	(-)	× ¹	—	×	+	+ ⁶	— ⁹
5'3	ЛН, ГЛВД	(-)	(-)	× ²	× ²	× ²	×	+ ⁶	×
5'4	ЛЛ	(-)	(-)	+	+	+	+	+	×
IP51	ЛН	(-)	(-)	× ⁴	× ⁴	× ⁴	× ⁷	+	× ^{7,9}
IP53	ЛЛ	(-)	(-)	+	+	+	×	+	+
	ЛН, ГЛВД	(-)	(-)	+ ²	+ ²	+ ²	× ⁷	+	× ⁹
IP54	ЛН	(-)	(-)	+	+	+ ³	× ⁷	+	+
	ГЛВД	(-)	(-)	+	+	+	×	+	+

Условное обозначение вывода о целесообразности использования светильников: + — рекомендуется; × — допускается; — — запрещается; (-) — применение возможно, но нецелесообразно. Типы источников света: ЛЛ — люминесцентные лампы; ЛН — лампы накаливания; ГЛВД — газоразрядные лампы высокого давления.

Примечания, принятые в таблице:

¹ Допускается при наличии фарфорового патрона и отсутствии капель воды, падающих на светильник.

² При наличии брызг воды (растворов), падающих под углом более 60° к вертикали, установка светильников с ГЛВД и ЛН со степенями защиты IP23, 5'0 и 5'3 запрещается.

³ В условиях частных заливов водой (растворами) рекомендуются светильники с боковым вводом проводов.

⁴ При наличии брызг воды (растворов), падающих под углом более 15° к вертикали, использование светильников со степенью защиты IP51 (с нетермостойким стеклом) допускается при условии установки в них ламп меньшей мощности, чем номинальные для данных светильников.

⁵ При ограниченном количестве пыли в зоне установки рекомендуются светильники со степенью защиты IP20, IP23.

⁶ Светильники со степенью защиты 5'X предпочтительнее светильников со степенью защиты IP5X для случаев: малого количества светлой пыли; расположения светильников в местах, неудобных для обслуживания; жарких помещений. При гидроудалении пыли степень защиты должна быть не ниже IP55 или 5'5.

⁷ Рекомендуется установка в светильник со степенью защиты IP5X, IP6X, 2'X ламп меньшей мощности, чем номинальная для данного светильника.

⁸ Только при условии выполнения деталей светильника (контактов, патронов, цоколей ламп) из материалов, не подверженных воздействию данной химической среды.

⁹ Допускается применение при наличии защиты светильников от атмосферных осадков (при установке под навесами, защитными козырьками и др.).

Экономическую целесообразность принимаемого решения следует учитывать не только при выборе светильников, но и на любой стадии проектирования осветительной установки путем полного сопоставления технико-экономических показателей сравниваемых равноценных по светотехническому эффекту вариантов. Основными составляющими затрат на сооружение и эксплуатацию осветительной установки являются: стоимость электроэнергии, зависящая от установленной мощности источников; капитальные вложения, включающие стоимость светильников, их монтажа и одного комплекта ламп; затраты на обслуживание осветительной установки. Поскольку стоимость электроэнергии обычно преобладает в общей сумме затрат, то в практике проектирования на стадии выбора зачастую ограничиваются только сопоставлением установленной мощности осветительной установки и капитальных затрат на приобретение светильников. При этом не следует делать преждевременных выводов о более или менее экономичных светильниках вообще, а следует говорить только о предпочтительных для данных конкретных условий.

От правильного выбора светильника зависят экономичность, работоспособность, безопасность и надежность действия осветительной установки. Это творческий процесс, и он требует от проектировщика особых навыков, определенных знаний и опыта.

4.5.5. Размещение светильников в освещаемом пространстве

Принятая система общего освещения определяет и способ размещения светильников: равномерное или локализованное [1, 14, 16, 30, 35]. При равномерном размещении светильники с лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ распределяют по углам прямоугольника (в идеале — квадрата) или вершинам ромба с учетом доступа к ним для обслуживания во время эксплуатации (рис. 4.8). При размещении светильников по углам прямоугольника должно быть соблюдено условие — отношение большей стороны прямоугольника к меньшей $\leq 1,5$, а при размещении по вершинам ромба — острый угол ромба близок к 60° .

В любом варианте размещения (углы прямоугольника или квадрата, вершины ромба) расстояния между светильниками в ряду L_A и между рядами светильников L_B могут быть определены по формуле:

$$L_{AB} = \lambda_C \cdot H_p, \quad (4.9)$$

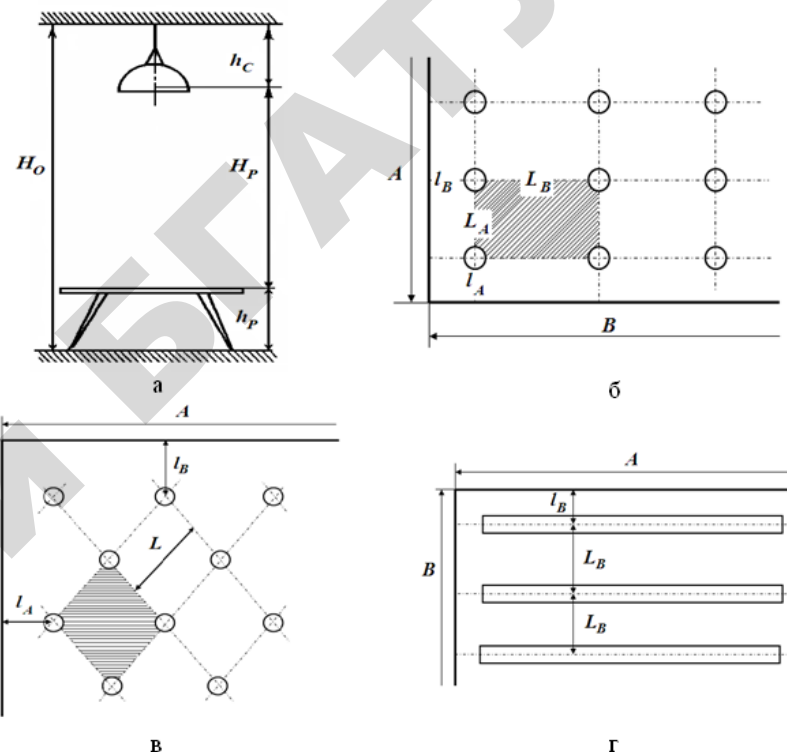


Рис. 4.8. Варианты размещения светильников: а — в разрезе; б, в, г — в плане помещения: б — по углам прямоугольников; в — по вершинам ромба; г — в линию (для светильников с люминесцентными лампами)

где λ_C — светотехнически наиболее выгодное относительное расстояние между светильниками (табл. 4.17); H_p — расчетная высота установки светильников, м.

Таблица 4.17

Рекомендуемые значения λ_C и λ_3 для светильников с типовыми кривыми силы света

Тип КСС	λ_C	λ_3
Концентрированная (К)	0,4...0,7	0,6...0,9
Глубокая (Г)	0,8...1,2	1,0...1,4
Косинусная (Д)	1,2...1,6	1,6...2,1

Тип КСС	λ_c	λ_3
Равномерная (М)	1,8...2,6	2,6...3,4
Полуширокая (Л)	1,4...2,0	1,8...2,3

Светотехнически наивыгоднейшее относительное расстояние λ_c определяет отношение расстояния между светильниками к расчетной высоте их установки. Оно обеспечивает такое размещение светильников, при котором распределение освещенности на рабочей поверхности наиболее равномерное. Увеличение λ_c сверх рекомендуемого значения ухудшает равномерность освещения рабочих поверхностей, но уменьшает установленную мощность источников света. При $\lambda_c = \lambda_3$ (λ_3 — энергетически наивыгоднейшее относительное расстояние между светильниками) мощность источников света осветительной установки минимальная, а ее энергетическая эффективность максимальная. Увеличение относительного расстояния между светильниками сверх λ_3 не только ухудшает равномерность распределения освещенности, но и повышает мощность источников света и осветительной установки.

Расчетную высоту установки светильников определяют по формуле:

$$H_p = H_0 - h_c - h_p, \quad (4.10)$$

где H_0 — высота помещения (или расстояние от точки подвеса светильника до пола), м; h_c — высота свеса светильников (расстояние от их светового центра до перекрытия или точки подвеса), м; h_p — высота расчетной (на которой нормируется освещение) поверхности над полом, м (рис. 4.8а).

При определении расчетной высоты установки светильников H_p следует обратить внимание на обеспечение доступа к ним для обслуживания согласно главе 6.6 (лестницы, технологические площадки, краны и др.) и способы монтажа (свес, трос, короб и др.). Поскольку высота помещения H_0 и расчетной поверхности h_p — исходные параметры, то расчетная высота установки светильников H_p может изменяться только за счет высоты свеса светильников h_p или расстояния от точки подвеса светильника до пола.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных (с точки зрения опасности поражения электрическим током) высота установки светильников над полом, за исключением светильников с люминесцентными лампами, должна быть не менее 2,5 м.

В отдельных случаях допускается высота установки светильников менее 2,5 м, но с условием, что конструкция светильников исключает возможность доступа к источнику света без специального инструмента и ввод электропроводки осуществлен в трубах, металлорукавах или оболочках кабелей и защищенных проводов. Указанное требование не распространяется на электропомещения, а также осветительные установки, обслуживаемые с кранов или площадок квалифицированным персоналом. Если указанное требование не выполняется и светильники установлены в помещениях с повышенной опасностью или особо опасных на высоте менее 2,5 м, то значение подводимого к ним напряжения не должно превышать 42 В. Светильники с люминесцентными лампами на напряжение 230 В допускается устанавливать на высоте менее 2,5 м в любых помещениях при исключении возможностей соприкосновения с их токоведущими частями.

При равномерном размещении светильников по углам прямоугольника расстояние от стены до ближайшего ряда светильников l_B или до ближайшего светильника в ряду l_A принимают в пределах (0,3...0,5) $L_{A,B}$: при наличии рабочих поверхностей у стен $l_{A,B} \approx 0,3L_{A,B}$, а при отсутствии — $l_{A,B} \approx 0,5L_{A,B}$.

Тогда по известным значениям $l_{A,B}$ и $L_{A,B}$, длине A и ширине B помещения можно определить:

— число рядов светильников в помещении N_2 :

$$N_2 = \frac{B - 2l_{A,B}}{L_{A,B}} + 1; \quad (4.11)$$

— число светильников в одном ряду N_1 :

$$N_1 = \frac{A - 2l_{A,B}}{L_{A,B}} + 1; \quad (4.12)$$

— и, после округления N_1 и N_2 до ближайшего целого, их общее количество в помещении N_{Σ} :

$$N_{\Sigma} = N_1 \cdot N_2. \quad (4.13)$$

Если расчет расстояния между светильниками в ряду и их рядами производился с учетом светотехнически наивыгоднейшего относительного расстояния, то полученные значения N_1 и N_2 округляют до целого числа в сторону наименьшего значения. В слу-

чае же расчета по энергетически наивыгоднейшему относительному расстоянию N_1 и N_2 округляют до целого в сторону большего значения.

После определения количества светильников в помещении их размещают на плане помещения и определяют действительные расстояния от стены до ближайшего их ряда l_B и ближайшего светильника в ряду l_A , расстояние между рядами L_B и светильниками в ряду L_A :

$$L_A = \frac{A}{N_1 - a} \text{ и } L_B = \frac{B}{N_2 - a}, \quad (4.14)$$

где $a = 0,4$ при $l_{A,B} = 0,3L_{A,B}$ и $a = 0$ при $l_{A,B} = 0,5L_{A,B}$.

Определять действительные расстояния также следует с учетом разумных округлений так, чтобы полученные значения удобно было использовать во время монтажа осветительной установки.

Полученные значения L_A и L_B необходимо проверить на выполнение условия $1 \leq L_A / L_B \leq 1,5$ при $L_A > L_B$ или $1 \leq L_B / L_A \leq 1,5$ при $L_B > L_A$. Если условие не выполняется, то следует изменить значения l_A , l_B , L_A и L_B , учитывая производимые округления при расчетах.

Следует отметить, что при проектировании осветительных установок со светильниками с люминесцентными лампами первоначально намечают только число рядов светильников N_2 , а число светильников в ряду N_1 и в помещении N_Σ определяют после светотехнического расчета. При этом светотехнические λ_c и энергетические λ_Σ наивыгоднейшие относительные расстояния определяют по поперечной кривой силы света светильника.

При локализованном размещении места расположения светильников выбирают в каждом конкретном случае индивидуально для каждого светильника в зависимости от требований к освещенности отдельных зон помещения. При этом светильники устанавливают с учетом оптимального освещения рабочих мест, предотвращения их затенения громоздкими предметами и обеспечения требуемых уровней освещенности в технологических проходах. При этом освещенность проходов должна составлять не менее 25 % от нормируемой освещенности, создаваемой светильниками общего освещения на рабочих местах, но не менее 75 лк при газоразрядных лампах и не менее 30 лк при лампах накаливания.

4.6. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Светотехнический расчет осветительной установки со светильниками круглосимметричного светораспределения ставит своей целью определение установленной мощности источников, при которой гарантируется обеспечение заданных условий видения окружающих предметов при минимальных затратах на сооружение и эксплуатацию установки (со светильниками с люминесцентными лампами, установленными в линию с расстоянием между светильниками менее половины расчетной высоты подвеса, — определение количества светильников в одном ряду и их общего количества в помещении). Иногда возникает необходимость в проверочном расчете — определении освещенности на рабочих поверхностях при известной установленной мощности источников.

Светотехнические расчеты осветительных установок в значительной мере унифицированы и обеспечены необходимыми справочными материалами. В практике проектирования общего электрического освещения помещений наиболее распространены следующие методы расчета: точечный, подразделяемый, в зависимости от вида источников света, на методы пространственных (лампы накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ) и линейных (люминесцентные лампы) изолюкс; коэффициента использования светового потока осветительной установки; удельной мощности.

В основу **точечного метода расчета** положены приведенные ранее формулы определения освещенности точки A поверхности при известных значениях силы света светильников в направлении заданной точки и расстояний от точки до светильников (1.11 и 1.12), которые могут быть представлены в следующем виде:

$$E_A = \sum_{i=1}^n \frac{I_{\alpha_i} \cdot \cos \beta_i}{l_i^2} \text{ или } E_A = \sum_{i=1}^n \frac{I_{\alpha_i} \cdot \cos^3 \alpha_i}{H_{p_i}^2}, \quad (4.15)$$

где I_{α_i} — значение силы света от i -го светильника в направлении освещаемой точки, определяемое по кривой пространственного распределения силы света светильника, кд; β_i — угол между нормалью к точке освещаемой поверхности и направлением силы, град; l_i — расстояние от источника света до освещаемой точки, м; α_i — угол между осью симметрии светильника и линией, соеди-

няющей его световой центр с освещаемой точкой, град; H_p — расчетная высота подвеса светильника над горизонтальной плоскостью с освещаемой точкой, м.

Отметим, что по формулам (4.15) можно рассчитать любую осветительную установку при известных значениях КСС принятых для ее изготовления светильников, в том числе и с не круглосимметричным светораспределением.

Точечный метод применяют при расчете освещения: общего равномерного и локализованного, местного, вертикальных и наклоненных к горизонту плоскостей, наружного. Он позволяет определить световой поток источников, необходимый для создания требуемой освещенности в любой точке произвольно расположенной плоскости при известном размещении светильников и условии, что отраженный от стен, потолка и рабочей поверхности световой поток не создает существенной освещенности в рассматриваемой точке. Однако если размеры светящейся поверхности осветительного прибора не превышают $0,2l_i$, этот осветительный прибор не может представляться точечным излучателем и характеризоваться кривой силы света. К тому же, если один из линейных размеров светового излучателя превышает указанное значение, излучатель следует рассматривать как светящуюся линию, каждый элемент которой описывается своими кривыми силы света в продольной и поперечной плоскостях.

При определении освещенности точки поверхности можно воспользоваться реальным значением силы света светильника в заданном направлении или определить ее по типовой КСС, характерной для рассматриваемого светильника (последнее дает менее точные расчеты, так как реальное распределение силы света светильника несколько отличается от типового).

При использовании типовой КСС следует помнить, что она приведена в предположении того, что световой поток условной лампы, установленной в светильник, равен 1000 лм. Следовательно, при определении освещенности точки поверхности по типовой КСС мы получим не действительную освещенность E_A , а условную e_A . Действительная освещенность E_A и условная освещенность e_A точки A связаны соотношением:

$$E_A = \frac{e_A \cdot \Phi_{\text{л}}}{1000}, \quad (4.16)$$

где $\Phi_{\text{л}}$ — фактический световой поток установленной в светильник лампы, лм.

Для вычисления действительной E_A или условной e_A освещенности по формуле 4.15 приходится постоянно, исходя из геометрических соображений, отыскивать по известным значениям расчетной высоты подвеса и кратчайшего расстояния d между точкой A и точкой проекции светового центра светильника на горизонтальную плоскость, на которой расположена точка A , угол β (или α) и расстояние l , что требует дополнительных расчетов.

Для упрощения расчетов по нахождению условной освещенности e_A разработаны справочные пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности, создаваемой светильниками с типовыми КСС (приложение 18). Такие же пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности существуют и для конкретных светильников.

С их помощью по известным H_p и d находится точка, определяющая значение условной освещенности e_A . Поскольку эта точка на графике лежит чаще всего между изолюксами условной горизонтальной освещенности, а не на изолюксе, то значение условной освещенности e_A , как правило, определяется путем линейного интерполирования. Если же значения d и H_p выходят за пределы координат кривых пространственных изолюкс условной горизонтальной освещенности, то можно обе эти координаты увеличить (уменьшить) в n раз так, чтобы точка оказалась в пределах графика, а определенное по графику значение e_A увеличить (уменьшить) в n^2 раз. Значение d определяют обмером по масштабному плану осветительной установки с нанесенными на него местами расположения светильников. Если контрольная точка A на горизонтальной поверхности освещается одновременно несколькими круглосимметричными точечными светильниками, то ее освещенность будет равна сумме освещенностей $\sum e$, создаваемых каждым светильником в отдельности.

Из-за использования кривых пространственных изолюкс условной горизонтальной освещенности точечный метод расчета в применении к осветительным установкам с круглосимметричными излучателями (лампы накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ) называют *методом пространственных изолюкс*.

Расчет осветительной установки методом пространственных изолюкс основан на определении требуемого светового потока установленного в светильники источника Φ_p , обеспечивающего нормируемую освещенность в рассматриваемой точке:

$$\Phi_p = \frac{1000 \cdot E_{\min} \cdot K_3}{\eta_{\cup} \cdot \mu \cdot \sum e}, \quad (4.17)$$

где E_{\min} — нормированное значение освещенности рабочей поверхности, лк; K_3 — коэффициент запаса; μ — коэффициент добавочной освещенности, учитывающий воздействие «удаленных» светильников и отраженных световых потоков на освещаемую поверхность (принимается равным 1,1...1,2); η_{\cup} — коэффициент полезного действия (КПД) светильника в нижнюю полусферу в относительных единицах; $\sum e$ — сумма условных освещенностей, создаваемых каждым из близлежащих светильников осветительной установки.

КПД светильника в нижнюю полусферу η_{\cup} учитывается только при определении $\sum e$ по пространственным изолюксам условной горизонтальной освещенности для типовых КСС светильников. Если $\sum e$ определяется по пространственным изолюксам условной горизонтальной освещенности реально указанного светильника, то в формуле (4.17) он не учитывается, так как пространственные изолюксы для реальных светильников приводятся с учетом η_{\cup} . Значения η_{\cup} приведены в приложении 10.

По полученному значению расчетного потока Φ_p подбирается ближайшая стандартная лампа, световой поток которой $\Phi_{\text{л}}$ отличается от расчетного в пределах $-10...+20\%$, то есть

$$0,9\Phi_p \leq \Phi_{\text{л}} \leq 1,2\Phi_p. \quad (4.18)$$

При невозможности выбора лампы с указанным допуском корректируется расположение светильников и осуществляется перерасчет Φ_p для условия изменившегося размещения светильников.

При выборе ламп накаливания необходимо стремиться, чтобы их мощность по возможности совпадала с допустимой номинальной для данного светильника.

Например, если принят светильник типа НСП21, а в результате светотехнического расчета получили мощность лампы, равную 100 Вт, то в процессе уточнения типа необходимо принять светильник НСП21-100..., а не НСП21-200... . В противном случае можно получить отличающиеся от расчетных значений освещенности из-за изменения КПД и КСС светильника при установке ламп меньшей мощности. В то же время нельзя устанавливать в светильники лампы накаливания большей мощности (хотя это иногда возможно), так как это может привести к перегреву лампы и элементов светильника во время эксплуатации, что повлечет их преждевремен-

ный выход из строя. Для газоразрядных ламп высокого давления (ДРЛ, ДРИ и ДНаТ) вообще нельзя принимать мощность лампы, отличающуюся от номинальной для данного светильника, так как установленная в светильник пускорегулирующая аппаратура не обеспечит требуемые эксплуатационные режимы работы лампы.

При использовании точечного метода недостаточно ясным и обоснованным элементом расчета является выбор контрольных точек, в которых следует рассчитывать условную освещенность. ТКП 45-2.04-153-2009 и отраслевые нормы искусственного освещения требуют, чтобы освещенность в любой точке рабочей поверхности была не ниже допустимого минимального значения. Но расчет освещенности во всех точках рабочей поверхности, а потом выбор точки с минимальным значением потребуют значительных трудозатрат, даже при использовании компьютера с соответствующим программным обеспечением. Поэтому на практике, как правило, в качестве расчетных выбирают точки освещаемой поверхности, приведенные на рис. 4.9 для различных вариантов размещения светильников. В практике проектирования не принято выискивать точки абсолютного минимума у стен или в углах, так как если в подобных точках есть рабочие поверхности, то задача доведения в них освещенности до нормы может быть решена увеличением мощности источника в ближайших светильниках или установкой дополнительных светильников.

Также не просто определять, какие светильники следует относить к «ближайшим» и учитывать при определении $\sum e$. Поэтому при расчетах $\sum e$ учитывают только освещенность, создаваемую светильниками (группами светильников), отстоящими от расчетной точки по масштабному плану осветительной установки на расстоянии трех наименьших значений d из ряда расстояний расположения светильников от контрольной точки ($d_1, d_2, d_3, d_4, \dots$). На рис. 4.9 контрольные точки соединены линиями с теми светильниками, от которых обычно определяются значения $\sum e$. Вообще же, чем шире кривая светораспределения (типы Д, Л, Ш), тем большую роль играют «удаленные» светильники и тем тщательнее следует их учитывать. Во всех случаях при определении $\sum e$ не должны учитываться светильники, реально не создающие освещенности в контрольной точке из-за ее затенения оборудованием или самим рабочим при его нормальном фиксированном положении у рабочего места.

Если нормы искусственного освещения устанавливают значение минимальной освещенности на наклонной (или вертикальной) по-

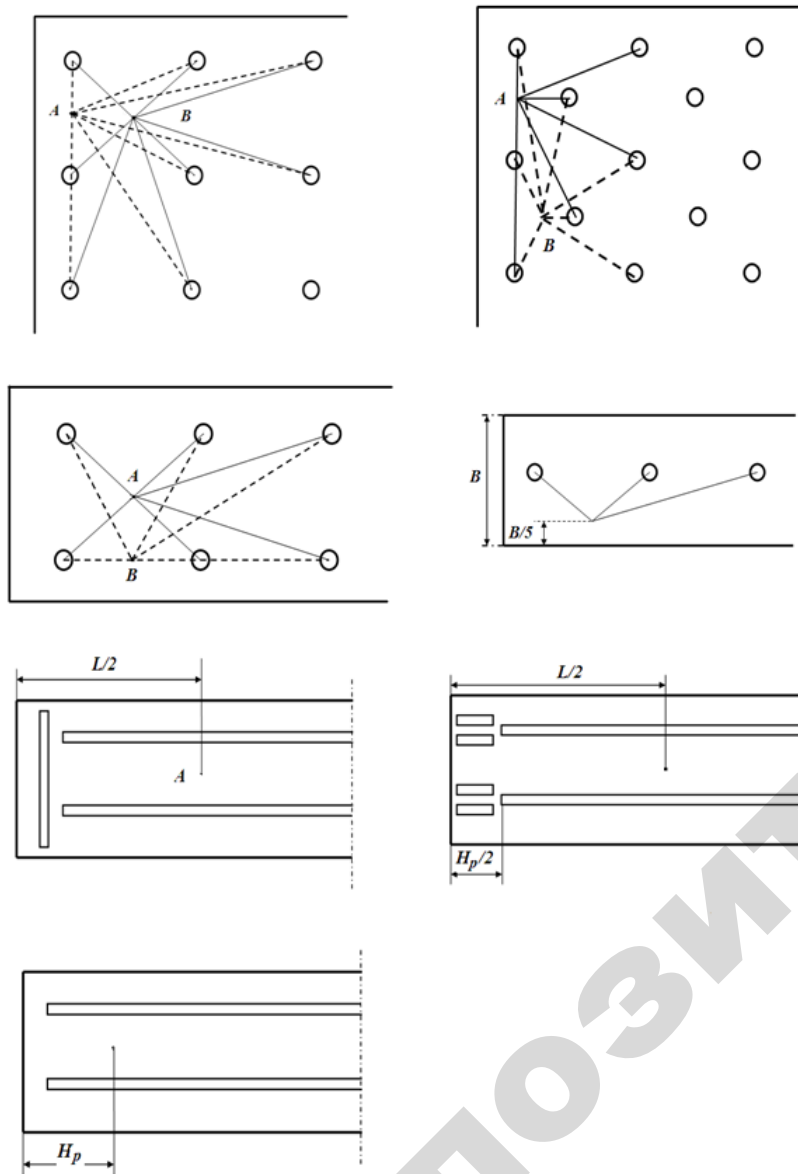


Рис. 4.9. К выбору расчетных точек для различных вариантов размещения светильников с лампами накаливания (а также ДРЛ, ДРИ, ДНаТ) и люминесцентными лампами

верхности, то ее освещенность определяют через освещенность горизонтальной поверхности в рассматриваемой точке. Для расчета освещенности в точке C на наклонной поверхности E_H по значению ее освещенности на горизонтальной поверхности E_Γ используют формулу:

$$E_H = E_\Gamma \left(\cos \Theta \pm \frac{p}{H_p} \sin \Theta \right), \quad (4.19)$$

где p — кратчайшее расстояние от проекции оси симметрии светильника на горизонтальную плоскость, проходящую через точку расчета, до следа пересечения вертикальной и горизонтальной плоскостей (рис. 4.10); Θ — угол наклона расчетной плоскости по отношению к плоскости, перпендикулярной к оси симметрии светильника (горизонтальная плоскость).

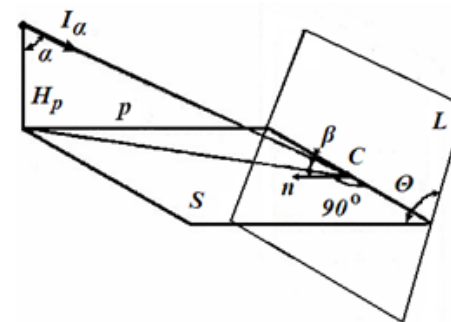


Рис. 4.10. К определению освещенности точки наклонной поверхности

Знак «минус» в формуле (4.19) ставят при условии $\Theta > \frac{\pi}{2} + \alpha$.

Если расчетная плоскость вертикальна, то $E_H = E_\Gamma \frac{p}{H_p}$ или, в частном случае, когда перпендикулярна проекции направления силы света на горизонтальную поверхность, $E_H = E_\Gamma \frac{d}{H_p}$.

Расчет осветительной установки с круглосимметричными излучателями точечным методом производится в следующем порядке:

— после размещения светильников на плане помещения отмечают контрольные точки и вычисляют в них условную освещенность;

— по формуле (4.17) рассчитывают требуемое значение светового потока источника, с учетом требований (4.18) выбирают ближайшую стандартную лампу (см. приложения 3 и 5) и определяют ее мощность;

— подсчитывают суммарную мощность ламп в осветительной установке.

Точечный метод является самым точным методом расчета осветительных установок. При его применении погрешность расчетов минимальная, поэтому он может быть использован для проверочных расчетов при известных расположении светильников в освещаемом помещении и установленной в них мощности источников. Проверочный расчет производят по видоизмененной формуле (4.17), преобразованной под определение истинной освещенности расчетной точки:

$$E_A = \frac{n_c \Phi_{\text{л}} \eta_{\text{л}} \mu \Sigma e}{1000 K_s}, \quad (4.20)$$

где n_c — число ламп в светильнике, шт.

Точечный метод расчета относительно трудоемок, поэтому и применяется не часто (в основном для ответственных и проверочных расчетов, а также тогда, когда другие методы применить невозможно, например, в случае локализованного освещения и освещения наклонных поверхностей).

Точечный метод расчета в применении к осветительным установкам с линейными излучателями (люминесцентными лампами) называют *методом линейных изолукс*. Он имеет некоторые отличительные особенности в сопоставлении с методом пространственных изолукс.

Во-первых, по методу линейных изолукс производят расчет только осветительных установок, выполненных светильниками (или светильниками, состыкованными в светящуюся линию с расстоянием между ними менее половины расчетной высоты подвеса H_p), длина которых превышает половину расчетной высоты подвеса. Если длина светильников с люминесцентными лампами не превышает половину расчетной высоты подвеса H_p , то их можно принять за точечные и расчет осветительной установки производить не методом ли-

нейных изолукс, а другими методами, например, коэффициента использования светового потока или удельной мощности.

Во-вторых, при расчете освещения от люминесцентных ламп известными величинами являются мощность, число и световой поток ламп в светильнике, а также число рядов светильников. Незвестные величины, подлежащие определению, — число светильников в освещаемом помещении и в одном ряду.

Излучатели в методе линейных изолукс рассматриваются как светящиеся линии с линейной плотностью светового потока источников Φ' , $\text{лм} \cdot \text{м}^{-1}$. Линейная плотность светового потока Φ' определяется делением суммарного светового потока ламп в линии Φ_{Σ} на длину линии L . Линии с равномерно распределенными по длине разрывами l_p между светильниками рассматриваются как непрерывные при соблюдении условия $l_p < 0,5H_p$. В этом случае под L понимается габаритная длина линии, а линейная плотность светового потока определяется как

$$\Phi' = \frac{\Phi_{\Sigma}}{\sum l_p + \sum l_c}, \quad (4.21)$$

где Φ_{Σ} — световой поток ламп в сплошном элементе светящейся линии длиной $\sum l_c$, лм; $\sum l_p$ — суммарная длина разрывов в светящейся линии, м; $\sum l_c$ — суммарная длина светильников в светящейся линии, м.

При $l_p > 0,5H_p$ необходимо для каждого сплошного участка линии отдельно определять Φ' и создаваемую этим участком в контрольной точке рабочей поверхности освещенность.

При заданных характеристиках светящейся линии освещенность точки зависит от трех параметров: расчетной высоты подвеса H_p , длины линии L и кратчайшего расстояния p от контрольной точки A до проекции светящейся линии на горизонтальную поверхность с рассматриваемой точкой A .

Для облегчения расчетов по методу линейных изолукс получены справочные графики и таблицы, позволяющие при известных значениях H_p , L и p определить условную освещенность e в контрольной точке рабочей поверхности с учетом допущений о том, что рассматриваемая точка расположена против конца светящейся линии, условная линейная плотность светового потока которой $\Phi' = 1000 \text{ лм} \cdot \text{м}^{-1}$, а $H_p = 1 \text{ м}$. Освещенность других точек определяется путем разделения светящейся линии на части

или дополнения их воображаемыми отрезками, освещенность из которых затем суммируется или вычитается (рис. 4.11).

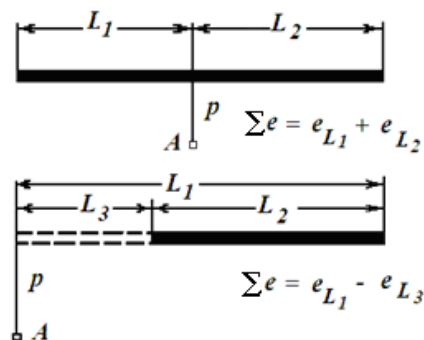


Рис. 4.11. К определению условной освещенности в точке, не лежащей против конца светящейся линии

Расчет осветительной установки со светящимися линиями удобно производить с помощью кривых линейных изолукс (приложение 19). При пользовании кривыми по плану обмеряют размеры p и L , определяют отношение $p' = p/H_p$ и $L' = L/H_p$ и находят значение условной освещенности e при координатах p' и L' путем интерполирования между ближайшими линейными изолуксами. Линии, для которых $L' > 4$, при расчетах практически рассматриваются как неограниченно длинные, и значение условной освещенности находят для $L' = 4$.

Суммирование значений e от ближайших рядов или их частей, освещающих точку, дает $\sum e$. Необходимая линейная плотность светового потока определяется как

$$\Phi' = \frac{1000 \cdot E_{\min} \cdot K_3 \cdot H_p}{\mu \cdot \sum e} \quad (4.22)$$

По известному значению Φ' осуществляется компоновка линии. Для этого вначале определяется необходимый световой поток ламп в линии как произведение $\Phi' \cdot L$, а затем — количество светильников в ряду N_1 :

$$N_1 = \frac{\Phi' \cdot L}{n_c \cdot \Phi_{\text{л}}} \quad (4.23)$$

Значение N_1 округляют в сторону увеличения и определяют действительные расстояния между светильниками и суммарное количество светильников в помещении N_{Σ} (4.13).

При выборе контрольных точек следует учесть, что в случае большой длины светящейся линии, начиная примерно от $2H_p$, сильно сказывается уменьшение освещенности у их концов (вдвое по сравнению с освещенностью центральных участков при рядах неограниченной длины). Для компенсации уменьшения освещенности достаточно продлить линию на $0,5H_p$ за пределы освещаемой поверхности или на расстоянии $0,5H_p$ до конца светящейся линии обеспечить двойное значение Φ' (удвоить расчетное количество ламп в светильниках или светильников), или дополнить продольные ряды светильников замыкающими их поперечными. В случае принятия одной из этих мер при общем равномерном освещении контрольные точки, как правило, выбираются посередине между рядами светильников и линий (рис. 4.9).

При общем освещении больших помещений часто указанных компенсаций не предусматривается в предположении, что непосредственно у торцевых стен работы не производятся. В этом случае ряды доводятся до торцевых стен и контрольные точки выбираются на расстоянии примерно H_p от последних (рис. 4.9).

Метод линейных изолукс также применяют для проверочных расчетов при определении фактической освещенности рабочей поверхности и сравнении ее с нормированным значением. При проверочных расчетах формула (4.22) преобразуется в виде:

$$E = \frac{N_1 \cdot n_c \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \mu \cdot \sum e}{1000 \cdot K_3 \cdot H_p \cdot L} \quad (4.24)$$

Метод коэффициента использования светового потока осветительной установки применяют при расчете общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей в помещении при отсутствии крупных затеняющих предметов и с учетом отраженных от стен и потолка световых потоков. Метод не пригоден для расчета локализованного и местного освещения, освещения наклонных поверхностей и в случае, когда для отдельных участков освещаемой площади или рабочих мест часть установленных в помещении светильников затеняется производственным оборудованием или другими предметами.

Метод коэффициента использования светового потока учитывает только ту часть светового потока источников осветительной ус-

тановки, которая достигает рабочей поверхности. Основная расчетная формула метода:

$$\Phi_p = \frac{E_{\min} \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{n_c \cdot N_{\Sigma} \cdot \eta}, \quad (4.25)$$

где Φ_p — расчетный световой поток каждой лампы осветительной установки, лм; E_{\min} — нормируемая освещенность, лк; K_3 — коэффициент запаса; S — площадь освещаемого помещения, м²; z — коэффициент минимальной освещенности (отношение средней освещенности к минимальной); n_c — число ламп в светильнике, шт.; N_{Σ} — общее число светильников в помещении, шт.; η — коэффициент использования светового потока в долях единицы.

Этой формулой пользуются для расчета освещения светильниками с лампами накаливания, ДРИ, ДНаТ и ДРЛ, когда в результате размещения светильников в освещаемом пространстве известно их число, но не известна мощность установленных в них источников.

Поэтому, определив расчетный световой поток Φ_p и сопоставив его с нормированными значениями световых потоков выпускаемых промышленностью ламп, находим тип и мощность источника. При этом необходимо учесть, что световой поток выбранной лампы не должен отличаться от расчетного в пределах $-10...+20\%$, то есть соответствовать условию (4.18). Если невозможно выбрать лампу, отвечающую этому условию, то изменяют число светильников в освещаемом помещении с таким расчетом, чтобы расстояние между ними незначительно отличалось от светотехнически наиболее выгоднейшего $\lambda_c \cdot H_p$.

Неизвестными величинами в формуле (4.25) являются коэффициент использования светового потока η и коэффициент минимальной освещенности z . Значение коэффициента использования светового потока η определяют по справочным таблицам, для примера приведенным в приложении 20. В справочных таблицах коэффициент использования светового потока приводится в зависимости от характера светораспределения светильников (класса светораспределения и формы КСС), коэффициентов отражения потолка $\rho_{\text{п}}$, стен $\rho_{\text{с}}$ и рабочей поверхности $\rho_{\text{р}}$ (табл. 4.18), площади и формы освещаемого помещения, расчетной высоты подвеса светильников.

Рекомендуемые значения коэффициентов отражения

Отражающая поверхность	Коэффициент отражения, %
Белая фасадная краска; белый мрамор	70
Побеленный потолок и стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Светло-серый бетон; белый силикатный кирпич; очень светлые фасадные краски	60
Серый бетон, известняк и желтый песчаник; светло-зеленая, бежевая и светло-серая фасадные краски; светлые породы мрамора	50
Побеленные стены при незавешенных окнах и потолок в серых помещениях; чистый бетонный и светлый деревянный потолок	50
Светлый офактуренный бетон; серая фасадная краска; светлое дерево	40
Розовый силикатный кирпич; темно-голубая, темно-бежевая, светло-коричневая фасадные краски; потемневшее дерево	30
Бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонные стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями	30
Темно-серый мрамор; гранит; темно-коричневая, синяя, темно-зеленая, красная фасадные краски	20
Черный гранит; мрамор	10
Стены и потолок в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный кирпич не оштукатуренный; стены с темными обоями	10

Площадь и форма освещаемого помещения, а также расчетная высота подвеса светильников H_p учитываются индексом помещения, который определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (4.26)$$

где A и B — соответственно длина и ширина освещаемого помещения.

В справочных таблицах коэффициент использования светового потока η может приводиться для конкретного светильника (группы светильников) или всех светильников, характеризующихся одной и той же КСС. Если η в справочных таблицах приведен для светильников с определенной КСС, то в расчете по формуле (4.25) следует применять его расчетное значение, определяемое по формуле:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_{\cup} + K_{п.р.}(\text{или } K'_{п.р.}) \cdot \eta_{\cap}, \quad (4.27)$$

где η_1 — коэффициент использования светового потока осветительной установки, направленной в нижнюю полусферу; η_{\cup} и η_{\cap} — КПД светильника в нижнюю и верхнюю полусферы; $K_{п.р.}$ и $K'_{п.р.}$ — усредненные зональные множители для светового потока осветительной установки, направленного в верхнюю полусферу, соответственно, для потолочных и подвесных светильников (табл. П20.1).

Все значения переменных в формулу подставляются в относительных единицах.

Коэффициенты использования светового потока для конкретного светильника (группы светильников) в справочных таблицах приводятся, как правило, с учетом их КПД в верхнюю и нижнюю полусферы и в расчет по формуле (4.25) принимаются без каких-либо пересчетов.

Анализ приведенных в справочных таблицах значений коэффициента использования светового потока позволяет сделать заключение — η возрастает при: повышении КПД светильника, особенно в нижнюю полусферу; увеличении площади освещаемого помещения; увеличении коэффициентов отражения поверхностей стен, потолка и рабочей поверхности; приближении формы помещения к квадрату; сужении формы КСС; уменьшении расчетной высоты подвеса светильников. Вклад КПД светильника в верхнюю полусферу (вторая составляющая формулы (4.27)) в значение коэффициента использования светового потока η не существенен, поэтому его значение не всегда учитывают.

Коэффициент минимальной освещенности z вводится для того, чтобы обеспечивать освещенность в любой точке рабочей поверхности не ниже нормируемой. При расчете освещения от светильников с лампами накаливания ДРЛ, ДРИ и ДНаТ $z = 1,15$, с люминесцентными лампами $z = 1,1$, а для всех светильников отраженного света $z = 1,0$.

Порядок расчета по методу коэффициента использования светового потока следующий:

- 1) проверяют применимость метода;
- 2) определяют коэффициенты отражения потолка $\rho_{п}$, стен $\rho_{с}$ и рабочей поверхности $\rho_{р}$ и индекс помещения;
- 3) определяют коэффициент использования светового потока η и вычисляют требуемый световой поток источника света;
- 4) подбирают по таблице выпускаемых промышленностью ламп ближайшую по световому потоку с учетом ограничений (4.18);
- 5) проверяют выполнение условия равномерности освещения рабочей поверхности ($1 \leq L_A/L_B \leq 1,5$ при $L_A > L_B$ или $1 \leq L_B/L_A \leq 1,5$ при $L_B > L_A$).

При расчете осветительных установок с линейными источниками излучения (люминесцентными лампами) после выбора светильника и типа источника света известными величинами являются мощность, количество и световой поток ламп, а после предварительного размещения светильников — число рядов светильников. Поэтому пп. 3 и 4 порядка расчета видоизменяются:

- 3) определяют коэффициент использования светового потока η и вычисляют число светильников в освещаемом помещении;
- 4) определяют число светильников в одном ряду и расстояние между светильниками.

Количество светильников в помещении N_{Σ} определяют по несколько видоизмененной формуле (4.25):

$$N_{\Sigma} = \frac{E_{\min} \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{n_c \cdot \Phi_{л} \cdot \eta}, \quad (4.28)$$

где $\Phi_{л}$ — световой поток лампы принятого типа и мощности, лм.

Тогда число светильников в ряду N_1 и расстояние между ними L_A равны:

$$N_1 = \frac{N_{\Sigma}}{N_2}, \quad (4.29)$$

$$L_A = \frac{A - N_1 \cdot l_c - 2 \cdot l_A}{N_1 - 1}, \quad (4.30)$$

где N_2 — число рядов светильников в помещении; A — длина помещения, м; l_c — длина светильника, м; l_A — расстояние от крайнего светильника в ряду до стены, м.

Количество светильников в ряду N_1 , как правило, округляют в сторону увеличения.

Методом удельной мощности пользуются для приближенного расчета осветительных установок помещений, у которых отсутствуют существенные затенения рабочих поверхностей и к освещению которых не предъявляются особые требования, например, вспомогательные и складские помещения, кладовые, коридоры и т. п. Следует отметить, что данный метод является приближенным и применяется крайне редко.

В основу этого метода положены результаты многочисленных расчетов средних значений мощности источников, приходящихся на 1 м^2 освещаемой поверхности. На основе подобных результатов составлены справочные таблицы (приложение 21), позволяющие при соответствии всех параметров осветительной установки паспортным данным таблиц определить необходимую удельную мощность источников ($p_{уд}$), которая обеспечивает требуемые условия освещения.

К паспортным данным таблиц удельной мощности при лампах накаливания относятся: тип светильников; нормируемая освещенность; коэффициент запаса (при его значениях, отличных от указанных в таблицах, допускается пропорциональный пересчет значений удельной мощности); коэффициенты отражения поверхностей помещения (таблицы рассчитаны для коэффициентов отражения потолка $\rho_{п} = 50 \%$, стен $\rho_{с} = 30 \%$ и рабочей поверхности $\rho_{р} = 10 \%$ (допускается при более светлых поверхностях уменьшать, а при более темных — увеличивать $p_{уд}$ на 10%); напряжение питания источников света (для ламп накаливания — 220 В).

Для газоразрядных ламп высокого и низкого давления сохраняет силу все вышесказанное, но со следующими отличиями: таблицы приводятся только для освещенности 100 лк , так как в данном случае имеет место прямая пропорциональность между E_{\min} и $p_{уд}$; таблицы составлены без учета напряжения сети, к которому подключают источники.

Порядок расчета по методу удельной мощности будет такой:

1. По расчетной высоте подвеса H_p и площади освещаемого помещения S для выбранного типа светильника по справочной таблице определяют табличное значение удельной мощности источника $p'_{уд}$, которое затем корректируют для приведения в соответствие всех параметров осветительной установки паспортным данным таблиц.

После корректировки получается расчетное значение удельной мощности источников $p_{уд}$. Таким образом, при расчете осветительной установки с лампами накаливания имеем:

$$p_{уд} = p'_{уд} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (4.31)$$

где K_1 — коэффициент приведения коэффициента запаса к табличному значению; K_2 — коэффициент приведения коэффициентов отражения поверхностей помещения к табличному значению; K_3 — коэффициент приведения напряжения питания источников к табличному значению.

Формула для корректировки расчетного значения удельной мощности газоразрядных источников высокого и низкого давления может быть представлена в виде:

$$p_{уд} = p'_{уд} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{E_{\min}}{100}. \quad (4.32)$$

Для удлиненных помещений ($A > 2,5B$) табличную удельную мощность $p'_{уд}$ находят для условной площади $2B^2$.

2. Расчетную единичную мощность источника определяют по формуле:

$$P_p = \frac{p_{уд} \cdot S}{N_{\Sigma} \cdot n_c}. \quad (4.33)$$

3. По расчетной мощности лампы P_p с учетом шкалы мощностей выпускаемых промышленностью источников света выбирают подходящую лампу, чтобы

$$0,9P_p \leq P_{л} \leq 1,2P_p. \quad (4.34)$$

Если осветительная установка состоит из отдельных светильников с люминесцентными лампами, а соотношение их размеров и расстояний до рабочей поверхности позволяет отнести излучатели к точечным (длина светильника не превышает половины расчетной высоты подвеса), то для расчета осветительных установок могут быть применены методы коэффициента использования светового потока и удельной мощности.

По методу коэффициента использования светового потока число светильников с люминесцентными лампами в освещаемом помещении определяют формуле:

$$N_{\Sigma} = \frac{p_{уд} \cdot S}{P_{л} \cdot n_c} \quad (4.35)$$

Далее, определив число светильников в ряду N_1 (4.29) и расстояние между ними L_A (4.30), komponуют осветительную установку в соответствии со строительным модулем помещения.

При изготовлении осветительных установок важно, чтобы они соответствовали требованиям ТКП 45-2.04-153-2009 не только по минимальным значениям освещенности рабочих поверхностей, но и по другим параметрам, в частности, регламентируемым качественным показателям: дискомфорта и ослепленности, коэффициента пульсации и цилиндрической освещенности.

4.7. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ, СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК, ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ ДОРОГ И УЛИЦ

Искусственное освещение производственных территорий, строительных площадок, проезжей части дорог, улиц и других открытых пространств выполняется светильниками наружного освещения или прожекторами. Безусловных преимуществ ни один из них не имеет, поэтому при обосновании способа освещения в большинстве случаев необходимо руководствоваться показателями технико-экономического сопоставления рассматриваемых вариантов.

Проектирование осветительных установок открытых пространств сводится к обоснованию выбора типов осветительных приборов, нахождению вариантов их оптимального размещения и определению необходимой мощности источников света, обеспечивающих требуемую нормированную освещенность (приложение 22).

4.7.1. Прожекторное освещение

При освещении открытых пространств большой площади и невозможности или нежелательности установки опор достаточно широкое распространение получили прожекторы (рис. 4.6), устанавливаемые, как правило, на специально сооружаемых мачтах. Из всего многообразия их типов и модификаций наиболее эффективны прожекторы с газоразрядными лампами высокого давления типов ДРИ,

ДНаТ и ДРЛ. Если не учитывать требования к цветопередаче, то при обосновании выбора источника света прожектора исходят из размеров освещаемого пространства. При размерах до 150 м оптимальным источником является газоразрядная лампа высокого давления (ДРИ, ДНаТ или ДРЛ), до 300 м — лампы накаливания (прожекторные или галогенные) и более 300 м — ксеноновые лампы типов ДКСТ или ДКСТВ. Увеличение радиуса действия достигается применением прожектора с лампой накаливания и особенно специальных прожекторных ламп типа ПЖ. Применение прожектора с газоразрядной лампой высокого давления (ДРИ, ДНаТ или ДРЛ) позволяет получить более равномерное распределение освещенности по освещаемой поверхности.

Основными координатами, определяющими положение прожектора в пространстве, являются высота установки H_p , угол наклона Θ его оптической оси к горизонту и угол между проекцией оптической оси и условным направлением начала отсчета. Наименьшая высота установки прожектора по условиям максимального ограничения его слепящего действия определяется по формуле:

$$H_p \geq \sqrt{\frac{I_{\max}}{M}}, \quad (4.36)$$

где I_{\max} — осевая сила света прожектора, кд (табл. 4.19); H_p — расчетная высота установки прожектора, м; M — постоянная, зависящая от нормированной освещенности на объекте, кд · м⁻² (табл. 4.20).

Таблица 4.19

Значение осевой силы света для прожекторов, эксплуатируемых в сельскохозяйственном производстве

Тип прожектора	Тип лампы	I_{\max} , ккд
ПЗС-45	ДРЛ-700	30
	ДРЛ-400	14
	ДРИ-700	600
	Г220-1000	130
ПЗС-35	Г220-500	50
ПЗС-25	Г220-200	16
ПЗМ-35	Г220-500	40
ПЗМ-25	Г220-200	10

Тип прожектора	Тип лампы	I_{\max} , ккд
ПКН-1500-1	КГ220-1500	90
ПКН-1500-2	КГ220-1500	45
ПКН-1000-1	КГ220-1000	52
ПСМ-50-1	Г220-1000	120
	ДРЛ-700	52
	ДРЛ-400	20
ПСМ-50-2	ПЖ220-1000	640
ПСМ-40-1	Г220-500	70
ПСМ-40-2	ПЖ220-500	280
ПСМ-30-1	Г220-200	33
ПЗР-400	ДРЛ-400	19
ПЗР-250	ДРЛ-250	11
	Г220-1000	130

Таблица 4.20

К определению минимально допустимой высоты установки прожектора¹¹

Нормируемая освещенность, лк	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	10,0	30,0	50,0
M , кд · м ⁻²	100	150	250	300	400	700	2100	3500

При изменении угла наклона оптической оси прожектора значительно изменяются освещенность, форма и площадь светового пятна, им создаваемого. Угол наклона прожектора, при котором площадь светового пятна, ограниченная кривой одинаковой заданной освещенности — изолюксой, имеет максимальное значение при наименьшей установленной мощности источника, называют наивыгоднейшим. Его значения для прожекторов ПЗС-35 и ПЗС-45 в зависимости от произведения $e \cdot H_p^2$ приведены в табл. 4.21, где e — значение освещенности, соответствующее принятой изолюксе.

¹¹ При совпадении направлений осевых сил света нескольких прожекторов допустимые значения M каждого прожектора определяются путем деления табличного значения на число прожекторов.

Значения наивыгоднейших углов наклона оптической оси прожекторов, соответствующие произведению $e \cdot H_p^2$

Тип прожектора	Мощность и номинальное напряжение лампы	Наивыгоднейшие углы наклона оптической оси, град.							
		8	10	12	15	18	21	24	27
		Значения произведения $e \cdot H_p^2$, лк · м ²							
ПЗС-45	1000 Вт, 200 В	150... 200	200... 280	260... 430	430... 600	600... 1000	1000... 1800	1800... 3000	3000... 4500
ПЗС-35	500 Вт, 220 В	75... 120	120... 180	180... 300	300... 420	420... 680	680... 900	900... 1400	1400... 2000

Расчет прожекторного освещения горизонтальных поверхностей, как правило, осуществляют *методом компоновки изолюкс*. Рабочей характеристикой прожектора в данном методе являются справочные значения изолюкс, создаваемые прожектором на условной плоскости, перпендикулярной оптической оси и удаленной от прожектора на 1 м (рис. 4.12). Для прожекторов с неодинаковым светораспределением вверх и вниз от оптической оси кривые изолюкс приводятся в двух квадрантах.

Координаты расчетных точек $M(x,y)$ на горизонтальной плоскости и $m(\xi,\eta)$ на условной плоскости и их освещенности e и ε связаны соотношениями (рис. 4.13):

$$y = \eta \cdot \rho \cdot H_p \text{ и } \varepsilon = e \cdot \rho^3 \cdot H_p^2. \quad (4.37)$$

Координаты, так же как и входящие в формулу значения вспомогательных коэффициентов ρ и ρ^3 , определяют с помощью справочных данных (приложение 23). При этом если для принятого типа прожектора изолюксы на условной плоскости приведены в двух квадрантах, то значения, не выделенные цветом ячеек, относятся к нижнему квадранту.

Для проведения расчетов изготавливают шаблоны с кривыми изолюкс, которые накладывают друг на друга, добиваясь полного

равномерного без пропусков перекрытия всей освещаемой площади и избегая излишнего перекрытия одних световых пятен другими.

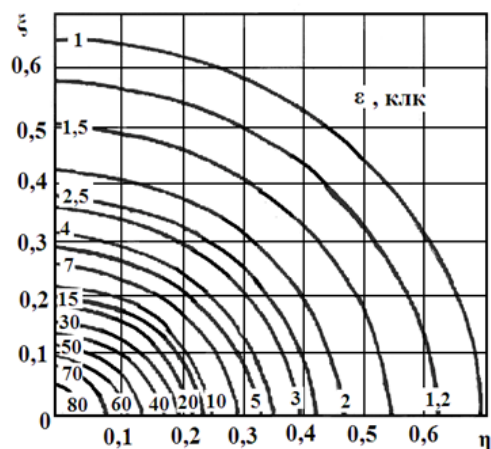


Рис. 4.12. Изолюксы на условной плоскости для прожектора ПЗС-45 с лампой Г215-225-1000

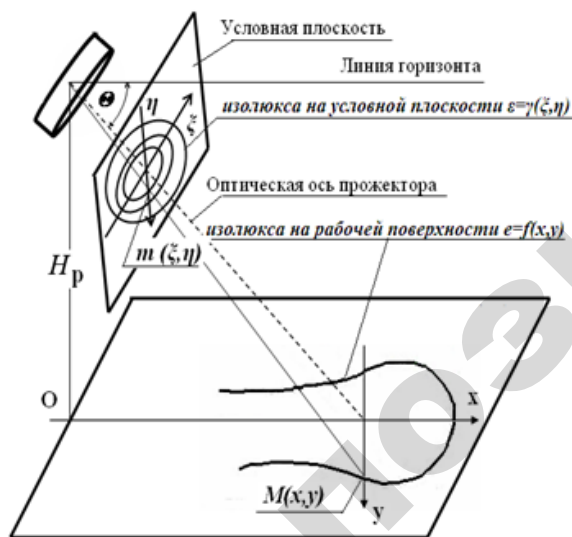


Рис. 4.13. Иллюстрация технологии построения изолюксы на рабочей поверхности

При изготовлении шаблона освещенность при построении изолюксы определяется количеством накладываемых в рассматриваемую точку освещаемой поверхности световых пятен от разных прожекторов для обеспечения требуемой освещенности. При однослойной компоновке, когда располагаются, соприкасаясь друг с другом, световые пятна только двух прожекторов, освещенность изолюксы должна быть равна:

$$e \approx \frac{E_{\min} \cdot K_3}{2}, \quad (4.38)$$

где E_{\min} — нормируемая освещенность освещаемой поверхности; K_3 — коэффициент запаса, принимаемый равным 1,5.

Когда в освещаемую точку приходится направлять несколько световых пятен, накладывая их друг на друга, что имеет место в случае необходимости обеспечения высокой освещенности освещаемой поверхности, освещенность изолюксы можно приближенно определить по формуле:

$$e \approx \frac{E_{\min} \cdot K_3}{2n + 1}, \quad (4.39)$$

где n — число накладываемых друг на друга световых пятен (исходных изолюк от одного прожектора).

Отметим, что расчет прожекторного освещения методом компоновки изолюк довольно трудоемок. В этом случае рациональнее применять современные информационные технологии, базирующиеся на компьютерной технике и специальном программном обеспечении.

Приближенно необходимую мощность прожекторной осветительной установки можно определить методом удельной мощности, воспользовавшись формулой:

$$N = \frac{P_{\text{уд}} \cdot S}{P_{\text{л}}}, \quad (4.40)$$

где N — количество прожекторов, необходимое для создания на расчетной поверхности заданной освещенности, шт; $P_{\text{уд}}$ — значение удельной мощности, Вт · м⁻²; S — площадь освещаемой поверхности, м²; $P_{\text{л}}$ — мощность лампы в принятом типе прожектора, Вт.

Значение удельной мощности прожекторного освещения определяют по справочным данным (табл. 4.22) или по формуле:

$$P_{уд} = m \cdot E_{min} \cdot K_3, \quad (4.41)$$

где m — коэффициент, определяемый по табл. 4.23 в зависимости от нормированной освещенности, типа прожектора и источника света.

Таблица 4.22

Ориентировочные значения удельной мощности прожекторного освещения

Источник света	Ширина освещаемой площадки, м	Удельная мощность общего освещения, Вт · м ⁻² , при нормируемой минимальной освещенности, лк				
		0,5	1	2	5	10
Лампы накаливания	75...150	0,85	0,75	0,85	2,10	4,00
	151...300	0,40	0,65	0,70	1,70	3,20
Галогенные лампы накаливания	75...125	0,18	0,45	0,55	1,40	2,70
	126...300	0,15	0,25	0,40	1,00	2,00
Лампы ДРЛ	75...250	0,20	0,35	0,50	1,20	2,00
	251...300	0,10	0,30	0,45	1,00	1,80
Лампы ДРИ	75...150	0,18	0,25	0,50	0,70	1,30
	151...350	0,13	0,15	0,20	0,45	0,80

Таблица 4.23

Ориентировочные значения коэффициента m

Тип лампы	Тип прожектора	Ширина освещаемой площадки, м	Нормируемая освещенность, лк	
			0,5...1,5	2,0...10,0
Лампа накаливания	ПЗС, ПСМ	75...150	0,90	0,30
		175...300	0,50	0,25
Галогенная лампа накаливания	ПКИ	75...125	0,35	0,20
		150...300	0,20	0,15
Лампа ДРЛ	ПЗС, ПЗМ	75...250	0,25	0,13
		275...350	0,30	0,15
Лампа ДРИ	ПЗС, ПСМ	75...150	0,30	0,10
		175...350	0,16	0,06

Далее, исходя из размеров освещаемой поверхности, ее особенностей и назначения, определяют число и место расположения прожекторных мачт, а также число прожекторов, подлежащих установке на каждой из них. При проектировании расположения мачт с прожекторами следует учесть, что к основанию мачты примыкает

затемненное пространство, ограниченное для большинства прожекторов радиусом примерно $H_p \cdot \operatorname{tg}(45 - \Theta)^\circ$.

4.7.2. Освещение открытых пространств светильниками

При освещении открытых узких полос (улиц, дорог, проходов между зданиями и т. п.) при нормированной освещенности 4 лк и более применяют светильники наружного освещения, как правило, с газоразрядными лампами высокого давления ДРЛ, ДРИ и ДНаТ (рис. 4.5). Во всех остальных случаях, включая охранное и декоративное освещение территорий, в качестве источника света могут использоваться лампы накаливания, газоразрядные лампы низкого давления. Светильники со светодиодными источниками света из-за их высокой стоимости рекомендуется применять только для декоративного освещения зданий, архитектурных сооружений и территорий.

Для ограничения слепящего действия установок наружного освещения на площадках промышленных предприятий и местах проведения работ, расположенных вне зданий, высоту установки светильников, согласно ТКП 45-2.04-153-2009, выбирают:

— для светильников с защитным углом менее 15° — не менее значений, указанных в табл. 4.24;

Таблица 4.24

Наименьшая высота установки светильников наружного освещения

Светораспределение светильников	Наибольший световой поток ламп в светильниках, установленных на одной опоре, лм	Наименьшая высота установки светильников, м	
		с лампами накаливания	с газоразрядными лампами
полуширокое	менее 5000	6,5	7,0
	5000...10000	7,0	7,5
	10000...20000	7,5	8,0
	20000...30000	—	9,0
	30000...40000	—	10,0
	свыше 40000	—	11,5
широкое	менее 5000	7,0	7,5
	5000...10000	8,0	8,5
	10000...20000	9,0	9,5
	20000...30000	—	10,5
	30000...40000	—	11,5
	свыше 40000	—	13,0

— для светильников с защитным углом более 15° — не менее 3,5 м при любых источниках света.

Не ограничивается высота подвеса светильников с защитным углом 15° и более (или с рассеивателями из молочного стекла) на площадках для прохода людей или обслуживания технологического оборудования, а также у входа в здание. Венчающие светильники рассеянного света должны устанавливаться на высоте не менее 3 м над уровнем земли при световом потоке источника света до 6000 лм и на высоте не менее 4 м при световом потоке свыше 6000 лм.

Рекомендации по расположению светильников на плане освещаемой территории или дороги приведены в табл. 4.25.

Таблица 4.25

Рекомендуемые способы расположения светильников для улиц и дорог

Способ расположения светильников	Ширина проезжей части (освещаемой полосы), м, не более
На опорах с одной стороны проезжей части	12
В один ряд на тросах по оси проезжей части	18
На опорах с двух сторон проезжей части в шахматном порядке	24
То же в прямоугольном порядке	48
С двух сторон опор, расположенных в один ряд на разделительной полосе проезжей части	24
В два ряда, на тросах, по оси движения в шахматном порядке	36

Расчет освещенности, создаваемой светильниками наружного освещения, может производиться методами коэффициента использования светового потока и точечным. Средняя освещенность E_{cp} , создаваемая осветительной установкой по методу коэффициента использования светового потока, определяется по формуле:

$$E_{cp} = \sum_{i=1}^N \frac{\Phi_{ли} \cdot \eta_i}{L \cdot b \cdot K_3} \quad (4.42)$$

Пролет между опорами для создания нормируемой освещенности E_{min} равен:

$$L = \sum_{i=1}^N \frac{\Phi_{ли} \cdot \eta_i}{E_{min} \cdot b \cdot K_3} \quad (4.43)$$

где $\Phi_{ли}$ — световой поток всех ламп, установленных на опоре, лм; K_3 — коэффициент запаса, для ламп накаливания принимается равным 1,3, а для газоразрядных ламп — 1,5; b — ширина освещаемой площадки, м; L — расстояние между опорами, м; N — число рядов осветительных приборов вдоль освещаемой полосы.

Коэффициент использования светового потока зависит от положения светильников на освещаемой полосе (рис. 4.14) и определяется по табл. 4.26 в зависимости от значения отношения b/H_p . Для случая, когда светильники размещены вдоль оси освещаемой полосы и $b_1 = b_2$, суммарный коэффициент использования светового потока одного ряда осветительных приборов $\eta = 2 \cdot \eta_1$, а при $b_1 \neq b_2$ — $\eta = \eta_1 + \eta_2$. Для случая, когда светильники размещены вне освещаемой полосы, $\eta = \eta_1 - \eta_2$, при этом η_1 соответствует b_1/H_p , η_2 — b_2/H_p .

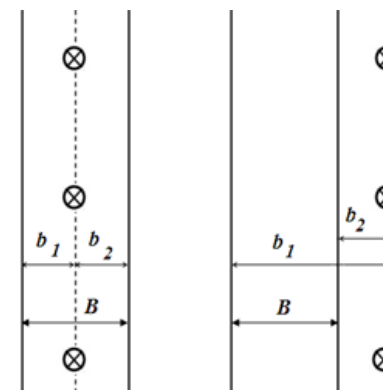


Рис. 4.14. К определению коэффициента использования светового потока

Таблица 4.26

Значения коэффициента использования светового потока светильников наружного освещения, отн. ед.

Тип светильника	Отношение ширины освещаемой полосы по одну сторону от ряда светильников к высоте их подвеса, b/H_p				
	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0
1	2	3	4	5	6
РКУ01	0,15	0,22	0,27	0,29	0,30
ЖКУ01	0,17	0,29	0,34	0,35	0,35

Окончание табл. 4.26

1	2	3	4	5	6
РКУ02, ГКУ02, ЖКУ02	0,18	0,28	0,33	0,34	0,35
PCY05, ГСУ05, ЖСУ05	0,14	0,24	0,26	0,29	0,30
СЗПР-250-МН	0,10	0,19	0,22	0,24	0,25
СПОР-250В, СПОГ-250	0,10	0,18	0,24	0,28	0,28
СКЗПР-400	0,11	0,19	0,25	0,29	0,30
СПО-200	0,11	0,14	0,24	0,29	0,33
СПЗЛ	0,09	0,16	0,19	0,21	0,22
СКЗЛ	0,10	0,13	0,20	0,22	0,24
РТУ01	0,10	0,13	0,15	0,16	0,16
РТУ02	0,09	0,13	0,14	0,14	0,14
РТУ04	0,10	0,13	0,14	0,15	0,15
РТУ05	0,05	0,09	0,14	0,14	0,14

Необходимое число светильников N_{Σ} , располагаемых равномерно по периметру больших площадей, рассчитывается по формуле:

$$N_{\Sigma} = \frac{E_{\min} \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot \Phi_{\text{л}}} \quad (4.44)$$

Коэффициент использования светового потока в этом случае определяется для отношения $b/H_p = 5$.

Расчет освещенности точечным методом производят с использованием кривых относительной освещенности ε по формуле:

$$\sum \Phi_{\text{ли}} = \frac{1000 \cdot E_{\min} \cdot K_3 \cdot H_p^2}{\sum \varepsilon} \quad (4.45)$$

где $\sum \varepsilon$ — сумма относительной освещенности в контрольной точке, лк.

Форма представления кривых относительной освещенности приведена на рис. 4.15, расположение контрольных точек для характерных схем размещения светильников при освещении улиц и дорог — на рис. 4.16.

Расчет по формуле (4.45) обычно производят в следующей последовательности. Задают мощность источника света и определяют суммарную относительную освещенность

$$\sum \varepsilon = \frac{1000 \cdot E_{\min} \cdot K_3 \cdot H_p^2}{\sum \Phi_{\text{ли}}} \quad (4.46)$$

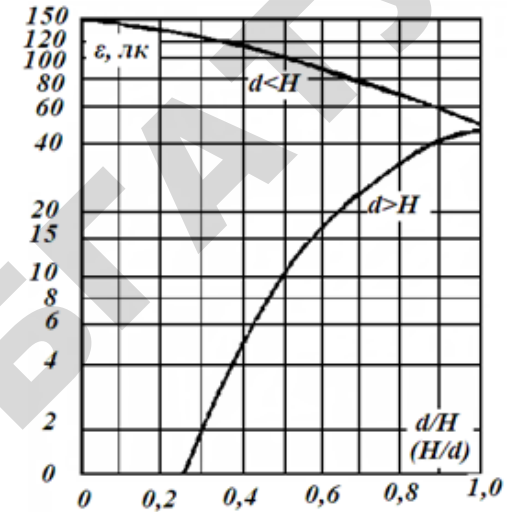


Рис. 4.15. Пример представления кривых относительной освещенности (светильник СПО-200)

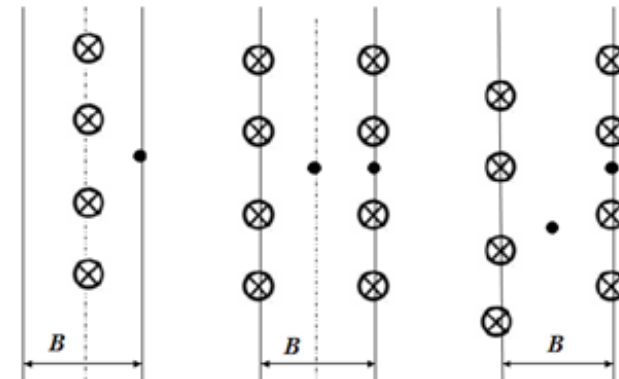


Рис. 4.16. Расположения точек минимальной освещенности при различных схемах расстановки светильников

Разделив $\sum \varepsilon$ на число равно освещающих точку светильников, определяют ε . По известному значению ε и принятому типу светильника по кривым относительной освещенности определяют значение отношения d/H_p , где d — кратчайшее расстояние от рассмат-

риваемой точки до точки проекции светильника на освещаемую горизонтальную поверхность. Далее, зная высоту подвеса H_p и ширину освещаемой полосы B , отыскивают значение d и расстояние между светильниками L .

Если же требуется определить мощность ламп, необходимую для создания требуемой минимальной освещенности, то расчет ведут по формуле (4.46). По известным значениям L , d и H_p определяют d/H_p и по кривым относительной освещенности находят значение ε . Далее определяют $\sum \varepsilon$, необходимый световой поток ламп $\sum \Phi_{ли}$ и подбирают лампу.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На какие классы подразделяют сельскохозяйственные помещения (зоны в помещениях и на открытых пространствах) по условиям воздействия окружающей среды на электро- и светотехническое оборудование, по взрыво- и пожароопасности, опасности поражения людей электрическим током?

2. Что Вам известно о классификации электро- и светотехнических изделий и оборудования по степени защиты от попадания посторонних твердых тел, пыли и влаги, климатическому исполнению и категориям размещения в помещениях (на открытом воздухе), в том числе пожаро- и взрывоопасных?

3. Расскажите об устройстве, классификации (по светораспределению, форме КСС, способу установки), характеристиках, условном обозначении и номенклатуре светильников.

4. Какие параметры положены в основу нормирования искусственного освещения помещений, зданий и сооружений, мест производства работ вне зданий, территорий? Какие известные Вам нормативные документы регламентируют нормы минимальной освещенности?

5. Какие качественные показатели обеспечения условий видимости регламентируются нормами искусственного освещения? Как обеспечивается выполнение этих показателей при проектировании осветительных установок?

6. Приведите последовательность рассмотрения и содержание вопросов при проектировании светотехнической части установки искусственного освещения.

7. По каким параметрам осуществляется выбор типа светильников и их размещение в помещении при проектировании осветительной установки? Приведите основные расчетные формулы.

8. Как осуществляется расчет осветительной установки точечным методом (пространственных или линейных изолукс, методами коэффициента использования светового потока и удельной мощности)? Приведите основные расчетные формулы.

9. Расскажите особенности расчета осветительной установки, выполненной светильниками с люминесцентными лампами, мето-

дами линейных изолукс (коэффициента использования светового потока и удельной мощности), приведите основные расчетные формулы.

10. Как осуществляется проектирование и расчет осветительной установки при освещении открытых пространств прожекторами? Приведите основные расчетные формулы.

11. Как осуществляется проектирование и расчет осветительной установки, выполненной светильниками, при освещении открытых пространств? Приведите основные расчетные формулы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Цель работы. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и основные характеристики светильников, методику определения их светотехнических параметров.

Задачи работы:

1. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и основные характеристики представленных в лаборатории осветительных приборов.

2. Экспериментально определить распределение светового потока светильников в нижнюю и верхнюю полусферы, их класс светораспределения, форму КСС и КПД.

3. По результатам исследований классифицировать светильники по светотехническим характеристикам и условиям защиты от окружающей среды, привести их условное обозначение в соответствии с приведенной в § 4.3.1 структурой.

Общие сведения. Устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру, основные характеристики светильников изучить по изложенному выше теоретическому материалу и рекомендованной литературе.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, изучить:

— устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру и основные характеристики светильников;

— методику определения основных характеристик светильников (светового потока в нижнюю и верхнюю полусферы, класса светораспределения, формы КСС и КПД) и их классификации по светотехническим характеристикам;

— структуру условного обозначения светильников.

2. В соответствии с требованиями подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, в ко-

торой привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, обозначении и основных характеристиках светильников, схеме экспериментального стенда для проведения исследований, формы таблиц для регистрации результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению работы:

1. Изучить устройство экспериментального стенда для определения светового потока светильников, класса их светораспределения, формы КСС и КПД (рис. Л5.1).

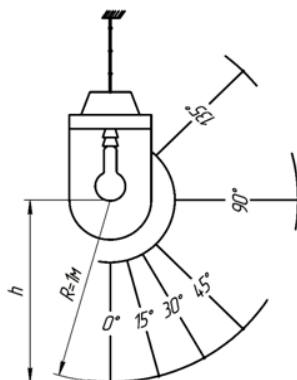


Рис. Л5.1. Схема экспериментальной установки

2. По представленным в лаборатории натурным образцам ознакомиться с устройством, принципом действия, обозначением и основными характеристиками осветительных приборов. Результаты ознакомления с устройством светильников представить по форме табл. Л5.1.

3. На лабораторном экспериментальном стенде исследовать светораспределение заданных преподавателем светильников. Для чего исследуемые светильники подвесить на специально предназначенный для этой цели крюк в затемненном пространстве на высоте $h = 1$ м над фотоэлементом люксметра. Включить светильник в сеть (напряжение должно быть равно номинальному напряжению примененного источника).

Перемещая при помощи специального рычага фотоэлемент люксметра вокруг светильника по окружности радиусом $r = 1$ м, измерить в заданных точках пространства создаваемую светильником освещенность. Результаты измерений записать в табл. Л5.2.

Характеристики конструкции осветительных приборов

Наименование осветительного прибора	Тип осветительного прибора	Источник света		Выполнение, материал			Наличие уплотнения	
		тип	кол-во	корпус	рассеиватель	отражатель	токоподводящего устройства	между отражателем и рассеивателем

Таблица Л5.2

Распределение светового потока светильника в пространстве

Угол направления (измерения) света α , град	Измерено		Вычислено
	Освещенность E_{α} , лк	Сила света I_{α} , кд	
0°			
5°			
15°			
25°			
...			
180°			

4. По результатам измерений рассчитать силу света I_{α} в исследуемых точках пространства, световой поток в нижнюю Φ_{\downarrow} и верхнюю Φ_{\uparrow} полусферы и КПД светильника. Результаты расчетов записать в соответствующие ячейки табл. Л5.2...Л5.4.

5. По результатам расчетов (табл. Л5.2) построить кривые силы света для исследованных светильников $I_{\alpha} = f(\alpha)$.

6. По результатам ознакомления с устройством (п. 2) классифицировать исследованные светильники и привести их условные обозначения. Результаты представить по форме табл. Л5.4.

7. Исследовать равномерность освещенности, создаваемой щелевым световодом на расчетной поверхности. Для чего включить КОУ в сеть и после разгорания лампы (примерно через 5 минут),

перемещая фотоэлемент по заданной преподавателем поверхности под КОУ, измерить в заданных точках создаваемую им освещенность.

Таблица Л5.3

Распределение светового потока светильника в нижнюю и верхнюю полусферы

Параметры	Угол направления света, град							
	Нижняя полусфера				Верхняя полусфера			
	0...10	10...20	...	80...90	90...100	100...110	...	170...180
Световой поток в телесном угле, лм								
Световой поток в нижнюю и верхнюю полусферы, лм								
Световой поток светильника Φ_{Σ} , лм								
Световой поток лампы в светильнике $\Phi_{\text{л}}$, лм								
КПД светильника, %								

Примечание. Световой поток лампы в светильнике определить по каталогу.

Таблица Л5.4

Классификация исследованных светильников

Условное обозначение светильника	Класс по светораспределению	Типовая кривая силы света	Защитный угол	КПД, %	Степень защиты	
					от пыли	от влаги

Далее измерить освещенность в заданных точках (фоновую освещенность) при отключенной осветительной установке. Результаты измерений записать в табл. Л5.5 и по ним рассчитать освещенность на расчетной поверхности, создаваемую осветительной установкой. Построить кривую распределения освещенности на расчетной поверхности $E = f(l)$.

Таблица Л5.5

Распределение освещенности от КОУ на расчетной поверхности

Расстояние от начала проекции щелевода l , м	Измерено		Вычислено
	Освещенность при включенном КОУ $E_{\text{с}}$, лк	Освещенность при отключенном КОУ $E_{\text{е}}$, лк	Освещенность, создаваемая КОУ, E , лк
0			
0,5			
1,0			
...			
и т. д.			

8. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Методика вычислений:

Вычисление приведенных в табл. Л5.2...Л5.5 расчетных величин рекомендуется производить с использованием следующих формул:

1. Сила света в заданном направлении

$$I_{\alpha} = \frac{E_{\alpha} \cdot l_i}{\cos \beta}, \quad (\text{Л5.1})$$

где β — угол между нормалью к поверхности фотоэлемента люксметра и направлением силы света; l_i — расстояние от светильника до фотоэлемента люксметра, м.

Поскольку для экспериментального стенда параметры $\beta = 0$ и $l_i = h = 1$ м, то при расчете принять $I_{\alpha} = E_{\alpha}$.

2. Коэффициент полезного действия светильника η :

$$\eta = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{л}}} = \frac{\Phi_{\cup} + \Phi_{\cap}}{\Phi_{\text{л}}}. \quad (\text{Л5.2})$$

Значения Φ_{\cup} , Φ_{\cap} и $\Phi_{\text{л}}$ принимаются по данным табл. Л5.3.

3. Световой поток в телесном угле, ограниченном меридианным углом $\Delta\alpha = \alpha_i - \alpha_{i-1}$:

$$\Phi_{\Delta\alpha} = I_{\alpha_i - \alpha_{i-1}} \cdot \omega_{\alpha_i - \alpha_{i-1}}, \quad (\text{Л5.3})$$

где $\omega_{\alpha_i - \alpha_{i-1}}$ — телесный угол, соответствующий меридианному углу (см. приложение 2).

4. Световой поток в нижней и верхней полусферах:

$$\Phi_{\cup} = I_5 \cdot \omega_{0...10} + I_{15} \cdot \omega_{10...20} + \dots + I_{75} \cdot \omega_{70...80} + I_{85} \cdot \omega_{80...90}, \quad (Л5.4)$$

$$\Phi_{\cap} = I_{95} \cdot \omega_{90...100} + I_{105} \cdot \omega_{100...120} + \dots + I_{165} \cdot \omega_{160...170} + I_{175} \cdot \omega_{170...180}. \quad (Л5.5)$$

5. Типовую кривую силы света светильников найти путем построения экспериментальной кривой по данным табл. Л5.2, ее пересчета на световой поток 1000 лм и сравнения со стандартными кривыми, представленными на стенде лабораторной работы, рис. 4.1 и в приложении 9.

6. Защитный угол светильника γ определяется по результатам измерений геометрических размеров светильника (рис. 4.3) и расчета по формуле (4.3).

7. Освещенность, создаваемую КОУ на расчетной поверхности по полученным результатам измерений (табл. Л5.5), определить по формуле:

$$E = E_C - E_E. \quad (Л5.6)$$

Содержание отчета:

1. Название работы.
2. Цель и задачи работы.
3. Краткие сведения об устройстве, принципе действия, обозначении, номенклатуре и основным характеристикам светильников, методике определения их основных характеристик и классификации.
4. Конструктивная схема экспериментального лабораторного стенда.
5. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. Л5.1...Л5.5).
6. Графические зависимости:
 - кривые силы света исследованных светильников $I_{\alpha} = f(\alpha)$;
 - распределения освещенности, создаваемой КОУ на расчетной поверхности $E = f(l)$.
7. Выводы по результатам проделанной работы.

Вопросы для подготовки к защите отчета по лабораторной работе:

1. Какие световые приборы относят к классу светильников (прожекторов, комплектных осветительных устройств)? Приведите их определение.

2. Приведите анализ основных преимуществ и недостатков исполнения осветительных установок с применением светильников, прожекторов и комплектных осветительных устройств в их сопоставлении.

3. Перечислите основные светотехнические характеристики светильников. Поясните их физический смысл и назначение. Приведите методику и расчетные формулы их определения.

4. Поясните методику экспериментального определения кривой силы света светильников. Какие основные расчетные формулы светотехники при этом используются?

5. Как определяются световой поток и класс светораспределения светильников при известной кривой распределения силы света?

6. Каким образом экспериментальным путем можно определить КПД светильника? Приведите методику и используемые при этом расчетные формулы.

7. Какие, на Ваш взгляд, основные пути совершенствования световых приборов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Цель работы. Изучить основные качественные показатели осветительных установок, методику экспериментального определения коэффициента использования светового потока и добавочной освещенности в лабораторных условиях.

Задачи работы:

1. Освоить методику экспериментального определения качественных показателей действующей осветительной установки.
2. Определить освещенность, создаваемую осветительной установкой на горизонтальной поверхности макета бытового помещения, построить кривые изолукс и получить расчетное значение коэффициента неравномерности освещенности.
3. Определить коэффициенты добавочной освещенности и использования светового потока осветительной установки макета помещения и оценить влияние на них цвета поверхностей (стен, потолка, пола).

Общие сведения. Нормативные качественные показатели осветительных установок, физический смысл коэффициентов использования светового потока, неравномерности освещенности и добавочной освещенности изучить по изложенному выше теоретическому материалу и рекомендованной литературе.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, изучить нормативные требования к качественным показателям осветительных установок (коэффициентам пульсации освещенности и неравномерности освещенности, показателям ослепленности, дискомфорта и цилиндрической освещенности), их физический смысл и влияние на зрительную работоспособность работающих в помещении.

2. В соответствии с требованиями подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, качественных показателях осветительных установок, схему экспериментального стенда для проведения исследований, формы таблиц для регистрации результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению работы:

1. Изучить устройство экспериментального стенда, приборов и оборудования для определения коэффициентов пульсации освещенности, использования светового потока, неравномерности освещенности и добавочной освещенности (рис. Лб.1 и Лб.2).

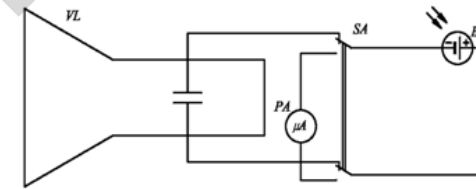


Рис. Лб.1. Схема включения осциллографа для измерения коэффициента пульсации светового потока осветительной установки

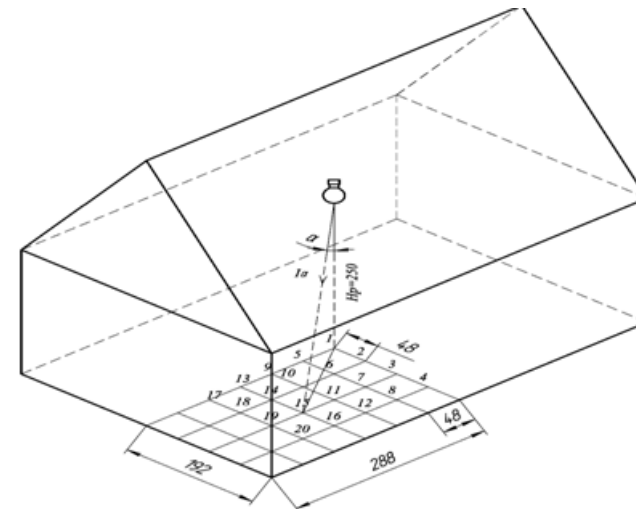


Рис. Лб.2. Месторасположение контрольных точек на макете помещения

2. Измерить пульсацию освещенности, создаваемой действующей осветительной установкой, на лабораторном столе. Для чего включить осциллограф в сеть (рис. Лб.1) и выключателем SA подключить первичный преобразователь люксметра BL к электронной трубке осциллографа. По полученной на экране осциллографа кривой (рис. Лб.3) определить значения E_{\max} и E_{\min} и рассчитать коэффициент пульсации освещенности K_{Π} на исследуемой поверхности по формуле (Лб.1).

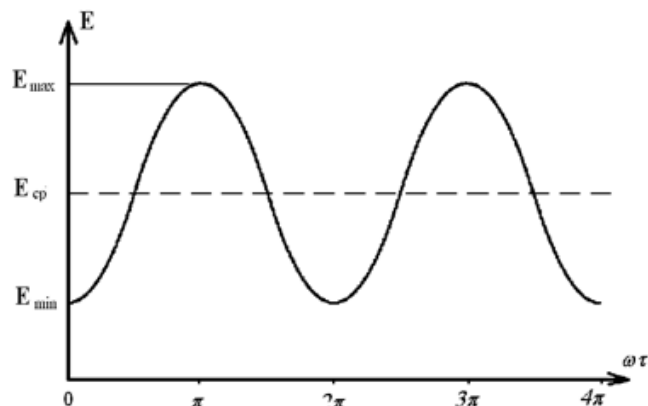


Рис. Лб.3. К расчету коэффициента пульсации светового потока по осциллограмме

По результатам измерений и вычислений сравнить полученное значение коэффициента пульсации освещенности с допустимыми по ТКП 45-2.04-153-2009¹² и сделать вывод о соответствии осветительной установки нормативным требованиям.

3. В заданных преподавателем контрольных точках горизонтальной поверхности на уровне пола макета помещения произвести замеры освещенности. При симметричном расположении светильника относительно продольной и поперечной осей замеры достаточно произвести только в одной четверти макета помещения. Результаты измерений представить по форме табл. Лб.1.

¹² Лаборатория является помещением для выполнения зрительной работы III разряда с нормированной освещенностью на горизонтальной плоскости на расстоянии 0,8 м от пола, равной 300 лк. Допустимые значения коэффициента пульсации освещенности при системах освещения: общей — 15 %; комбинированной — 20 % от системы общего освещения и 15 % от системы местного освещения.

Результаты измерения освещенности в контрольных точках горизонтальной поверхности

Окраска (цвет): потолка, стен и рабочей поверхности	Черная				Белая				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
<u>Номер контрольной точки</u> Освещенность, лк	5	6	7	8	5	6	7	8	
	9	10	11	12	9	10	11	12	
	13	14	15	16	13	14	15	16	
	17	18	19	20	17	18	19	20	
	Среднее значение освещенности, лк								
	Коэффициент неравномерности освещения								

Все измерения повторить при другой окраске потолка, стен и рабочей поверхности, для чего в макете предварительно изменить облицовку их поверхностей (окраска поверхностей краской белого и черного цвета).

Соединив точки с одинаковыми значениями освещенности, для обоих вариантов измерений построить кривые горизонтальных изолукс на уровне пола для всего макета помещения.

4. Воспользовавшись приведенной на рис. Лб.4 кривой распределения силы света установленного в макете светового прибора, вычислить с помощью формулы (Лб.2) значение освещенности $E'_{р.л.}$ в заданных преподавателем контрольных точках и по формуле (Лб.3) определить значение коэффициента добавочной освещенности μ .

5. Изобразить график зависимости коэффициента добавочной освещенности в контрольных точках от расстояния l между ними и стеной $\mu = f(l)$.

6. По среднему значению освещенности горизонтальной поверхности пола макета помещения E_{cp} (табл. Лб.4) определить коэффициент использования светового потока η осветительной установки макета помещения (Лб.4, Лб.5). При расчетах площадь освещаемой поверхности принять равной $0,576 \cdot 0,384 = 0,2212 \text{ м}^2$.

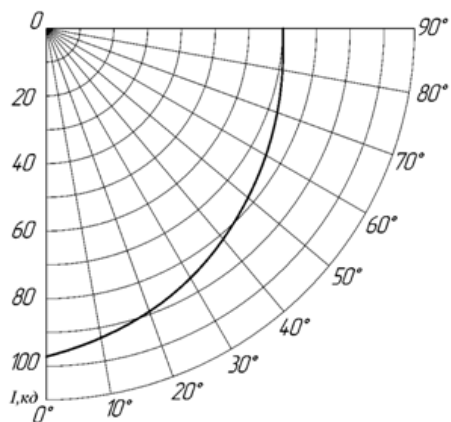


Рис. Л6.4. Кривая распределения силы света светового прибора в макете помещения

Методика вычислений:

Вычисление значений коэффициента пульсации освещенности $K_{П}$, освещенности $E'_{р.п.}$ в контрольных точках, коэффициента добавочной освещенности μ и коэффициента использования светового потока η рекомендуется производить с использованием следующих формул:

1. Коэффициент пульсации освещенности $K_{П}$ на исследуемой поверхности:

$$K_{П} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}. \quad (\text{Л6.1})$$

где E_{\max} и E_{\min} — определяемые по осциллограмме максимальное и минимальное значения освещенности, которые могут быть измерены в отн. ед. или мм.

2. Значение освещенности $E'_{р.п.}$ в контрольной точке горизонтальной поверхности:

$$E'_{р.п.} = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha}{H_p^2}, \quad (\text{Л6.2})$$

где I_{α} — сила света светового прибора в направлении контрольной точки, кд; α — угол между направлением силы света I_{α} и осью

симметрии светового прибора, град; H_p — высота подвеса светового прибора над уровнем пола макета помещения, м.

3. Коэффициента добавочной освещенности μ в контрольной точке:

$$\mu = \frac{E}{E'_{р.п.}}, \quad (\text{Л6.3})$$

где E — определенная экспериментальным путем освещенность в контрольной точке, лк.

4. Коэффициент использования светового потока η :

$$\eta = \frac{\Phi_{р.п.}}{\Phi_{ист}}, \quad (\text{Л6.4})$$

где $\Phi_{ист}$ — световой поток осветительного прибора, лм, определенный по справочным данным для используемого типа источника; $\Phi_{р.п.}$ — световой поток, достигший рабочей поверхности, лм, определяемый как:

$$\Phi_{р.п.} = E_{ср} \cdot S, \quad (\text{Л6.5})$$

где $E_{ср}$ — среднее значение освещенности горизонтальной поверхности пола макета помещения, лк; S — площадь горизонтальной поверхности пола макета помещения, м^2 .

Содержание отчета:

1. Название работы.
2. Цель и задачи работы.
3. Краткие сведения об основных качественных показателях осветительных установок и методике экспериментального определения в лабораторных условиях коэффициентов использования светового потока, добавочной освещенности и пульсации освещенности.
4. Конструктивная схема экспериментального лабораторного стенда.
5. Результаты произведенных измерений и расчетов, включая табл. Л6.1.
6. Графические зависимости:
 - коэффициента добавочной освещенности в контрольных точках от расстояния l между ними и стенкой $\mu = f(l)$;

— кривых горизонтальных изолюкс на уровне пола макета помещения.

7. Выводы по результатам проделанной работы.

Вопросы для подготовки к защите отчета по лабораторной работе:

1. Какие нормируемые ТКП 45-2.04-153-2009 качественные показатели осветительной установки Вы знаете? Поясните их физический смысл и влияние на зрительную работоспособность работающих в помещении.

2. К каким нежелательным ситуациям может привести увеличение значения коэффициента пульсации освещенности осветительной установки? Поясните методику его экспериментального определения.

3. Как оценивается и учитывается коэффициент неравномерности освещенности? Какие основные факторы влияют на его значение?

4. Что характеризует коэффициент использования светового потока осветительной установки? Какие основные факторы влияют на его значение?

5. Как учитывается отраженная составляющая падающего на рабочую поверхность светового потока осветительной установки при точечном методе расчета?

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1.
ПРАВИЛА И НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ
ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

Цель занятия. Ознакомиться с последовательностью рассмотрения вопросов при проектировании светотехнической части осветительной установки. Получить практические навыки выбора источников света, системы и вида освещения, нормируемой освещенности, коэффициента запаса и осветительных приборов, размещения осветительных приборов в освещаемом пространстве.

Задачи занятия:

1. Для заданного преподавателем здания выбрать источники света, системы и виды освещения, нормируемые значения освещенности, коэффициенты запаса и осветительные приборы осветительных установок входящих в него помещений.

2. Разместить принятые для осветительных установок световые приборы в освещаемых помещениях, определить строительные параметры их размещения.

Задание на самостоятельную подготовку к практическому занятию:

По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, изучить:

— последовательность рассмотрения вопросов при проектировании светотехнической части осветительной установки;

— методику выбора источников света, системы и вида освещения, нормируемой освещенности, коэффициента запаса и осветительных приборов;

— методику и порядок проведения расчетов при размещении световых приборов осветительной установки помещения.

Методические указания и последовательность выполнения работы:

1. Получить у преподавателя задание по проектированию светотехнической части осветительной установки в виде строительного плана здания и условий осуществления в его помещениях технологических процессов.

2. При выполнении задания рекомендуется придерживаться такой последовательности рассмотрения основных взаимосвязанных вопросов:

- выбрать источник света для светового прибора осветительной установки (§ 4.5.1);
- определиться с системой и видом освещения (§ 4.5.2);
- для осветительной установки подобрать значения нормируемой освещенности и коэффициента запаса, а при необходимости и нормируемые значения качественных параметров (глава 4.4 и § 4.5.3);
- для осветительной установки подобрать оптимальный световой прибор (§ 4.5.4);
- разместить световые приборы в освещаемом пространстве помещения и определить строительные параметры их размещения при установке (§ 4.5.5).

3. По форме табл. П1.1 привести исходные данные к проектированию светотехнической части осветительной установки.

Таблица П1.1

Исходные данные к проектированию светотехнической части осветительной установки

№ на плане	Наименование и размеры (длина, ширина и высота, м) помещений	Характеристика поверхностей	
		стен	потолка

4. Для каждого освещаемого помещения здания выбрать источник света, систему и вид освещения, значения нормируемой освещенности и коэффициента запаса, а также световой прибор (светильник). Результаты принятых решений представить по форме табл. П1.2.

Таблица П1.2

Результаты выбора световых приборов для осветительных установок

№ по плану и наименование помещения	Категория среды	E, лк	K _з	Плоскость*	Система освещения	Вид освещения	Светильник		
							тип	KCC	IP

* Рабочая поверхность (Г — горизонтальная, В — вертикальная), на которой нормируется освещенность и ее расстояние от пола (м).

5. В каждом освещаемом помещении здания разместить световые приборы (светильники) и определить строительные параметры их размещения при установке. Результаты принятых решений представить по форме табл. П1.3.

Таблица П1.3

Строительные параметры размещения светильников в осветительных установках помещений

№ по плану и наименование помещения	H _р , м	Количество, шт.			Расстояние, м			
		N ₁	N ₂	N _Σ	L _A	L _B	l _A	l _B

6. Привести схемы размещения осветительных приборов в каждом освещаемом помещении здания.

Вопросы для подготовки к защите выполненного задания:

1. Назовите последовательность рассмотрения вопросов при проектировании осветительных установок.
2. Какие источники света рекомендуются нормативными документами для осветительных установок сельскохозяйственных предприятий?
3. Какие системы освещения применяют в осветительных установках и как производят их выбор?
4. Назовите известные вам виды освещения и укажите, в каких осветительных установках их применяют.
5. Как определяют требуемый уровень освещенности рабочих поверхностей производственных, административных, бытовых и сельскохозяйственных помещений?
6. Поясните физический смысл коэффициента запаса осветительной установки и методику определения его нормативного значения.

7. Какие требования учитывают при выборе светильников для осветительной установки?

8. Какие категории помещений по условиям окружающей среды Вам известны? Приведите конкретные примеры сельскохозяйственных помещений, относящихся к каждой из приведенных Вами категорий.

9. Поясните физический смысл светотехнического и энергетического наивыгоднейших относительных расстояний между светиль-

никами. Как они определяются применительно к конкретной осветительной установке?

10. Поясните понятие расчетной высоты подвеса светильников и приведите расчетную формулу для ее вычисления.

11. Приведите формулы для определения числа рядов светильников, количества светильников в одном ряду и общего количества светильников в осветительной установке помещения.

12. Приведите формулы для определения строительных параметров при размещении светильников в помещении.

13. Приведите отличительные особенности расчетов при размещении световых приборов с линейными и точечными излучателями в помещениях.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК МЕТОДОМ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Цель занятия. Ознакомиться с последовательностью рассмотрения вопросов и получить навыки расчета осветительных установок методом удельной мощности.

Задачи занятия:

1. Освоить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете осветительной установки помещений методом удельной мощности.

2. Произвести расчет осветительных установок помещений в заданном преподавателем здании методом удельной мощности.

Задание на самостоятельную подготовку к практическому занятию:

По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, изучить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете осветительной установки помещений методом удельной мощности, расчетные формулы и способы определения необходимых для проведения расчетов справочных значений параметров.

Методические указания и последовательность выполнения работы:

1. По выданному преподавателем заданию методом удельной мощности произвести светотехнический расчет осветительных установок, выполненных с использованием разных типов источников (ламп накаливания, люминесцентных, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ). Результаты расчетов представить в виде табл. П2.1.

2. При выполнении задания к практическому занятию следует придерживаться следующей последовательности рассмотрения основных взаимосвязанных вопросов (глава 4.6):

— проверить применимость метода;

— определить табличное значение удельной мощности (см. приложение 21);

— определить коэффициенты отражения потолка $\rho_{\text{п}}$, стен $\rho_{\text{с}}$, рабочей поверхности $\rho_{\text{р}}$ в рассчитываемом помещении (см. табл. 4.18);

Таблица П2.1

Результаты светотехнического расчета осветительных установок помещений методом удельной мощности

№ по плану и наименование помещения	E	K ₃	Поверхность с нормируемой освещенностью*	Тип светильника	H _р	Количество светильников, шт.			Расстояние между светильниками и рядами светильников, м				
						N ₁	N ₂	N _Σ	L _A	L _B	l _A	l _B	

Продолжение табл. П2.1

p' _{уд}	p _{уд}	K ₁	K ₂	K ₃	Источник света	
					тип	мощность, Вт

* Рабочая поверхность (Г — горизонтальная, В — вертикальная), на которой нормируется освещенность, и расстояние между ней и полом (м).

Примечание. E — нормируемая освещенность на рабочей поверхности, лк; K₃ — коэффициент запаса, отн. ед.; H_р — расчетная высота подвеса светильников, м; N₁, N₂ и N_Σ — количество рядов светильников, светильников в ряду и в помещении, шт.; L_A, L_B, l_B и l_A — расстояния между светильниками в ряду и рядами светильников, от стены до ближайшего ряда и ближайшего светильника в ряду, м; p'_{уд} и p_{уд} — табличное (справочное) и расчетное значения удельной мощности источников, Вт · м⁻²; K₁, K₂ и K₃ — коэффициенты приведения коэффициента запаса, коэффициентов отражения поверхностей помещения и коэффициента приведения напряжения питания источников к табличному значению.

— определить расчетное значение удельной мощности по формуле (4.31) или (4.32).

— и далее:

а) для точечных излучателей:

- определить расчетную мощность лампы (4.33);
- подобрать лампу, ближайшую по мощности, с учетом установленных требований (4.34) по таблице выпускаемых промышленностью ламп (приложения 3, 5);
- проверить допустимость установки лампы в выбранный световой прибор.

б) для линейных излучателей:

- определить суммарное количество светильников в помещении (4.35);

- определить число светильников в ряду N₁ (4.29);
- определить расстояние между светильниками в ряду L_A (4.30);
- проверить выполнение требований по расположению светильников в ряду:

$$0 \leq L_A \leq 1,5L_B, \quad (\text{П2.1})$$

где L_B — расстояние между рядами светильников, м (4.14).

Вопросы для подготовки к защите выполненного задания:

1. В каких случаях для расчета осветительных установок может быть применен метод удельной мощности?
2. Какие исходные данные приняты при составлении таблиц удельной мощности для светильников с люминесцентными лампами, лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ?
3. Напишите формулу для определения расчетного значения удельной мощности осветительной установки со светильниками с люминесцентными лампами, лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ.
4. Напишите формулу для определения расчетной мощности источника света по методу удельной мощности.
5. Исходя из каких условий выбирают источник света при известном значении расчетной мощности?
6. Назовите особенности расчета осветительных установок с люминесцентными лампами методом удельной мощности. Изменяются ли при этом расчетные формулы?
7. Можно ли методом удельной мощности произвести проверочный расчет осветительных установок?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК МЕТОДОМ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА

Цель занятия. Ознакомиться с последовательностью рассмотрения вопросов и получить навыки расчета осветительных установок методом коэффициента использования светового потока.

Задачи занятия:

1. Освоить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете осветительной установки помещений методом коэффициента использования светового потока.

2. Произвести расчет осветительных установок помещений в заданном преподавателем здании методом коэффициента использования светового потока.

Задание на самостоятельную подготовку к практическому занятию:

По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, изучить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете осветительной установки помещений методом коэффициента использования светового потока, расчетные формулы и способы определения необходимых для проведения расчетов справочных значений параметров.

Методические указания и последовательность выполнения работы:

1. По выданному преподавателем заданию произвести светотехнический расчет методом коэффициента использования светового потока осветительных установок, выполненных с использованием разных типов источников (ламп накаливания, люминесцентных, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ). Результаты расчетов представить в виде табл. ПЗ.1.

2. При выполнении задания к практическому занятию следует придерживаться следующей последовательности рассмотрения основных взаимосвязанных вопросов (глава 4.6):

— проверить применимость метода;

Результаты светотехнического расчета осветительных установок помещений методом удельной мощности

№ по плану и наименование помещения	E	K_3	Поверхность с нормируемой освещенностью*	Тип светильника	H_p	Количество светильников, шт.			Расстояние между светильниками и рядами светильников, м				
						N_1	N_2	N_Σ	L_A	L_B	l_A	l_B	

Продолжение таблицы ПЗ.1

i	η	z	Источник света			
			тип	мощность, Вт	$\Phi_{л}$	n_c

* Рабочая поверхность (Γ — горизонтальная, B — вертикальная), на которой нормируется освещенность, и расстояние между ней и полом (м).

Примечание. E — нормируемая освещенность на рабочей поверхности, лк; K_3 — коэффициент запаса, отн. ед.; H_p — расчетная высота подвеса светильников, м; N_1 , N_2 и N_Σ — количество рядов светильников, светильников в ряду и в помещении, шт.; L_A , L_B , l_B и l_A — расстояния между светильниками в ряду и рядами светильников, от стены до ближайшего ряда и ближайшего светильника в ряду, м; i — индекс помещения; η — коэффициент использования светового потока, отн. ед.; z — коэффициент минимальной освещенности; $\Phi_{л}$ — световой поток лампы принятого типа и мощности, лм; n_c — число ламп в светильнике, шт.

— определить коэффициенты отражения потолка $\rho_{п}$, стен $\rho_{с}$ и рабочей поверхности $\rho_{р}$ в рассматриваемом помещении (см. табл. 4.18) и индекс помещения i по формуле (4.26);

— определить коэффициент использования светового потока η (см. приложение 20);

— и далее:

а) для точечных излучателей:

• вычислить требуемый световой поток источника света $\Phi_{р}$ (4.25);

• подобрать по справочной таблице выпускаемых промышленностью ламп (приложения 3, 5) ближайшую по световому потоку с учетом ограничений (4.18);

• проверить допустимость установки лампы в выбранный световой прибор.

б) для линейных излучателей:

- вычислить число светильников в освещаемом помещении N_{Σ} (4.28);
- определить число светильников в ряду N_1 (4.29);
- определить расстояние между светильниками в ряду L_A (4.30);
- проверить выполнение требований по расположению светильников в ряду (П2.1).

Вопросы для подготовки к защите выполненного задания:

1. В каких случаях расчет осветительных установок проводят методом коэффициента использования светового потока?
2. Приведите последовательность выполнения операций при расчете осветительных установок методом коэффициента использования светового потока.
3. Приведите расчетную формулу метода коэффициента использования светового потока и поясните, какие величины в нее входят.
4. Какие параметры влияют на значение коэффициента использования светового потока и как он определяется по справочным таблицам?
5. С учетом каких требований выбирают тип и мощность источников при известном значении расчетного светового потока?
6. Укажите особенности расчета осветительных установок с люминесцентными лампами методом коэффициента использования светового потока. Изменяется ли при этом расчетная формула?
7. Можно ли методом коэффициента использования светового потока произвести проверочный расчет осветительных установок?

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4.
РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК
ТОЧЕЧНЫМ МЕТОДОМ**

Цель занятия. Ознакомиться с последовательностью рассмотрения вопросов и получить навыки расчета осветительных установок точечным методом.

Задачи занятия:

1. Освоить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете осветительной установки помещений точечным методом.
2. Произвести расчет осветительных установок помещений в заданном преподавателем здании точечным методом.

Задание на самостоятельную подготовку к практическому занятию:

По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, изучить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете осветительной установки помещений точечным методом, расчетные формулы и способы определения необходимых для проведения расчетов справочных значений параметров.

Методические указания и последовательность выполнения работы:

1. По выданному преподавателем заданию произвести светотехнический расчет точечным методом осветительных установок, выполненных с использованием разных типов источников (ламп накаливания, люминесцентных, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ). Результаты расчетов представить в виде табл. П4.1.

2. При выполнении задания к практическому занятию следует придерживаться следующей последовательности рассмотрения основных взаимосвязанных вопросов (глава 4.6):

а) для точечных излучателей:

- после размещения светильников на плане помещения отметить контрольные точки расчета;
- воспользовавшись справочными кривыми пространственных изолукс, создаваемых светильниками с типовыми КСС (приложе-

ния 9 и 18), вычислить условную освещенность $\sum e$ в контрольных точках;

Таблица П4.1

Результаты светотехнического расчета осветительных установок помещений точечным методом

№ по плану и наименование помещения	E	K _з	Поверхность с нормируемой освещенностью*	Тип светильника	H _р	Количество светильников, шт.			Расстояние между светильниками и рядами светильников, м				
						N ₁	N ₂	N _Σ	L _A	L _B	l _A	l _B	

Продолжение таблицы П4.1

μ	Σe	Φ _р (или Φ')	Источник света			
			тип	мощность, Вт	Φ _л	n _с

* Рабочая поверхность (Г — горизонтальная, В — вертикальная), на которой нормируется освещенность, и расстояние между ней и полом (м).

Примечание. E — нормируемая освещенность на рабочей поверхности, лк; K_з — коэффициент запаса, отн. ед.; H_р — расчетная высота подвеса светильников, м; N₁, N₂ и N_Σ — количество рядов светильников, светильников в ряду и в помещении, шт.; L_A, L_B, l_B и l_A — расстояния между светильниками в ряду и рядами светильников, от стены до ближайшего ряда и ближайшего светильника в ряду, м; μ — коэффициент добавочной освещенности; Σe — сумма условных освещенностей, создаваемых близлежащими светильниками, лк; Φ_р — расчетное значение светового потока источника, лм; Φ' — расчетное значение линейной плотности светового потока, лм · м⁻¹; Φ_л — световой поток лампы принятого типа и мощности, лм; n_с — число ламп в светильнике, шт.

— из намеченных контрольных точек выбрать расчетную, в которой получено наименьшее расчетное значение условной освещенности Σe;

— по формуле (4.17) рассчитать требуемое значение светового потока источника Φ_р, с учетом требований (4.18) выбрать ближайшую стандартную лампу (приложения 3, 5) и определить ее мощность;

— проверить допустимость установки лампы в выбранный световой прибор.

б) для линейных излучателей:

— после размещения рядов светильников на плане помещения наметить контрольные точки расчета;

— воспользовавшись справочными кривыми линейных изолукс, создаваемых светильниками с типовыми КСС (приложение 19), вычислить условную освещенность Σe в контрольных точках;

— определить требуемую линейную плотность светового потока Φ' (4.22);

— для выбранного типа газоразрядной лампы определить номинальное значение ее светового потока (приложение 4);

— определить количество светильников в ряду N₁ (4.23) и округлить полученное значение до ближайшего большего;

— определить суммарное количество светильников в помещении N_Σ (4.13).

— определить расстояния между светильниками в ряду L_A (4.30);

— проверить выполнение требований по расположению светильников в ряду (П2.1);

— проверить соблюдение всех условий применения метода линейных изолукс при расчете (требования к расчету условной освещенности, создаваемой светящейся линией или отдельными светильниками с линейными излучателями).

3. Точечным методом проверить точность произведенных расчетов осветительных установок двух помещений методами удельной мощности и коэффициента использования светового потока при выполнении заданий на практических занятиях №№ 2 и 3, для чего воспользоваться формулами (4.20) и (или) (4.24).

Вопросы для подготовки к защите выполненного задания:

1. Разъясните условия применения точечного метода расчета, в том числе пространственных и линейных изолукс, при проектировании осветительных установок помещений.

2. Как определить освещенность в точке горизонтальной поверхности при известном значении силы света круглосимметричного светильника в направлении рассматриваемой точки?

3. Как определить освещенность в точке горизонтальной поверхности, если световой поток источника в круглосимметричном светильнике отличается от справочного значения, принятого при построении кривой силы света?

4. Напишите формулу для определения требуемого значения светового потока источников при расчете методом пространственных изолукс. Поясните физический смысл входящих в нее параметров.

5. Как определяют условную освещенность в расчетной точке горизонтальной поверхности методом пространственных изолюксов?

6. Приведите последовательность выполнения операций при расчете осветительных установок методом пространственных изолюксов.

7. В каких случаях для расчета осветительных установок с люминесцентными лампами следует применять точечный метод (метод линейных изолюксов)?

8. Какие допущения положены в основу построения кривых линейных изолюксов?

9. Как определить условную освещенность в контрольной точке, воспользовавшись кривыми линейных изолюксов?

10. Как поступают при определении освещенности в точке, если она не лежит против конца светящейся линии?

11. Какие точки принимают за контрольные при расчете осветительных установок методом линейных изолюксов?

12. Напишите формулу для определения требуемой линейной плотности светового потока светящейся линии. Поясните физический смысл входящих в нее параметров.

13. Как определить количество светильников в линии и разместить их при известном значении требуемой плотности светового потока?

14. Приведите последовательность выполнения расчета осветительных установок с линейными излучателями (люминесцентными лампами) точечным методом.

15. Можно ли точечным методом, в том числе пространственных и линейных изолюксов, произвести проверочный расчет осветительных установок? Напишите расчетные формулы, применяемые для этого проверочного расчета.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ, СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК, ДОРОГ И УЛИЦ

Цель занятия. Освоить методику проектирования осветительных установок открытых пространств и получить практические навыки расчета наружного освещения производственных территорий, проезжей части дорог и улиц.

Задачи занятия:

1. Освоить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете осветительных установок производственных территорий (строительных площадок, дорог и улиц).

2. Произвести расчет осветительных установок заданной преподавателем производственной территории (дороги или улицы).

Задание на самостоятельную подготовку к практическому занятию:

По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, изучить методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете осветительной установки производственной территории (строительной площадки, дороги и улицы), расчетные формулы и способы определения необходимых для проведения расчетов справочных значений параметров.

Методические указания и последовательность выполнения работы:

1. По выданному преподавателем заданию произвести светотехнический расчет осветительной установки производственной территории (строительной площадки, дороги и улицы), выполненной с использованием разных типов источников (ламп накаливания, люминесцентных, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ). Результаты расчетов представить в виде табл. П5.1.

2. При выполнении задания к практическому занятию следует придерживаться такой последовательности рассмотрения основных взаимосвязанных вопросов (глава 4.7):

Таблица П5.1

Результаты светотехнического расчета осветительных установок
производственной территории (строительной площадки, дороги и улицы)

Наименование и размеры (м) объекта	E	Поверхность нормирования освещенности*	Тип све- тильни- ка	Источник света				Количество светильни- ков на опоре
				тип	мощ- ность, Вт	$\Phi_{Л}$	$n_{С}$	

Продолжение таблицы П5.1

K_3	H_p	d	ϵ_i	L	N_{Σ}

* Рабочая поверхность (Г — горизонтальная, В — вертикальная), на которой нормируется освещенность, и расстояние между ней и полом (м).

Примечание. E — нормируемая освещенность на рабочей поверхности, лк; $\Phi_{Л}$ — световой поток лампы принятого типа и мощности, лм; $n_{С}$ — число ламп в светильнике, шт.; K_3 — коэффициент запаса, отн. ед.; H_p — расчетная высота подвеса светильников, м; d — кратчайшее расстояние от контрольной точки до точки проекции светильника на освещаемую горизонтальную поверхность, м; ϵ_i — относительная освещенность в расчетной точке, лк; L — расстояние между опорами в ряду, м; N_{Σ} — количество светильников в осветительной установке, шт.

— определить нормируемую по ТКП 45-2.04-153-2009 [35] освещенность и плоскость, в которой нормируется освещенность (приложение 22);

— предварительно задавшись типом источника и светильника, определить высоту их установки H_p (табл. 4.24);

— определить рекомендуемый способ расположения светильников (табл. 4.25) и количество рядов светильников;

— и далее в зависимости от принятого метода расчета:

а) при расчете методом коэффициента использования светового потока:

- предварительно задавшись мощностью источников света, установленных в светильнике, определить их номинальный световой поток $\Phi_{Л}$ (приложения 3...5);

- определить коэффициент использования светового потока светильников η (табл. 4.26);

- вычислить расстояние между опорами в ряду L по формуле (4.43).

б) при расчете точечным методом:

- наметить точки с предполагаемым значением минимальной освещенности (контрольные точки) на освещаемой площадке

(рис. 4.17) и определить световой поток $\Phi_{Лi}$ всех ламп, установленных на одной опоре i -го ряда;

- воспользовавшись кривой относительной освещенности для заданного типа светильника (рис. 4.16) при известных геометрических d и H_p , определить значение относительной освещенности в контрольной точке ϵ_i , создаваемую каждым ближайшим светильником, где d — кратчайшее расстояние от рассматриваемой точки до точки проекции светильника на освещаемую горизонтальную поверхность;

- вычислить суммарную относительную освещенность в контрольной точке $\sum \epsilon_i$, создаваемую всеми учитываемыми ближайшими светильниками;

- разделив $\sum \epsilon_i$ на число освещающих точку светильников, определить среднее значение относительной освещенности ϵ от ближайшего светильника;

- по известному значению ϵ и принятому типу светильника по кривым относительной освещенности (рис. 4.16) определить значение отношения d/H_p ;

- приняв за исходные геометрические размеры высоту подвеса H_p и расстояние d , вычислить среднее расстояние между опорами в ряду L .

3. Привести схему размещения осветительных опор и светильников на освещаемом объекте.

Вопросы для подготовки к защите выполненного задания:

1. Каковы преимущества и недостатки осветительных установок открытых пространств при их реализации прожекторами и светильниками?

2. Какие геометрические размеры определяют положение прожектора в освещаемом пространстве?

3. Как определяется оптимальная высота установки прожектора?

4. Укажите последовательность рассмотрения вопросов при применении метода компоновки изолюкс при расчете прожекторного освещения.

5. Чем объясняется наличие «мертвого пространства» при прожекторном освещении? Как определить его величину?

6. Как методом коэффициента использования светового потока определить расстояние между светильниками наружного освещения?

7. Как методом коэффициента использования светового потока определить мощность источников при известном расстоянии между светильниками наружного освещения?

8. Разъясните порядок расчета точечным методом установки наружного освещения.

5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

5.1. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

На сельскохозяйственных объектах электроснабжение осветительных установок как внутри, так и вне помещений осуществляется, как правило, от общих для силовых и осветительных нагрузок трехфазных трансформаторов с вторичным напряжением 400/230 В¹ [8], работающих в сетях с глухозаземленной нейтралью системы *TN* в исполнении *TN-S* или *TN-C-S*² (рис. 5.1). При этом показатели качества электрической энергии в электрической сети системы электроснабжения должны соответствовать требованиям, установленным межгосударственным стандартом ГОСТ 13109–97 [2].

Учитывая, что электрические, светотехнические и эксплуатационные характеристики источников оптического излучения существенно зависят от изменения питающего напряжения, из всех десяти регламентируемых стандартом [2] основных показателей качества

¹ ГОСТ 29322–92 (МЭК 38-83) [8] устанавливает стандарт напряжений 400/230 В взамен 380/220 В, однако на практике, включая ПУЭ [26], а также при обозначении параметров свето- и электротехнического оборудования зачастую применяют устаревшую систему напряжений, то есть 380/220 В.

² *TN* — система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановок присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством защитных проводников. *TN-C* — система *TN*, в которой нулевой рабочий (*N*) и нулевой защитный (*PE*) проводники совмещены в одном общем проводнике (*PEN*) на всем ее протяжении. *TN-S* — система *TN*, в которой нулевой рабочий (*N*) и нулевой защитный (*PE*) проводник разделены на всем ее протяжении. *TN-C-S* — система *TN*, в которой функции нулевого рабочего (*N*) и нулевого защитного (*PE*) проводников совмещены в одном проводнике (*PEN*) в какой-то ее части, начиная от источника питания (обычно от трансформаторной подстанции до вводно-распределительного устройства), а далее применяют два проводника — нулевой рабочий (*N*) и нулевой защитный (*PE*).

электрической энергии обратим внимание только на установившееся отклонение, колебания и провал напряжения.

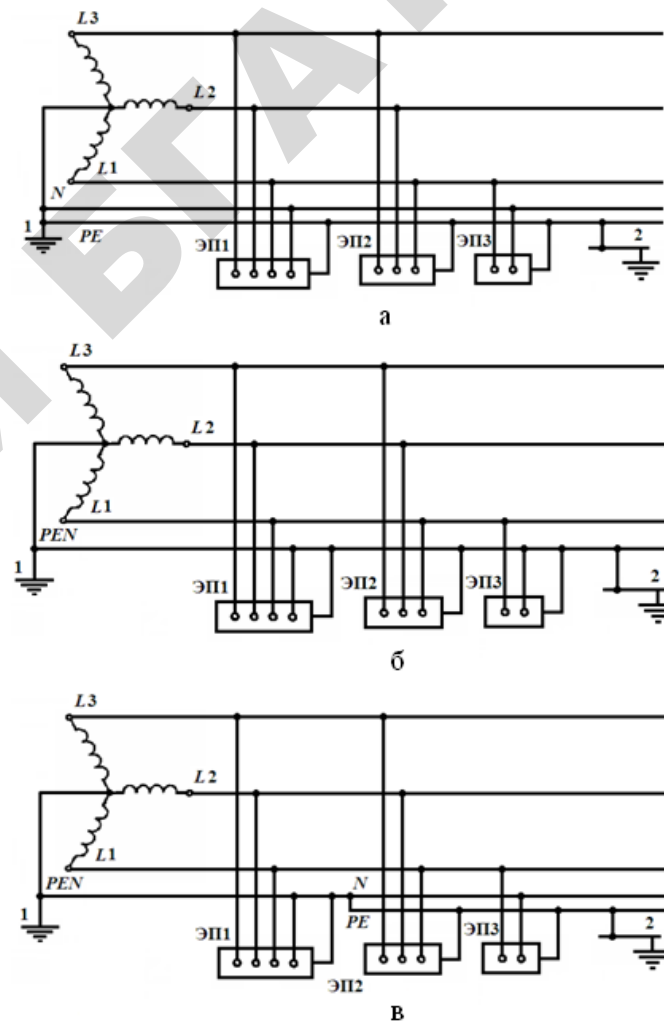


Рис. 5.1. Схема подключения электроприемников в системах *TN-S* (а), *TN-C* (б) и *TN-C-S* (в): *L1*, *L2*, *L3* — фазные провода; *N* — нулевой рабочий проводник; *PE* — нулевой защитный проводник; *PEN* — совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник, ЭП1...ЭП3 — трех- и однофазные электроприемники; 1 — рабочее заземление; 2 — система уравнивания потенциалов

Под *установившимся отклонением напряжения* понимается разность между значением напряжения в точке присоединения потребителей к электрической сети в рассматриваемый момент времени и его номинальным значением. Установленные ГОСТ [2] нормально и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения на выводах приемников равны соответственно ± 5 и ± 10 % от номинального напряжения электрической сети. Качество электрической энергии по установившемуся отклонению напряжения считают соответствующим требованиям, если:

— все измеренные за каждую минуту в течение установленного периода времени значения установившегося отклонения напряжения находятся в интервале, ограниченном предельно допустимыми значениями, и не менее 95 % измеренных значений установившегося отклонения напряжения находятся в интервале, ограниченном нормально допустимыми значениями;

— суммарная продолжительность времени выхода за нормально допустимые значения составляет не более 5 % от установленного периода времени (72 мин), а за предельно допустимые значения — 0 %.

Колебания напряжения характеризуются показателями размаха изменения напряжения и дозой фликера. *Размах изменения напряжения* есть отношение абсолютного значения разности между значениями следующих один за другим экстремумов или экстремума и горизонтального участка огибающей среднеквадратичных значений напряжения основной частоты, определяемых на каждом полупериоде основной частоты, к номинальному напряжению электрической сети. Предельно допустимые значения размаха изменения напряжения в точках общего присоединения к электрическим сетям в зависимости от частоты повторения изменений напряжения³ ($F_{\delta U_t}$, мин^{-1}) или интервала между изменениями напряжения⁴ ($\Delta t_{i,i+1}$, мин) для сельскохозяйственных потребителей могут быть приняты по кривой на рис. 5.2. При этом предельно допустимое значение суммы установившегося отклонения напряжения и размаха изменений напряжения в точках присое-

динения к электрическим сетям напряжением 0,4 кВ равно ± 10 % от номинального напряжения.

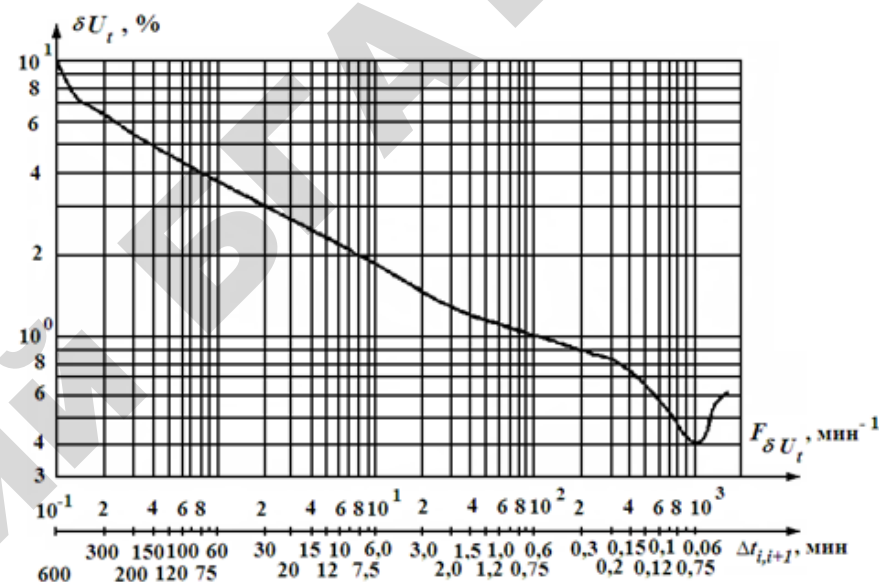


Рис. 5.2. Предельно допустимые размахи изменений напряжения в зависимости от частоты повторения изменений напряжения за минуту

Дозу фликера⁵ (кратковременную или длительную) измеряют с помощью фликерметра или определяют расчетным путем по изложенной в ГОСТ [2] методике. Кратковременную дозу фликера определяют на интервале времени наблюдения, равном 10 мин, длительную дозу фликера — 2 ч. Предельно допустимые значения для кратковременной дозы фликера при колебаниях напряжения с формой, отличающейся от меандра, равно 1,38, а для длительной дозы фликера, при тех же колебаниях напряжения, — 1,0. Качество электрической энергии по дозе

⁵ Фликер — субъективное восприятие человеком колебаний светового потока искусственных источников освещения, вызванных колебаниями напряжения в электрической сети, питающей эти источники. Доза фликера — мера восприимчивости человека к воздействию фликера за установленный промежуток времени, отн. ед. *Время восприятия фликера* — минимальное время для субъективного восприятия человеком фликера, вызванного колебаниями напряжения определенной формы.

³ Частота повторения изменений напряжения — число одиночных изменений напряжения в единицу времени (отношение числа изменений напряжения за время t к интервалу времени измерения (t), принимаемого равным 10 мин).

⁴ Интервал между изменениями напряжения — разность времени начальных моментов следующих один за другим изменений напряжения, мин.

фликера считают соответствующим требованиям, если дозы фликера, определенные путем измерения в течение 24 ч или расчета, не превышают предельно допустимых значений.

Провал напряжения характеризуется показателем длительности провала напряжения.⁶ Предельно допустимое значение провала напряжения в электрических сетях напряжением до 20 кВ включительно равно 30 с.

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяют на следующие категории:

1. *Электроприемники первой категории* — электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

2. *Электроприемники второй категории* — электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

3. *Электроприемники третьей категории* — все остальные электроприемники, не попадающие под определения первой и второй категорий.

Электроприемники первой категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

⁶ *Провал напряжения* — внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже $0,9U_{ном}$, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд. *Длительность провала напряжения* — интервал времени между начальным моментом провала напряжения и моментом восстановления напряжения до первоначального или близкого к нему уровня.

Электроприемники второй категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Для электроприемников второй категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

Для электроприемников третьей категории электроснабжение может быть выполнено от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают 1 суток.

Примерный перечень сельскохозяйственных потребителей электрической энергии и электроприемников приведен в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Примерный перечень сельскохозяйственных потребителей электрической энергии и электроприемников 1-й и 2-й категорий по надежности электроснабжения

Наименование потребителей и электроприемников	Категория надежности
Потребители	
1. Животноводческие комплексы и фермы:	
— по производству молока на 400 голов	1
— по выращиванию и откорму молодняка КРС на 5 тыс. и более голов в год	1
— по выращиванию нетелей на 3 тыс. и более скотомест	1
— площадки по откорму КРС 5 тыс. и более голов в год	1
— площадки по выращиванию и откорму 12 тыс. и более свиней в год	1
2. Птицефабрики:	
— по производству яиц с содержанием 100 тыс. и более кур-несушек	1
— мясного направления по выращиванию 1 млн. и более бройлеров в год	1
— хозяйства по выращиванию племенного стада кур на 25 тыс. и более голов, а также гусей, уток и индек на 10 тыс. и более голов	1

Окончание табл. 5.1

Наименование потребителей и электроприемников	Категория надежности
3. Животноводческие и птицеводческие фермы с меньшей производительностью, чем указано в пп. 1 и 2	2
4. Тепличные комбинаты и рассадные комплексы	2
5. Кормоприготовительные заводы и отдельные цехи с механизированным приготовлением и раздачей корма	2
6. Картофелехранилища емкостью более 500 т с холодоснабжением и активной вентиляцией	2
7. Холодильники для хранения фруктов емкостью более 800 т	2
8. Инкубационные цехи рыбоводческих хозяйств и ферм	2
Приемники	
1. Рабочее освещение в доильных залах комплексов и ферм молочного направления	2*
2. Локальный обогрев и облучение телят комплексов и ферм молочного направления	2*
3. Дежурное освещение в родильном отделении ферм и комплексов молочного направления	2*
4. Дежурное освещение зданий моноблоков комплексов и ферм КРС	2
5. Рабочее освещение в моноблоках и свинарниках-маточниках свиноводческих комплексов и ферм	2
6. Дежурное освещение свиноводческих комплексов и ферм	2
7. Локальный обогрев поросят в свинарниках для опоросов и в станках	2
8. Локальный обогрев цыплят в первые 20 дней на птицефабриках	1
9. Локальный обогрев цыплят в первые 20 дней на птицефермах	2*
10. Рабочее освещение птицефабрик и птицеферм	2
11. Рабочее освещение в котельных	2
12. Рабочее освещение в котельных с котлами высокого и среднего давления	2*

* Электроприемники 2-й категории, не допускающие перерыва длительностью более 30 минут.

Электрическую сеть разделяют на питающую, распределительную и групповую [26]. К питающей относят сеть от распределительного устройства подстанции или ответвления воздушных (кабельных) линий до вводного устройства (ВУ), вводно-распределительного устройства (ВРУ) или главного распределительного щита (ГРЩ). Распределительной называют сеть от ВУ (ВРУ, ГРЩ) до распределительных пунктов, щитков и пунктов питания наружного освещения, а групповой — от групповых распределительных пунктов, щитков и пунктов питания наружного освещения до светильников, штепсельных розеток и других токоприемников.

При определении схемы электрической сети следует исходить из необходимости обеспечения бесперебойности работы осветительной установки с учетом требований категории электроприемника по надежности электроснабжения, предусматривая независимый источник питания для светильников аварийного освещения (при их наличии) или их автоматическое включение при исчезновении напряжения в сети рабочего освещения. При этом допускается сети рабочего и аварийного освещения подключать к разным трансформаторам двухтрансформаторных подстанций при питании трансформаторов от разных независимых источников. Светильники эвакуационного освещения в производственных зданиях с естественным освещением, в жилых и общественных зданиях, независимо от наличия в них естественного освещения, должны быть присоединены к сети, не зависящей от сети рабочего освещения, начиная от подстанции (ВУ, ВРУ, ГРЩ), или при наличии только одного ввода (в здание или зону работы на открытом пространстве), начиная от этого ввода.

Рабочее освещение рекомендуется питать по самостоятельным линиям от ВУ (ВРУ, ГРЩ), которые могут быть проложены общими с трассами питания силовых электроприемников. При выполнении требований к допустимым отклонениям и колебаниям напряжения в сети рабочее и аварийное (безопасности и эвакуационное) освещение допускается питать от общих линий с электросиловыми установками или от силовых распределительных пунктов (кроме производственных зданий и помещений без естественного освещения). При питании осветительной сети от силовых распределительных пунктов, к которым присоединены непосредственно силовые электроприемники, осветительная сеть должна подключаться к вводным зажимам этих пунктов.

Линии питающей сети рабочего и аварийного (безопасности и эвакуационное) освещения должны иметь в распределительных устрой-

ствах, от которых эти линии отходят, самостоятельные аппараты защиты и управления для каждой линии. Допускается устанавливать общий аппарат управления для нескольких линий одного вида освещения или установок, отходящих от распределительного устройства.

Распределительную сеть, как правило, выполняют в трехфазном исполнении (четырёх- или пятипроводной) магистральными, радиальными или радиально-магистральными⁷ кабельными линиями. Радиальные сети по сравнению с магистральными отличаются меньшим сечением проводников, но имеют большую протяженность. Их целесообразно предусматривать лишь при относительно большой установленной мощности электроприемников (200 и более А). Применение чисто магистральной сети также не всегда является целесообразным. В целях сокращения общей протяженности сети магистральные линии могут совмещаться и заменяться одной радиальной, с установкой распределительного пункта в месте дальнейшего разветвления, от которого могут отходить как магистральные, так и радиальные линии. При планировке электрической сети осветительной установки возможны различные варианты ее выполнения, например, даже в пределах одной радиально-магистральной схемы. Поэтому, когда преимущества любого из рассматриваемых вариантов не очевидны, необходимо прибегать к сопоставлению их технико-экономических показателей.

Групповые сети выполняют в одно-, двух- или трехфазном исполнении (соответственно, трех-, четырех- и пятипроводными), в зависимости от установленной электрической нагрузки и длины. Трехфазное (реже двухфазное) исполнение групповой сети внутреннего освещения применяют при большой длине и установленной мощности осветительного оборудования, стремлении сократить общую продолжительность проводов и кабелей, уменьшить расход цветного металла на ее сооружение и выполнить нормативные требования по величине коэффициента пульсации освещенности.

Групповая линия, как правило, должна содержать на фазу не более 20 ламп накаливания, ДРЛ, ДРИ или ДНаТ, включая в это число

⁷ При радиальной схеме питания к каждому групповому щитку и пункту питания наружного освещения от ВУ (ВРУ, ГРЩ) подводится самостоятельная линия, не имеющая ответвлений на всем протяжении. При магистральной схеме одна линия предназначена для питания нескольких групповых щитков (в том числе и посредством ответвлений), размещенных в помещении последовательно один за другим. Радиально-магистральная схема питания сочетает в себе элементы как радиальной, так и магистральной.

также штепсельные розетки. Для групповых линий, питающих светильники с люминесцентными лампами мощностью до 80 Вт, на фазу рекомендуется присоединять до 60 ламп, мощностью до 40 Вт включительно — 75 ламп, до 20 включительно — до 100 ламп. В производственных, общественных и жилых зданиях на однофазные группы освещения лестниц, этажных коридоров, холлов, технических подполий и чердаков допускается присоединять до 60 ламп накаливания мощностью до 60 Вт.

Каждую групповую линию по всей длине выполняют с одинаковым числом проводников одного и того же сечения. Они должны быть защищены установленными в начале линии на всех фазных проводниках предохранителями или автоматическими выключателями. Установка аппаратов защиты в нулевых защитных проводниках запрещается.

Совместная прокладка проводов и кабелей групповых линий рабочего освещения с групповыми линиями освещения безопасности и эвакуационного освещения не рекомендуется. Допускается их совместная прокладка на одном монтажном профиле, в одном коробе, лотке при условии, что приняты меры, исключающие возможность их повреждения при неисправности проводов рабочего освещения. Отдельными групповыми линиями осуществляется питание светильников дежурного освещения.

При организации электрической сети осветительной установки важным условием обеспечения безопасности является исключение возможности обрыва нулевого провода, последствием чего может стать поражение электрическим током людей и животных при попадании в аварийном режиме напряжения на корпус токопроводящего оборудования. Поэтому ПУЭ [26] устанавливают жесткие требования к устройству и минимально допустимому сечению нулевых рабочего и защитного проводников.

Рабочие нулевые проводники групповых линий должны прокладываться при применении металлических труб совместно с фазными проводниками в одной трубе, а при прокладке кабелями или многожильными проводами должны быть заключены в общую оболочку с фазными проводами. При этом нулевые рабочие проводники должны иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводников.

В однофазных (двухпроводных) сетях площади сечения нулевого рабочего (N) и фазного проводников должны быть равны. Сечение нулевого рабочего проводника в трехфазных (четырёхпровод-

ных) сетях с лампами люминесцентными, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ при одновременном отключении всех фазных проводов линии должно выбираться:

— для участков сети, по которым протекает ток от ламп с компенсированным ПРА, — равным сечению фазного проводника независимо от его значения;

— для участков сети, по которым протекает ток от ламп с некомпенсированным ПРА, — равным сечению фазного проводника, если оно меньше или равно 16 мм^2 для медных и 25 мм^2 для алюминиевых проводов, и не менее 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях, но не менее 16 мм^2 для медных и 25 мм^2 для алюминиевых проводов.

При защите трехфазных участков сети предохранителями или однополюсными автоматическими выключателями сечения нулевого рабочего и фазного проводов должны быть одинаковыми.

В качестве нулевого защитного (*PE*) проводника могут использоваться:

— специально предусмотренные проводники (отдельные жилы многожильных кабелей; провода в общей оболочке с фазными проводами; стационарно проложенные изолированные и неизолированные проводники);

— открытые проводящие части электроустановок (алюминиевые оболочки кабелей; стальные трубы электропроводки, металлические конструкции шинопроводов и комплектных устройств заводского изготовления);

— некоторые сторонние проводящие части (металлические строительные конструкции зданий и сооружений; арматура железобетонных строительных конструкций; металлические конструкции производственного назначения).

Использование открытых и сторонних проводящих частей в качестве *PE*-проводника допускается, если они отвечают требованиям к: проводимости и непрерывности электрической цепи; невозможности их демонтажа без специально предпринятых мер по сохранению проводимости и непрерывности электрической цепи. В качестве *PE*-проводника не допускается использовать несущие тросы при тросовой электропроводке, металлорукава, свинцовые оболочки проводов и кабелей, трубопроводы (газоснабжения и других взрывоопасных веществ и смесей), трубы канализации и центрального отопления.

Наименьшая площадь поперечного сечения нулевых защитных (*PE*) проводников при сечении фазных проводников не бо-

лее 16 мм^2 должна быть равна сечению фазного проводника, при $16 < S_{\text{ф}} \leq 35 \text{ мм}^2$ — 16 мм^2 и при $S_{\text{ф}} > 35 \text{ мм}^2$ — $0,5S_{\text{ф}}$. Если нулевые защитные проводники изготовлены из материала, отличающегося от материала изготовления фазных проводников, то их сечение должно быть эквивалентно по проводимости фазным проводникам указанного сечения. Во всех случаях сечение нулевого защитного проводника, не входящего в состав кабеля или проложенного не в общей оболочке (трубе, коробе, лотке) с фазными проводниками, должно быть не менее при алюминиевой жиле — 16 мм^2 и при медной жиле — $2,5 \text{ мм}^2$ при наличии и 4 мм^2 при отсутствии механической защиты.

Нулевые защитные проводники рекомендуется прокладывать совместно с фазными проводниками или в непосредственной близости от них.

В многофазных стационарных электрических сетях функции нулевого рабочего (*N*) и защитного (*PE*) проводников могут быть совмещены в одном (*PEN*) проводнике при условии, что площадь его сечения не менее 10 мм^2 в исполнении из меди и не менее 16 мм^2 — из алюминия. Не допускается совмещать функции нулевого рабочего и защитного проводников в цепях однофазного исполнения, за исключением ответвлений от воздушных линий напряжением до 1 кВ к однофазным потребителям электроэнергии. Не допускается использовать сторонние проводящие части в качестве единственного *PEN*-проводника.

Требования [26] к минимально допустимому сечению *PEN*-проводника накладывают ограничение на использование системы *TN-C* в осветительных установках: площадь сечения медного нулевого проводника должна быть не менее 10 мм^2 и алюминиевого — не менее 16 мм^2 .

5.2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Для изготовления электрической сети осветительной установки применяют электропровода, небронированные силовые кабели и различные электроустановочные изделия — осветительные групповые щитки, выключатели и переключатели, штепсельные соединения в виде вилок и розеток, блоки из комбинаций выключателей и розеток, светорегуляторы и другое электротехническое оборудо-

вание. Электроустановочные изделия — это самостоятельная группа электрических аппаратов, которые предназначены для установки непосредственно на строительных конструкциях, для встраивания в светильники и другое электрическое оборудование.

Установочные провода и кабели, применяемые для изготовления электрических сетей осветительных установок (табл. 5.2), различают по материалу (медные или алюминиевые), количеству (от одной до пяти) и площади сечения (от 0,5 до 240 мм²)⁸ токопроводящих жил, материалу изоляции (поливинилхлоридной, полиэтиленовой, наиритовой, резиновой и др.), номинальному напряжению (400, 690 и 1000 В). Их применяют в помещениях с относительной влажностью до 98 % (при температуре 20 °С).

Таблица 5.2

Основные технические параметры установочных проводов и кабелей, применяемых для изготовления электрических сетей сельскохозяйственных осветительных установок

Марка провода (кабеля)	Характеристика изделия	Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Количество жил
1	2	3	4
ПВ-1	Провод с медной жилой и поливинилхлоридной изоляцией	0,5...95	1
ПВ-2	То же, гибкий	2...95	1
АПВ	То же с алюминиевой жилой	2...120	1
ПР	Провод с медной жилой и резиновой изоляцией в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	0,75...120	1
АПР	То же с алюминиевой жилой	0,75...120	1

⁸ Шкала стандартных сечений токопроводящих жил: 0,5; 0,75; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10; 16; 25; 35; 50 и т. д.

Продолжение табл. 5.2

1	2	3	4
ПРВ	Провод с медной жилой и резиновой изоляцией, в хлопчатобумажной оплетке, пропитанной противогнилостным составом, в оболочке из поливинилхлоридного пластика	1...6	1
АПРВ	То же с алюминиевой жилой	2,5...6	1
ПРТО	Многожильный провод с медной жилой и резиновой изоляцией, в хлопчатобумажной оплетке, пропитанной противогнилостным составом	0,75...120	1, 2, 3, 7, 10
АПРТО	То же с алюминиевой жилой	2,5...120	1, 2, 3, 7, 10
ПРН	Провод с медной жилой, резиновой изоляцией и резиновой (наиритовой) оболочкой	1,5...120	1
АПРН	То же с алюминиевой жилой	2,0...120	1
ПП	Провод с медной жилой и полиэтиленовой изоляцией	1,5...120	1
АПП	То же с алюминиевой жилой	2,0...120	1
ППВ	Провод с медной жилой и полиэтиленовой изоляцией, плоский	0,75...4	2, 3
АППВ	То же с алюминиевой жилой	2,0...5,0	2, 3
ВВГ	Кабель с медной жилой, поливинилхлоридной изоляцией жил, в поливинилхлоридной оболочке и без защитного покрова (голый)	1,5...50	1, 2, 3, 4, 5

Продолжение табл. 5.2

1	2	3	4
АВВГ	То же с алюминиевой жилой	2,5...50	1, 2, 3, 4, 5
АПВГ	То же с алюминиевой жилой	2,5...50	1, 2, 3, 4, 5
ВРГ	Кабель с медной жилой, поливинилхлоридной изоляцией жил, в резиновой оболочке и без защитного покрова (голый)	1,5...120	1, 2, 3, 4, 5
АВРГ	То же с алюминиевой жилой	2,5...120	1, 2, 3, 4, 5
НРГ	Кабель с медной жилой, в резиновой изоляции и герметической наиритовой оболочке, без защитного покрова (голый)	1,5...120	1, 2, 3, 4, 5
АНРГ	То же с алюминиевой жилой	2,5...120	1, 2, 3, 4, 5
ПВГ	Кабель с медной жилой, полиэтиленовой изоляцией и поливинилхлоридной оболочкой	1,5...50	1, 2, 3, 4, 5
АПВГ	То же с алюминиевой жилой	2,5...50	1, 2, 3, 4, 5
КРПТ	Кабель с гибкой медной жилой, резиновой изоляцией и резиновой оболочкой, переносной	2,5...120	1, 2, 3, 4, 5
КРПГ	То же, повышенной гибкости	0,75...70	1, 2, 3, 4, 5
ПвВГ	Кабель с медной жилой и изоляцией из силанольносшитого полиэтилена и оболочкой из ПВХ пластиката	1,5...50	1, 2, 3, 4, 5, 6
АПвВГ	То же с алюминиевой жилой	2,5...50	1, 2, 3, 4, 5, 6

Окончание табл. 5.2

1	2	3	4
ПвВГ-П	Кабель с медной жилой и изоляцией из силанольносшитого полиэтилена и оболочкой из ПВХ пластиката (плоский)	1,5...50	1, 2, 3, 4, 5, 6
АПвВГ-П	То же с алюминиевой жилой	2,5...50	1, 2, 3, 4, 5, 6

Изолированные провода могут иметь поверх изоляции защитную оболочку, например, марок АПРФ, ПРФ, АПРВ, ПРРП и др., или не иметь ее, например, марок АПВ, ПВ, АПРТО и др. Как и у кабелей, защитная оболочка предохраняет изоляцию жил проводов от воздействия света, влаги, химически агрессивной среды и незначительных механических воздействий. Провода с резиновой изоляцией рассчитаны на эксплуатацию при температуре окружающей среды $-40...+50$ °С, с поливинилхлоридной и полиэтиленовой — $-50...+70$ °С, а кабели с такими изоляциями оболочек — $-40...+60$ °С.

При выборе марок проводов и кабелей главное внимание уделяется материалу изготовления их изоляции и оболочек, которые должны соответствовать способу прокладки, условиям окружающей среды и номинальному напряжению сети. В животноводческих и птицеводческих помещениях, где окружающая среда содержит большую концентрацию аммиака, углекислого газа и влаги, провода с резиновой изоляцией не используются.

Крепление источников оптического излучения к осветительной арматуре и подключение их к электрическим сетям выполняется с помощью резьбовых патронов Е14, Е27 и Е40 (лампы накаливания, газоразрядные лампы высокого давления, компактные энергосберегающие люминесцентные лампы, светодиодные лампы) или специальных ламподержателей под цоколи люминесцентных ламп G5, G13, G23 и др. Патроны Е14 и Е27 изготавливают из пластмассы или керамики. В соответствии с назначением их разделяют на подвесные, арматурные с ниппелем, потолочные и настенные. Они рассчитаны на номинальное напряжение до 230 В и ток до 4 А. Их степень защиты — *IP20*. Патроны Е40 выпускают только в керамическом исполнении, и они рассчитаны на номинальное напряжение до 400 В и ток до 20 А.

Для коммутации тока до 10 А в осветительных сетях напряжением до 230 В применяют выключатели, штепсельные розетки и вилки.

Современные выключатели и розетки изготавливают из высококачественного ударопрочного пластика с гладкими поверхностями и недоступными для прикосновения неизолированными токоведущими элементами. Максимально допустимые значения тока и напряжения, на которые рассчитан конкретный тип устройства, указываются на его корпусе. Варианты исполнения выключателей и розеток в основном определяются условиями их эксплуатации (в сыром или сухом помещении), видом проводки (открытая или скрытая), назначением (количеством коммутируемых цепей) и необходимостью в защитном заземлении (занулении). Как правило, они имеют степени защиты от внешних воздействий *IP20* (для помещений с нормальными климатическими условиями) или *IP44* (брызгозащищенное исполнение для установки в помещениях с повышенной влажностью).

Выключатели могут снабжаться встраиваемыми элементами автоматики: для плавного регулирования яркости свечения ламп (светорегуляторы или так называемые диммеры); со встроенным датчиком движения (включают освещение при перемещениях людей в зоне их «видимости» и отключают его спустя некоторое время после прекращения движения в контролируемой ими зоне) или таймером (реле времени) для включения электроприборов на заданный промежуток времени; с дистанционным управлением (позволяют управлять осветительной установкой на расстоянии с помощью пульта).

По конструкции различают выключатели поворотные, перекидные и кнопочные; по внешнему виду — для открытой и скрытой проводки. Разновидностью перекидной конструкции являются широко распространенные клавишные выключатели, которые могут быть и так называемыми «проходными» (применяемыми для управления осветительной установкой из двух мест и отличающимися переключением с одной цепи на другую, а не ее разрывом). В зависимости от количества коммутируемых цепей выключатели бывают одно-, двух- или трехклавишными, но иногда можно встретить изделия с четырьмя и даже пятью клавишами. Для удобства поиска выключателя в темном помещении многие модели снабжены подсветкой на миниатюрной неоновой лампе.

Чаще всего встречается следующее условное обозначение выключателей:

1 – 2 – 3 – 4 – 5 / 6

где 1 — буква, обозначающая способ установки (для открытой — О или скрытой — С установки); 2 — цифра, указывающая количество коммутируемых цепей (1, 2 или 3); 3 — буквы и цифры, обозначающие степень защиты изделия от внешних воздействий, например, *IP44* (для степени защиты *IP20* могут не указываться); 4 — цифры, указывающие номер серии изделия; 5 — цифра(ы), обозначающая номинальный ток коммутации (6 для тока 6,3 А или 10); 6 — цифры, обозначающие номинальное напряжение, например, 230 (230 В).

В качестве поворотных коммутационных аппаратов для управления осветительными установками при нечастых включениях и отключениях, вводных выключателей и переключателей в схемах распределения электрической энергии применяют и выключатели (переключатели) пакетные (рис. 5.3).



Рис. 5.3. Общий вид пакетных выключателей (переключателей)

Пакетные выключатели ПВ (переключатели ПП) предназначены для работы в электрических цепях напряжением до 400 В переменного (до 230 В постоянного) тока с номинальным током до 10 (25, 63, 100 и 160 в зависимости от исполнения) А. Они могут быть одно-, двух- или трехполюсными. Обозначение пакетного выключателя, например, ПВМ3-100, расшифровывается как: П — пакетный; В — выключатель; М — малогабаритный; 3 — трехполюсный; 100 — номинальный ток 100 А.

Присоединение некоторых электроприемников (переносных светильников, облучателей, электроинструмента и др.) к электрической сети иногда выполняется с помощью двух-, трех- и четырехполюсных штепсельных соединений, состоящих из розетки и вилки с цилиндрическими или плоскими контактами.

Силовые розетки, как и выключатели, изготавливают для открытой и закрытой проводки, с защитными контактами (используемыми для подключения защитного PE-проводника) и без них, в простом и брызгозащищенном исполнениях. Они бывают одинарные и двойные, а блоки из розеток обеспечивают одновременное подключение нескольких электроприборов. Многие типы силовых розеток оснащены приспособлениями (в основном поворотными или сдвижными подпружиненными заслонками), препятствующими свободному доступу к гнездам. Розетки всегда применяются в паре с вилками, и независимо от их внешнего оформления, способа монтажа и крепления они должны соответствовать друг другу. В противном случае потребуются специальные переходники.

Штепсельные соединения с цилиндрическими контактами изготавливают на номинальные напряжения до 230 В и ток 6 (6,3) и 10 А. Степень защиты таких соединений — IP20. Соединения с плоскими контактами — на ток 10 или 25 А при напряжении до 400 В. Условное обозначение штепсельных соединений серии ВШ:

1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 / 8

где 1 — буквы, обозначающие назначение изделия (ВШ — вилка штепсельная, РШ — розетка штепсельная); 2 — буква, указывающая тип контакта (ц — цилиндрический, п — плоский); 3 — цифра(ы), указывающая количество контактов (2 — два контакта, 20 — с третьим для подключения защитного PE-проводника); 4 — буква, указывающая на особенности ввода проводов (б — боковой, для прямого ввода не приводится); 5 — буквы и цифры, обозначающие степень защиты изделия от внешних воздействий, например, IP43 (для степени защиты IP20 не приводятся); 6 — цифры, указывающие номер серии изделия; 7 — цифра(ы), обозначающая номинальный ток коммутации (6 для тока 6,3 А или 10, 16, 25); 8 — цифры, обозначающие номинальное напряжение, например, 230 (230 В).

Для удобства пользования электроустановочные устройства различных видов для эксплуатации в жилых (бытовых, административных) помещениях выпускают смонтированными на общем основании или в общем корпусе. Такие устройства называют комби-

нированными (блоками). Наиболее типичны различные комбинации силовых розеток и выключателей. Их выпускают для скрытой и открытой проводки на напряжение 230 В со степенью защиты IP20. Использование блоков, особенно включающих в себя слаботочные розетки, упрощает прокладку кабельных линий и проводов.

Для безопасного соединения и скрытия проводки применяют пластиковые разветвительные коробки (табл. 5.3). Они отличаются способами установки, например, могут быть встроенными в скрытые ниши или наружными (навесными).

Таблица 5.3

Основные технические параметры пластиковых разветвительных коробок

Тип коробки	Габариты, мм			Способ установки	Степень защиты
	ширина	высота	глубина		
80×80×50	75	75	50	навесные	IP65
100×100×70	105	105	70		
150×110×70	150	110			
150×150×70	150	150			
190×150×75	185	140	75		
250×190×90	245	185	85		

Для распределения электрической энергии, защиты от перегрузок и токов короткого замыкания осветительных сетей трехфазного переменного тока напряжением 400/230 В частотой 50 Гц с глухозаземленной нейтралью, нечастых оперативных включений и отключений электрических цепей, учета электрической энергии и питания сетей местного или ремонтного освещения применяют осветительные щитки. Щитки осветительные могут иметь встроенный в них понижающий трансформатор, предназначенный для подключения переносных светильников и электроинструмента. Также возможна установка устройств защиты от токов утечки, релейная защита от избыточного потребления электроэнергии, а также срабатывание системы оповещения при возгорании или задымлении питаемого осветительного оборудования.

Современные осветительные щитки, как правило, выполняются на основе модульной аппаратуры, устанавливаемой на DIN-рейки и в боксах, предназначенных для ее установки. Они комплектуются современной аппаратурой от ведущих российских и зарубежных производителей, таких как ABB, Schneider Electric, Legrand, Электроаппарат и др. Их корпус изготавливают из листового металла,

окрашенного порошково-полимерным композитом, или негорящего (самозатухающего) термопластика.

Изготавливаемые промышленностью групповые осветительные щиты отличаются многообразием по конструктивному исполнению, наполнению, маркам и типоразмерам. В производственных и бытовых помещениях сельскохозяйственного назначения, административных и жилых зданиях применяют осветительные щиты следующих типов: ОЩ (щиток осветительный без автоматического выключателя на вводе); ОЩВ (осветительный щиток с автоматическим выключателем на вводе); ЩК (щиток осветительный квартирный); ЩКМ (щиток осветительный квартирный модернизированный); ЩО (щиток осветительный с уменьшенными габаритами); ЯОУ (ящик осветительный групповой); ЯТП (ящик электрический с понижающим трансформатором), ЩР (щит распределительный) и др. (табл. 5.4, приложение 24).

Таблица 5.4

Технические параметры осветительных групповых щитков серий ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ, ЩО (серии 8505), ЯОУ, ЯРН и ЯРУ

Тип щитка	Автоматический выключатель на вводе (тип, ток)	Групповой автоматический выключатель		Способ установки	
		тип (ток, А)	количество		
1	2	3	4	5	
ОП-3УХЛ4	зажимы	АЕ1000	3	навесной	
ОП-6УХЛ4			6		
ОП-9УХЛ4			9		
ОП-12УХЛ4			12		
ОЩ-6УХЛ4			А63		6
ОЩ-12УХЛ4	12				
ОЩВ-6УХЛ4	6				
ОЩВ-12УХЛ4	АЕ2046-10	А3161	12		
УОЩВ-6УХЛ4			6		встроенный
УОЩВ-12УХЛ4			12		
ЩО8505-0206(0309)	зажимы	ВА61F29-1В (31,5)	6	навесной	
ЩО8505-0209(0309)		ВА61F29-1В (20,0)	9		

Продолжение табл. 5.4

1	2	3	4	5	
ЩО8505-0406	ВА61F29-С3 (63)	ВА61F29-1В (31,5)	6	навесной	
ЩО8505-1212	зажимы	ВА61F29-1В (16,0)	12		
ЩО8505-1215		ВА61F29-1В (12,5)	15		
ЩО8505-1218		ВА61F29-1В (10,0)	18		
ЩО8505-1312		ВА61F29-1В (16,0)	12		
ЩО8505-1315		ВА61F29-1В (12,5)	15		
ЩО8505-1318		ВА61F29-1В (10,0)	18		
ЩО8505-1409		ВА61F29-С3 (63)	ВА61F29-1В (20,0)		9
ЩО8505-1412			ВА61F29-1В (16,0)		12
ЩО8505-1415	ВА61F29-1В (12,5)		15		
ЩО8505-1603	ВА61F29-1В (63,0)		3		
ЩО8505-1604	ВА61F29-1В (31,5)		4		
ЩО8505-1605	ВА61F29-1В (31,5)		5		
ЩО8505-1606	ВА61F29-1В (20,0)		6		
ЩО8505-1607	ВА61F29-1В (20,0)	7			
ЯОУ-8501	ПВЗ-60*	АЕ1031-1	6	навесной	
ЯОУ-8502	ПВЗ-100*		12		
ЯОУ-8503	ПВЗ-100*	АЕ2044-10	6	навесной	
ЯОУ-8504	ПВЗ-100*		2		
ЯОУ-8505	ПВЗ-60*	АЕ1031-1	6	встроенный	
ЯОУ-8506	ПВЗ-100*		12		

Окончание табл. 5.4

1	2	3	4	5
ЯОУ-8507	зажимы	АЕ1031-1	8	встроенный
ЯОУ-8508			12	
ЯРН8501-3801		ВА14-26**	6	навесной
ЯРУ8501-3801		ВА14-26**	6	встроенный
ЯРН8501-3802		ВА14-26***	1	навесной
	ВА14-26**	3		
ЯРУ8501-3802	зажимы	ВА14-26***	1	встроенный
		ВА14-26**	3	
ЯРН8501-3810	ПВП11-2970*	ВА14-26**	6	навесной
ЯРУ8501-3810	ПВП11-2970*	ВА14-26**	6	встроенный
ЯРН8501-3811	ПВП11-2970*	ВА14-26***	1	навесной
		ВА14-26**	3	
ЯРУ8501-3811	ПВП11-2970*	ВА14-26***	1	встроенный
		ВА14-26**	3	
ЯРН8501-3812	ВА51-31	ВА14-26**	6	навесной
ЯРУ8501-3812	ВА51-31	ВА14-26**	6	встроенный
ЯРН8501-3813	ВА51-31	ВА14-26***	1	навесной
		ВА14-26**	3	
ЯРУ8501-3813	ВА51-31	ВА14-26***	1	встроенный
		ВА14-26**	3	
ЯРН8501-3725	ПВ3-60*	ВА14-25**	6	навесной
ЯРУ8501-3725	ПВ3-60*	ВА14-25**	6	встроенный
ЯРН8501-3726	ВА51-31	ВА14-25**	6	навесной
ЯРУ8501-3726	ВА51-31	ВА14-25**	6	встроенный

* — пакетный выключатель; ** — однополюсный; *** — трехполюсный.

Щитки осветительные серии ЯОУ устанавливаются на стене или в нише. Их габариты (В, Ш, Г), мм: 600×250×190 — встроенные; 600×274×186 — навесные. Состоят из корпуса и дверцы, которая крепится при помощи петель. На двери установлен замок и резиновые уплотнители. Групповые автоматические выключатели присоединены к вводным выключателям или к вводным шинам. В верхней и нижней частях щитка имеются съемные крышки, через которые осуществляется ввод и вывод электрических кабелей (проводов).

Структура условного обозначения щитков серии ЯОУ-8501УХЛЗ: Я — вид щитка по конструкции (ящик); О — одностороннего обслуживания; У — унифицированный; 8 — класс НКУ (ввод и распреде-

ление электрической энергии); 5 — группа НКУ (распределение электрической энергии с применением автоматических выключателей переменного тока); 01 (08) — порядковый номер; УХЛЗ — климатическое исполнение и категория размещения.

Щитки серии ЯОУ предназначены для работы при температуре окружающего воздуха $-50...+40$ °С и относительной влажности до 98 % (при $+25$ °С). Щитки монтируются в невзрывоопасных зонах, не содержащих агрессивных газов и паров. Степень защиты ЯОУ типов 8501...8504 — *IP54*, 8505...8508 — *IP20*.

Щитки групповые осветительные серий ЯРН и ЯРУ предназначены для установки в производственных и административных помещениях. Структура их условного обозначения ЯРН8501-3701 ХЛЗАП: Я — вид щитка по конструкции (ящик); Р — распределительный; Н(У) — вид установки (Н — навесной, У — утопленный); 8 — класс НКУ (ввод и распределение электрической энергии); 5 — группа НКУ (распределение электрической энергии с применением автоматических выключателей переменного тока); 01 — номер разработки; 37 (38, 40, 42) — исполнение по току (37 — 50 А, 38 — 63 А, 40 — 100 А, 42 — 160 А); 01 (28) — исполнение по сочетанию комплектующих аппаратов; ХЛЗ — климатическое исполнение и категория размещения; А (Б, Х2) — степень защиты по ГОСТ 14254 (*IP21*, исполнение нехимостойкое — А; *IP54*, исполнение нехимостойкое — Б; *IP54*, исполнение химостойкое по ГОСТ 24682 — Х2); П — исполнение для возможности их параллельного соединения.

Щитки осветительные групповые ЩО92 — малые распределительные щиты — предназначены для распределения и защиты силовых и осветительных сетей напряжением 400/230В от перегрузок и токов короткого замыкания, защиты человека от поражения электрическим током, предотвращения пожара с помощью устройства защитного отключения (УЗО). Щиты изготавливаются из металла с нанесением полимерного покрытия RAL7035 (серый), RAL9010 (белый). Количество линейных автоматических выключателей на щите — до 48 модулей (однофазные и трехфазные группы с УЗО или без УЗО — комбинация аппаратов по заказу). Исполнение по способу установки — навесное и в нишу. Степень защиты — *IP40*, категория размещения — УХЛЗ.

Щитки осветительные квартирные типа ЩК2 служат для приема, учета и распределения электрической энергии, защиты от перегрузок и коротких замыканий однофазных электрических цепей переменного тока напряжением 230 В. Щитки с устройством защитного отклю-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЩК271М-УХЛ4	+	ВМ40-2ХС40	УЗО Д40 2240	ВМ40-1ХС, 25	1	1	1	3,3
ЩК281М-УХЛ4	*				2	1	1	2,0
ЩК291М-УХЛ4	+	ВМ40-2ХС32	УЗО Д40 2232	ВМ40-1ХС, 25 ВМ40-1ХС, 16	1	1	1	3,2

* Конструкция предусматривает возможность установки счетчика.

Щитки могут быть изготовлены с иными номинальными токами автоматических выключателей, устройств защитного отключения в соответствии с заказом и принципиальной электрической схемой.

Следует отметить, что в последнее время изготавливают и применяют пластиковые и металлические боксы, в которых предусмотрены места и крепления для установки в них DIN-реек, нулевых (*N*) и защитных (*PE*) шин. Указанные боксы позволяют наполнять их необходимым для изготовления осветительных щитков модульным электрооборудованием (счетчиками электрической энергии, автоматическими выключателями, устройствами защитного отключения, дифференциальными автоматическими выключателями и др.). При этом наполнение может осуществляться на местах монтажа внутренних электрических сетей в соответствии с требованиями конкретных схем управления технологическим оборудованием и распределения электрической энергии.

Боксы имеют эстетический вид и предназначены для изготовления групповых или распределительных щитов производственных, административных, бытовых и жилых осветительных установок. Многовариантность исполнения по возможности наполнения (количеству встраиваемого модульного электрооборудования), степени защиты (*IP20...IP65*), климатическому исполнению, способу установки (встраиваемые в нишу и навесные), размерам, используемому для изготовления материалу и т.д., способствует их широкому применению.

Корпус пластикового бокса выполнен из негорючего или самозатухающегося пластика (табл. 5.6). Высокая степень защиты, в частности *IP65*, позволяет их устанавливать в помещениях с повышенной влажностью и загрязненностью окружающей среды. Они

чения (УЗО), кроме того, предназначены для защиты людей от поражения электрическим током при неисправностях электрооборудования или при непреднамеренном контакте с открытыми токопроводящими частями электроустановок и для предотвращения пожаров, могущих возникнуть вследствие токов утечки.

Щитки типа ЩК2 изготавливают в навесном или встроенном исполнении. Их комплектуют двухполюсным автоматическим выключателем ВМ40 на номинальный ток 40 А, одним однополюсным автоматическим выключателем ВМ40 на номинальный ток 25 А, двумя однополюсными автоматическими выключателями на номинальный ток 16 А, устройством защитного отключения УЗО Д40 на номинальный ток 40 А с вставкой по току утечки 30 мА, со счетчиком активной энергии (табл. 5.5). Степень защиты щитков осветительных типа ЩК2 — *IP40*, габариты (В×Ш×Г) — 264×157×150 мм.

Таблица 5.5

Основные технические параметры щитков осветительных квартирных типа ЩК2

Марка	Наличие счетчика	Вводной автоматический выключатель	УЗО	Групповой автоматический выключатель		Количество шин, шт.		Масса, кг
				марка, ток, А	кол-во	<i>N</i>	<i>PE</i>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЩК21М-УХЛ4	+	—	—	ВМ40-1ХС, 25	1	1	—	3,2
ЩК22М-УХЛ4	*			ВМ40-1ХС, 16	2			1,65
ЩК25М-УХЛ4	+	ВМ40-2ХС40	—	ВМ40-1ХС, 25	1	1	—	3,2
ЩК26М-УХЛ4	*			ВМ40-1ХС, 16	2	1	—	1,8
ЩК211М-УХЛ4	+	ВМ40-2ХС40	—	ВМ40-1ХС, 25	1	1	—	3,2
ЩК221М-УХЛ4	*			ВМ40-1ХС, 16	2	1	—	1,8
ЩК251М-УХЛ4	+	ВМ40-2ХС40	УЗО Д40 2240	ВМ40-1ХС, 25	1	1	1	3,4
ЩК261М-УХЛ4	*			ВМ40-1ХС, 16	2	1	1	2,1

позволяют при необходимости осуществлять опломбировку (тип PZ2) автоматических выключателей и низковольтной аппаратуры в корпусах электрощитов.

Таблица 5.6

Основные технические параметры пластиковых боксов типов TSM, WAY и PZ

Тип бокса	Габариты, мм			Способ установки	Степень защиты
	ширина	высота	глубина		
TSM INSIDE 2P	—	—	30	встраиваемые	IP40
TSM INSIDE 6P	172	222			
TSM INSIDE 10P	245				
TSM INSIDE 12P	280				
TSM INSIDE 18P	399				
TSM INSIDE 24P	300				
TSM INSIDE 36P	482				
TSM OUSIDE 2P	—	—	95	навесные	IP40
TSM OUSIDE 4P	113	200			
TSM OUSIDE 6P	150				
TSM OUSIDE 10P	220				
TSM OUSIDE 12P	255				
TSM OUSIDE 36P	270				
4 WAY	142	210	100	навесные	IP65
8 WAY	211				
12 WAY	295				
18 WAY	410				
24 WAY	295				
PZ1 1P	32	130	65	навесные	IP20
PZ1 2P	50				
PZ1 4P	85				
PZ1 6P	123				
PZ2 2P	48	140	65		
PZ2 4P	90				

Щиты распределительные пластиковые серий ЩРН-П (навесные) и ЩРВ-П (встроенные) предназначены в зависимости от типоразмера для установки от 3 до 45 модулей электроаппаратуры в соответствии со следующей шкалой — 3, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 24, 36, 45. Обеспечивают степень защиты IP40, их климатическое исполнение — УХЛ...

Щиты распределительные пластиковые серий ЩРН-ПП (навесные) и ЩРВ-ПП (встроенные) предназначены в зависимости от типоразмера для установки от 5 до 24 модулей электроаппаратуры в соответствии со следующей шкалой — 5, 6, 12, 24. Обеспечивают степень защиты IP65, их климатическое исполнение — УХЛ...

Щиты распределительные пластиковые серий ЩРН-Пм (навесные) и ЩРВ-Пм (встроенные) предназначены в зависимости от типоразмера для установки от 6 до 36 модулей электроаппаратуры в соответствии со следующей шкалой — 6, 9, 12, 16, 24, 36. Обеспечивают степень защиты IP40, их климатическое исполнение — УХЛ...

Щиты распределительные серий ЩРН, ЩРВ имеют металлический сварной корпус и позволяют разместить до 90 однополюсных автоматических выключателей ВА 47-63 марки ЭТП. Выпускаются в исполнениях — навесные (ЩРН) и встраиваемые в нишу (ЩРВ). Степень защиты щитов ЩРН — IP31 и IP54, а ЩРВ — только IP30. Комплекуются DIN-рейками для установки коммутационной модульной аппаратуры и замком с двумя ключами с одинаковой степенью секретности, знаками электробезопасности. Доступ ко всем токоведущим частям закрыт съемной фальш-панелью. Для ввода кабеля внутрь щита предусмотрены отверстия (для ЩРН — 3 отверстия диаметром по 32 мм снизу, для ЩРВ — снизу и сверху). Предусмотрена возможность крепления шин N и PE, а также заземления двери и корпуса щитка.

В групповые и распределительные щиты для управления электрическими сетями осветительных установок устанавливается следующая электроаппаратура: модульные автоматические выключатели, например, серий ВА47, ВА51, ВА57, ВА61, ВМ63, ВА77 и др.; устройства защитного отключения (УЗО), например, серии У1-63, УЗО-Д63 и др.; дифференциальные автоматические выключатели, например, серий АД-2, АД-4, АД-30, ДА-8, ДА-12, ДА-14 и др.; однофазные или трехфазные счетчики электрической энергии; DIN-рейки, нулевые (N) и защитные (PE) шины, если они не предусмотрены комплектацией.

Автоматические выключатели серии ВА47 предназначены для сетей с частотой тока до 50 Гц, номинальным напряжением 230/400 В и током до 125 А. Используются для защиты низковольтных электрических нагрузок от перегрузки и короткого замыкания, а также для оперативного управления участком электрической цепи (нечастых ручных включений и отключений электроприемников). Производятся в одно-, двух-, трех- и четырехполюсном исполнении. В кон-

струкцию ВА47 входят тепловой (биметаллическая пластина) и электромагнитный расцепители, предназначенные для отключения выключателя под действием тока, величина которого превышает величину номинального тока. Предусмотрена также защелка с фиксацией для монтажа на DIN-рейку.

Типоисполнения ВА47-63 (ВА47-29), ВА47-100 (ВА47-39) рассчитаны на ток коммутации соответственно до 63 и 100 А. Максимальное сечение коммутируемых проводов: ВА47-3 — 25 мм², ВА47-100 — 35 мм². Номинальный ток ВА47-63: однополюсных — 0,5; 0,8; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; двухполюсных — 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; трехполюсных — 0,5; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 3,15; 4; 5; 6; 6,3; 8; 10; 12,5; 13; 16; 20; 25; 31,5; 32; 40; 50; 63 и четырехполюсных — 0,5; 0,8; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63. Степень защиты — IP20. Условия эксплуатации — УХЛ... . Структура условного обозначения: ВА47-63 X₁P X₂, где ВА47 — серия автоматических выключателей; 63 — номинальный ток контактной группы (или 29 — код классификации по номинальному току, соответствующий току в 63 А); X₁ — количество полюсов (1, 2, 3, 4); X₂ — номинальный ток расцепителя, А.

Условное обозначение наиболее распространенных выключателей серии ВА61: ВА61-X 39 X₁ X₂ X₃ X₄ X₅ X₆ X₇, где ВА61 — серия автоматических выключателей; X — наличие электромагнитного или комбинированного расцепителя (F — комбинированный, H — электромагнитный); 39 — номинальный ток (39 соответствует току в 63 А); X₁ — количество полюсов (1, 2, 3, 4); X₂ — тип расцепителя (Z, L или K); X₃ — номинальный ток расцепителя (0,5; 0,8; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12,2; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63 и т. д.); X₄ — наличие нейтрального полюса (NA); X₅ — наличие независимого расцепителя РН; X₆ — род тока («↔» — переменный, «⇒» — постоянный); X₇ — номинальное напряжение независимого расцепителя (24, 110 или 230 постоянного тока, 24, 127, 230 или 400 В переменного тока частотой 50 Гц).

Область применения автоматических выключателей серии ВА77-29:

— тип В — для защиты низковольтных сетей административных и жилых зданий;

— тип С — для защиты низковольтных сетей административных и жилых зданий и для потребителей с небольшими пусковыми токами.

Обозначение ВА77-29/X₁P X₂: 77 — номер серии; 29 — классификация по номинальному току (группы); X₁ — количество полюсов (1, 2, 3, 4); X₂ — номинальный ток расцепителя (1; 2; 3; 4; 5; 6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63 А). Производят в одно-, двух-, трех- и четырехполюсном исполнении, обозначение соответственно ВА77-29/1P 6А, ВА77-29/2P 10А, ВА77-29/3P 16А, ВА77-29/4P 25А. Предназначены для сетей с частотой тока до 50 Гц, номинальным напряжением 230/400 В. Степень защиты — IP20. Условия эксплуатации — УХЛЗ.

Устройство защитного отключения (УЗО) предназначено для сетей с частотой тока до 50 Гц, номинальным напряжением 230/400 В и током до 100 А. Используется для защиты человека (животных) от поражения электрическим током при случайном прикосновении к открытой проводке или токоведущим частям электрооборудования и для предотвращения возникновения пожаров вследствие протекания токов утечки на землю. По условиям функционирования подразделяются на следующие типы: не зависящие от напряжения сети — электромеханические с током утечки 10, 30, 100, 300 мА; зависящие от напряжения сети — электронные с током утечки 30 мА. Работает на основе фиксации дифференциального тока (разницы между прямым и обратными токами), возникающего при его утечке на землю и при достижении заданного разрыва электрической цепи.

УЗО производят в двух- (для однофазной нагрузки), трех- (для двухфазной нагрузки) и четырехполюсном (для трехфазной нагрузки) исполнении. Рекомендуется использовать совместно с автоматическими выключателями.

В конструкции УЗО предусмотрена защелка с фиксацией для монтажа на DIN-рейку. Номинальный ток при двух- или четырехполюсном исполнении: 16, 25, 32, 40, 63, 80, 100 А. Отключающий дифференциальный ток: 10, 30, 100, 300 мА. Максимальное сечение коммутируемых проводов — 25 мм². Их степень защиты — IP20, IP25, IP40, климатическое исполнение — УХЛ... .

Структура условного обозначения: ВД-63 X₁ X₂ X₃, где ВД-63 — тип УЗО; X₁ — число полюсов; X₂ — номинальный ток, А; X₃ — номинальный дифференциальный отключающий ток, мА.

Двухполюсные УЗО серии ВД1-63 выпускают на токи 16 (10, 30, 100 мА), 25 (10, 30, 100, 300 мА), 32 (30, 100 мА), 40, 50, 63, 80, 100 (30, 100, 300 мА) А, а четырехполюсные — 16 (10, 30, 300 мА), 25 (10, 30, 100, 300 мА), 32, 40, 50, 63, 80, 100 (30, 100, 300 мА) А.

Дифференциальные автоматы (АД) — быстродействующие защитные выключатели, используемые для защиты человека (живот-

ных) от поражения электрическим током при случайном прикосновении к токоведущим частям электрооборудования при повреждении изоляции, предотвращения пожаров вследствие протекания токов утечки на землю, защиты от перегрузок и короткого замыкания. То есть их конструкция сочетает в себе три функции: автоматического выключателя с защитой от тока перегрузки и тока короткого замыкания; устройства защитного отключения, которое управляется дифференциальным током и обеспечивает защиту от тока утечки на землю; устройства, включающего встроенный блок защиты от перенапряжения более 270 В.

Они предназначены для сетей с частотой тока до 50 Гц, номинальным напряжением 230/400 В и током до 63 А.

Дифференциальные автоматы серии АД-30 рассчитаны на номинальный ток при двухполюсном (однофазном) исполнении — 6, 10, 16, 25, 32, 40 А, серии АД-2 при трехполюсном (двухфазном) исполнении — 6, 10, 16, 25, 32, 40, 63 А, серии АД-4 при четырехполюсном (трехфазном) исполнении — 6, 10, 16, 25, 32, 40, 63 А. Номинальное значение отключающего дифференциального тока — 30 мА. В них предусмотрено максимальное сечение коммутируемых проводов — 25 мм². Их степень защиты — IP20 и условия эксплуатации — УХЛ...

Структура их условного обозначения в основном включает четыре позиции: X₁ X₂P X₃ X₄, где X₁ — тип дифференциального автомата (АД-2, АД-4, АД-30, ДА-8, ДА-12, ДА-14 и др.); X₂ — число полюсов; X₃ — номинальный ток, А; X₄ — номинальный дифференциальный отключающий ток, мА. Например: ДА-8 2Р 6А 30 мА, ДА-12 2Р 6А 30 мА, ДА-14 4Р 10А 10 мА и т. д.

Принципиальные схемы включения электрооборудования при использовании автоматических выключателей, устройства защитного отключения и дифференциальных автоматов приведены на рис. 5.4...5.6.

Для перераспределения электрической энергии, защиты от перегрузок и коротких замыканий групповых линий силового электрооборудования и осветительных установок используют распределительные шкафы, пункты и устройства серий ЩРО8505, ПР8501, ПР11, ПР41, ЩУР, ЩРУН (ЩРУВ), ЩУРв(н), ЩУ, ЩЭ, ЩУ, РУС-Е и др.

Шкафы распределительные серии ПР11 предназначены для эксплуатации при температуре от -40 до +40 °С и относительной влажности воздуха не более 80 %. Структура их условного обозначения включает: ПР X₁-X₂ X₃-X₄ X₅X₆, где ПР — шкаф (пункт) распредели-

тельный; X₁ — номер серии (21); X₂ — конструктивное исполнение (1 — встроенный в нишу, 3 — навесной, 7 — напольный); X₃ — условный номер схемы подключения электрооборудования как внутри шкафа, так и к подводящей сети; X₄ — степень защиты (21 — IP21 и 54 — IP54); X₅ — климатическое исполнение (У); X₆ — категория размещения (1, 3). Например: ПР11-1124-21 У3.

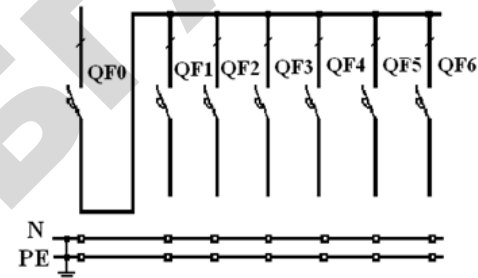


Рис. 5.4. Схема электрическая принципиальная сборки группового осветительного щита без УЗО: QF0 — вводной автоматический выключатель; QF1...QF6 — групповые автоматические выключатели (по необходимости)

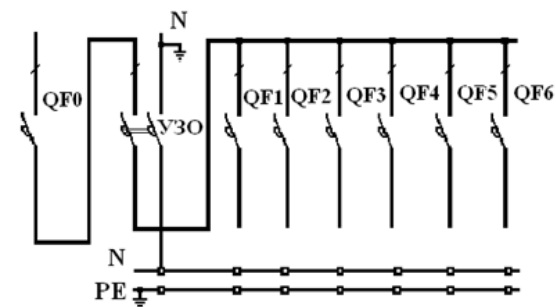


Рис. 5.5. Схема электрическая принципиальная сборки группового осветительного щита с УЗО: QF0 — вводной автоматический выключатель; УЗО — устройство защитного отключения; QF1...QF6 — групповые автоматические выключатели (по необходимости)

Шкафы изготавливают с автоматическими выключателями на вводе или вводными зажимами на напряжение 400 или 660 В. В корпусе установлены автоматические выключатели серий АЕ или 3700, отличающиеся повышенной коммутационной способностью, износостойкостью и возможностью обеспечения селективной защиты.

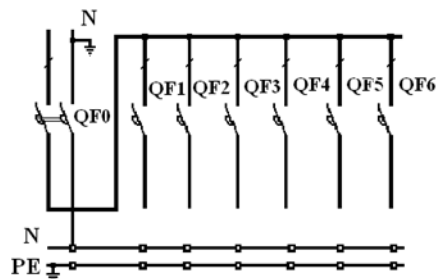


Рис. 5.6. Схема электрическая принципиальная сборки группового осветительного щита с дифференциальным автоматом:
 QF0 — вводной дифференциальный автоматический выключатель;
 QF1...QF6 — групповые автоматические выключатели (по необходимости)

Распределительные шкафы со степенью защиты *IP21* могут быть установлены в помещениях, не содержащих токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию, а шкафы химостойкого исполнения степени защиты *IP54* — в помещениях, содержащих (г/м^3) одну из агрессивных сред: пары серной кислоты в концентрации до 0,002; аммиак при длительном воздействии — 0,3 и кратковременном воздействии до 5 ч/сутки — 0,09; углекислый газ при длительном воздействии — 7,8 и кратковременном воздействии до 5 ч/сутки — 14,7. Типоисполнения распределительных шкафов приведены в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Типоисполнение распределительных шкафов серии ПР11

Типоисполнение	Номинальный ток шкафа, А	Вводной выключатель	Количество групповых выключателей	
			однополюсных	трехполюсных
1	2	3	4	5
Шкафы с групповыми выключателями АЕ2040				
ПР11-3045-21У1, ПР11-1045-21У3	90	зажимы	6	—
ПР11-3046-21У3, ПР11-1046-21У3		АЕ2066	6	—
ПР11-3047-21У3, ПР11-1047-21У3		зажимы	—	2

Продолжение табл. 5.7

1	2	3	4	5
ПР11-3048-21У3, ПР11-1048-21У3	90	АЕ2066	—	2
ПР11-3049-21У3, ПР11-1049-21У3		зажимы	3	1
ПР11-3050-21У3, ПР11-1050-21У3		АЕ2066	3	1
ПР11-3051-21У3, ПР11-1051-21У3	225	зажимы	12	—
ПР11-3052-21У3, ПР11-1052-21У3		А3726ФУ3	12	—
ПР11-3055-21У3, ПР11-1055-21У1		зажимы	6	2
ПР11-3056-21У3, ПР11-1056-21У3		А3726ФУ3	6	2
ПР11-3057-21У3, ПР11-1057-21У3		зажимы	18	—
ПР11-3058-21У3, ПР11-1058-21У3		А3726ФУ3	18	—
ПР11-3059-21У3, ПР11-1059-21У3		зажимы	—	6
ПР11-3060-21У3, ПР11-1060-21У3		А3726ФУ3	—	6
ПР11-3061-21У3, ПР11-1061-21У3		зажимы	12	2
ПР11-3062-21У3, ПР11-1062-21У3		А3726ФУ3	12	2
ПР11-3063-21У3, ПР11-1063-21У3	зажимы	6	4	
ПР11-3064-21У3, ПР11-1064-21У3	А3726ФУ3	6	4	
ПР11-3072-21У3, ПР11-1072-21У3	213	А3726ФУ3	12	4
ПР11-3072-54У3		А3726ФУ3	12	4
ПР11-3073-21У3, ПР11-1073-21У3	225	зажимы	6	6
ПР11-3073-54У3	213	зажимы	6	6

Окончание табл. 5.7

1	2	3	4	5
ПР11-3074-21У3, ПР11-1074-21У3	225	А3726ФУ3	6	6
Шкафы с групповыми выключателями АЕ2050				
ПР11-3117-21У3	225	зажимы	—	4
ПР11-3117-54У3	213	зажимы	—	4
ПР11-3118-21У3	225	А3726ФУ3	—	4
ПР11-3118-54У3	213	А3726ФУ3	—	4

Пункты распределительные ПР41 предназначены для распределения электрической энергии, защиты от перегрузок и токов короткого замыкания групповых линий с глухозаземленной нейтралью напряжением 230/400 В, а также компенсации реактивной мощности в осветительных сетях. Состоят из двух отдельных блоков — распределения электрической энергии, защиты от перегрузок и токов короткого замыкания (1) и компенсации реактивной мощности (2). В блоке компенсации реактивной мощности установлены 4 конденсаторные батареи мощностью 16 квар. Без конденсаторных батарей блок 2 используется в качестве подставки под блок 1. Блоки 1 и 2 соединяются между собой болтами. Дверцы блоков запираются встроенными замками. При открывании дверей верхнего блока автоматически включается освещение пункта.

Пункты ПР41 выпускают с вводными автоматическими выключателями и без них, с конденсаторными батареями и без них (табл. 5.8). Их габариты — 1800×1200×400 мм. Их конструкция обеспечивает ввод и вывод проводов в трубах или кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией питающих и отходящих линий, а также цепей управления через верхнюю крышку. К зажимам главных шин распределительного пункта ПР41 присоединяются провода сечением от 10 до 2×120 мм², а к зажимам групповых выключателей — 1,5...25 мм². Пункты устанавливаются на полу и эксплуатируются при температуре воздуха от +1 до +40 °С во невзрывоопасных окружающих средах, не содержащих пыли, агрессивных газов и паров.

Структура их условного обозначения состоит из: ПР X₁-X₂ X₃X₄-X₅X₆X₇, где: ПР — пункт распределительный; X₁ — номер серии (41); X₂ — вид установки (4 — на полу, ввод проводов или кабеля сверху); X₃ — габарит без измерительного прибора (3); X₄ — номер схемы подключения электрооборудования в распределительном пункте; X₅ — степень защиты (43 — IP43); X₆ —

климатическое исполнение (У); X₇ — категория размещения (4). Например: ПР41-4301-43 У4.

Таблица 5.8

Технические параметры пунктов распределительных ПР41

Типоисполнение	Количество встраиваемых выключателей			Количество конденсаторов КС1-С38-18У3	Масса, кг
	вводных А3728Ф	групповых			
		АЕ2044	АЕ2046		
ПР41-4301-43У4	1	—	4	4	290
ПР41-4302-43У4	зажимы	—	4	4	270
ПР41-4303-43У4	1	3	5	—	190
ПР41-4304-43У4			7	—	200
ПР41-4305-43У4			9	—	

Основные электротехнические параметры щитов распределения энергии серии ЩРО8505 и распределительных пунктов серии ПР8501 приведены в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Технические параметры щитов распределения энергии серии ЩРО8505 и распределительных пунктов серии ПР8501

Наибольший номинальный ток, А	Вводной автоматический выключатель	Групповые автоматические выключатели	
		тип	количество
1	2	3	4
Щиты распределения энергии серии ЩРО8505			
200	зажимы	ВА611F29-1В, 40 А	18
		ВА611F29-1В, 63 А	9
320	ВА57Ф35	ВА611F29-1В, 63 А	9
		ВА611F29-1В, 40 А	18
	зажимы	ВА611F29-1В, 63 А	9
		ВА611F29-1В, 40 А	36
		ВА611F29-1В, 63 А	18

Окончание табл. 5.9

1	2	3	4
320	BA57-39	BA611F29-1B, 12,5 А	18
		BA611F29-1B, 25 А	9
		BA611F29-1B, 40 А	36
		BA611F29-1B, 63 А	9
		BA611F29-1B, 63 А	18
Распределительные пункты серии ПР8501			
160*	зажимы	BA51-29**	3
	BA51-33	BA51-29**	3
	зажимы	BA51-29**	6
	BA51-33	BA51-29**	6
	зажимы	BA51-29**	12
	BA51-33	BA51-29**	12
	зажимы	BA51-29 + BA51-31**	3 + 1
	BA51-33	BA51-29 + BA51-31**	3 + 1
	зажимы	BA51-29 + BA51-31**	6 + 2
	BA51-33	BA51-29 + BA51-31**	6 + 2
	зажимы	BA51-29 + BA51-31**	12 + 2
	BA51-33	BA51-29 + BA51-31**	12 + 2
	зажимы	BA51-29 + BA51-31**	6 + 4
	BA51-33	BA51-29 + BA51-31**	6 + 4

* Рабочий ток ввода по степени защиты IP21 — 128 А, IP54 — 120 А.

** BA51-29 — однополюсные, BA51-31 — трехполюсные.

Щиты учетно-распределительные серий ЩРУН, ЩРУВ, ЩУРв(н), ЩРН, ЩРВ и ЩУ предназначены для установки модульного оборудования для коммутации сетей напряжением 400/230В и их защиты от токов перегрузки и короткого замыкания, а также электрических счетчиков. Используются для электромонтажа в жилых, административных, торговых и промышленных зданиях. Имеют металлический сварной корпус. Позволяют разместить до 48 однополюсных автоматических выключателей ВА47-63 марки ЭТП, а также одно- или трехфазных счетчиков электрической энергии. Выпускаются в исполнениях — встраиваемые в нишу (ЩРУВ) со степенью защиты IP30 и навесные (ЩР) со степенью защиты IP54. Комплекуются съемной монтажной панелью для крепления счетчика, DIN-рейками для установки коммутационной модульной аппаратуры и замком с двумя ключами с одинаковой сте-

пенью секретности, знаками электробезопасности. В двери щита имеется стекло для снятия показания счетчика. Доступ ко всем токоведущим частям закрыт съемной фальш-панелью. Для ввода кабеля внутрь щита предусмотрены отверстия (для ЩРН — 3 отверстия диаметром по 32 мм снизу, для ЩРВ — снизу и сверху). Предусмотрена возможность крепления шин N и PE, а также заземления двери и корпуса щитка.

Щитки учетно-распределительные ЩУР, этажные ЩЭ предназначены для учета и распределения электрической энергии в сетях напряжением 400/230 В переменного тока частотой 50 Гц с глухозаземленной нейтралью. Благодаря встроенным устройствам защитного отключения щитки предохраняют электрические сети квартир от перегрузок, коротких замыканий и утечки токов. Устанавливаются щитки в нишах стен жилых многоквартирных домов.

Вводно-распределительные устройства ВРУ (УВР) предназначены для приема, распределения и учета электрической энергии трехфазного переменного тока напряжением 400/230 В частотой 50 Гц в сетях с глухозаземленной нейтралью и защиты линий при перегрузках и коротких замыканиях. В зависимости от исполнения устройства устанавливаются на полу жилых и общественных зданий, а также в специальных электрощитовых и вне их.

Ящики с понижающим трансформатором ЯТП предназначены для преобразования напряжения 230 (400) В переменного тока частотой 50 Гц в безопасное напряжение 12 (24, 36, 42) В и служат для питания линий ремонтного освещения, подключения переносных светильников и электроинструмента. Их степень защиты — IP54. Пример условного обозначения — ЯТП 0,25 кВА 222/12 В.

5.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Правильно спроектированные электрические сети должны обеспечивать оптимальную работу осветительных установок при минимальных затратах финансовых, материально-технических и трудовых ресурсов. При разработке проекта электрической сети рекомендуется придерживаться такой последовательности рассмотрения основных вопросов: выбор напряжения и схемы питания электрической сети; определение мест расположения групповых щитков и трассы сети; выбор марки проводов и способов прокладки;

составление принципиальной схемы электрической сети; расчет и проверка сечения проводников; выбор защиты сети от аварийных режимов; составление сметы и спецификации; разработка (при необходимости) специальных мероприятий по охране труда и технике безопасности, организации эксплуатации, экономии электрической энергии.

5.3.1. Выбор напряжения и схемы питания электрической сети

Питание источников оптического излучения в сельскохозяйственном производстве, как правило, осуществляется от системы *TN* трехфазного тока с глухозаземленной нейтралью (в исполнении *TN-S* или *TN-C-S*) напряжением 400/230 В (глава 5.1). При этом источники света подключаются к сети между фазным и нулевым проводами на напряжение 230 В. Тем не менее при выборе того или иного значения питающего осветительные приборы напряжения следует исходить из степени опасности поражения людей и животных электрическим током в рассматриваемом помещении, зоне или условиях эксплуатации.

В помещениях без повышенной опасности напряжение 230 В допускается для всех светильников общего назначения независимо от высоты их установки. Газоразрядные лампы высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и им подобные), рассчитанные на напряжение 400 В, допускается подключать на линейное напряжение системы 400/230 В.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных при установке светильников с лампами накаливания на высоте более 2,5 м над полом или обслуживающей площадкой допускается применять напряжение 230 В. При высоте установки светильников менее 2,5 м должны применяться светильники, конструкция которых исключает возможность доступа к лампе без специальных приспособлений, в противном случае напряжение питания источников должно быть не выше 50 В. Разрешается установка светильников с люминесцентными лампами на высоте менее 2,5 м при условии, что их контактные части будут недоступны для случайных прикосновений.

Светильники местного стационарного освещения с лампами накаливания в помещениях без повышенной опасности должны питаться от электрической сети напряжением 230 В, а в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных — не выше 50 В. Для питания переносных светильников в помещениях с повышен-

ной опасностью и особо опасных также должно применяться напряжение не выше 50 В. В случаях, когда опасность поражения электрическим током усугубляется теснотой, неудобным положением работающего, соприкосновением с большими металлическими хорошо заземленными поверхностями, питание переносных светильников должно осуществляться напряжением не выше 12 В. Для подключения светильников на пониженное напряжение, например, 36 или 12 В, применяют дополнительные понижающие трансформаторы.

Электрические сети осветительных установок, прокладываемые от источников питания до потребителей, состоят из питающих, распределительных и групповых линий (глава 5.1). Питающие и распределительные линии обычно выполняют в трехфазном исполнении — четырехпроводными для систем в исполнении *TN-C* и *TN-C-S* или пятипроводными для системы в исполнении *TN-S*, а групповые в зависимости от нагрузки и длины: в однофазном исполнении — двух- и трехпроводными, двухфазном — трех- и четырехпроводными, трехфазном — четырех- и пятипроводными, соответственно для систем *TN-C* и *TN-S* или *TN-C-S*.

Питающие линии могут быть магистральными, радиальными или радиально-магистральными (рис. 5.7). Радиальные сети по сравнению с магистральными имеют меньшие сечения проводов, меньшие зоны аварийного режима, но большую общую протяженность. Их целесообразно использовать лишь при больших нагрузках на питающую линию. Необходимость применения радиальной сети может быть также вызвана условиями взаимной планировки мест подстанций и осветительных щитков, при которых вынужденная трасса магистральной питающей сети будет чрезмерно удлинена. Применение чисто магистральной сети также не всегда целесообразно. В целях сокращения общей протяженности сети магистральные линии могут совмещаться и заменяться одной радиальной линией. В месте дальнейшего разветвления линии устанавливаются распределительный пункт, от которого могут отходить как магистральные, так и радиальные групповые линии.

Следует отметить, что на объектах сельскохозяйственного производства достаточно широкое распространение получили радиально-магистральные сети. При этом при планировке электрической сети возможны различные варианты ее выполнения, даже в пределах радиально-магистральной системы. Когда преимущество

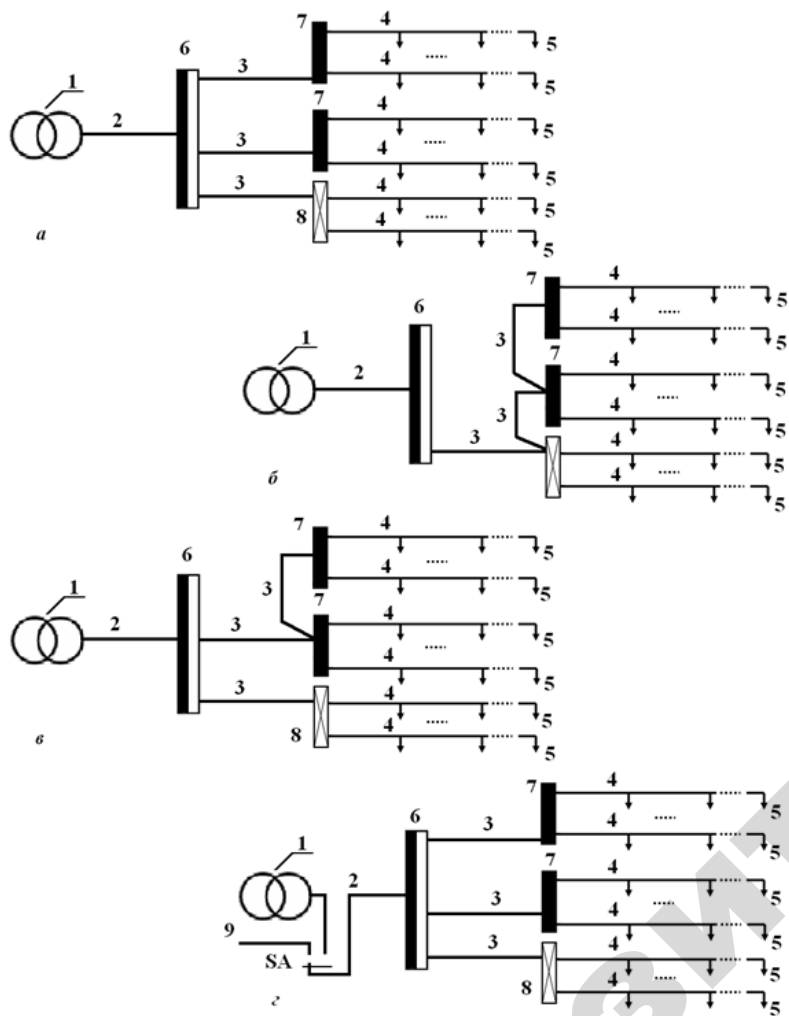


Рис. 5.7. Схемы питания электрических сетей осветительных установок:
 а — радиальная; б — магистральная; в — радиально-магистральная;
 г — радиальная с питанием дежурного освещения (освещения безопасности) от аварийного источника питания: 1 — трансформатор; 2 — питающие линии; 3 — распределительные линии; 4 — групповые линии; 5 — подводка к светильникам; 6 — распределительный пункт (ВУ, ВРУ, ГРЩ); 7 — групповой осветительный щит рабочего освещения; 8 — осветительный щит дежурного освещения (освещение безопасности); 9 — распределительные (питающие) линии от аварийного источника питания; SA — переключатель

одного варианта неочевидно, тогда необходимо прибегать к технико-экономическому сопоставлению вариантов.

При выборе схемы и источников питания электрических сетей осветительной установки в обязательном порядке учитывают требования к надежности электроснабжения, экономичности (минимальным капитальным и эксплуатационным затратам), удобству в управлении и простоте эксплуатации. И здесь важным фактором является категория проектируемого объекта по надежности электроснабжения и потребность в зависимости от этого в независимых источниках питания (глава 5.1).

5.3.2. Выбор групповых щитков, определение места их расположения и трассы сети

Групповые линии электрической сети осветительной установки подключаются к осветительным групповым щиткам, в которых размещаются аппараты защиты от токов короткого замыкания и перегрева, коммутации, управления и автоматического отключения при утечке тока на защитное заземление. Для уменьшения протяженности электрической сети и сечения проводников групповой сети осветительные щитки устанавливают в помещениях с благоприятными условиями среды, по возможности в центре осветительной нагрузки, в местах, удобных для обслуживания: проходах, коридорах, на лестничных клетках. Не рекомендуется их устанавливать в запираемых (кабинетах, складах, электрощитовых) и во взрыво- и пожароопасных помещениях. Если управление осветительной установкой осуществляется со щитков, то их размещают таким образом, чтобы с места их установки были видны отключаемые ряды светильников.

При компоновке внутренних электрических сетей осветительных установок светильники разбивают на группы (глава 5.1), намечают места установки групповых осветительных щитков, светильников, выключателей и розеток. При этом электрическую нагрузку стремятся распределить так, чтобы равномерно загрузить фазы питающей сети.

Однофазные групповые линии целесообразно применять для небольших помещений (в конторах, жилых зданиях), а также для средних при установке светильников с лампами накаливания мощностью до 200 Вт и светильников с люминесцентными лампами. Применение трехфазных групповых линий экономично в больших

помещениях (птичниках, коровниках и т. п.), освещаемых как лампами накаливания, так и газоразрядными лампами.

При разбивке электрической осветительной сети на группы большое значение имеет выбор трассы сети, которая должна быть не только короткой, но и наиболее удобной для монтажа и обслуживания. Прокладка сети по геометрически кратчайшим трассам практически невозможна или нецелесообразна по причинам конструктивного и технологического характера. При выборе трассы прокладки сети следует учитывать конструктивные, эксплуатационные и эстетические требования. Трасса электрической сети, особенно при открытой проводке, должна проходить параллельно или перпендикулярно к плоскостям, углам стен и потолка помещения. Только при скрытой проводке на горизонтальных плоскостях допускается применять прямолинейную трассировку между фиксированными точками сети.

При напряжении выше 50 В в помещениях без повышенной опасности открытую проводку выполняют на высоте не менее 2 м, а в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных — 2,5 м от пола или площадки обслуживания. При напряжении до 50 В в любых помещениях открытую электропроводку рекомендуется выполнять на высоте не менее 2 м. При пересечении трасс открытых электропроводок с трубопроводами расстояние между ними в свету должно быть не менее 50 мм, а с трубопроводами, содержащими горючие или легковоспламеняющиеся жидкости и газы, — не менее 100 мм. При параллельной их прокладке соответственно 100 и 400 мм.

Количество групповых осветительных щитков определяют исходя из размеров здания (длины A и ширины B) и рекомендуемой протяженности групповых линий: трехфазных напряжением 400/230 В — до 80 м, однофазных напряжением 230 В — до 35 м. Ориентировочное расчетное количество осветительных групповых щитков можно определить по формуле:

$$n_{щ} = \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{2r}, \quad (5.1)$$

где $n_{щ}$ — расчетное количество групповых щитков, шт.; A, B — длина и ширина здания, м; r — рекомендуемая протяженность групповой линии, м.

Для уменьшения протяженности и сечения проводов групповой сети осветительные щитки по возможности устанавливают в центре

электрической нагрузки, координаты которого можно определить по формулам:

$$x_{щ} = \frac{\sum_{i=2}^n P_i x_i}{\sum_{i=2}^n P_i} \quad \text{и} \quad y_{щ} = \frac{\sum_{i=2}^n P_i y_i}{\sum_{i=2}^n P_i}, \quad (5.2)$$

где $x_{щ}, y_{щ}$ — координаты центра электрических нагрузок в координатных осях x, y ; P_i — мощность i -й электрической нагрузки, Вт (кВт); x_i, y_i — координаты i -й электрической нагрузки в координатных осях x, y .

Осветительные щитки выбирают в зависимости от количества групповых линий, используемых аппаратов управления и защиты (учитывая и предназначенные для возможного резерва), величины расчетного тока групповой сети, исполнения по степени защиты от окружающей среды. В зависимости от условий среды в помещениях применяют групповые осветительные щитки незащищенные, защищенные и защищенные с уплотнением. Защищенные с уплотнением щитки предназначены для установки в производственных помещениях с тяжелыми условиями среды.

Выбранные трассы питающих, распределительных и групповых линий, места установки групповых щитков, светильников, выключателей и розеток и др. электрооборудования наносят на план помещений проектируемого здания в соответствии с условными обозначениями, регламентированными [4, 5, 27, 29].

5.3.3. Выбор марки проводов (кабелей) и способов их прокладки

Выбор марки проводов и кабелей для электрической сети осветительной установки производится с учетом:

- вида электропроводки (открытая и скрытая прокладка);
- способа прокладки (в трубах, коробах, лотках, рукавах, на тросе и т. д.);
- категории поверхности, на (в) которой осуществляется прокладка (сгораемая, трудносгораемая, несгораемая);
- категории помещения (зоны) по условиям окружающей среды (сухие, пыльные, влажные, сырые, особо сырые, особо сырые с химически активной или органической средой, пожаро- или взрывоопасные и т. д.);

- материала токопроводящих жил (медь, алюминий или др.);
- количества токопроводящих жил (одна, две, три, четыре или пять);
- площади сечения токопроводящих жил (0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 16,0; 25,0; 35,0 мм² и т. д.);
- защитной изоляции и оболочки на токоподводящих жилах (поливинилхлоридной, полиэтиленовой, наиритовой, резиновой, силанольносшитого полиэтилена и др.);
- номинального напряжения.

Выбор марки проводов и кабелей для электрической сети осветительной установки следует производить в соответствии с приведенными в приложении 25 рекомендациями, учитывая при этом требования к электрическим сетям пожаро-, взрыво- и электробезопасности проектируемых помещений. При наличии нескольких условий, регламентирующих требования к электрической сети помещения, выбранные марки провода или кабеля должны удовлетворять всем указанным нормативным требованиям.

При выборе марок проводов и кабелей для электропроводок главное внимание уделяется их оболочкам и изоляции, которые должны соответствовать способу прокладки, условиям окружающей среды и номинальному напряжению сети. Так, в животноводческих и птицеводческих помещениях, где воздух содержит большую концентрацию аммиака и влаги, провода с резиновой изоляцией не используют.

Для выполнения внутренних электропроводок на сельскохозяйственных объектах рекомендуется применять провода и кабели с алюминиевыми жилами. Провода и кабели с медными жилами следует применять:

- для взрывоопасных помещений классов В-I и В-Ia;
- в помещениях с химически активной средой, разрушающе действующей на алюминий;
- для зарядки светильников подвесных, на кранах и переносных;
- при прокладке по вибрирующим основаниям;
- в зрелищных предприятиях для сцены, арены, эстрады, киноаппаратной и др.;
- для открытых проводок в чердачных помещениях.

Для присоединения передвижных и переносных осветительных установок применяют гибкие кабели с медными жилами в резиновой изоляции и резиновой оболочке, например, типов КГ, КРПТ, КРПГ.

Основные типы установочных проводов и кабелей представлены в табл. 5.2.

Электропроводки подразделяются на два вида: открытые и скрытые. Открытая электропроводка предусматривает прокладку проводов и кабелей непосредственно по поверхностям стен, потолков, фермам и другим строительным элементам зданий и сооружений, внутри стальных или пластмассовых труб, в лотках и коробах. Скрытая электропроводка предусматривает прокладку проводов и кабелей внутри конструктивных элементов зданий и сооружений (под штукатуркой, в стенах, полах, фундаментах, пустотах, перекрытиях), в том числе прокладываемых и в пластмассовых или стальных трубах, пластиковом или металлическом рукаве.

Наиболее совершенной является скрытая проводка. Провода, проложенные скрыто, не портят вида помещения, не подвергаются воздействию внешней среды и не получают механических повреждений. Однако наиболее дешевой является открытая проводка.

При проектировании сельскохозяйственных объектов следует применять следующие способы прокладки электропроводок: на тросе; на лотках и в коробах; в пластмассовых и стальных трубах; в металлических, резино- и пластикотехнических гибких рукавах; в каналах строительных конструкций; проводом и кабелем по строительным основаниям и конструкциям. В высоких помещениях (производственных) часто бывает целесообразно осуществлять прокладку на тросе. При этом светильники можно располагать на сравнительно небольшой высоте, что облегчает доступ к ним, упрощает монтаж и дает экономию проводов за счет сокращения длины спусков к светильникам.

При выборе того или иного способа прокладки электропроводки необходимо учитывать условия среды, строительные особенности помещения, архитектурно-художественные требования и, наконец, технико-экономические показатели. Выбор способа прокладки сети должен быть согласован с предусмотренным заводом-изготовителем способом установки светильников (на потолке, крюке, трубе и т. д.).

5.3.4. Расчет и проверка сечения проводников электрической сети

Сечения проводников электрической сети осветительной установки определяют, исходя из: допустимой максимальной температуры (длительно допустимого тока); допустимого падения напря-

жения (отклонения напряжения у наиболее удаленного источника); электромеханических нагрузок, которые могут иметь место вследствие токов короткого замыкания; механических нагрузок, которым могут подвергаться проводники (механической прочности); максимального полного сопротивления по отношению к рабочим характеристикам защиты от токов короткого замыкания (тока аппарата защиты); требований экономичности [9, 26].

Электрические сети осветительных установок сельскохозяйственных зданий и помещений (сооружений) отличаются относительно большой протяженностью, небольшой установленной мощностью электрических нагрузок и, как правило, удаленностью от питающих их трансформаторных подстанций. Учитывая эти обстоятельства, с целью снижения трудоемкости расчетов определение сечения их проводников целесообразно начинать с выполнения требования к обеспечению допустимого отклонения напряжения у наиболее удаленного источника, то есть по допустимой потере напряжения. Поэтому до начала расчета требуется составить принципиальную схему электрической сети и определить значение допустимых (располагаемых) потерь напряжения на ее участках.

Значение допустимых (располагаемых) потерь напряжения в сети можно определить из выражения, при известных входящих в него параметрах:

$$\Delta U_{\text{доп}} = \Delta U_{\text{хх}} - \Delta U_{\text{л}} - \Delta U_{\text{т}}, \quad (5.3)$$

где $\Delta U_{\text{доп}}$ — допустимая потеря напряжения в сети, %; $\Delta U_{\text{хх}}$ — напряжение холостого хода на шинах низшего напряжения трансформатора, %; $\Delta U_{\text{л}}$ — минимально допустимое напряжение у наиболее удаленных ламп, %; $\Delta U_{\text{т}}$ — потеря напряжения в трансформаторе, к которому подключена осветительная установка, %.

При определении допустимого напряжения у наиболее удаленных ламп $\Delta U_{\text{л}}$ необходимо исходить из следующих требований [2, 26]:

— снижение напряжения по отношению к номинальному не должно у наиболее удаленных источников превышать 5 % для рабочего освещения промышленных, общественных и жилых зданий, наружных осветительных установок (считая от выводов низшего напряжения понижающих трансформаторов);

— напряжение у источников должно быть не более 105 % номинального.

Значение допустимых потерь напряжения в линии $\Delta U_{\text{л}}$ определяется суммой значений потерь (превышений) напряжений в пи-

тающей $\Delta U_{\text{п}}$, распределительной $\Delta U_{\text{р}}$ и групповой $\Delta U_{\text{г}}$ ее составляющих линиях, то есть $\Delta U_{\text{л}} = \Delta U_{\text{п}} + \Delta U_{\text{р}} + \Delta U_{\text{г}}$. Допустимые потери напряжения внутри помещения $\Delta U_{\text{пом}}$, в котором выбирается сечение проводников электрической сети осветительной установки, могут быть определены как $\Delta U_{\text{пом}} = \Delta U_{\text{р}} + \Delta U_{\text{г}}$ или

$$\Delta U_{\text{пом}} = \Delta U_{\text{хх}} - \Delta U_{\text{т}} - \Delta U_{\text{п}}. \quad (5.4)$$

Определяя допустимые потери напряжения в электрической сети осветительной установки $\Delta U_{\text{пом}}$ при известной (существующей или проектируемой) принципиальной схеме всей электрической сети от питающего трансформатора до всех подключенных к ней электрических нагрузок значение входящих в формулу (5.4) параметров может быть вычислено по известным выражениям, например, [16, 36], следовательно, и значение $\Delta U_{\text{пом}}$ в этом случае определяется расчетным путем. Так как при выборе сечения проводников электрической сети осветительной установки при выполнении курсового проекта по дисциплине в задании не приводится принципиальная схема всей электрической сети и неизвестными значениями являются $U_{\text{хх}}$, $\Delta U_{\text{т}}$ и $\Delta U_{\text{п}}$, в расчетах рекомендуется принимать приближенное значение $\Delta U_{\text{пом}}$, равное 2,0...2,5 %.

При выборе сечения проводников по допустимой потере напряжения в расчетных формулах исходят из момента нагрузки всех распределительных и групповых линий электрической сети осветительной установки. Для определения моментов нагрузки предварительно составляется принципиальная расчетная схема электрической сети, в которую включаются все входящие в сеть электроприемники, в частности, светильники и розетки.

Пример принципиальной расчетной схемы электрической сети приведен на рис. 5.8. На принципиальной расчетной схеме указываются расстояния между узловыми точками сети l_{i-j} и установленная (расчетная) мощность потребителя (светильника, розетки) P_i . При этом P_i определяется с учетом потерь мощности в ПРА (для светильников с газоразрядными лампами) и коэффициента спроса нагрузки [16]:

$$P_i = K_{\text{с}} \cdot \sum_{i=1}^n K_{\text{ПРА}i} \cdot P_{\text{НОМ}i}, \quad (5.5)$$

где $K_{\text{с}}$ — коэффициент спроса нагрузки: для групповых линий и распределительных линий, питающих отдельные групповые щитки, мо-

жет быть принят равным 1,0; для розеток, питающихся от групповых линий — 1,0; для розеток при расчете распределительных линий — 0,2; $K_{ПРА}$ — коэффициент, учитывающий потери мощности в ПРА: для ламп накаливания равный 1,0; люминесцентных ламп и ламп типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ с электромагнитным ПРА соответственно — 1,2 (1,3 в безстартерных ПРА) и 1,1 (потери в ЭПРА в сопоставлении с электромагнитными ПРА могут быть уменьшены на 20...50 %); $P_{НОМ_i}$ — номинальная мощность i -й лампы (для розеток принимают равной 0,06), кВт; n — количество ламп в светильнике.

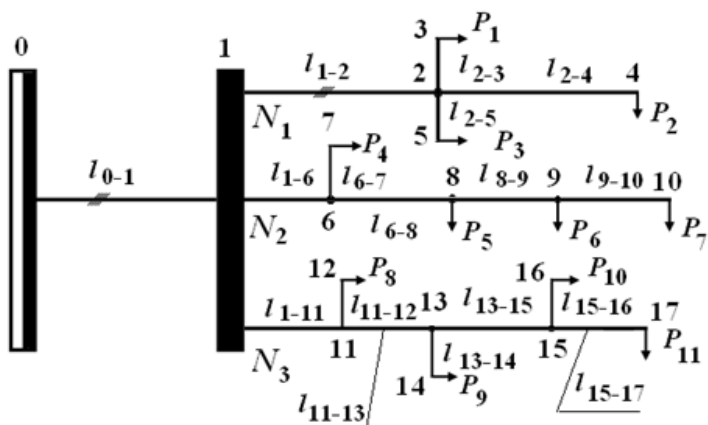


Рис. 5.8. Расчетная схема электрической сети, на которой пятью перечеркнутыми линиями указано количество проводов на участке (трехфазная сеть с отдельными рабочим и защитным заземлениями), а на участках однофазной сети с отдельными рабочим и защитным заземлениями перечеркивание может отсутствовать

Момент нагрузки i -го участка электрической сети M_i определяется при сосредоточенной нагрузке как произведение установленной (расчетной) мощности потребителя P_i (кВт) на длину линии l_i , то есть $M_i = P_i \cdot l_i$ (кВт · м). Поэтому при составлении принципиальной расчетной схемы электрической сети не обязательно указывать на ней всех потребителей, а можно указать только часть из них при обязательном соблюдении условия равенства моментов нагрузки условной и реальной сетей. Например, при замене на принципиальной расчетной схеме реального участка сети (рис. 5.8) на условный (рис. 5.9) должно быть соблюдено условие $M_y = M_p$, то есть применительно к приводимому примеру:

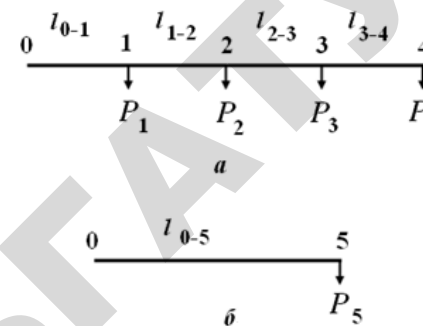


Рис. 5.9. К построению расчетной схемы путем замены реального участка электрической сети (а) расчетным (б)

$$M_y = P_1 \cdot l_{0-1} + P_2 \cdot (l_{0-1} + l_{1-2}) + P_3 \cdot (l_{0-1} + l_{1-2} + l_{2-3}) + P_4 \cdot (l_{0-1} + l_{1-2} + l_{2-3} + l_{3-4}) = M_p = P_5 \cdot l_{0-5},$$

при $P_5 = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$.

Формула для расчета M_y может быть представлена и в виде:

$$M_y = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) \cdot l_{0-1} + (P_2 + P_3 + P_4) \cdot l_{1-2} + (P_3 + P_4) \cdot l_{2-3} + P_4 \cdot l_{3-4}.$$

Таким образом, при замене на принципиальной расчетной схеме реального участка сети, состоящего из группы светильников с одинаковой установленной в них мощностью источников, присоединенных в групповой сети с равными интервалами, расчетным участком рассредоточенная в линии нагрузка заменяется сосредоточенной, приложенной к середине участка. Если групповая линия состоит из нескольких участков с одинаковым сечением проводников и различными нагрузками, то суммарный момент нагрузки равен сумме моментов нагрузок отдельных участков.

Составив расчетную схему, приступают к определению необходимого сечения проводников, исходя из допустимых потерь напряжения в электрической сети, что обеспечивает минимум расхода проводникового материала на ее изготовление. Затем выбранные сечения проводов (кабелей) проверяют на их соответствие требованиям механической прочности, допустимому нагреву и току срабатывания защитного аппарата.

Сечение проводников S электрической сети по допустимой потере напряжения определяют по формуле:

$$S = \frac{\sum M + \sum \alpha \cdot m}{C \cdot \Delta U}, \quad (5.6)$$

где $\sum M = P_i \cdot l_i$ — сумма моментов нагрузки данного и всех последующих участков электрической сети с тем же числом проводников, что и на расчетном, кВт · м; $\sum \alpha \cdot m$ — сумма моментов нагрузки всех ответвлений, имеющих иное число проводников, чем на рассчитываемом участке, кВт · м; α — коэффициент приведения моментов нагрузки, определяемый числом проводников на рассчитываемом участке и в ответвлениях (табл. 5.10); C — расчетный коэффициент, зависящий от номинального напряжения, системы сети и рода тока, а также материала проводника (табл. 5.11); ΔU — расчетное значение допустимой потери напряжения сети протяженностью от начала рассчитываемого участка до наиболее удаленного электроприемника, %; P_i — установленная (расчетная) мощность электропотребителей на i -м участке, кВт; l_i — протяженность i -го участка, м.

Таблица 5.10

Значения коэффициентов приведения моментов

Линия	Ответвление	Значение коэффициента
Трехфазная с нулевым рабочим проводником	Однофазное	1,83
	Двухфазное с нулевым рабочим проводником	1,37
Двухфазная с нулевым рабочим проводником	Однофазное	1,33
Трехфазная без нулевого рабочего проводника	Двухфазное (двухпроводное)	1,15

Таблица 5.11

Значения коэффициента C при расчете электрической сети по допустимой потере напряжения

Номинальное напряжение, В	Система сети и род тока	Значения коэффициента для проводников из:	
		меди	алюминия
1	2	3	4
400/230	Трехфазная с нулевым рабочим проводником	77	46

1	2	3	4
400/230	Двухфазная с нулевым рабочим проводником	34	20
230	Однофазная (двухпроводная) переменного или двухпроводная постоянного тока	12,8	7,7
240/120	Трехфазная с нулевым рабочим проводником	25,6	15,5
240/120	Двухфазная с нулевым рабочим проводником	11,4	6,9
120	Однофазная (двухпроводная) переменного или двухпроводная постоянного тока	4,3	2,6
36	Однофазная (двухпроводная) переменного или двухпроводная постоянного тока	0,34	0,21
24	Однофазная (двухпроводная) переменного или двухпроводная постоянного тока	0,153	0,092
12	Однофазная (двухпроводная) переменного или двухпроводная постоянного тока	0,038	0,0234

Если воспользоваться приведенной на рис. 5.8 расчетной схемой электрической сети осветительной установки, то по выражению (5.6) сечение проводов на головном участке 0-1 определится как:

$$S_{0-1} = (P_1 + \dots + P_{11}) \cdot l_{0-1} + (P_1 + P_2 + P_3) \cdot l_{1-2} + \alpha_{2-4} \cdot [P_1 \cdot l_{2-3} + P_2 \cdot l_{2-4} + P_3 \cdot l_{2-5} + (P_4 + \dots + P_7) \cdot l_{1-6} + P_4 \cdot l_{6-7} + (P_5 + P_6 + P_7) \cdot l_{6-8} + (P_6 + P_7) \cdot l_{8-9} + P_7 \cdot l_{9-10} + (P_8 + \dots + P_{11}) \cdot l_{1-11} + P_8 \cdot l_{11-12} + (P_9 + P_{10} + P_{11}) \cdot l_{11-13} + (P_{10} + P_{11}) \cdot l_{13-15} + P_{10} \cdot l_{15-16} + P_{11} \cdot l_{15-17}] / (C_4 \cdot \Delta U). \quad (5.7)$$

Полученное по расчету сечение головного участка сети округляют до ближайшего большего стандартного и проверяют по механической прочности, нагреву и току защитного аппарата.

Проверка сечения проводов по механической прочности производится путем сравнения значения, принятого по результатам расчетов, с минимально допустимым для принятого способа прокладки и материала токопроводника (табл. 5.12).

Таблица 5.12

Минимально допустимые сечения токопроводящих жил проводов и кабелей в электропроводах [26]

Наименование проводников и способ прокладки	Сечение жил, мм ²	
	алюминиевых	медных
Незащищенные изолированные провода внутри помещений при прокладке:		
— непосредственно по основаниям, на роликах, кликах и тросах;	2,5	1
— на лотках, в коробах (кроме глухих) для жил, присоединяемых к винтовым зажимам;	2	1
— на лотках, в коробах (кроме глухих) для жил, присоединяемых пайкой:		
• однопроволочных;	—	0,5
• многопроволочных;	—	0,35
• на изоляторах	4	1,5
Незащищенные изолированные провода в наружных электропроводах:		
— по стенам, конструкциям или опорам на изоляторах;	4	2,5
— вводы от воздушных линий под навесами на роликах	2,5	1,5
Незащищенные и защищенные изолированные провода и кабели в трубах, металлических рукавах и глухих коробах.	2	1
Кабели и защищенные провода для стационарной электропроводки (без труб, рукавов и глухих коробов):		
— для жил, присоединяемых к винтовым зажимам;	2	1
— для жил, присоединяемых пайкой:		
• однопроволочных;	—	0,5
• многопроволочных	—	0,35
Защищенные и незащищенные провода и кабели, прокладываемые в замкнутых каналах или замоноличенно (в строительных конструкциях или под штукатуркой)	2	1

По нагреву сечение проводов проверяют путем сопоставления значений тока, протекающего по проводам и нагревающего их, с длительно допустимыми для принятого сечения и марки (изоляции, материала токопроводящих жил) проводов и кабелей при принятом способе прокладки (табл. 5.13...5.15).

Проверка осуществляется на выполнение условия $I_p \leq I_{доп}$, где I_p — рабочий ток, протекающий в токопроводящей жиле при полной нагрузке сети; $I_{доп}$ — длительно допустимый ток для заданного сечения и марки провода или кабеля при принятом способе прокладки.

Для прокладки проводов и кабелей в воздухе и случаях, когда его температура существенно отличается от 25 °С, при определении $I_{доп}$ его справочное, приведенное в табл. 5.13...5.15 значение умножают на поправочный коэффициент, принимаемый по табл. 5.16.

Таблица 5.13

Длительно допустимый ток $I_{доп}$ для проводов с резиновой и поливиниловой изоляциями [26]

Сечение проводящей жилы, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных в одной трубе					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
с алюминиевыми жилами						
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	28
8	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38
с медными жилами						
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50

Таблица 5.14

Длительно допустимый ток $I_{\text{доп}}$ для кабелей напряжением до 1 кВ с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных [26]

Сечение проводящей жилы, мм ²	Ток для кабелей, А				
	одножильных		двухжильных		трехжильных
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
с алюминиевыми жилами					
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	36
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
с медными жилами					
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115

Таблица 5.15

Длительно допустимый ток $I_{\text{доп}}$ для кабелей напряжением до 1 кВ из сшитого полиэтилена [26]

Сечение проводящей жилы, мм ²	Ток для кабелей, А			
	трехжильных		четырёхжильных	
	при прокладке			
	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1	2	3	4	5
с алюминиевыми жилами				
2,5	24	32	23	29
4	34	42	31	39
6	43	50	40	46
10	58	67	54	62
16	78	87	72	81
25	102	113	95	105

Окончание табл. 5.15

1	2	3	4	5
с медными жилами				
1,5	24	32	23	29
2,5	32	42	30	39
4	43	54	40	50
6	57	66	53	61
10	77	87	71	81
16	101	113	94	105

Таблица 5.16

Поправочные коэффициенты на длительно допустимый ток $I_{\text{доп}}$ проводов и кабелей в зависимости от температуры окружающей среды [26]

Проводники с изоляцией	Значения коэффициентов при расчетной температуре окружающей среды, °С								
	0	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45
резиновой, поливинилхлоридной и полиэтиленовой	1,22	1,17	1,15	1,06	1,0	0,94	0,87	0,79	0,71
из сшитого полиэтилена	1,21	1,14	1,11	1,04	1,0	0,96	0,92	0,88	0,83

Для трехфазной сети с нулевым рабочим проводником или без него при равномерной нагрузке фаз рабочий ток I_P равен:

$$I_P = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi} \quad (5.8)$$

Для двухфазной сети с нулевым рабочим проводником при равномерной нагрузке фаз:

$$I_P = \frac{P}{2 \cdot U_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi} \quad (5.9)$$

однофазной (двухпроводной) сети, а также каждой из фаз двух- и трехфазных сетей с нулевым рабочим проводником при любой, в том числе и неравномерной нагрузке:

$$I_p = \frac{P}{U_\phi \cdot \cos \varphi}, \quad (5.10)$$

где P — расчетная мощность нагрузки (включая потери в ПРА газоразрядных ламп) одной, двух или трех фаз соответственно, Вт; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности (для ламп накаливания равен 1,0, люминесцентных ламп — 0,92 для светильников с двумя и более лампами и 0,9 для светильников с одной лампой⁹, газоразрядных ламп высокого давления — 0,5); U_ϕ и U_ϕ — линейное и фазное напряжения, В.

При неравномерной нагрузке фаз активная нагрузка трехфазной линии принимается равной утроенному, а двухфазной — удвоенному значению наиболее загруженной фазы.

Электрическую сеть осветительных установок защищают от аварийных режимов (токов однофазного короткого замыкания) и, для ряда помещений, от токов перегрузки. Для защиты от токов однофазного короткого замыкания применяют плавкие предохранители и, что предпочтительно, автоматические выключатели, при защите от аварийных режимов и токов перегрузки — только автоматические выключатели. Аппараты защиты выбирают по номинальным значениям напряжения и тока, предельному значению отключающего тока, а автоматические выключатели — и по токам срабатывания теплового и электромагнитного выключателей.

Защита электрических сетей осветительных установок от токов короткого замыкания должна выполняться во всех случаях. Защита от токов перегрузки — в случаях исполнения сети:

— открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией;

— в пожароопасных зонах, жилых и общественных зданиях, торговых и служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети бытовых и переносных электроприемников;

— всех видов и назначений во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iа, В-II и В-IIа.

Аппараты защиты групповой сети устанавливают в местах присоединения защищаемых проводов к распределительной линии (распределительные и групповые щиты). В нулевых проводах аппараты защиты устанавливать запрещено, за исключением взрывоопасных по-

⁹ $\cos \varphi$ для светильников с люминесцентными лампами, оснащенными ЭПРА (включая компактные люминесцентные лампы), равен 0,97...0,98.

мещений класса В-I. Для обеспечения селективности срабатывания защит номинальный ток каждого последующего аппарата в направлении к источнику питания следует принимать не менее чем на две ступени большим, чем у предыдущего аппарата, если это не ведет к завышению площади сечения проводников электрической сети.

Чтобы избежать ложных срабатываний защитных аппаратов из-за пусковых токов осветительных установок, при их выборе необходимо соблюдать соотношения, приведенные в табл. 5.17.

Таблица 5.17

Минимальные отношения тока аппаратов защиты ИВ к расчетному току линии

Тип защитного аппарата	Лампы накаливания		Люминесцентные лампы	Газоразрядные лампы высокого давления
	до 300 Вт	более 300 Вт		
Предохранители	$I_B \geq I_p$	$I_B \geq 1,2 I_p$	$I_B \geq I_p$	$I_B \geq 1,2 I_p$
Автоматические выключатели с тепловыми расцепителями с вставками:				
— до 50 А;	$I_B \geq 1,4 I_p$	$I_B \geq 1,4 I_p$	$I_B \geq I_p$	$I_B \geq 1,4 I_p$
— более 50 А			$I_B \geq I_p$	$I_B \geq I_p$
Автоматические выключатели с комбинированными расцепителями с вставками:				
— до 50 А;	$I_B \geq 1,4 I_p$	$I_B \geq 1,4 I_p$	$I_B \geq I_p$	$I_B \geq 1,4 I_p$
— более 50 А			$I_B \geq I_p$	$I_B \geq I_p$

После выбора вставок защитных аппаратов производят проверку сечения жил проводников на соответствие расчетному току вставки защитного аппарата:

$$I_{\text{доп}} \geq K_3 \cdot I_B, \quad (5.11)$$

где K_3 — коэффициент кратности длительно допустимого тока проводника к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата.

В электрических сетях осветительных установок, не требующих защиты от перегрузок, K_3 принимают равным 0,33 при защите сети

от токов короткого замыкания предохранителями и 0,22 — автоматическими выключателями с электромагнитными расцепителями. Для автоматических выключателей с нерегулируемыми и регулируемыми тепловыми или комбинированными расцепителями коэффициент K_3 соответственно равен 1,0 и 0,8. Для электрических сетей, защищаемых от перегрузки, K_3 принимают равным от 0,8 до 1,25 в зависимости от изоляции проводника и вида защитного аппарата [16,26].

Если соотношение между длительно допустимым током проводника и током вставки защитного аппарата не соответствует нормируемому, то сечение проводника выбирают из соображений трехкратного превышения тока короткого замыкания номинального тока плавкой вставки предохранителя, теплового или комбинированного расцепителя автоматического выключателя. Во взрывоопасных помещениях это соотношение должно быть не менее 4 при предохранителях и 6 при автоматических выключателях.

Если по одному из условий проверки (механической прочности, нагреву или защите от аварийных режимов) принятое сечение проводника не проходит, то его увеличивают до ближайшего большего по шкале завода-производителя, изготавливающего провода или кабеля принятой марки.

После окончательного выбора сечения проводов на рассчитываемом участке (в нашем случае для распределительной линии) определяют фактические потери напряжения на этом участке, для чего уравнение (5.7) решают относительно ΔU :

$$\Delta U_{0-1} = \frac{(P_1 + P_3 + \dots + P_{11}) \cdot l_{0-1} \cdot K_c}{C_4 \cdot S_{0-1(\text{ГОСТ})}}, \quad (5.12)$$

где $S_{0-1(\text{ГОСТ})}$ — принятое стандартное сечение проводника на участке 0-1, мм².

Сечение проводников на последующих участках электрической сети определяют с учетом значений располагаемых потерь напряжения, которые определяются путем вычитания потерь напряжения на предшествующих участках электрической сети от значения допустимой потери напряжения сети протяженностью от начала до наиболее удаленного электроприемника $\Delta U_{\text{доп}}$. Например, располагаемые потери напряжения для участка 1-10 ΔU_{1-10} в рассматриваемом нами случае (рис. 5.8): $\Delta U_{1-10} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{0-1}$. Следовательно, сечение проводника на участке 1-10 будет определяться как:

$$S_{1-10} = \frac{P_4 \cdot l_{1-7} + P_5 \cdot l_{1-8} + P_6 \cdot l_{1-9} + P_7 \cdot l_{1-10}}{C_2 \cdot \Delta U_{1-10}}. \quad (5.13)$$

В качестве примера произведем электрический расчет осветительной сети родильного отделения на 96 коров. Здание разработано с применением рамного каркаса из железобетонных трехшарнирных рам.

По надежности электроснабжения родильная относится к потребителям 2-й категории. Питание источников оптического излучения осуществляется от системы *TN* трехфазного тока с глухозаземленной нейтралью (в исполнении *TN-C-S*) напряжением 400/230 В.

Групповой щиток марки ЯРН8501-3802 устанавливаем на стенке в проходе между служебным помещением и электрощитовой. В соответствии со светотехническим расчетом производим компоновку внутренних сетей и на плане помещения наносим трассы питающей и групповых линий (приложение 26). Для электропроводки принимаем кабель АВВГ. Способ прокладки — на тресе и по строительным основаниям и конструкциям скобами.

Расчетная схема электрической сети осветительной установки, составленная в соответствии с планом размещения и питания светильников, приведена на рис. 5.8. Потери в ПРА люминесцентных ламп принимаем равными 20 %. Равномерно распределенную нагрузку заменяем сосредоточенной, приложенной в центре электрических нагрузок. Длину участков определяем с учетом строительных размеров помещения (линейкой или курвиметром) по плану помещений с учетом спусков, подъемов, изгибов и т. п. (увеличение на 5...10 %). В результате имеем: $l_{8-9} = 22$; $l_{2-3} = l_{2-5} = 21$; $l_{2-4} = 16$; $l_{9-10} = 12$; $l_{1-2} = 10$; $l_{11-12} = l_{15-17} = 6$; $l_{0-1} = l_{1-6} = 4$; $l_{6-8} = l_{11-13} = l_{13-14} = l_{15-16} = 3$; $l_{1-11} = 2$; $l_{6-7} = l_{13-15} = 1$ м; $P_1 = P_3 = 0,6$; $P_2 = 0,36$; $P_6 = 0,26$; $P_5 = P_8 = P_9 = P_{10} = P_{11} = 0,09$; $P_7 = P_4 = 0,04$ кВт.

Так как электрическая сеть включает одну трехфазную и две однофазные групповые линии, то принимаем групповой щиток серии ЯРУ8501-3802 с автоматическими выключателями ВА14-26.

Расчет сечения проводников электрической сети производим по допустимой потере напряжения. Для головного участка распределительной сети (участок 0-1) коэффициент, зависящий от системы напряжения и материала: $C_4 = 46$ (табл. 5.11). При принятых располагаемых потерях напряжения в электрической сети $\Delta U_{\text{доп}} = 2,5$ % расчетное значение сечения проводников (5.7): $S_{0-1} = 1,09$ мм². Выбираем ближайшее большее стандартное сечение кабеля АВВГ $S_{0-1(\text{ГОСТ})} = 2,5$ мм² (табл. 5.2), то есть АВВГ 5×2,5.

Принципиальная электрическая схема осветительной сети

Тип щитка; установленная мощность, кВт; потеря напряжения до щитка, %	Номер группы	Выключатель автоматический		Данные групповых линий					
		тип	номинальный ток	ток расцепителя, А	установленная мощность, кВт	расчетный ток, А	марка, количество и сечение жил	длина, м	потеря напряжения, %
ЯРН8501-3802; РУ-2,83; $\Delta U_{0-1} = 0,09\%$	1	ВА14-26-34	32	6	0,6	1	АВВГ 5×2,5	35	0,87
	2	ВА14-26-34	32	6	0,48	2,3	АВВГ 3×2,5	42	0,64
	3	ВА14-26-34	32	6	0,85	4,2	АВВГ 3×2,5	24	0,36
	4	ВА14-26-34	Резерв						

5.4. УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ РАБОТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Для снижения расхода электрической энергии в осветительной установке должна быть предусмотрена рациональная система управления ею, обеспечивающая удобство эксплуатации, минимальные затраты времени на включение (отключение) осветительных приборов, максимальное использование естественного света, соблюдение требований к режимам работы технологического оборудования.

Рациональная система управления осветительной установкой в обязательном порядке обуславливается предъявляемыми к ней техническими, экономическими и технологическими требованиями. Технические и экономические требования в основном определяются снижением потребления материальных и финансовых ресурсов, затрат труда, экономией электрической энергии и предотвращением выхода из строя источников. Технологические требования, предъявляемые к осветительным установкам сельскохозяйственно-

Выбранное для головного участка сечение кабеля проходит по механической прочности (табл. 5.12). Для его проверки по допустимому нагреву определяем рабочий ток на участке 0-1 по формуле (5.9) — $I_{P(0-1)} = 4,46$ А при $\cos\varphi = 0,958$. Коэффициент мощности определили по формуле:

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{л}} \cdot \cos\varphi_{\text{л}} + P_{\text{н}} \cdot \cos\varphi_{\text{н}}}{P_{\text{л}} + P_{\text{н}}},$$

где $P_{\text{л}}$ и $P_{\text{н}}$ — расчетные мощности светильников с лампами люминесцентными и накаливания; $\cos\varphi_{\text{л}}$ и $\cos\varphi_{\text{н}}$ — значения коэффициентов мощности для люминесцентных ламп и ламп накаливания.

Так как для кабеля АВВГ сечением $2,5 \text{ мм}^2$, проложенного по строительным основаниям и конструкциям (открыто), допустимый ток $I_{\text{доп}} = 21$ А (табл. 5.13) и выполняется условие $I_{\text{р}} \leq I_{\text{доп}}$, то выбранный кабель по условиям нагрева проходит. Фактические потери напряжения на участке 0-1 (5.11) $\Delta U_{0-1} = 0,09\%$.

Расчет сечения проводников в групповых линиях покажем на примере наиболее протяженной и нагруженной второй линии N_2 (участок 1-10). Располагаемые потери напряжения для участка 1-10 $\Delta U_{1-10} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{0-1} = 2,5 - 0,09 = 2,41$. $C_2 = 7,7$. Сечение проводников, определенное по формуле (5.13): $S_{1-10} = 0,29$. Ближайшее большее стандартное сечение кабеля АВВГ $S_{1-10(\text{ГОСТ})} = 2,5 \text{ мм}^2$ (АВВГ 3×2,5). Принятое сечение кабеля проходит по механической прочности и допустимому нагреву, так как $I_{\text{р}} \leq I_{\text{доп}}$ ($I_{1-10} = 2,28$ А).

Для защиты от токов короткого замыкания принимаем автоматические выключатели с расцепителями на ток 6 А (приложение 27). Ток расцепителей определен из условия $I_{\text{в}} \geq I_{\text{р}}$ (табл. 5.17). Проверка сечения проводников жил кабеля АВВГ на соответствие току расцепителя защитного аппарата по условию $I_{\text{доп}} > 0,22 \cdot I_{\text{в}}$ подтверждает соответствие тока расцепителя автоматического выключателя выбранному сечению жил кабеля.

Фактические потери напряжения на участке 1-10: $\Delta U_{1-10} = \frac{P_4 \cdot l_{1-7} + P_5 \cdot l_{1-8} + P_6 \cdot l_{1-9} + P_7 \cdot l_{1-10}}{C_2 \cdot S_{1-10(\text{ГОСТ})}} = 0,56\%$. Потери напряжения

в конце второй групповой линии составят $\Delta U = \Delta U_{0-1} + \Delta U_{1-10} = 0,64\%$.

Аналогично производим расчет сечений проводников в других групповых линиях, результаты сводим в табл. 5.18.

го назначения, исходят из того, что на развитие, продуктивность и жизнедеятельность животных (птицы, растений) определенное фотобиологическое, фотопериодическое и терапевтическое действие оказывает видимое излучение. Это действие многогранно и в первую очередь определяется освещенностью, экспозицией и периодичностью освещения рабочей поверхности, частотой изменения и продолжительностью светлого и темного времени суток, спектральным составом излучения.

Наиболее полно действие оптического излучения на биологические процессы жизнедеятельности организма выявлено в птицеводческой промышленности, где изменение периодичности воздействия видимого излучения позволяет управлять яйценоскостью кур и повышать мясную продуктивность в бройлерном производстве. Современная сельскохозяйственная наука рекомендует строго следить за продолжительностью светового дня в птичнике, изменяя ее с учетом возраста птицы, включать и выключать освещение плавно или ступенчато, как бы имитируя естественные рассвет и сумерки.

Аналогичные воздействия периодичности изменения продолжительности светового периода суток, частоты смены темноты и света, спектрального состава излучения и уровней освещения рабочей поверхности в зависимости от возраста животных характерны и для других отраслей сельскохозяйственного производства (животноводства, свиноводства, овцеводства и др.), хотя оно менее исследовано и редко учитывается на практике.

Отмеченные факторы влияния видимого излучения на биологические объекты при их оптимальном сочетании могут обеспечить технологический эффект (прирост массы, увеличение продуктивности или сохранности), значительно превосходящий эффект от снижения ресурсов и потребляемой электрической энергии, увеличения сроков службы источников.

Технические, экономические и технологические требования указывают на то, что управление должно обеспечивать: полное или частичное включение (отключение) осветительной установки по времени; включение (отключение) отдельных светильников, их групп или всех светильников в помещении (здании) в зависимости от уровня освещения, создаваемого естественным светом; различные уровни или плавное изменение освещенности рабочей поверхности в зависимости от агрозоотехнических требований к содержанию животных и птицы, выращиванию растений определенных возрастных групп или периодов.

Способы управления осветительной установкой разделяют на ручное или автоматическое, местное или дистанционное, автономное или централизованное включение (выключение) осветительных приборов или изменение освещенности рабочей поверхности. В невысоких и небольших по площади производственных, административных, бытовых и вспомогательных помещениях предпочтительнее местное автономное управление светильниками осветительной установки, когда выключатели предусматривают на один, два или малую группу светильников. Для крупных производственных помещений возможно применение централизованного и дистанционного управления осветительной установкой всего помещения или отдельных его светильников (рядов или групп светильников) из ограниченного количества мест (одного, например, пульта управления, размещенного в помещении дежурного персонала, или двух), что облегчает управление освещением и позволяет более экономно расходовать электроэнергию. Управление наружным освещением с разделением его на части (освещение дорог и проездов, охранное освещение, освещение открытых мест работы, освещение больших площадей и открытых складов) должно быть максимально централизовано в масштабе всего предприятия с размещением пульта управления, как правило, в диспетчерской или на пункте дежурного энергетического хозяйства предприятия. Централизация управления освещением всего предприятия преследует цель выбора наиболее рационального времени включения и выключения освещения, сочетания его с уровнем естественной освещенности, с началом, перерывами и окончанием работ в цехах предприятия.

В практике применяются различные схемы управления осветительными установками. При ручном управлении включение (отключение) отдельных светильников (их групп или всех светильников в помещении) осуществляют, как правило, с помощью выключателей (переключателей). При наличии более одного входа в помещении может быть применено управление осветительной установкой с двух или более мест, когда включение (отключение) светильников осуществляется от каждого входа независимо от положения коммуникационных аппаратов у других входов. При этом для управления применяются однополюсные двухпозиционные переключатели (переходные без нейтрального положения), включаемые по схемам, приведенным на рис. 5.10. Следует отметить, что такие коридорные схемы отличаются удобством управления осветительной установкой и в то же время требуют для их изготовления почти в два раза большего

расхода проводов или кабелей. При этом их проводники могут иметь большее сечение, так как путь тока от начала линии до светильника возрастает, что необходимо учитывать при расчете электрической сети по допустимой потере напряжения.

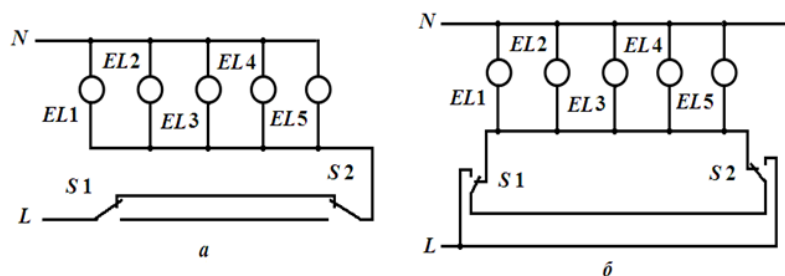


Рис. 5.10. Примеры коридорных схем управления осветительной установкой из двух мест, в том числе с транзитной фазой (б)

При разработке схем управления следует учесть, что наибольшая экономия электрической энергии в осветительных установках достигается при полной автоматизации их управления с учетом использования естественного освещения, присутствия людей в помещении, времени и продолжительности производственного процесса. При этом автоматическое управление осветительной установкой может достигаться как путем дискретного управления (отключение всех или части светильников), так и плавным изменением мощности источников света (всех, каждого или группы светильников в индивидуальном порядке). В схемах автоматического дискретного управления освещением (светильником, их группой или осветительной установкой в целом) используют различного рода таймеры (реле времени), фотореле (фотоавтоматы), работающие по сигналам датчиков естественной освещенности, фотоакустические автоматы и автоматические выключатели освещения, оснащенные датчиками присутствия людей (животных) или их движения.

Управление осветительными установками по времени применяют в случаях: включения и отключения светильников в соответствии с графиком работы технологического оборудования; отключения рабочего освещения на время обеденных перерывов; частичного отключения светильников наружного освещения в ночное время; снижения уровня напряжения в осветительных установках аварийного и дежурного освещения, лестничных клеток и подъездов в ночное

время при использовании светильников с лампами накаливания; выполнения технологических и агрозоотехнических требований к продолжительности светлого и темного времени суток и др. При организации управления осветительными установками по заданным заранее графикам следует учитывать, что при таком способе управления экономится до 10...15 % электрической энергии.

При разработке схем автоматического управления осветительными установками по времени используют различного рода программные реле времени (таймеры), командные приборы и устройства, как электромеханические, так и электронные, в том числе программируемые. По принципу действия они бывают электромагнитными, моторными, пневматическими и электронными. На объектах сельскохозяйственного производства часто используют моторные реле времени 2РВМ и серий ВС, Е-52; пневматические серий РВП-1М, РВП-72, электронные серий ТЭ и ЕЛ и электронно-механические серии ТЭМ-181.

Двухпрограммное реле времени 2РВМ позволяет организовать одновременное управление осветительной установкой по двум программам с возможными интервалами включения (отключения) светильников или их групп, равными 15 мин (первая программа) и 20 мин (вторая программа) в течение 24 часов. Реле типа 2РВМ состоит из часового механизма с пружинным двигателем, системой автоматического подзавода и программного диска. Пружинный двигатель часового механизма вращает программный диск со скоростью один оборот в сутки. Диск имеет два ряда отверстий, в которые ввертываются программные штифты, управляющие микропереключателями и промежуточными реле, которые, в свою очередь, управляют осветительными приборами. Реле подключают на напряжение 230 В. Длительность запаса хода часового механизма реле при снятом напряжении — не менее 24 ч. Ошибка хода программного диска — 2 мин за сутки.

Недостатком схем управления, использующих реле времени 2РВМ и аналогичные ему командные приборы, является то, что они позволяют запрограммировать световой режим только в пределах суток. При необходимости изменения продолжительности светового дня, в частности, при изменении возраста животных или птицы, обслуживающему персоналу приходится вручную перепрограммировать подобные приборы. Обычно один раз в неделю обслуживающий персонал контролирует работу реле, при необходимости изменяет положение задатчиков продолжительности светового дня и корректирует точность хода часового механизма.

Для автоматического включения и выключения установок в момент захода и восхода солнца применяют электронные программируемые астрономические реле времени типа PCZ-524 (PCZ-525), изготавливаемые ООО «Евроавтоматика ФиФ» (Республика Беларусь, г. Лида).

Реле времени типа PCZ-524 (PCZ-525) позволяет, установив заранее географические координаты местности, в которой эксплуатируется осветительная установка, дату и текущее время, автоматически включать (отключать) осветительную установку в момент астрономического захода (восхода) солнца в течение года с возможной корректировкой времени включения-выключения в пределах от 0 до ± 99 минут от астрономического времени захода (восхода). Дополнительными функциональными особенностями указанного реле являются: установка времени отключения в ночное время суток (только для PCZ-525); автоматический перевод часов на режимы зимнего или летнего времени; встроенный аккумулятор, поддерживающий работу программы в течение 5...6 недель после отключения питания.

Таймеры электронные ТЭ-15 предназначены для сетей с частотой тока до 50 Гц, номинальным напряжением 230 В. Применяются в бытовых и промышленных электроустановках для автоматического включения (отключения) питания различного рода электрооборудования в установленное пользователем время и для отсчета интервалов времени. Состоят из блока питания, микропроцессора, жидкокристаллического дисплея, кнопок программирования, блока зажимов, резервного аккумулятора, светодиодного индикатора состояния работы. Микропроцессор обеспечивает выполнение программы, управление временем включения и отключения нагрузки. Программирование осуществляется кнопками, расположенными на лицевой панели. Жидкокристаллический дисплей отображает текущее время и режимы программирования.

Для автоматического включения (отключения) отдельных светильников, их групп, в том числе расположенных в различных зонах помещений (вне помещений), или всей осветительной установки в зависимости от уровня освещенности, создаваемого естественным светом, выключения с наступлением рассвета и включения при наступлении сумерек применяют различного рода фотореле (например, ФР-1, ФР-2, ФРМ-62А и др.), автоматические выключатели освещения (AWZ, AZ, AZH АО, АО77 и др.), полупроводниковый регулируемый двухпрограммный выключатель освещения (ПРО-68-11), ав-

томатический программный тиристорный регулятор освещения (АПРО) и др. командные приборы и оборудование, первичными преобразователями (датчиками) которых являются фотоэлементы или фотосопротивления.

Светочувствительные автоматические выключатели наружного освещения, например, серий AWZ (AWZ-30), AZ (112, 112 plus, B, B plus), AZH (106, C, S, S plus) и др., предназначены для управления осветительными установками улиц, площадей, витрин магазинов, реклам и т. п. (включения в сумерки и выключения на рассвете). Первичные преобразователи приведенных выше фотореле и автоматических выключателей освещения, как правило, настраивают на определенный минимальный уровень естественной освещенности. При этом важным элементом рациональной эксплуатации систем автоматического управления является выбор места установки первичного фотопреобразователя. Фотопреобразователь обычно устанавливают в местах контроля освещенности с расположением как в помещении, так и вне помещений, а для установок наружного освещения — и в понижающих трансформаторных подстанциях. Фотопреобразователи в обязательном порядке должны быть защищены специальными козырьками для предотвращения различного рода случайных засветов (кратковременное освещение, например, от автомобильных фар, фонарей уличного освещения и т. п.) и исключения механических повреждений, попадания пыли и атмосферных осадков.

Способ управления осветительными установками в зависимости от уровня освещенности, создаваемого естественным светом, зачастую целесообразно совмещать с управлением по времени, что позволяет при максимальном использовании естественного света и сокращении часов работы установок искусственного освещения экономить 10...20 % и более потребляемой электрической энергии.

Управление с целью обеспечения различных уровней или плавного изменения освещенности в зависимости от агрозоотехнических требований содержания животных и птицы осуществляется программируемым по времени ступенчатым или плавным изменением светового потока осветительной установки. В отличие от ламп накаливания, для которых плавное регулирование светового потока решается достаточно просто, осуществление этой задачи для газоразрядных ламп намного сложнее. Отличие способов регулирования объясняется различным характером зависимости светового потока от тока, проходящего через лампу. Например, световой поток

люминесцентной лампы линейно зависит от среднего значения проходящего через нее тока и, следовательно, может быть изменен только при его регулировании.

Регулирование светового потока осветительной установки с лампами накаливания и газоразрядными лампами возможно групповым включением ламп (1), изменением амплитуды питающего напряжения (2) или значения полного сопротивления балласта (3), регулированием фазы зажигания лампы (4) и изменением частоты питающего напряжения (5). При лампах накаливания в основном используют первые четыре способа регулирования светового потока, а при газоразрядных лампах наиболее эффективны четвертый и пятый. Следует отметить, что во втором, третьем и четвертом способах регулирование светового потока осуществляется за счет изменения тока, проходящего через лампу.

Для регулирования светового потока изменением амплитуды питающего напряжения и значения полного сопротивления балласта могут быть использованы автотрансформаторы, в том числе с механическим регулятором и электроприводом, трансформаторы с насыщением, магнитные усилители, балластные резисторы с регулируемым и постоянным сопротивлением, полупроводниковые диоды. Регулирование светового потока изменением амплитуды питающего напряжения целесообразно только для установок с лампами накаливания и не дает желаемого эффекта при использовании газоразрядных ламп, так как мгновенное значение тока и светового потока газоразрядных ламп при этом изменяется в небольших пределах за счет некоторого уменьшения их амплитудных значений и увеличения темновых пауз. При снижении максимального значения амплитуды питающего напряжения ниже напряжения перезажигания газоразрядная лампа гаснет, что существенно ограничивает диапазон изменения ее светового потока. К недостаткам способа регулирования следует также отнести существенные потери электрической энергии за счет тепловыделений у резисторов и реостатов, большие металлоемкость, массу и размеры устройств регулирования.

Перечисленные недостатки в некоторой степени устранены при регулировании фазы зажигания ламп полупроводниковыми тиристорными регуляторами. Сущность указанного способа регулирования заключается в подаче на управляющий электрод тиристора (симистора) импульса напряжения, после чего тот открывается на время (от момента подачи импульса до конца полупериода)

и пропускает ток через лампу. Если в течение полупериода уменьшать длительность прохождения тока через лампу, то это равносильно уменьшению его среднего значения, а следовательно, световой поток лампы соответственно будет уменьшаться. Такой способ позволяет осуществлять наиболее плавное и глубокое изменение светового потока газоразрядных ламп при высокой экономичности и может быть рекомендован в тех случаях, когда требуется высокая кратность изменения светового потока. Недостаток способа в том, что с уменьшением светового потока возрастает коэффициент пульсации светового потока газоразрядных ламп за счет увеличения длительности темновых пауз.

Наиболее эффективное изменение светового потока газоразрядных ламп достигается частотным регулированием. Оно, особенно при применении для стабилизации светового потока газоразрядных ламп ЭПРА, позволяет не только изменять световой поток газоразрядных ламп в больших пределах при значительном уменьшении коэффициента пульсации, но и существенно упрощать и облегчать ПРА, увеличивать срок службы ламп. Чем выше частота, тем меньший промежуток времени длится процесс перезажигания разряда, электроды ламп не успевают остыть, а разрядный промежуток деионизироваться. Повышение частоты приводит к тому, что процесс перезажигания лампы происходит практически мгновенно. Даже при частоте 1500...2000 Гц глубина пульсации светового потока снижается настолько, что исчезает стробоскопический эффект. Увеличение частоты до 400...1000 Гц повышает световую отдачу люминесцентных ламп на 7 %, до 1500...3000 Гц — на 10 %. Если при частоте питающего напряжения 50 Гц потери мощности в пускорегулирующем аппарате составляют 20...35 % мощности лампы, то уже при частотах 400...850 Гц они снижаются до 6...8 %, а при 1000...3000 Гц составляют всего 3...5 %.

При разработке и реализации схем управления осветительными установками активно применяют: светочувствительные автоматические выключатели – лестничные и наружного освещения; автоматические выключатели освещения, оснащенные датчиками присутствия и движения; автоматические выключатели освещения с датчиком движения и микрофоном; фотоакустические лестничные таймеры.

Автоматические выключатели освещения, оснащенные датчиками присутствия людей, как правило, ведут подсчет числа людей, находящихся в помещении, что позволяет автоматически включать

освещение при входе первого человека и выключать его при выходе последнего.

Автоматические выключатели освещения с датчиком движения, например, типа CRLXX (где XX — номер серии 01, 02, 03, 04 и 05) при обнаружении движения в зоне действия датчика на заданное время (от 5 сек до 7 мин) включают освещение, которое, по истечении установленного времени работы осветительной установки или светильника, автоматически отключается. Они подключаются к сети аналогично клавишному выключателю света. Встроенный сумеречный датчик позволит настроить уровень естественной освещенности, при котором датчик не будет реагировать на движение.

Автоматические выключатели освещения с датчиками движения, например, серии А1-230-027 (открытой установки) и С1-230-028 (скрытой установки), предназначены для управления осветительными установками в местах кратковременного пребывания человека (подъезды жилых домов, лифтовые холлы, лестничные площадки, коридоры и т. п.). Пирозлектрический датчик выключателя реагирует на инфракрасное излучение тела человека или любого другого живого объекта, фиксируемое при их появлении в зоне обнаружения. Автоматический выключатель управляет осветительными установками, выполненными как лампами накаливания, в том числе галогенными, работающими с электронными тороидальными трансформаторами, так и люминесцентными лампами, в том числе энергосберегающими. Его основные функции:

— включение осветительной установки при движении источника инфракрасного излучения в зоне действия встроенного датчика в темное время суток, определенное минимальным уровнем освещенности — менее 2 лк;

— отключение осветительной установки через определенный интервал времени при прекращении движения источника инфракрасного излучения в зоне действия встроенного датчика.

Фотоакустические автоматические выключатели освещения, например, серии ASO (207, 208), оборудованы микрофоном, что позволяет включать осветительную установку или светильник при возникновении шума определенного уровня (открывание двери, звонок, разговор, звон ключей, шаги и т. д.). Они управляют осветительными установками, выполненными лампами накаливания (включая галогенные), люминесцентными (в том числе энергосберегающими), светодиодами (в том числе включенными через понижающий трансформатор). Схемы автоматического дискретного

управления освещением могут содержать не один из приведенных первичных преобразователей (присутствия людей, движения, акустического эффекта и др.), а их любые комбинации.

Автоматический выключатель света с датчиком движения и микрофоном LX-2000 работает как в режиме обыкновенного выключателя (ON/OFF), так и с датчиком движения или датчиком движения и микрофоном.

Светочувствительные лестничные автоматические выключатели, например, серий AS (212; 214; 221Т, 222Т, 223; 224), ASO (24, 201, 202, 203, 204, 220), AS-B (220, 24) и др., предназначены для поддержания освещения лестничной площадки, коридора или другого объекта в течение заданного времени (в диапазоне от 0,5 до 10 мин), по истечении которого яркость освещения уменьшается наполовину на 30 с (время повторного отыскания и нажатия кнопки включения), и, при не нажатии кнопки включения, осветительная установка полностью отключается. Автоматический выключатель обеспечивает управление активной нагрузкой (лампы накаливания) с максимальным током в 16 А при количестве включений не менее 105 и задержке включения 1 с. В зависимости от модификации они отличаются некоторыми дополнительными функциями, например, сигнализации выключенного освещения, антиблокировки, не допускающей постоянной работы осветительной установки после блокировки выключателя, применения выключателей с кнопками, оснащенными неоновыми лампочками индикации.

Следует отметить, что применение в схемах управления освещением автоматических выключателей, оснащенных датчиками движения, и фотоакустических лестничных таймеров обеспечивает существенное сокращение времени работы осветительной установки и, как следствие, пропорциональную ему экономию электрической энергии, однако и сокращает срок службы источников света из-за их частых включений и выключений

Говоря об аппаратах и оборудовании, применяемых в схемах управления осветительными установками, нельзя не упомянуть о диммерах — регуляторах яркости свечения ламп, — которые в последнее время все чаще применяют для декоративного и архитектурного оформления жилых (гостиные, холлы, спальни и т. д.), культурно-массовых и других помещений общественного назначения.

Диммеры позволяют управлять освещенностью различных зон помещения, включая отдельные светильники на полную яркость или создавая обстановку приглушенного света (пониженной ярко-

сти свечения). При этом на 60 % сокращается расход электрической энергии на освещение и увеличивается срок службы ламп накаливания и галогенных (за счет понижения температуры тела накала, более «мягкого» пуска при включении, плавного увеличения яркости от нуля до нужного значения).

Светильники в помещении обычно объединяют в группы, каждой из которых требуется отдельный диммер. Управление диммером осуществляется по командам с пульта дистанционного управления или отдельной особой панели («keypad») для установления разных режимов освещения.

Реализация приведенных выше способов управления осветительными установками осуществляется при использовании как отдельных компонентов и элементов управления (фотореле, фотопреобразователей, реле времени и др.), из которых komponуются схемы управления, так и выпускаемых промышленностью (фирмы Zumtobel Lighting, Philips, Helvar, TridonicAtco и др.) готовых систем управления освещением (СУО), что является наиболее эффективным и перспективным. Принципиально все СУО построены на похожих алгоритмах управления и содержат регуляторы светового потока, регулируемые источники света, первичные преобразователи суммарной освещенности (движения, присутствия, фотоакустические автоматы), приборы установки и отслеживания реального времени (даты, дня недели, года), а иногда и программаторы, в которых заранее устанавливается программа изменения освещенности на определенный период (день, неделю, месяц, год, возраст животных или птицы и т. д.). Основой всех СУО служат регулируемые электронные аппараты включения источников света (ЭПРА для линейных или компактных люминесцентных ламп, электронные трансформаторы или фазовые регуляторы для ламп накаливания, конвертеры для светодиодов).

Одной из таких полностью автоматизированных СУО является система luxCONTROL, разработанная и серийно выпускаемая австрийской фирмой TridonicAtco. Система содержит набор блоков и модулей, управляемых цифровыми сигналами и обеспечивающих дистанционное включение (выключение) светильников, а также плавное регулирование их светового потока. Она позволяет:

— управлять одной, двумя или тремя группами светильников (в каждой до 100 светильников) с люминесцентными лампами и соответствующими ЭПРА, а также с лампами накаливания и электронными трансформаторами или фазовыми регуляторами;

— создавать до четырех режимов («световых сценариев») управления освещением;

— подключать первичные преобразователи суммарной (естественной и искусственной) освещенности или датчики присутствия;

— осуществлять дистанционное управление светильниками с помощью инфракрасного пульта управления или программатора.

Следует отметить, что блоки, модули и контроллеры СУО luxCONTROL отличаются достаточно небольшими размерами, что позволяет встраивать их в коробки стандартных клавишных выключателей. Настройка контроллеров и последующий вызов групп светильников и режимов освещения осуществляются нажатиями обычных одно- или двухклавишных выключателей. Процесс настройки прост и может осуществляться даже неподготовленным персоналом.

В СУО luxCONTROL сигналы управления светильниками передаются по тем же проводам, по которым осуществляется их питание, то есть прокладка отдельных управляющих проводов не требуется. Панель управления позволяет управлять группами светильников и режимами их работы, а также программировать эти режимы по заранее разработанной программе для отдельных светильников или групп, осуществляя независимое адресное управление отдельными светильниками или группами светильников. Кроме этого система обеспечивает «обратную связь» в осветительных установках, то есть позволяет получать постоянные сообщения о неисправностях ламп и ЭПРА, режимах их работы и т. д.

Система luxCONTROL обеспечивает постоянство освещенности на рабочих местах: в зависимости от естественной освещенности регулируемые электронные аппараты (ПРА, трансформаторы или конвертеры), получая сигналы от первичных преобразователей, так изменяют световой поток ламп, чтобы суммарная освещенность оставалась практически постоянной. Кроме того, работающий в помещении персонал может сам управлять освещенностью на своем рабочем месте с помощью установленных в удобных местах ручных регуляторов или пультов дистанционного управления аналогично тому, как регулируется громкость или переключаются каналы в телевизорах.

Главным достоинством автоматизированных СУО, аналогичных системе luxCONTROL, является то, что они не только повышают комфортность освещения, но и обеспечивают значительную экономию электроэнергии. Это достигается за счет того, что система

учитывает естественную освещенность в помещениях, а также за счет отключения светильников при отсутствии в помещении людей (с помощью датчиков присутствия) и в нерабочее время (датчиками времени или заложенной программой). Экономия может составлять до 75 % от энергии, потребляемой неуправляемой осветительной установкой, что обеспечивает срок окупаемости автоматизированных СУО от полутора до четырех-пяти лет.

И в заключение обратим внимание, что при разработке схем автоматического управления осветительными установками следует в обязательном порядке предусмотреть и ручное управление, необходимое для частичного или полного включения и отключения освещения в аварийных и специальных случаях.

5.5. УЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Для расчетов за потребляемую электрическую энергию с энергоснабжающей организацией электроустановки потребителей должны быть оборудованы приборами учета. При питании от одного источника потребителей различных тарификационных групп, физических или юридических лиц, приборы учета электрической энергии должны быть установлены у каждой тарификационной группы каждого физического или юридического лица, электроустановки которого подключены к системе централизованного электрообеспечения. Для этой цели применяют одно- или трехфазные счетчики электрической энергии, которые, как правило, устанавливаются в месте подключения потребителя к системе электрообеспечения — в трансформаторных подстанциях, специализированных щитах учета, щитах ввода электрической энергии в квартиры, жилые и административные помещения. Счетчики электрической энергии могут быть установлены в щитах осветительных, например, серий ЩК, ЩКМ и др., щитах учетно-распределительных серий ЩУРв, ЩУРн, ЩЭ и др.

Принципиальные электрические схемы щитков серии ЩК представлены на рис. 5.11. Как видим, их основное отличие — в наличии или отсутствии в щитке автоматического выключателя на вводе и устройства защитного отключения (УЗО), количестве отходящих групп и установленных на них автоматических выключателей (от одного и более).

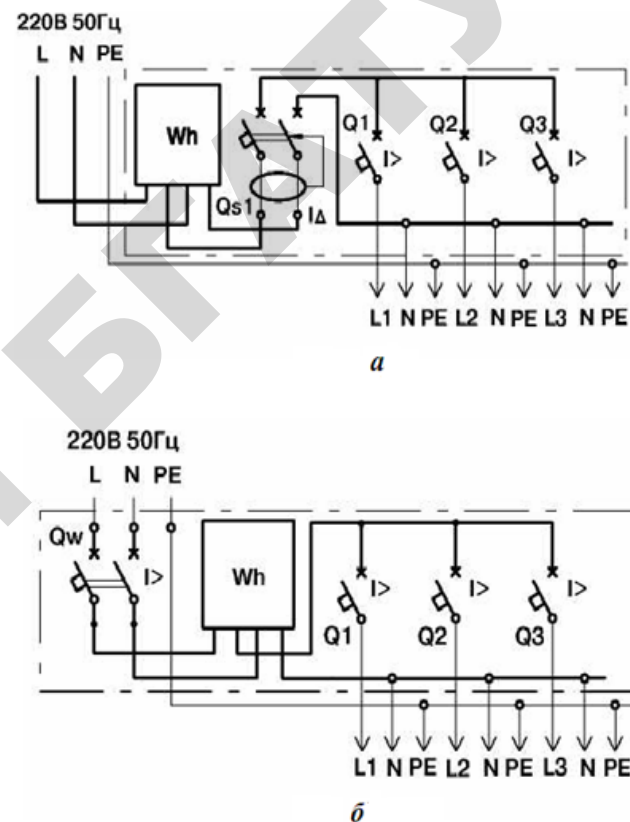


Рис. 5.11. Принципиальные электрические схемы групповых осветительных щитков серии ЩК: а — ЩК211М-УХЛ4 (ЩК221М-УХЛ4); б — ЩК25М-УХЛ4 (ЩК26М-УХЛ4)

Учет электрической энергии активной и реактивной мощности для расчетов между энергоснабжающей организацией и организацией-потребителем производится на границе балансовой принадлежности электрической сети. В этом случае потери электрической энергии на участке сети от границы балансовой принадлежности электрической сети до места установки приборов учета относятся на счет организации, на балансе которой находится указанный участок сети.

При энергообеспечении объектов сельскохозяйственного производства установка счетчиков электрической энергии чаще всего

производится в понижающих трансформаторных подстанциях. При этом организуется учет всей потребляемой энергии, включая электрическую энергию, затрачиваемую в осветительных установках производственных помещений.

При использовании в осветительных установках газоразрядных ламп низкого и высокого давления возникает необходимость компенсации реактивной мощности, так как в схемах их включения в сеть зачастую присутствуют индуктивные балластные сопротивления, что приводит к ряду отрицательных последствий, в частности — увеличению потерь электрической энергии в сети и снижению уровня напряжения у источников из-за увеличения потерь напряжения.

Применение устройств компенсации реактивной мощности позволяет:

- поддерживать необходимый коэффициент мощности электроустановок предприятия;
- повысить качество электроэнергии непосредственно в сетях предприятия;
- снизить общие расходы на электроэнергию;
- уменьшить нагрузку элементов питающей или распределительной сети, увеличить их срок службы.

Компенсация реактивной мощности в осветительной установке может быть индивидуальной, когда компенсирующие конденсаторы устанавливаются у каждой лампы, и групповой, когда их устанавливают на групповых линиях, в питающей сети или на шинах подстанции. Выбор того или иного способа компенсации реактивной мощности определяется технико-экономическим обоснованием.

Отметим, что схемы включения в сеть люминесцентных ламп в выпускаемых промышленностью светильниках снабжены компенсирующими конденсаторами и обеспечивают требуемый ПУЭ $\cos\varphi$ — не ниже 0,92 для многоламповых светильников и 0,85 — одноламповых. Однако в светильниках для газоразрядных ламп высокого давления такая компенсация, как правило, не предусмотрена и коэффициент потребляемой мощности ($\cos\varphi$) может достигать 0,5...0,6.

Мощность компенсирующей установки (Q , квар), необходимой для повышения коэффициента мощности сети, определяется как:

$$Q = P_{\text{расч}} \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2), \quad (5.14)$$

где $P_{\text{расч}}$ — суммарная расчетная мощность осветительной установки с учетом коэффициентов спроса и потерь ПРА, кВт; φ_1 и φ_2 — углы сдвига фаз соответственно до и после компенсации.

Обычно конденсаторы при групповой компенсации включают по схеме «треугольник», что позволяет уменьшить суммарную емкость батарей, которую можно определить по формуле:

$$C = \frac{Q \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2}, \quad (5.15)$$

где f — частота сети, Гц; U — напряжение сети, В.

Для устранения опасного напряжения на зажимах батареи после их отключения применяют специальные разрядные резисторы, включаемые параллельно батарее конденсаторов. Разрядный резистор выбирают таким, чтобы потери в нем не превышали 1 Вт на 1 квар мощности батареи, а напряжение на нем через 30 с после отключения не превышало 65 В. Сопротивление разрядного резистора $R_{\text{разр}}$ (Ом), удовлетворяющего этому условию, может быть определено как:

$$R_{\text{разр}} \leq 15 \cdot 10^6 \cdot (U^2/Q). \quad (5.16)$$

Для компенсации реактивной мощности в электрических сетях, в том числе и осветительных установок, промышленностью выпускаются комплектные конденсаторные установки. Они могут быть как с постоянной емкостью конденсаторов (например, типа УК1), так и со ступенчатой (например, типов УК2...УК4 и УКМ) или автоматической (типов АКУ и КРМ), навесного или напольного исполнения.

Так, автоматические конденсаторные установки напольного исполнения типа АКУ0,4-50-12,5 У3 предназначены для поддержания постоянным заданного значения коэффициента мощности ($\cos\varphi$) в электрических питающих и распределительных трехфазных сетях напряжением до 400 В и частотой 50 Гц. Они обеспечивают заданный $\cos\varphi$ в периоды максимальных и минимальных нагрузок, а также исключают режим генерации реактивной мощности.

Автоматическая установка компенсации реактивной мощности КРМ применяется для одиночной, групповой и централизованной компенсации. Позволяет улучшить $\cos\varphi$ электрической сети путем отслеживания в реальном времени его значений и коррекции за счет подключения или отключения необходимого числа батарей конденсаторов. При этом управление может быть автоматическим по каждой фазе, как, например, у КРМ-3.

Проводники компенсирующей установки присоединяют к проводам групповой сети питания ламп внутри щитка от выходных клемм

автоматического выключателя, так как в соответствии с требованиями ПУЭ компенсирующие устройства должны включаться и отключаться одновременно с аналогичными операциями на оборудовании.

5.6. ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ НА ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Состав и содержание проектно-сметной документации зависят от способа и объекта проектирования: для предприятий, зданий и сооружений, строительство которых будет осуществляться по типовым и повторно применяемым проектам, проектирование осуществляется в одну стадию; для других объектов строительства, в том числе крупных и сложных, — в две стадии. При проектировании объектов в одну стадию разрабатывают рабочий проект со сводным сметным расчетом, а в две стадии — проект со сводным сметным расчетом стоимости и рабочую документацию со сметами [29]. В любом случае разработке проекта осветительной установки должно предшествовать задание на проектирование (проектное задание).

Проект осветительной установки в соответствии с ГОСТ 21.608–84 [4] включает рабочие чертежи и пояснительную записку. Рабочие чертежи, выполненные в соответствии с требованиями [3, 6] и предназначенные для производства электромонтажных работ, включают:

- 1) планы расположения электро- и светотехнического оборудования и прокладки электрических сетей, выполненные в соответствии с требованиями к условным обозначениям и надписям включенных в них элементов [3, 5, 6, 7, 27];
- 2) принципиальные электрические схемы осветительной сети (в том числе оформленные в виде таблиц с данными о групповых щитах и линиях);
- 3) принципиальные схемы автоматического, в том числе и дистанционного, управления осветительной установкой;
- 4) спецификации на электрооборудование, основные материалы и изделия;
- 5) кабельный журнал питающей сети (при необходимости).

В пояснительную записку включают сметы на производство электромонтажных работ.

В качестве подосновы к планам расположения сети и электро- и светотехнического оборудования используют планы помещений, выполненные в основных комплектах рабочих чертежей в масшта-

бе 1:50; 1:100 или 1:200. Электрическая сеть осветительной установки наносится в однолинейном изображении (одной линией независимо от числа проводов в линии). Число проводов в линии отмечается соответствующим ему количеством черточек на линии сети, выполненных под углом 45° к ней. На однофазных (двухпроводных и трехпроводных в исполнении *TN-C-S* системы) линиях число проводов не указывается. Каждый участок питающих или групповых сетей маркируется. На планах наносят: наименование помещений (экспликация); классы взрыво- и пожароопасности; нормируемую освещенность; светильники, их количество, типы; групповые щиты и их обозначения; понижающие трансформаторы; выключатели, розетки; линии распределительных и групповых сетей (обозначение, сечение, марку, способ прокладки).

Спецификация основных материалов включает: кабельную продукцию, монтажные конструкции и детали (изделия заводов), металлы и изделия из них, изоляторы и изоляционные материалы. Потребность в некоторых материалах, например, изоляционных, подсчитывают по укрупненным нормам (на 100 м проводки). Нумерацию позиций спецификации рекомендуется делать сквозной. Формулировки наименований оборудования и материалов должны быть краткими и содержать исчерпывающую характеристику, чтобы была исключена возможность каких-либо ошибок при заказе.

Учебным планом специальности 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства (по направлениям)» по дисциплине «Электротермия и светотехника» предусмотрено выполнение студентами учебного курсового проекта по разделу «Светотехника».

В курсовом проекте требуется спроектировать осветительную установку здания сельскохозяйственного объекта. Исходными данными для проектирования является план здания с указанием размеров и наименований помещений, характеристик строительных конструкций, указанием инженерного оборудования (приложение 28).

При проектировании осветительной установки должны быть проведены светотехнический и электрический расчеты, разработаны мероприятия по эксплуатации осветительной установки, энергосбережению, охране труда и технике безопасности.

Проект должен содержать:

- 1) анализ объекта проектирования; выбор источника света, системы и видов освещения, норм освещенности, коэффициентов запаса; выбор типов светильников из нескольких вариантов;

2) расчет размещения светильников, расчет трех-пяти помещений методом коэффициента использования светового потока, точечным методом, методом удельной мощности; светотехническую ведомость;

3) компоновку электрической сети осветительной установки; выбор проводов и расчет их сечения, выбор щитов и расчет вставок коммутационно-защитной аппаратуры, выбор и расчет компенсирующих устройств;

4) спецификацию на основное оборудование, провода, кабели и установочные материалы;

5) разработку принципиальных электрических схем питающей и групповой сети и автоматизации управления осветительной установкой;

6) разработку правил эксплуатации и техники безопасности применительно к проектируемому объекту.

Общие требования к оформлению курсового проекта: пояснительная записка объемом 25...30 страниц, лист графического материала формата А1 с планом расположения осветительного оборудования и прокладки электрических сетей, выполненным в масштабе 1:100 (1:50 или 1:200), экспликацией помещений проектируемого объекта, спецификацией элементов осветительной установки и таблицей данных о групповых щитках.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие системы электроснабжения применяют для энергообеспечения осветительных установок на сельскохозяйственных объектах?

2. Какими параметрами оценивается качество электрической энергии в системах электроснабжения объектов сельскохозяйственного производства?

3. По какому признаку и на какие виды разделяют электрическую сеть в системах электроснабжения объектов сельскохозяйственного производства?

4. Какие требования регламентируются ПУЭ к исполнению нулевого рабочего и защитного проводников?

5. Какие установочные провода и кабели применяют для изготовления электрических сетей сельскохозяйственных осветительных установок? Их технические параметры.

6. Какие осветительные щитки применяют для распределения электрической энергии, защиты от перегрузок и токов короткого замыкания в осветительных сетях?

7. Приведите электрические принципиальные схемы, применяемые в групповых осветительных щитах?

8. По каким параметрам рассчитываются сечения проводников электрических сетей осветительных установок?

9. Приведите последовательность выполнения операций при расчете электрической сети осветительных установок.

10. Как определяют расчетную и установленную мощность токоприемников электрической сети осветительных установок?

11. Напишите формулу для расчета сечения провода участка электрической сети с одинаковым количеством проводов и поясните физический смысл входящих в нее величин.

12. Напишите формулу для расчета сечения проводов участков разветвленной электрической сети с различным количеством проводов и поясните физический смысл входящих в нее величин.

13. Как определить значение допустимых потерь напряжения в электрической сети осветительных установок и на ее отдельных участках?

14. Как проверить сечение проводников электрической сети на выполнение требований механической прочности, допустимого нагрева?

15. Напишите формулы для определения расчетного тока однофазного, двухфазного и трехфазного участков электрической сети осветительных установок.

16. Какие аппараты используются для защиты электрических сетей от коротких замыканий? По каким параметрам определяют ток вставки их защитных элементов?

17. Какие электрические сети осветительных установок защищают от перегрузок?

18. Поясните, как и для чего осуществляется проверка сечения проводников электрической сети на соответствие току вставки защитного аппарата.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Цель работы. Изучить способы и схемные решения, применяемые для управления установками искусственного освещения, конструкцию и принципы действия электротехнических устройств для их реализации.

Задачи работы:

1. Познакомиться с устройством, принципами действия и подготовкой к работе электротехнических устройств, применяемых для управления осветительными установками, — реле времени; фотореле; светочувствительных автоматических выключателей (лестничных и наружного освещения); автоматических выключателей с датчиками присутствия, движения и фотоакустическими таймерами.

2. Изучить принципы и применяемые на практике схемные решения ступенчатого регулирования освещенности рабочей поверхности.

3. Изучить способы и устройства, применяемые для плавного регулирования светового потока источников оптического излучения.

4. Исследовать влияние амплитудного, фазового и частотного способов регулирования светового потока источников на изменение светотехнических и электрических параметров ламп накаливания и люминесцентных ламп. Определить область применения указанных способов регулирования светового потока источников.

Общие сведения. Способы и схемные решения, применяемые для управления установками искусственного освещения, конструкцию и принципы действия электротехнических устройств для их реализации изучить по представленным на стенде натурным образцам, изложенному выше теоретическому материалу и рекомендованной литературе.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендованной литературе, и натурным образцам изучить:

— устройство, принцип действия и основные характеристики электротехнических устройств, применяемых для управления осветительными установками, — реле времени; фотореле; светочувствительных автоматических выключателей (лестничных и наружно-освещения), автоматических выключателей с датчиками присутствия, движения и фотоакустическими таймерами;

— способы и схемные решения при ступенчатом регулировании освещенности рабочей поверхности и управления освещением;

— способы плавного регулирования светового потока источников, их достоинства и недостатки;

— работу принципиальной схемы тиристорного регулятора напряжения и преобразователя частоты.

2. В соответствии с требованиями подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, принципе действия и основных параметрах изучаемых в работе электротехнических устройств, принципиальные схемы ступенчатого и плавного регулирования освещенности, принципиальную схему стенда для проведения их исследований, формы таблиц для регистрации результатов измерений.

Методические указания по выполнению работы:

1. Изучить устройство экспериментального стенда для исследования способов ступенчатого и плавного регулирования освещенности, влияния амплитудного, фазового и частотного способов регулирования светового потока источников на изменение светотехнических и электрических параметров ламп накаливания и люминесцентных ламп.

2. По представленным на экспериментальном стенде натурным образцам изучить устройство, принцип действия и основные характеристики электротехнических устройств, применяемых для управления осветительными установками, — реле времени; фотореле; светочувствительных автоматических выключателей; автоматических выключателей с датчиками присутствия, движения и фотоакустическими таймерами. Записать их технические параметры.

Произвести соответствующие настройки времени и уровня освещенности включения (отключения) осветительной установки, реакции на помехи, создаваемые естественной освещенностью (автоматические выключатели с датчиками присутствия и движения) и технологическим шумом (автоматические выключатели с фото-

акустическими таймерами) в работе электротехнических устройств, и их чувствительности к разряжениям.

3. По натурным образцам изучить устройство и принцип действия фотореле ФР-75. Произвести его настройку на требуемый уровень освещенности. Для этого, установив датчик люксметра в измеряемой точке и изменяя напряжение на источнике света добиться требуемой освещенности. Снять крышку фотореле. Подать питание на фотореле. Установить в измеряемую точку фоторезистор фотореле и изменяя сопротивление резистора, добиться четкого срабатывания фотореле при заданной освещенности.

4. На экспериментальном стенде (рис. Л7.1) исследовать влияние амплитудного, фазового и частотного способа регулирования светового потока источников на изменение их светотехнических и электрических параметров.

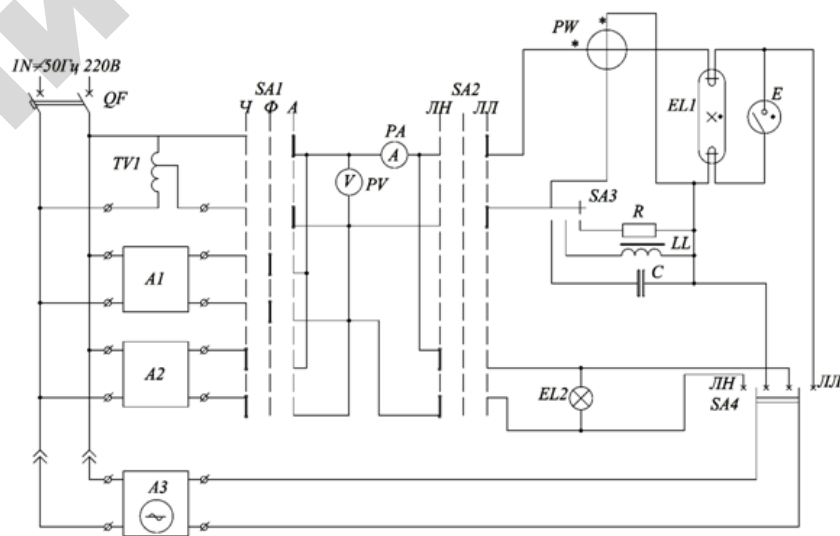


Рис. Л7.1. Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда:

SA1 — переключатель режимов регулирования (Ч — частотное, Ф — фазовое, А — амплитудное); A1 — регулятор напряжения РНТО; A2 — регулятор частоты; A3 — осциллограф

Включив автоматический выключатель *QF* подать напряжение на электрическую схему стенда. При исследовании изменения светотехнических и электрических параметров люминесцентных ламп

и ламп накаливания переключатель *SA2* соответственно переключить в положение «лл» или «лн». Переключателем *SA1* задать способ регулирования (амплитудный — А, фазовый — Ф или частотный — Ч). Изменяя соответствующим регулятором напряжение питания от 220 В через каждые 20 В в сторону уменьшения, измерить напряжение *U*, ток лампы *I*, мощность лампы *P_л* (для лампы накаливания определяется произведением тока на напряжение, для люминесцентной лампы — по показателям ваттметра *PW*) и освещенность *E* в контрольной точке.

Включить осциллограф в сеть. Переключателем *SA4* подключить осциллограф к исследуемой лампе (положение «лн» или «лл»). Установив номинальное напряжение сети (220 В), снять осциллограмму напряжения на лампе. Затем, уменьшая напряжение питания, снять осциллограмму напряжения на лампе при ее погасании.

Осциллограммы напряжений на лампе зарисовать в отчет. Результаты измерений представить в форме таблицы Л7.1. По результатам измерений для исследуемых способов регулирования построить графические зависимости $I = f(U)$, $P_{л} = f(U)$, $E = f(U)$.

Таблица Л7.1

Влияние способов плавного регулирования светового потока на электрические и светотехнические характеристики источников

Тип источника	Амплитудное регулирование				Фазовое регулирование				Частотное регулирование (при частоте в 5 кГц)			
	<i>U</i> , В	<i>I</i> , А	<i>P_л</i> , Вт	<i>E</i> , лк	<i>U</i> , В	<i>I</i> , А	<i>P_л</i> , Вт	<i>E</i> , лк	<i>U</i> , В	<i>I</i> , А	<i>P_л</i> , Вт	<i>E</i> , лк
Лампы накаливания	220				220				220			
	200				200				200			
	180				180				180			
	и т. д.				и т. д.				и т. д.			
Люминесцентные лампы с индуктивным балластом	220				220				220			
	200				200				200			
	180				180				180			
	и т. д.				и т. д.				и т. д.			

5. Проанализировать полученные осциллограммы, результаты измерений и построенных графических зависимостей и по резуль-

татам анализа сделать выводы о целесообразности и области применения указанных способов регулирования светового потока источников.

При анализе сравнить:

5.1) способы ступенчатого регулирования освещенности по следующим показателям: сложность схемы управления; материальные затраты на установку (провода, кабели, электротехнические изделия и др.); обеспечение требуемой равномерности освещенности на рабочей поверхности.

Сделать вывод о целесообразности применения различных способов ступенчатого регулирования освещенности;

5.2) способ плавного регулирования светового потока по следующим показателям:

а) относительному изменению светового потока (освещенности):

$$\gamma = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max}} \cdot 100\%, \quad (\text{Л7.1})$$

где E_{\max} и E_{\min} — максимальное и минимальное значения освещенности, получаемой при использовании того или иного способа регулирования.

б) сложности реализации способа (простота схемы, материалоемкость, энергозатраты);

в) глубине пульсации светового потока (глубину пульсации светового потока приближенно определить по соотношению периодов темновых пауз и периодов горения источников с использованием снятых осциллограмм напряжения на лампах).

Сделать вывод о целесообразности и областях применения способов плавного регулирования светового потока источников света.

6. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Содержание отчета:

1. Название работы.
2. Цель и задачи работы.
3. Принципиальная электрическая схема экспериментального лабораторного стенда.
4. Краткие сведения об устройстве, принципе действия и основных характеристиках изученных электротехнических устройств.
5. Схемы ступенчатого регулирования освещенности рабочей поверхности и управления осветительной установкой.
6. Результаты произведенных измерений (табл. Л7.1).

7. Осциллограммы напряжения на лампах в регулировочных режимах.

8. Принципиальные схемы тиристорного регулятора напряжения и преобразователя частоты.

9. Графические зависимости тока, мощности и освещенности от питающего напряжения для исследованных режимов.

10. Выводы. Анализ преимуществ и недостатков способов плавного и ступенчатого регулирования освещенности.

Вопросы для подготовки к защите отчета по лабораторной работе:

1. Расскажите об устройстве, принципе действия и основных характеристиках известных Вам реле времени (фотореле; светочувствительных автоматических выключателей; автоматических выключателей с датчиками присутствия, движения и фотоакустическими таймерами).

2. Назовите основные принципы, положенные в основу автоматического управления осветительными установками.

3. Поясните известные Вам способы ступенчатого регулирования освещенности рабочей поверхности при управлении осветительной установкой. Приведите примеры их схемных решений.

4. Поясните причины изменения светового потока источников оптического излучения при амплитудном, фазовом и частотном регулировании.

5. Поясните принцип действия тиристорного регулятора напряжения (преобразователя частоты) и, используя принципиальную электрическую схему, расскажите о его работе.

6. Укажите преимущества и недостатки известных Вам способов плавного и ступенчатого регулирования освещенности. Сделайте вывод о целесообразности их применения в схемах управления осветительными установками.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Цель занятия. Ознакомиться с последовательностью рассмотрения вопросов при проектировании электрической сети осветительной установки, получить практические навыки выбора схемы питания и компоновки сети, обоснования способа прокладки и маркировки проводникового материала, компоновки и рационального размещения групповых щитков.

Задачи занятия:

1. Получить практические навыки проектирования электрической сети осветительной установки.

2. Для заданной преподавателем осветительной установки здания со схемой и монтажными размерами размещения светильников: — определить напряжение и схему питания электрической сети; — выбрать групповые щитки, определить места их расположения и способы установки;

— разбить трассу электрической сети осветительной установки, предусмотрев подвод питания к каждому светильнику с мест управления ими;

— выбрать марки проводов (кабелей) и способы их прокладки.

3. Составить расчетную схему электрической сети осветительной установки.

Задание на самостоятельную подготовку к практическому занятию:

По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, изучить:

— последовательность рассмотрения вопросов при проектировании электрической сети осветительной установки;

— методику выбора напряжения и схемы питания электрической сети, групповых щитков, мест их размещения и способов установки, марки проводов (кабелей) и способов их прокладки, оптимального расположения трассы электрической сети;

— методику составления расчетной схемы электрической сети осветительной установки.

Методические указания и последовательность выполнения работы:

1. Получить у преподавателя задание по проектированию электрической сети в виде осветительной установки здания со схемой и монтажными размерами размещения светильников или воспользоваться результатами расчетов при выполнении заданий к практическим занятиям №№ 1...4.

2. При выполнении задания к практическому занятию следует придерживаться данной последовательности рассмотрения основных взаимосвязанных вопросов (глава 5.3):

— выбрать напряжение и схему питания электрической сети (§ 5.3.1);

— разработать рациональную схему питания и управления осветительными приборами, выбрать групповые щитки, определить места их расположения и способы установки (§ 5.3.2);

— выбрать марки проводов (кабелей) и способы их прокладки (§ 5.3.3);

— подобрать необходимое электротехническое оборудование (выключатели, розетки, разветвительные коробки, оборудование для автоматического управления и др.);

— составить расчетную схему электрической сети (см. пример на рис. 5.4).

3. Составить ведомость оборудования, необходимого для монтажа электрической сети осветительной установки (табл. Пб.1).

Таблица Пб.1

Спецификация оборудования электрической сети осветительной установки

№ п/п	Наименование электрооборудования	Тип (марка)	Единица измерения	Количество
-------	----------------------------------	-------------	-------------------	------------

4. На строительном плане здания привести схему электрической сети осветительной установки с указанием на ней мест размещения светильников и электрооборудования (см. приложение 26).

Вопросы для подготовки к защите выполненного задания:

1. Привести последовательность рассмотрения вопросов при проектировании электрической сети осветительной установки.

2. Какие факторы учитывают при выборе напряжения питания электрической сети осветительной установки?

3. Перечислить известные Вам схемы выполнения питающих электрических сетей осветительных установок и проанализировать их преимущества и недостатки.

4. Как определяют требуемое количество групповых осветительных щитков?

5. Как определяют необходимое количество групп в осветительном щитке?

6. По каким параметрам выбирают групповой осветительный щиток?

7. Как определяют место установки группового осветительного щитка?

8. Какие факторы учитывают при выборе марки провода и кабеля для электрической сети осветительной установки?

9. Какие факторы учитывают при выборе способа прокладки электрической сети осветительной установки?

10. Какие параметры учитывают при выборе электрооборудования для электрической сети осветительной установки (выключателей, розеток, разветвительных коробок, средств автоматического управления и др.)? Приведите конкретный пример из Вашего опыта работы над выполнением задания к данному практическому занятию.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7. РАСЧЕТ СЕЧЕНИЯ ПИТАЮЩИХ И ГРУППОВЫХ СЕТЕЙ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Цель занятия. Ознакомиться с последовательностью рассмотрения вопросов при расчете сечения токопроводящих проводников электрической сети, получить практические навыки определения сечения по условию минимума затрат проводникового материала и проверки по допустимому нагреву, механической прочности, соответствию току вставки защитного аппарата.

Задачи занятия:

1. Получить практические навыки проектирования электрической сети осветительной установки.
2. Для расчетной схемы электрической сети осветительной установки (результаты выполнения задания к занятию № 6):
 - определить сечение токопроводящих жил проводов и кабелей;
 - определить требуемые токи вставки защитных аппаратов и выбрать их марку;
 - проверить электрическую сеть по допустимому нагреву, механической прочности и соответствию току вставки защитного аппарата.

Задание на самостоятельную подготовку к практическому занятию.

- По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, изучить:
- последовательность рассмотрения вопросов при определении сечения токопроводящих жил проводников проводов и кабелей;
 - методику проведения расчетов при определении сечений токопроводящих жил проводников;
 - методику определения токов защитных аппаратов и подбора аппаратов защиты электрической сети от токов коротких замыканий и перегрева;
 - методику проверки электрической сети по допустимому нагреву, механической прочности и соответствию току вставки защитного аппарата.

Методические указания и последовательность выполнения работы:

1. Для расчетной схемы электрической сети осветительной установки (результаты выполнения задания к занятию № 6):
 - определить сечение проводников всех участков электрической сети при соблюдении условия минимальных затрат проводникового материала;
 - проверить соответствие сечения проводов (кабелей) электрической сети требованиям к их механической прочности;
 - определить расчетные токи участков сети и проверить принятые сечения по условиям нагрева;
 - определить требуемые токи вставок защитных аппаратов и выбрать защитные аппараты;
 - проверить принятые сечения проводников на соответствие токам вставок защитных аппаратов;
 - определить потери напряжения в конце сети.
2. По итогам произведенных расчетов и проверок представить принципиальную схему электрической сети осветительной установки, оформленную в соответствии с приведенной в табл. 5.18 формой.

Вопросы для подготовки к защите выполненного задания:

1. Поясните цели и особенности расчета электрических сетей осветительных установок.
2. По каким условиям производят расчет и проверки сечения проводников электрической сети осветительных установок?
3. Приведите последовательность выполнения операций при расчете электрической сети осветительных установок.
4. Как определяют расчетную и установленную мощности токоприемников электрической сети осветительных установок?
5. Напишите формулу для расчета сечения проводников участка электрической сети с одинаковым количеством проводов и поясните физический смысл входящих в нее величин.
6. Напишите формулу для расчета сечения проводников участков разветвленной электрической сети с различным количеством проводов и поясните физический смысл входящих в нее величин.
7. Поясните физический смысл коэффициентов α и C , входящих в формулы для расчета сечения проводников электрической сети осветительных установок. Как они определяются и от чего они зависят?

8. Как определяют значение допустимых потерь напряжения в электрической сети осветительных установок?

9. Как проверить сечение проводников электрической сети осветительной установки на выполнение требований механической прочности?

10. Как проверить сечение проводников электрической сети на выполнение требований к их допустимому нагреву?

11. Напишите формулы для определения расчетного тока однофазного, двухфазного и трехфазного участков электрической сети.

12. Какие аппараты используются для обеспечения защиты электрических сетей от коротких замыканий?

13. По каким параметрам определяют ток вставки элементов аппаратов?

14. Какие электрические сети осветительных установок защищают от перегрузок?

15. Как и для чего осуществляется проверка сечения проводников электрической сети на соответствие току вставки защитного аппарата?

6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Осветительная установка не может оставаться эффективной, если за ней не будет обеспечен регулярный уход. Старение ламп и связанное с этим уменьшение излучаемого ими светового потока, накопление пыли и грязи на отражающих и рассеивающих поверхностях светильников и лампах, а также постепенное ухудшение отражающих свойств поверхностей помещений и оборудования способствуют постепенному снижению светового потока, достигающего рабочей поверхности, а следовательно, и уровня ее освещенности.

Снижение освещенности рабочей поверхности в процессе эксплуатации осветительной установки учитывается уже на стадии проектирования, когда в расчетные формулы вводится коэффициент запаса K_3 . Значение коэффициента запаса K_3 определяется условиями среды (наличием дыма и копоти), в которой предполагается эксплуатировать осветительную установку, и конструкцией светильников при условии их регулярного обслуживания. Таким образом, в первоначально смонтированной осветительной установке уровень освещенности должен составлять $E = E_H \cdot K_3$, где E_H — значение минимальной нормированной освещенности рабочей поверхности.

С учетом регулярных чисток светильников и своевременной замены отслуживших свой срок службы ламп изменение уровня освещенности в процессе эксплуатации осветительной установки $E = f(t)$ носит пилообразный характер, постепенно приближаясь к минимально допустимому значению (рис. 6.1). Из рисунка видно, что при очередной чистке светильников (t_1, t_2, \dots, t_8) уровень освещенности рабочей поверхности возрастает, однако не достигает своего первоначального значения из-за старения ламп и постепенного ухудшения отражающих свойств поверхностей светильников, помещения и оборудования. То же можно отметить и при замене ламп ($t_{3.л.}$) — уровень освещенности рабочей поверхности возрастает, но не достигает своего первоначального значения из-за постепенного ухудшения отражающих свойств поверхностей светильников, помещения и обо-

дования. Старение источников света является неизбежным процессом при эксплуатации осветительной установки, степень же загрязнения светильников и поверхностей является контролируемым процессом и при условии налаженной эксплуатации может быть сведена к минимуму.

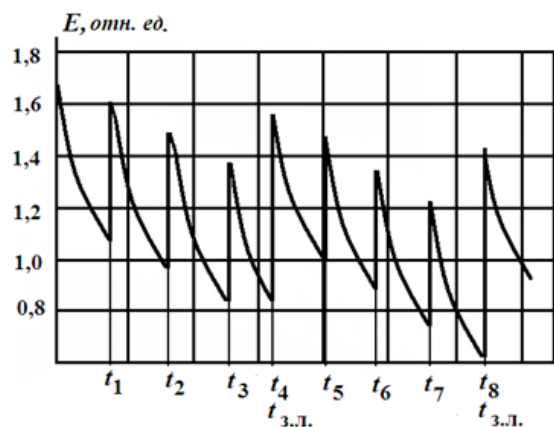


Рис. 6.1. Пример зависимости изменения освещенности поверхности в процессе эксплуатации осветительной установки: t_1, t_2, \dots, t_8 — время чистки светильников; $t_{3.л.}$ — время замены перегоревших ламп

Основной задачей эксплуатации является обеспечение нормируемых светотехнических параметров, заложенных при проектировании осветительной установки, путем ее своевременного обслуживания, что предусматривает измерение светотехнических параметров, мониторинг за работой осветительных приборов, своевременную замену источников света и чистку осветительных приборов, проведение их планово-предупредительных ремонтов, а также модернизацию установок с применением более эффективных источников и светильников. Эксплуатацию¹ электроустановок потребителей должен осуществлять подготовленный электротехнический персонал².

¹ Эксплуатация — стадия жизненного цикла изделия, на которой реализуется, поддерживается или восстанавливается его качество [34].

² Электротехнический персонал — специально подготовленный административно-технический, оперативный, оперативно-ремонтный и ремонтный персонал, осуществляющий монтаж, наладку и обслуживание электрооборудования [34].

6.1. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Правила технической эксплуатации электроустановок обязывают потребителя обеспечить:

- содержание электроустановок в работоспособном состоянии и их эксплуатацию в соответствии с требованиями [34] правил безопасности и других нормативно-технических актов;

- своевременное и качественное проведение технического обслуживания, планово-предупредительного ремонта, испытаний, модернизации и реконструкции электроустановок и электрооборудования;

- подбор электротехнического персонала, организацию его периодических медицинских осмотров, инструктажей по безопасности труда и пожарной безопасности;

- охрану труда электротехнического персонала, его обучение и проверку знаний;

- надежность работы и безопасность эксплуатации электроустановок, их укомплектованность защитными средствами, средствами пожаротушения и инструментом;

- учет, рациональное расходование электрической энергии и проведение мероприятий по энергосбережению;

- проведение необходимых испытаний электрооборудования, измерительных приборов и средств учета электрической энергии.

Для выполнения вышеприведенных требований у потребителя создается энергетическая служба предприятия (хозяйства), укомплектованная соответствующим по квалификации электротехническим персоналом. При этом часть ее полномочий и обязанностей может быть передана специализированным межхозяйственным производственно-эксплуатационным энергетическим предприятиям на основании заключенных между ними договоров. Основу внутрихозяйственной энергетической службы составляют электротехническая служба и служба теплофикации. При наличии определенных объемов работ дополнительно создаются службы обслуживания холодильного оборудования, средств диспетчерской связи, контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА), газификации, энергетического оборудования коммунально-бытовых объектов.

В зависимости от объема и сложности работ по эксплуатации электроустановок потребителей энергетические службы сельскохозяйственных предприятий укомплектовываются штатом инженерно-технических работников в зависимости от наличия действующей

щих электрических, тепловых и других энергетических установок. При этом правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [34] обязывают, чтобы на каждом предприятии (организации, учреждении) приказом или распоряжением администрации из числа специально подготовленного электротехнического персонала было назначено лицо, отвечающее за общее состояние эксплуатации всего электрохозяйства предприятия.

Структура энергетической службы разных предприятий (организаций, учреждений) отличается большим разнообразием. Установленные типовые штатные расписания служб эксплуатации, нормы численности обслуживающего персонала и типовые схемы организации эксплуатации, как правило, отсутствуют или не соблюдаются. В качестве примера для предприятий сельскохозяйственного производства может быть предложен следующий вариант структуры службы эксплуатации (рис. 6.2), который, в зависимости от мощности электроустановок и других специфических условий, может видоизменяться.



Рис. 6.2. Примерная структура электротехнической службы хозяйства

Электротехническая служба ведет работы по трем основным направлениям: эксплуатация, текущий ремонт, монтаж и наладка нового электрооборудования. В зависимости от объема энергохозяйства предприятия электротехническую службу возглавляет главный или старший инженер-энергетик (на правах главного), старший инженер-энергетик, инженер-электрик, который находится в подчинении главного инженера предприятия.

Службу эксплуатации электрооборудования возглавляет инженер или техник-электрик. Электротехнический персонал службы эксплуатации проводит плановое техническое обслуживание электрооборудования в местах его установки. Персонал, как правило, разделяют на отдельные группы (бригады), закрепленные за определенными участками обслуживания. Группами (бригадами) на участках обслуживания и ремонта руководят старшие из персонала (бригадиры), имеющие более высокий разряд или, при равных разрядах, более высокую группу допуска по технике безопасности.

Персонал службы эксплуатации осуществляет техническое обслуживание электрооборудования в соответствии с графиком, устраняет дефекты, обнаруженные при обслуживании, ведет учет потребления электроэнергии и выполняет тому подобные работы. В обязанности бригадира кроме основной работы входят: контроль работы персонала группы (бригады), расходования материалов и запасных частей, обеспечение персонала необходимыми инструментами, приборами, приспособлениями, материалами и запасными частями, контроль состояния инструмента (приборов, приспособлений) и соблюдения правил техники безопасности, ведение технической документации.

Службу по ремонту электрооборудования, как правило, возглавляет техник-электрик. Персонал службы выполняет плановые работы по текущему ремонту электрооборудования как в местах его установки, так и на пунктах технического обслуживания (ПТО), наладке, испытаниям, консервации, комплектованию и отправке электрооборудования в капитальный ремонт на специализированные предприятия. Его подразделяют на две группы: по текущему ремонту электрооборудования на ПТО и по текущему ремонту, наладке и испытаниям электрооборудования в местах его установки. В обязанности бригады по ремонту электрооборудования в местах его установки входят: проведение текущего ремонта; демонтаж оборудования, подлежащего ремонту в стационарных условиях, доставка его на ПТО и обратно; установка на рабочее место, налад-

ка и проверка работоспособности; сбор, доставка и комплектование электрооборудования для отправки на специализированные предприятия для производства капитального ремонта.

В отдельных случаях при наличии большого объема работ по обслуживанию и ремонту КИПиА в составе электротехнической службы предприятия могут быть созданы отдельные группы по их обслуживанию и ремонту. Однако техническая сложность современных КИПиА и не всегда достаточная для их обслуживания и ремонта квалификация электротехнического персонала предприятия указывают на то, что эту часть полномочий целесообразнее передать специализированным межхозяйственным производственно-эксплуатационным предприятиям на основании заключенных с ними договоров.

В обязанности оперативной дежурной группы предприятия входят: производство необходимых отключений и переключений в энергоустановках; устранение мелких неисправностей, возникших в процессе эксплуатации электрооборудования, с проведением необходимых проверок, регулировок и настроек; контроль выполнения электротехнологическим персоналом и работающими правил эксплуатации электрооборудования и техники безопасности. Территориально группа располагается на ПТО и при отсутствии вызовов занимается ремонтом электрооборудования. Оперативной дежурной группой руководит старший из персонала, который имеет более высокий разряд или, при равных разрядах, более высокую группу допуска по технике безопасности. В обязанности руководителя группы кроме основной работы входят: контроль работы персонала группы, прием заявок от объектов хозяйства на обслуживание электрооборудования и распределение персонала группы согласно полученным заявкам, обеспечение персонала инструментами, приборами, приспособлениями, материалами и запасными частями, контроль состояния защитных средств и соблюдения правил техники безопасности, ведение технической документации.

При организации эксплуатации электроустановок потребителей осветительные установки, как правило, не выделяют в отдельную группу, а их эксплуатацию, ремонт и обслуживание осуществляют совместно с другим электрооборудованием. Тем не менее, если количество персонала, необходимое для эксплуатации осветительных установок и определяемое затратами труда на выполнение этих работ, достаточно для организации отдельной группы, то создание подобной специализированной группы всегда является экономиче-

ски целесообразным, что обусловлено спецификой проведения подобных работ.

При организации отдельной группы для эксплуатации осветительных установок на нее возлагаются следующие обязанности:

- прием в эксплуатацию вновь смонтированных или реконструированных установок;

- постоянный мониторинг за состоянием установки и ее составляющих — осветительных приборов и источников света;

- своевременное и качественное проведение технического обслуживания, включающего чистку осветительных приборов и замену источников света, планово-предупредительного ремонта и испытаний;

- обеспечение мер по рациональному использованию и экономии электрической энергии, расходуемой на освещение, с учетом увеличения годового числа часов использования естественного света и уменьшения — искусственного освещения;

- обеспечение установок запасом осветительных приборов, комплектующих изделий к ним и источников света, который определяется способом организации обслуживания;

- обеспечение проведения природоохранных мероприятий, в первую очередь определяемых проблемой дезактивации ртути вышедших из строя газоразрядных ламп.

В любом случае надлежащие эксплуатация, обслуживание и ремонт электрооборудования должны быть организованы и выполняться электротехнической службой предприятия или, когда служба хозяйства не укомплектована кадрами и не имеет необходимой материально-технической базы, специализированным межхозяйственным производственно-эксплуатационным энергетическим предприятием на основании договоров между ним и предприятием. В каждом конкретном случае руководством предприятия, в зависимости от наличия и установленной мощности электрооборудования, видов и объемов работ, территориального расположения объектов обслуживания, возможности рационального использования технических средств для обслуживания и ремонта отдельных видов оборудования, укомплектованности энергетической службы предприятия специалистами, наличия материально-технической базы и ее оснащения, должно быть принято рациональное решение о форме организации и обслуживания электроустановок предприятия.

6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПЕРСОНАЛА ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей [34] установлено, что на каждом предприятии приказом или распоряжением администрации из числа специально подготовленного электротехнического персонала должно быть назначено лицо, отвечающее за общее состояние эксплуатации всего энергохозяйства предприятия. Согласно инструкции [12] на предприятии устанавливается штатное расписание инженерно-технических работников (ИТР) для обслуживания осветительных установок исходя из следующих нормативов: при установленной мощности осветительной установки от 250 до 750 кВт — один техник-светотехник; от 750 до 2000 кВт — один инженер-светотехник; от 2000 до 3500 кВт — один инженер-светотехник и один техник-светотехник; а при мощности свыше 3500 кВт штат ИТР должен увеличиваться на одного человека на каждые 1500 кВт установленной мощности сверх 3500 кВт. Следует отметить, что приведенные установленные мощности осветительных установок некоторых предприятий сельскохозяйственного назначения, например, современных тепличных комбинатов, уже в настоящее время являются реальными.

В соответствии с инструктивными указаниями [24] требуемое количество электромонтеров для выполнения всего комплекса работ по эксплуатации осветительной установки рекомендуется определять в зависимости от средств доступа к светильникам, способов удаления пыли, типа источника света и конструктивного исполнения светильников.

При расчете обслуживающего персонала (численности электромонтеров и ИТР) для обслуживания установок внутреннего освещения предприятия определяют:

1) общее количество светильников общего освещения разного типа, предварительно разбив их на группы в соответствии с классификацией, приведенной в табл. 6.1 (по средствам доступа к светильникам, способам удаления пыли, типам источников света, конструктивному исполнению светильников и периодичности их чистки). При этом при определении суммарного количества светильников общего освещения светильники с количеством ламп до четырех учитываются по их фактическому количеству, а с четырьмя и более — пересчетом на условное количество путем деления суммарного числа установленных в них ламп на три. В то же время электрические со-

единители и включаемые в них осветительные приборы, в том числе местного переносного освещения, а также все стационарные осветительные приборы местного освещения не учитываются;

Таблица 6.1

Данные для определения численности персонала для обслуживания осветительных установок

Способ		Источник света	Исполнение светильника	Число электромонтеров 2-го разряда на 1000 шт. светильников при очистке, осуществляемой			
				2 раза в месяц	1 раз в месяц	1 раз в три месяца	
доступа к светильникам	удаления пыли	ЛН и ГЛВД ЛЛ	открытое	1,40	0,70	0,24	
			со стеклом	5,60	2,80	0,90	
с лестниц, стремянок или передвижных несамоходных напольных приспособлений	сухая или влажная протирка		открытое	3,40	1,70	0,56	
			со стеклом или решеткой	4,50	2,20	0,75	
приспособлений	промывка с применением растворителей		ЛН и ГЛВД	открытое	2,80	1,40	0,47
			ЛЛ	со стеклом	5,60	2,80	0,90
		любое		6,80	3,40	1,10	

Примечание. Приведенные данные могут корректироваться на основе практического опыта.

2) установленную мощность светильников общего освещения (суммарную и отдельно для ламп накаливания и газоразрядных ламп). При подсчете установленной мощности учитывают потери электрической энергии в ПРА газоразрядных ламп.

Далее необходимое количество ИТР определяется по приведенным выше данным в соответствии с действующей инструкцией [12], а количество электромонтеров — следующим образом: 2-го разряда — путем умножения требуемого для обслуживания 1000 шт. светильников количества электромонтеров, определяемого по табл. 6.1, на выявленное суммарное количество светильников общего освещения каждой группы, деленное на тысячу (с округлением до 0,1); 3-го разряда — путем деления мощности ламп накаливания (в кВт) на 500 (с округлением до 0,1) и газоразрядных ламп на 250 (с тем же округлением); 4-го или 5-го разряда — путем деления численности электромонтеров на 2 или 3 соответственно.

тромонтеров 2-го и 3-го разрядов на 5 (с округлением до ближайшего целого числа). Полученные значения численности электромонтеров округляются до ближайшего целого числа.

Пример расчета количества персонала для эксплуатации осветительных установок сельскохозяйственного комплекса, включающих 2142 осветительных прибора, приведен в пособии [33, с. 156]. В результате расчета определено, что суммарная мощность осветительных установок сельскохозяйственного комплекса с учетом потерь в ПРА составляет 341 кВт, в том числе 234 кВт для светильников с газоразрядными лампами и 107 кВт для светильников с лампами накаливания. Требуемое число электромонтеров 2-го и 3-го разрядов — по 1 (с округлением до ближайшего целого числа). Потребное количество электромонтеров 4-го или 5-го разряда может быть принято равным 1 при условии одновременного исполнения им обязанностей старшего в группе (бригадира). Таким образом, общий штат для обслуживания осветительных установок рассматриваемого комплекса составляет 4 человека, включая одного техника-светотехника, возглавляющего всю работу по эксплуатации осветительных установок.

Для обслуживания установок наружного освещения можно, учитывая опыт обслуживания улиц при механизированных средствах доступа к светильникам, рекомендовать при двух чистках в год одного электромонтера примерно на 500 светильников, а при четырех — на 300. При использовании других средств доступа и способов чистки количество электромонтеров может возрасти в 2...3 раза, однако и может быть сокращено за счет использования более совершенных, технически удобных для работы средств доступа к светильникам и применения светильников с более совершенными эксплуатационными характеристиками.

6.3. ПРИЕМКА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Организация эксплуатации начинается с приемки новой или реконструированной (подвергшейся капитальному ремонту) осветительной установки в соответствии с установленным порядком допуска, а также правилами пользования электрической энергией и ПУЭ.

Для приемки осветительной установки в эксплуатацию после окончания монтажных работ создается комиссия, состав которой ут-

верждает главный инженер предприятия-заказчика. Комиссия должна быть создана не позднее 5 рабочих дней после получения письменного извещения от организации (генподрядчика), осуществляющей монтаж, капитальный ремонт или реконструкцию (далее — монтаж), о готовности объекта к приемке. В состав комиссии входят представители заказчика (председатель комиссии), подрядчика (генподрядчика), проектной организации, технической инспекции профсоюзов, профсоюзной организации заказчика, санитарного надзора, пожарного надзора и других организаций по решению заказчика. Комиссия обязана проверить: соответствие выполненных работ проектно-сметной документации и исполнительным чертежам, действующим стандартам, правилам и нормам; качество строительно-монтажных работ; данные о результатах индивидуального апробирования оборудования; результаты комплексного апробирования. Результаты работы комиссии отражаются в письменном заключении о готовности объекта к эксплуатации, в котором отражаются, при их наличии, дефекты и недоделки, допущенные в ходе строительства и монтажа, а также дефекты оборудования, выявленные в процессе приемосдаточных и пусконаладочных испытаний.

Перед приемкой в эксплуатацию осветительных установок должны быть проведены: промежуточные приемки узлов, в том числе скрытых работ (в период строительства, монтажа, капитального ремонта или реконструкции); приемосдаточные испытания оборудования и пусконаладочные испытания отдельных систем электроустановки; комплексное опробование оборудования. При этом приемосдаточные и пусконаладочные испытания проводятся подрядчиком (генподрядчиком) с привлечением персонала заказчика после окончания всех строительных и монтажных работ, а комплексное опробование — заказчиком.

Для проведения пусконаладочных работ и опробования оборудования допускается временное включение осветительных установок по проектной схеме на основании временного разрешения, выданного территориальными органами госэнергонадзора. При комплексном опробовании оборудования должны быть проверены работоспособность оборудования и безопасность его эксплуатации, проведены проверка и настройка всех устройств и систем контроля, управления, защиты, блокировок, сигнализации и контрольно-измерительных приборов. Комплексное опробование считается проведенным при условии нормальной и непрерывной работы основного и вспомогательного оборудования осветительной установки в течение 72 часов.

Заказчик должен организовать в ходе строительства и монтажа технический надзор за производством работ, проверку соответствия выполняемых работ утвержденной технической документации. Дефекты и недоделки, допущенные в ходе строительства и монтажа, а также дефекты оборудования, выявленные в процессе приемосдаточных и пусконаладочных испытаний, комплексного опробования электроустановок, должны быть устранены. Приемка в эксплуатацию электроустановок с дефектами и недоделками не допускается.

Сдачу-приемку осветительных установок в эксплуатацию оформляют после получения технической документации от заказчика, монтажной и наладочной организаций. В комплект технической документации должны входить рабочие чертежи, включающие: планы помещений с нанесенными на них светильниками, электрическими сетями, распределительными щитами, аппаратами защиты и управления; план, а в необходимых случаях и принципиальную схему питающей сети с указанием электрических нагрузок, характеристик коммутационных и защитных аппаратов, маркировки, длины, сечений и марок проводов, кабелей и способов прокладки; характерные разрезы помещений для зданий со сложными строительными решениями, необходимые для правильного понимания чертежей; указания относительно предусмотренных способов и средств эксплуатации осветительной установки, содержащие перечень приспособлений и устройств для доступа к узлам установки (светильникам, коробкам разветвления, сетям и др.).

В процессе выполнения монтажных работ могут возникнуть отклонения от рабочих чертежей, вызванные теми или другими причинами. Все отклонения должны быть отражены в рабочих чертежах организации, ведущей монтажные работы, а пояснения причин, вызвавших изменение рабочих чертежей, с разрешением проектной организации на изменения, должны быть зафиксированы в журнале производства электромонтажных работ. Рабочие чертежи установки, оформленные указанным образом монтажной организацией, при передаче установки эксплуатационному персоналу получают название исполнительных чертежей. При сопоставлении принимаемой установки с исполнительными чертежами осмотру и проверке подлежат части установки, указанные в приложении 29.

В процессе приемки осветительной установки комиссия обязана: провести выборочные замеры напряжения на светильниках ближайших и наиболее удаленных со стороны питания; провести контрольные замеры освещенности в помещениях и на отдельных рабочих

местах; выбрать и нанести на чертежи контрольные точки, в которых периодически должна измеряться освещенность в процессе эксплуатации; проверить наличие и исправность приспособлений и технических средств быстрого и безопасного доступа к светильникам.

После устранения замеченных дефектов составляется акт сдачи-приемки осветительной установки. К этому документу в дополнение к актам работ прилагаются протоколы измерения сопротивления изоляции электропроводов и кабелей, исполнительские чертежи и некоторые другие документы.

При проведении измерений освещенности следует учитывать, что газоразрядные источники света излучают заявленный в паспорте световой поток не ранее, чем после 100 часов работы в номинальном режиме. К тому же при пуске осветительной установки в эксплуатацию освещенность в контрольных точках должна превышать нормированное значение не менее чем на величину коэффициента запаса. Да и при измерении следует учитывать тот факт, что при отклонении напряжения сети от номинального в момент измерения фактический уровень освещенности при номинальном напряжении следует определять расчетным путем, хотя бы с использованием формулы:

$$E_{\text{ФАКТ}} = E_{\text{ИЗМ}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}} - K \cdot (U_{\text{НОМ}} - U_{\text{ИЗМ}})}, \quad (6.1)$$

где $E_{\text{ФАКТ}}$ — освещенность при номинальном напряжении, лк; $E_{\text{ИЗМ}}$ — значение освещенности, полученное в результате измерения, лк; $U_{\text{НОМ}}$ — номинальное напряжение сети, В; K — коэффициент, учитывающий изменение освещенности при изменении напряжения сети от номинального значения. Коэффициент K в расчетах приблизительно может быть принят равным: для ламп накаливания — 4,0; для люминесцентных ламп, включенных с индуктивным балластным напряжением, — 2,0; для газоразрядных ламп высокого давления типа ДРЛ — 2,0 и типа ДРИ — 3,0.

Для осуществления допуска осветительной установки в постоянную эксплуатацию и подключения к электрической сети заказчик (владелец) предоставляет инспектору госэнергонадзора объект (электроустановку) для обследования, а также проектную, исполнительную и другую техническую документацию. Результаты обследования фиксируются в заключении о допуске осветительной установки в эксплуатацию с выводом о возможности подключения объекта к сети энергоснабжающей организации.

Подключение электроустановки потребителя к электрической сети осуществляется энергоснабжающей организацией на основании наряда на подключение, выданного органом госэнергонадзора, заключенного договора о снабжении электрической энергией и соблюдения других требований, содержащихся в соответствующих технических нормативных правовых актах по подключению электроустановок.

В процессе эксплуатации осветительной установки все изменения, вносимые в нее, должны получать отражение в исполнительских чертежах, показывающих ее истинное состояние.

6.4. ПОРЯДОК И ОБЪЕМ РАБОТ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Обслуживание осветительных установок во время эксплуатации осуществляется путем проведения осмотров их состояния, планово-предупредительных ремонтов и периодического технического обслуживания.

Осмотр состояния оборудования и электропроводки аварийного и рабочего освещения, испытание и измерение сопротивления изоляции проводов, кабелей и заземляющих устройств проводятся при вводе осветительной установки в эксплуатацию и в дальнейшем по графику, утвержденному ответственным за электрохозяйство, но не реже одного раза в три года. Результаты замеров оформляются актом (протоколом) в соответствии с нормами и объемом проведенного испытания, а результаты осмотра заносят в специальный журнал. При осмотре незначительные дефекты, такие как, например, перегоревшая лампа или стартер и т. п., устраняют на месте, а сведения об оборудовании, подлежащем капитальному ремонту, передают в группу ремонта для проведения ремонта или замены на исправное оборудование.

Техническое обслуживание осветительных установок состоит в регулярной чистке светильников, замене перегоревших ламп, мелком ремонте, производимых по заранее разработанным графикам, а также в период профилактического осмотра и планово-предупредительного ремонта (табл. 6.2). Периодичность работ по чистке осветительных приборов и проверке технического состояния

осветительных установок устанавливается ответственным за электрохозяйство потребителя с учетом местных условий. На участках, подверженных усиленному загрязнению, очистка светильников должна выполняться по особому графику.

Таблица 6.2

Сроки профилактического осмотра осветительных установок

Вид периодических осмотров	Периодичность осмотра
Проверка уровней освещенности в осветительных установках внутреннего и наружного освещения	1 раз в год
Проверка исправности аварийного освещения при отключении рабочего освещения	2 раза в год
Проверка состояния внутреннего и наружного освещения (наличие стекол, решеток и сеток в светильниках, исправность уплотнения светильников специального исполнения и т. д.), а также исправности крепежных деталей и контактов	При чистке светильников
Чистка светильников и смена ламп	См. табл. 4.15 и 6.6
Проверка состояния стационарного оборудования и электропроводки рабочего и аварийного освещения на соответствие номинальных токов расцепителей расчетным значениям	1 раз в год
Испытание и измерение сопротивления изоляции проводов и кабелей рабочего и аварийного освещения, проверка заземления светильников:	
— в помещениях с нормальными условиями среды;	1 раз в год
— в сырых помещениях и в помещениях с химически активной средой	2 раза в год
Измерение нагрузок и напряжений в отдельных точках электрической сети	1 раз в год
Испытание изоляции стационарных и переносных трансформаторов с вторичным напряжением 12...42 В	1 раз в год
Осмотр опор, кронштейнов и тросовых растяжек	2 раза в год

Типовые объемы работ по техническому обслуживанию и ремонту осветительных установок приведены в приложении 30. Средние значения трудоемкости и периодичности технического обслуживания и текущего ремонта светотехнического оборудования приведены в табл. 6.3 и 6.4.

Таблица 6.3

Примерные значения трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта светотехнического оборудования

Светотехническое оборудование	Трудоемкость, чел. · ч.	
	технического обслуживания	текущего ремонта
Светильники для сухих и влажных помещений:		
— с лампами накаливания;	0,1	0,25
— с газоразрядными лампами	0,13	0,3
Светильники для помещений сырых, особо сырых и с химически активной средой:		
— с лампами накаливания;	0,15	0,4
— с газоразрядными лампами	0,2	0,5
Облучатели тепличные с газоразрядными лампами высокого давления	0,5	1,0

Таблица 6.4

Периодичность технического обслуживания и текущих ремонтов светотехнического оборудования

Светотехническое оборудование	Периодичность, мес.	
	технического обслуживания	текущего ремонта
Светильники для сухих и влажных помещений	6	24
Светильники для сырых и особо сырых помещений	3	24
Светильники для сырых и особо сырых помещений с химически активной средой	3	12
Облучатели тепличные с газоразрядными лампами высокого давления	6	12

Все работы по техническому обслуживанию и ремонту осветительной установки и ее элементов в обязательном порядке должны проводиться при полном соблюдении требований Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей [21]. Любой вид технического обслуживания или ремонта необходимо производить при снятом напряжении с групповой линии, питающей элемент осветительной установки (светильник, выключатель, переключатель и т. п.), который подвергается обслуживанию или ремонту. Если конструкция светильника обеспечивает возможность отключения от питающих проводов всего светильника или его части, допускается обслуживать отсоединенный светильник или его часть при наличии напряжения в групповой сети.

При техническом обслуживании светильников на месте их установки независимо от используемых способов очистки и средств доступа следует произвести следующие операции: отключить светильник от питающей сети; снять со светильника (если он закрытый) защитную сетку, стеклянный рассеиватель или экранирующую решетку и положить их на рабочую площадку, вынуть (вывернуть) источник света и положить его на рабочую площадку; проверить крепление комплектующих элементов светильника (ПРА, электроустановочных изделий и т. п.) и состояние электрических контактов (если они доступны для работы без разборки светильника); очистить от пыли отражатель светильника; установить на место источник света, предварительно очистив его от загрязнений, а при его неисправности заменить новым; очистить от пыли и загрязнений все снятые со светильника части и установить их на место; подключить светильники к электрической сети.

При неудобстве обслуживания светильника на месте и необходимости отсоединения узла подвеса для его очистки следует сначала произвести это отсоединение, положить светильник на рабочую площадку, произвести все указанные выше операции, а затем установить светильник на место. Если при обслуживании светильника обнаруживается его непригодность для дальнейшей эксплуатации, следует отсоединить его от питающей сети, снять с места установки и заменить резервным, исправным светильником.

Для работ по техническому обслуживанию осветительных установок следует подготовить необходимый инструмент (пассатижи, индикаторы напряжения, отвертки), монтерские пояса, каски, хлопчатобумажные перчатки и др. Средства защиты, инструмент и приспособления, применяемые электротехническим персоналом при об-

служивании и ремонте осветительных установок, должны подвергаться осмотру и испытаниям в соответствии с требованиями Правил [10, 34] и удовлетворять требованиям соответствующих государственных стандартов и технических нормативных правовых актов.

У электротехнического персонала, обслуживающего электрические сети осветительных установок, должны быть схемы этой сети, запас калиброванных вставок, соответствующих светильников и ламп всех напряжений данной сети освещения. При использовании средств «малой механизации» (пылесосов, механизированных щеток, захватов для вывертывания ламп и т. д.) они должны быть подготовлены к работе и подключены к электрической сети. Для сухой или влажной чистки светильников необходимо иметь ветошь, тряпки и емкости с водой или раствором. Весь указанный инвентарь должен быть доставлен к месту работы перед ее началом вместе со средствами доступа к светильникам.

6.5. СПОСОБЫ И СРОКИ ЧИСТКИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Запыление и загрязнение светильников является одним из факторов, влияющих на снижение освещенности в процессе эксплуатации осветительных установок. Спад светового потока светильников вследствие их запыления зависит от условий среды в помещении (концентрации и характера пыли, условий вентиляции), где они эксплуатируются, и конструкции светильников (открытые, с решетками, уплотненные и пр.).

Пыль, осаждающаяся на внутренней поверхности светильников, изменяет их светоотражающие параметры. Светоотражающие покрытия диффузионных светильников тускнеют и темнеют, что приводит к уменьшению их коэффициента отражения и снижению КПД. По мере запыления зеркальных светильников изменяется их светораспределение и оно становится менее концентрированным, постепенно приближаясь к светораспределению диффузионных светильников, что не только снижает КПД светильника, но и значительно уменьшает коэффициент использования светового потока осветительной установки.

Степень запыления светильников, как правило, зависит от концентрации пыли в помещении, конструктивных схем светильников, а также материала и покрытия отражателей и рассеивателей. Све-

тильники, выходное отверстие которых защищено от пыли, имеют меньший спад светового потока, чем открытые. Светильники перекрытого исполнения, т. е. имеющие неуплотненное защитное стекло, способны затягивать пыль внутрь за счет конвективных тепловых потоков и так называемого «дыхания» при их включении и выключении. Светильники с различными материалами отражателя, работающие в одних и тех же условиях, запыливаются по-разному. При малом запылении материал отражателя практически не влияет на степень запыления. На рис. 6.3 приведены кривые снижения освещенности в зависимости от запыления светильников с люминесцентными лампами различного конструктивного исполнения.

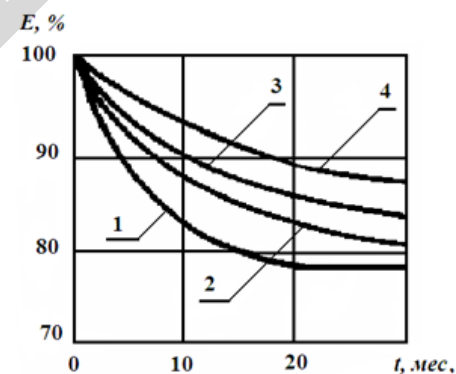


Рис. 6.3. Пример изменения освещенности, создаваемой осветительной установкой с люминесцентными лампами, при запылении светильников: 1 — светильники со сплошными отражателями; 2 — светильники с отверстиями в отражателях; 3 — светильники с отверстиями в отражателях и экранирующими решетками; 4 — светильники с отверстиями в отражателях без экранирующих решеток

В процессе эксплуатации осветительных установок из-за старения светотехнических материалов конструктивных элементов осветительных приборов, возникающего в результате многократных загрязнений и чисток, происходит необратимое снижение КПД. Оно характеризуется коэффициентом восстановления K_B , определяемым как $K_B = \eta_N / \eta_0$, где η_0 — начальный КПД светильника; η_N — КПД светильника после N чисток.

Коэффициент K_B прежде всего зависит от материала покрытия отражателя и конструкции светильника, а также от концентрации и характера пыли в помещении, периодичности и способов чистки

светильников. На рис. 6.4 приведены усредненные кривые снижения КПД светильников с различным светотехническим материалом конструктивных элементов. Наибольшее значение K_B наблюдается у светильников с отражателями из твердого материала, но даже они к 8 годам эксплуатации (нормативному сроку службы светильников) при содержании пыли в рабочей зоне свыше 5 мг/м^3 (при самом сильном запылении) имеют значение K_B , равное $0,65 \dots 0,8$. Малопригодны к эксплуатации в тяжелых условиях окружающей среды светильники с отражателями из мягких материалов, изменяющие даже при малом запылении КПД до $0,57$ первоначального значения к 8 годам эксплуатации.

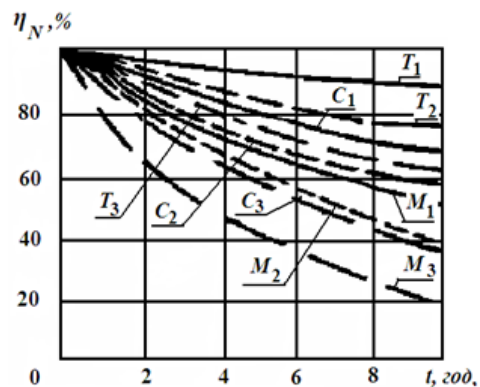


Рис. 6.4. Усредненные кривые снижения КПД светильников, изготовленных из различных светотехнических материалов, при: Т — твердом материале; С — материале средней твердости; М — мягком материале:
1 — концентрации пыли менее 1 мг/м^3 ; 2 — концентрации пыли от 1 до 5 мг/м^3 ; 3 — концентрации пыли более 5 мг/м^3

Степень восстановления первоначального КПД светильников зависит от способа их чистки — сухая протирка отражателей, мойка (влажная протирка) мыльным и специальным растворами. Способ чистки определяется условиями среды в помещении, характером пыли и материалом отражателя. Легче всего очищаются от пыли отражатели, покрытые белой силикатной эмалью. Для светильников с люминесцентными лампами, которые по технологическим причинам не покрываются силикатной эмалью, наилучшими являются диффузионные мочевиноформальдегидные эмали, создающие гладкую поверхность.

Из всех способов чистки наименее эффективна сухая протирка, так как при этом пыль и грязь втираются в поры отражателя и трудно удаляются из них. При мойке диффузных отражателей лучше использовать теплую воду с добавлением в нее моющих средств (порошки, паста, сода и пр.). Моющий раствор по мере загрязнения обновляют. Наиболее эффективны теплые моющие и специальные растворы для помещений с тяжелыми условиями среды, дающие возможность не только сократить число чисток, но и заметно увеличить K_B светильников. Наихудшее восстановление КПД при любом способе чистки имеют светильники с мягким покрытием отражателя. Отражатели с зеркальной поверхностью очищают только мягкой ветошью без твердых включений, чтобы не оставлять на поверхности царапин, изменяющих характер светораспределения отражателя после многократных чисток.

Светильники с рассеивателями, экранирующими решетками и защитными стеклами из термопластичных материалов в значительной степени запыляются из-за возникновения электростатических зарядов после их протирки. Для предотвращения прилипания пыли к поверхностям светильников после сухой протирки они должны быть обработаны специальными антистатическими жидкостями.

Мойка мыльным раствором осветительных приборов, эксплуатируемых в помещениях с большим выделением пыли и грязи, не будет достаточно эффективной. Для этих помещений при мойке светильников необходимо использовать специальные составы и растворы, например, приготовленные по рецептам, приведенным в табл. 6.5. Стальные отражатели, покрытые белой силикатной эмалью (горячего эмалирования), на ранних стадиях загрязнения (3...4 недели) чистят мыльным раствором при $30 \dots 35 \text{ }^\circ\text{C}$, а после 7...9 чисток их обрабатывают составом № 1 или № 2 (при наличии грязи маслянистого характера — составом МЛ-1). Стальные или алюминиевые отражатели, покрытые меламино- или мочевино-формальдегидными эмалями АС-81 или АС-72, а также алюминированные в вакууме и защищенные органическими лаками, следует отмывать мыльным раствором. Алюминиевые отражатели с термохимическим обжариванием на ранних стадиях загрязнения чистят теплым мыльным раствором, а после 5...6 чисток рекомендуется их окунуть на 15...20 с в 5 %-ный раствор соляной кислоты. Последующие 5...6 чисток производят теплым мыльным раствором, затем снова обрабатывают раствором соляной кислоты и т. д.

Таблица 6.5

Рекомендуемая рецептура растворов для мойки светильников

Рецептура	Ингредиенты	Примечание
Состав № 1	Соляная кислота HCl — 4 %, фтористый натрий NaF — 8 %, уротропин (ингибитор коррозии) — 1 %, вода — 87 %	Раствор относится к сильнодействующим. Время очистки — 1...2 мин при температуре раствора 25...30 °С. После обработки отражатели промывают водой. Состав пригоден для чистки эмалированных силикатной эмалью отражателей
Состав № 2	Щавелевая кислота $COOH$ — 10 %, перманганат калия $KMnO_4$ — 0,15 %, нитрат натрия $NaNO_2$ (ингибитор коррозии) — 10 %, вода — 79,85 %	Раствор менее сильнодействующий, чем состав № 1. Время очистки — 3...5 мин при температуре раствора 25...30 °С. Состав пригоден для очистки алюминиевых и эмалированных силикатной эмалью отражателей, загрязненных преимущественно мелкодисперсной окалиной
Состав МЛ-1	Алкиларилсульфонат РАС — 5 %, кальцинированная сода Na_2CO_3 — 30 %, жидкое стекло Na_2SiO_3 — 12 %, сульфонал НР — 1...3 %, нитрат натрия $NaNO_2$ — 1 %, вода — 49 %	Время очистки — 3...4 мин при температуре раствора 50...60 °С. Состав рекомендуется для чистки алюминиевых (диффузных) и эмалированных силикатной эмалью отражателей, загрязненных включениями маслянистого характера (копоть, пары мазута и пр.)

Чистка светильников общего освещения должна производиться в сроки, указанные нормами искусственного освещения [35] для заданных условий среды и регламентированных значений коэффициента запаса или отраслевыми нормами [25], утвержденными в установленном порядке (табл. 6.6). При этом чистку светильников целесообразно совмещать с заменой перегоревших ламп.

Таблица 6.6

Рекомендуемая периодичность чистки светильников

Помещения и территории	Число чисток в год, не менее
1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащие в рабочей зоне пыли, дыма, копоти с концентрацией, $mg \cdot m^{-3}$	
— свыше 5;	18
— от 1 до 5;	6
— менее 1;	4
— значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, характеризующихся большой коррозионной способностью, а также способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы кислот и щелочей	6
2. Производственные помещения с особым режимом по чистоте при обслуживании светильников:	
— с технического этажа;	4
— снизу из помещения	2
3. Помещения общественных и жилых зданий:	
— пыльные, жаркие и сырые;	2
— с нормальными условиями среды	1
4. Территории промышленных предприятий с воздушной средой, содержащей:	
— большое количество пыли (более $1 mg \cdot m^{-3}$);	4
— малое количество пыли (менее $1 mg \cdot m^{-3}$)	2
5. Населенные пункты	1

Примечание. Отраслевые нормы рекомендуют для сельскохозяйственных предприятий производить чистку светильников не реже 1 раза в 3 месяца (4 раза в год).

При эксплуатации осветительных установок смена перегоревших ламп может производиться групповым или индивидуальным способом, который устанавливается конкретно каждым потребителем в зависимости от сложности доступа к осветительным приборам и их количества (мощности осветительной установки).

При индивидуальном способе замену перегоревших ламп производят по мере выхода их из строя. Чаще всего она осуществляется

через определенный промежуток времени Δt , зависящий от характера перегорания ламп и срока их службы τ . Значение Δt для различных источников света приблизительно составляет: для люминесцентных ламп — $0,05 \tau$, для ДРЛ и ДРИ — $0,035 \tau$, для ламп накаливания — $0,1 \tau$. В отдельных случаях, когда перегорание одной или нескольких ламп приводит к резкому недопустимому снижению количественных или качественных характеристик осветительной установки на отдельных рабочих местах или в зонах, требуется немедленная замена вышедших из строя ламп. Индивидуальный способ замены ламп целесообразен для тех осветительных установок, в которых выход из строя источников света приводит к резкому снижению освещенности в зоне, прилегающей к данному светильнику, или увеличению коэффициента пульсации светового потока выше допустимого для заданного разряда зрительных работ. Это имеет место во всех установках, выполненных лампами накаливания, ДРЛ и ДРИ, в небольших установках с люминесцентными лампами (при наличии в одном помещении не более 30 светильников), во всех установках наружного освещения территорий предприятий.

При групповом способе замена всех ламп осветительной установки, как отказавших, так и работающих, производится по истечении определенного времени. Необходимость проведения групповой замены обуславливается тем, что все источники света, и в особенности газоразрядные, в процессе горения снижают первоначальный световой поток. Так, к концу срока службы газоразрядные лампы излучают примерно 60 % первоначального светового потока. Несмотря на то, что отдельные образцы ламп могут проработать даже двойной номинальный срок службы, эффективность их в это время невысока, так как они, продолжая потреблять первоначальное количество электрической энергии, излучают световой поток намного меньше номинального. В связи с этой особенностью газоразрядных ламп рекомендуется проведение их групповой замены.

Групповой метод требует предварительного технико-экономического обоснования, так как расход источников света при этом по сравнению с методом индивидуальной замены увеличивается. При групповом способе сроки очередной чистки осветительных приборов должны быть приурочены к срокам групповой замены ламп.

Интервал между двумя заменами принято называть временем групповой замены ламп $t_{гр}$. Продолжительность его определяется стабильностью светового потока ламп и интенсивностью выхода их из строя, а также стоимостными параметрами осветительной уста-

новки (ценой ламп и стоимостью обслуживания). Чем реже производится групповая замена, тем ниже будет эксплуатационный уровень освещенности и выше должно быть значение вводимого при проектировании K_3 . Это влечет за собой увеличение всех расходов, за исключением стоимости ламп. Уменьшение времени $t_{гр}$ из-за большего значения эксплуатационного уровня освещенности приводит к уменьшению K_3 , а следовательно, и всех расходов. Стоимость же замены ламп в этом случае возрастает.

На практике, как правило, не применяется чисто групповая замена ламп, а чаще всего используется индивидуально-групповая, при которой в промежутке между групповыми заменами через определенный интервал времени производится замена ламп, вышедших из строя за это время. Этот способ позволяет повысить эксплуатационный уровень освещенности и ввести при проектировании меньшее значение K_3 . Применение индивидуально-группового способа замены целесообразно лишь для дешевых и массовых источников света, какими, например, являются люминесцентные лампы. Лампы типа ДРЛ, ДРИ и ДНаТ из-за их еще высокой стоимости экономически целесообразно заменять индивидуально.

Время групповой замены для люминесцентных ламп должно составлять приблизительно 80 % их номинального срока службы, то есть 12 000 ч при $\tau = 15 000$ ч с индивидуальной «подзаменой» перегоревших ламп через $t = 0,05 \tau$ или 750 ч.

Сопоставляя способы замены ламп, следует отметить, что групповая замена имеет несомненные преимущества перед индивидуальной:

— Время замены ламп можно выбирать с учетом минимальных нарушений технологического процесса.

— Стартеры и пускорегулирующие аппараты не работают в трудных для них условиях пуска, возникающих в конце срока службы газоразрядных ламп.

— Установка имеет более эстетичный вид при использовании в ней ламп одного и того же времени эксплуатации.

— Замена ламп может совмещаться с процессом очередного технического обслуживания светильников, что уменьшает затраты на эксплуатацию осветительной установки.

Недостатком групповой замены является увеличенный расход ламп. Однако часть ламп, которые еще пригодны к эксплуатации, может в дальнейшем быть использована во вспомогательных помещениях, где затраты на их замену несколько ниже.

При любом способе замены необходимо, чтобы освещенность на рабочих поверхностях во время эксплуатации не снижалась более чем на 10 % от нормированного значения.

Для своевременной смены источников света необходимо создавать их запас. Количество запасных источников света n (запас новых ламп, состоящий из ламп тех типов и мощностей, которые имеются в осветительных установках предприятия) может быть определено из следующего выражения:

$$n = \frac{N \cdot T \cdot k}{t},$$

где N — количество источников света данного типа и мощности в осветительных установках предприятия; T — годовое число часов использования осветительной установки; k — коэффициент, определяющий запас (при годовом запасе $k = 1$, при полугодовом — $k = 0,5$ и т. д.), t — средний срок службы ламп данного типа.

6.6. СРЕДСТВА ДОСТУПА К ОСВЕТИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРАМ И ИСТОЧНИКАМ СВЕТА

Учитывая, что осветительные приборы и источники света в осветительной установке расположены на некоторой высоте от пола (земли), для организации их эксплуатации и замены ламп необходимы специальные приспособления, обеспечивающие доступ к ним обслуживающего персонала.

В качестве средств доступа к осветительным приборам установок внутреннего освещения применяют специальные приставные лестницы, стремянки, сборно-разборные подмости, мостовые краны, стационарные мостики, специальные передвижные устройства. Эти и другие подобные им средства доступа к осветительным приборам и источникам света должны обеспечивать удобное и безопасное проведение работ при подъеме человека на требуемую высоту.

Средства доступа могут быть: напольными или расположенными в зоне размещения светильников; стационарными, переносными или подвижными; перемещаемыми (вручную, механические, прицепные, самоходные) или неподвижными. Все остальные показатели, такие как масса, высота подъема, вылет стрелы и т. п., являются техническими характеристиками, по которым средства доступа вы-

бирают в зависимости от реальных условий эксплуатации и технико-экономических соображений.

Все средства доступа для выполнения работ на высоте должны быть заводского изготовления или изготовленными строго в соответствии с техническими нормативными правовыми актами (по типовым проектам), идентифицируемыми инвентарными номерами и находиться на учете предприятия. Применять неинвентарные средства допускается в исключительных случаях по разрешению главного инженера (начальника участка) только для однократного использования и при обязательном соблюдении требований техники безопасности.

При высоте подвеса осветительных приборов до 5 м допускается их обслуживание с приставных лестниц и стремянок. В случае расположения светильников на большей высоте разрешается их обслуживание с сборно-разборных подмостей, мостовых кранов, стационарных мостиков и передвижных устройств при соблюдении мер безопасности, установленных правилами безопасности при эксплуатации электроустановок и местными инструкциями.

Для обслуживания осветительных установок объектов сельскохозяйственного производства, размещаемых на относительно небольшой высоте от пола (земли), преимущественно применяются напольные средства доступа к светильникам — приставные лестницы и стремянки.

Лестницы и стремянки промышленного производства, как правило, изготавливают из алюминиевого профиля (рис. 6.5). Однако в условиях хозяйства для их изготовления часто используют сухой без явных сучков древесный брус из бука, дуба, ясеня, высших сортов осины. При этом их ступени должны быть врезаны шипами в тетивы, которые через 2 м следует скреплять стяжными болтами (шпильками). Нижние концы лестницы должны иметь опоры в виде острых металлических шипов или резиновых наконечников в зависимости от материала опорной поверхности (дерево, земля или бетон, асфальт, керамическая плитка). На высоте 1,2...1,5 м с обеих стремянок должны быть установлены крючки с ушками, расположенными в шахматном порядке, для предохранения створок от сдвигания и раздвигания. Длина лестниц и стремянок определяется исходя из следующих условий: лестницы должны устанавливаться под углом около 60° к горизонту, стремянок — с уклоном не более 1:3 (отношение разбега у основания к высоте); работы должны проводиться человеком, стоящим на третьей

от верха ступени лестницы или стремянки. Инвентарные подвесные и приставные лестницы должны иметь ширину не менее 40 см, а расстояние между ступенями — не более 35 см. Длина приставной лестницы не должна превышать 5 м.

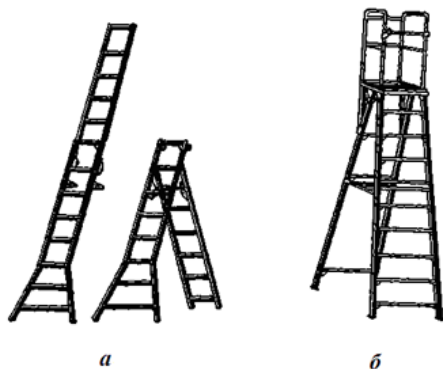


Рис. 6.5. Напольные средства доступа к осветительным приборам:
а — лестница стремянка типа ЛСМ; б — лестница с площадкой типа Л-312

Работы с применением лестниц производятся двумя лицами, одно из которых находится внизу. Перед приемкой в эксплуатацию и 1 раз в год в течение эксплуатации лестницы необходимо испытывать статической нагрузкой 2 кН в течение 2 мин, приложенной к одной из ступеней в середине пролета лестницы, установленной под углом 75° к горизонту.

Обслуживание светотехнического оборудования установок наружного освещения, как правило, осуществляется с использованием специальных передвижных автоподъемников. Однако при организации обслуживания с помощью автоподъемников следует учитывать, что к работе на высоте допускается обслуживающий персонал, прошедший медицинский осмотр, специальное обучение по технике безопасности и имеющий соответствующее удостоверение.

Выбор наиболее целесообразных технических средств для обслуживания светотехнических установок конкретного предприятия должен быть осуществлен путем сопоставления капитальных затрат на приобретение (или изготовление) средств доступа и эксплуатационных расходов, связанных с их содержанием и использованием.

6.7. ХАРАКТЕРНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ СВОТТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

При очередном техническом обслуживании, замене источников и профилактическом ремонте светотехнического оборудования выявляются и устраняются появившиеся неисправности, выясняются возможные причины возникновения неполадок в работе и предпринимаются меры по их устранению или уменьшению их вредного действия.

При анализе причин возникновения неполадок в работе светотехнического оборудования следует особо учитывать влияние условий окружающей среды на работоспособность светотехнического оборудования, особенно при использовании в осветительной установке газоразрядных источников света. Так, оптимальными условиями окружающей среды для газоразрядных источников являются: температура $+20 \dots +30^\circ\text{C}$ и относительная влажность не более 60 %.

Надежность зажигания люминесцентных ламп при температуре менее оптимального значения резко снижается, и уже при температуре ниже $+5^\circ\text{C}$ люминесцентные лампы с все еще распространенными индуктивными стартерными ПРА могут не зажигаться. Снижение температуры с $+20$ до $+10^\circ\text{C}$ или повышение с $+30$ до $+40^\circ\text{C}$ уменьшает световой поток лампы в среднем на 8...10 %.

Надежность зажигания люминесцентных ламп зависит также от значения относительной влажности окружающего воздуха. Наибольшее напряжение зажигания требуется при относительной влажности более 75 %, что наблюдается в животноводческих, да и других сельскохозяйственных производственных помещениях. При повышении относительной влажности, особенно при неблагоприятной температуре (ниже $+10$ или выше $+35^\circ\text{C}$), напряжение зажигания возрастает настолько, что ПРА не в состоянии зажечь лампу.

Отмеченные факторы часто являются основными причинами низкой надежности зажигания люминесцентных ламп в сельскохозяйственных светотехнических установках. Поэтому при плохом зажигании газоразрядных ламп низкого давления необходимо в первую очередь обратить внимание на значения относительной влажности и температуры воздуха в помещении, в котором они работают.

Уменьшить влияние относительной влажности и температуры воздуха в помещении на надежность зажигания люминесцентных

ламп можно, если покрыть их колбы тонким слоем гидрофобного прозрачного лака или нанести токопроводящую полосу на колбу, наподобие той, которая имеется в люминесцентных лампах мгновенного зажигания, и заземлив или занулив ее.

Газоразрядные лампы низкого и высокого давления подвержены так называемому эффекту хранения: хранившиеся долгое время лампы требуют для первого зажигания более высокого напряжения, чем периодически работающие. Этот фактор необходимо учитывать при наладке установок, особенно работающих в неблагоприятных внешних условиях. Долго хранившиеся лампы перед установкой необходимо несколько раз зажечь на испытательном стенде.

Эксплуатация установок с газоразрядными лампами низкого и высокого давления осложняется тем, что в схемах их управления применяются ПРА, содержащие дроссели или трансформаторы, стартеры, конденсаторы, разрядники, разнообразные полупроводниковые приборы и т. п. Следовательно, неисправности при эксплуатации таких ламп могут быть самыми разнообразными и вызванными не только самой лампой, но и элементами схем их включения в сеть. Если лампа не зажигается, то это еще не означает, что она неисправна. Требуется при этом проверить предварительно исправность электропроводки и отдельных элементов схемы включения.

Часто причины неисправностей в установках с газоразрядными лампами приходится определять в условиях отсутствия специально оборудованных стендов. Для облегчения выхода из подобных ситуаций в приложении 31 приводится описание типичных неисправностей в схемах включения источников света, указываются возможные причины их возникновения и рекомендуемые пути их устранения.

Неисправности в светильниках должны устраняться сразу же после их обнаружения, так как неисправный элемент схемы может явиться причиной пожара или выхода из строя других ее элементов. Работы по осмотру, проверке и ремонту светильников должны быть приурочены ко времени их чистки. Обнаруженные неисправности следует устранять, а пришедшие в негодность части и детали светильников должны заменяться при ремонте новыми. Это, естественно, касается только достаточно легко снимаемых частей светильников, таких как патроны, ламподержатели, рассеиватели, защитные стекла, экранирующие решетки, ПРА, стартеры и др. Если пришедшая в негодность часть светильника не может быть заменена, заменяется весь светильник.

К работам по ремонту светильников относятся восстановление надежности контактных соединений и замена зарядных проводов светильников.

6.8. МЕРЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ, ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ САНИТАРИИ И ЭКОЛОГИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Для защиты от возможного поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены меры защиты при косвенном прикосновении в виде защитного заземления или зануления³. Каждая часть электроустановки, подлежащая защитному заземлению или занулению, должна быть присоединена к сети заземления или зануления с помощью отдельного проводника. При этом последовательное соединение заземляющими (зануляющими) проводниками нескольких элементов электроустановки не допускается.

Присоединение заземляющих проводников к заземлителю и заземляющим конструкциям должно быть выполнено сваркой, а к главному заземляющему зажиму, корпусам аппаратов, машин и опорам воздушных линий — болтовым соединением (для обеспечения возможности производства измерений).

В сетях с глухозаземленной нейтралью на напряжение до 1000 В (230, 400 и 690 В) применяется система защитного зануления, при этом защитное заземление корпусов электроприемников без их защитного зануления не допускается.

В соответствии с требованиями ПУЭ [26] и правил технической эксплуатации электроустановок потребителей [34] защитное заземление металлических частей электроустановок и оборудования должно выполняться во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного и 120 В постоянного тока. В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защитного заземления может потребоваться при более низких напряжениях, например, 24 В переменного

³ Выполняемое в целях электробезопасности защитное заземление (защитное зануление) — это преднамеренное электрическое соединение металлических нетоковедущих частей электроустановки (в том числе корпусов электрооборудования), которые в процессе несоответствующей эксплуатации могут оказаться под напряжением, с землей (с глухозаземленной нейтралью трансформатора или генератора).

и 60 В постоянного тока или 12 В переменного и 30 В постоянного тока при наличии требований соответствующих глав ПУЭ.

К частям, подлежащим заземлению, относят: корпуса электрических машин, аппаратов, трансформаторов, светильников и т. п.; металлические конструкции распределительных устройств, щитов, щитков и шкафов управления; другие металлоконструкции, на которых установлено электрооборудование, кожухи шинпроводов, лотки, короба; тросы, струны и стальные полосы, на которых укреплены кабели и провода; металлические оболочки силовых и контрольных кабелей, проводов и изоляционных трубок, металлические гибкие рукава, стальные трубы с электропроводкой; вторичные обмотки измерительных трансформаторов; электрооборудование, размещенное на движущихся частях станков, машин, механизмов; металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников и др. Не требуется специально заземлять в установках наружных и расположенных внутри помещений или под навесами: корпуса электрооборудования и электромонтажные конструкции, установленные на заземленных металлических конструкциях при наличии на опорных поверхностях надежного электрического контакта; металлоконструкции и трубы при условии надежного электрического контакта между этими конструкциями и установленным на них заземленным электрооборудованием; арматуру подвесных и штыри опорных изоляторов, кронштейны и осветительную арматуру при установке их на деревянных опорах воздушных линий и деревянных конструкциях открытых подстанций.

В качестве заземляющих и нулевых защитных проводников в электроустановках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью должны в первую очередь использоваться нулевые рабочие проводники N системы $TN-C$, нулевые защитные проводники PE системы $TN-S$ и совмещенные нулевые защитные и рабочие проводники PEN системы $TN-C-S$. Требования ПУЭ [26] и ГОСТ 30331 [10] к сечениям нулевых защитного и рабочего, а также совмещенного нулевого защитного и рабочего проводников электрической сети осветительной установки приведены в главе 5.1.

Мерами электробезопасности кроме защитного заземления и зануления являются: пониженное напряжение питания (не более 50 В), включая сверхнизкое; двойная, состоящая из рабочей и дополнительной, или усиленная изоляция; защитное отключение, обеспечивающее автоматическое отключение питания электроустановки в аварийных режимах (при возникновении в ней опасности пораже-

ния электрическим током), например, при применении устройства защитного отключения (УЗО) с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА; выравнивание потенциалов; защитные ограждения и др.

В электроустановках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью защитное зануление осветительных приборов осветительных установок осуществляют присоединением их к нулевому рабочему (система $TN-C$), нулевому защитному (система $TN-S$) или совмещенному нулевому защитному и рабочему (системы $TN-C-S$) проводнику путем соединения заземляющего зажима (винта) корпуса внутри осветительного прибора с соответствующим проводником в точке коммутации ближайшей промежуточной разветвительной коробки.

Защитное зануление нескольких светильников одной группы может быть выполнено соответствующим защитным проводником, проложенным вдоль ряда светильников. Он вводится без разрыва в каждый светильник, или делается ответвление к каждому светильнику отдельным проводом, подсоединяемым к защитному проводнику ответвительным (винтовым) зажимом. Последовательное зануление группы светильников не допускается.

Защитное зануление светильников, ПРА которых не встроено в их корпуса, и их ПРА осуществляют отдельными защитными проводниками, как и любое другое отдельное электрооборудование. Однако защитное зануление корпусов светильников с газоразрядными лампами и вынесенными ПРА допускается осуществлять при помощи перемычки между заземляющими винтами зануленного ПРА и светильника.

Металлические отражатели светильников, укрепленные на корпусах из изолирующих материалов, заземлять (занулять) не требуется. Если между кронштейном светильника и его корпусом нет жесткого соединения, заземление (зануление) следует выполнять специальным гибким проводником.

Корпуса светильников местного освещения напряжением переменного тока выше 50 В могут заземляться путем установки их на заземленной (зануленной) металлоконструкции (кронштейне) при обеспечении надежного электрического контакта между ними.

В помещениях жилых и общественных зданий, где не требуется заземление осветительного электрооборудования, используют для подвески светильников металлические крюки с изоляционным покрытием.

Во взрывоопасных зонах защитное зануление электроустановок выполняется при любом напряжении сети переменного и постоянного тока.

При монтаже светильников на тросах несущие тросы (струны и непрерывные полосы), на которых закреплены кабели и провода (кроме тех, по которым проложены кабели с заземленной или зануленной металлической наружной оплеткой или броней), заземляют (зануляют) не менее чем в 2 точках по концам линии путем присоединения троса (струны или полосы) к нулевому или заземляющему проводу гибким медным проводником. При использовании ответвительных коробок гибкий проводник с нулевым проводом соединяют в крайних коробках линии. Соединение гибкого проводника с тросом выполняют с помощью ответвительного сжима (рис. 6.6). Допускается заземлять трос (струну) присоединением (сваркой) свободных концов концевых петель, оставляемых при заготовке тросовой линии и присоединяемых к ответвлениям от магистрали заземления или зануления. Если при заготовке тросовой линии свободный конец не был оставлен, допустимо использовать гибкую перемычку из стального каната, конец которой соединяется с несущим тросом с помощью ответвительного сжима. В местах их установки окрашенная поверхность стальной катанки или проволоки предварительно зачищается, а стального каната — очищается от смазки. Прочие металлические элементы тросовых проводок — вертикальные подвески несущего троса и светильников, анкерные устройства и натяжные муфты, детали крепления ответвительных коробок, закрепляемые к заземленному несущему тросу, — отдельного заземления не требуют.

Для выполнения защитного зануления металлической ответвительной коробки или кронштейна светильника один из ответвляющихся проводов, предназначенный для защитного заземления (зануления) корпуса светильника, зажимается на промежуточном участке под винт заземления коробки, кронштейна. Зануление коробов типа КЛ для подвески люминесцентных светильников выполняется путем присоединения защитного проводника к нулевому зажиму внутри каждой секции короба.

Винтовые токоведущие гильзы патронов стационарных светильников для ламп накаливания в сетях, где не требуется заземление корпусов светильников, должны быть присоединены к нулевому, а не к фазному проводнику.

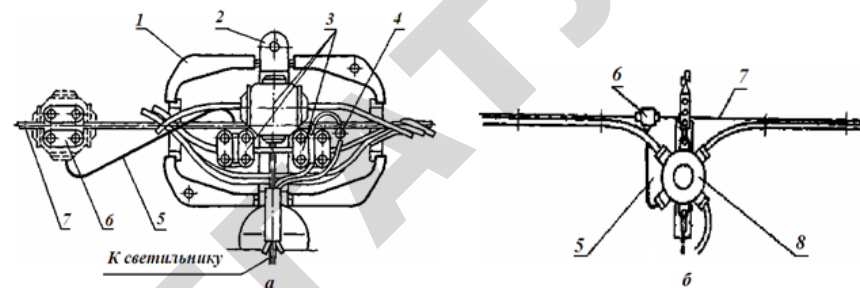


Рис. 6.6. Заземление тросовых осветительных электропроводок, выполненных с ответвительными коробками: а — проводом типа АРТТ; б — небронированным кабелем: 1 — тросовая металлическая коробка; 2 — скоба; 3 — ответвительные сжимы; 4 — винт заземления коробки; 5 — гибкая перемычка; 6 — ответвительный сжим на тросе; 7 — трос; 8 — пластмассовая коробка

Корпуса отдельных аппаратов, щитков, шкафов, ящиков с электрооборудованием напряжением до 1000 В заземляют с помощью болтового присоединения стальных заземляющих проводников, если они не занулены через нулевой рабочий провод питающей линии или не заземлены через подводимые стальные трубы или алюминиевые оболочки кабелей. Не требуется дополнительно заземлять щитки, шкафы и ящики, установленные на заземленных металлических основаниях и конструкциях. Не нужно дополнительно присоединять к заземляющей шине металлические корпуса аппаратов, установленные непосредственно на заземленном каркасе (корпусе) шкафа, ящика, щита и имеющие с ним надежный контакт, а также корпуса аппаратов с двойной изоляцией. К заземляющему болту, винту корпуса разрешается присоединять не более двух проводников (наконечников перемычек). К каждому болту, винту, зажиму на заземляющей (нулевой) шине присоединяют только один проводник. Металлические дверцы, на которых установлено электрооборудование, требующее заземления (зануления), соединяют с каркасом щита, шкафа или ящика гибкими перемычками.

После завершения монтажных работ и перед сдачей в эксплуатацию заземляющие устройства должны подвергаться проверке и испытаниям с целью определения соответствия их проекту и требованиям технических нормативных правовых актов [10, 21, 26, 34]. Путем осмотра проверяют сечения, целостность и прочность проводников, всех мест соединений и присоединений. Открыто

проложенные неизолированные защитные проводники должны быть предохранены от коррозии и окрашены в черный цвет. Производят измерение сопротивления заземляющих устройств (без отсоединения естественных заземлителей). В установках напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью производят выборочную проверку цепи «фаза–нуль» для наиболее удаленных и мощных электроприемников (во взрывоопасных зонах — для всех электроприемников), а также измерение сопротивлений повторных заземлений нулевого провода при отсоединенном нулевом проводе и проводниках основного заземляющего устройства.

Проверку целостности сети заземления и наличия надлежащего контакта в местах присоединения удобно осуществлять следующим образом. В проверяемую цепь подается напряжение через реостат и понижающий трансформатор со вторичным напряжением 12 В мощностью 300...500 ВА. Отсутствие тока, колебание стрелки амперметра или малое значение тока указывают на разрыв и плохой контакт. В месте плохого контакта обычно возникает искрение или нагрев вплоть до красного каления.

Проверку сопротивления изоляции производят при снятых плавких вставках предохранителей, вывинченных лампах и отсоединенных приборах (нагревательных и др.). Групповые осветительные щитки, штепсельные розетки и выключатели во время проверки должны быть присоединены к сети. Сопротивление изоляции на участке между двумя предохранителями или за последними предохранителями, между проводом и землей, а также между двумя любыми проводами, должно быть не менее 0,5 МОм.

При сдаче-приемке заземляющих устройств в эксплуатацию предъявляется следующая техническая документация: исполнительные чертежи и схемы с указанием о согласовании изменений и отступлений от проекта (если таковые имеют место); акты освидетельствования скрытых работ по монтажу заземлителей и присоединений к естественным заземлителям; акты осмотра и проверки состояния открыто проложенных заземляющих проводников; протоколы измерения сопротивлений основных и повторных заземлителей, проверки цепи «фаза–нуль» (измерение тока короткого замыкания или сопротивления петли), а также наличия (целостности) цепи между заземлителями и заземленными элементами. По завершении отдельных этапов монтажа осветительного электрооборудования допускается сдавать его по акту и вводить в эксплуатацию независимо от готовности всей электрической части объекта.

В период эксплуатации визуальные осмотры видимой части заземляющего устройства должны производиться по графику, но не реже 1 раза в 6 месяцев ответственным за электрохозяйство потребителя или работником, им уполномоченным.

На лицевой стороне щитов и сборок сети освещения должны быть знак безопасности и надписи (маркировка) с указанием наименования (щита или сборки), номера, соответствующего диспетчерскому наименованию. С внутренней стороны (например, на дверцах) должны быть однолинейная схема, надписи с указанием значения тока плавкой вставки на предохранителях или номинального тока автоматических выключателей и наименование электроприемников, соответственно через них получающих питание. Наименование электроприемников (в частности, светильников) должно быть изложено так, чтобы работники, включающие или отключающие единично расположенные или групповые светильники, смогли бы безошибочно производить эти действия.

Каждый работник, осуществляющий эксплуатацию и обслуживание осветительных установок, обязан знать и выполнять требования по охране труда, относящиеся к обслуживаемому оборудованию и организации труда на рабочем месте. Персонал должен быть обеспечен спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с нормами в зависимости от характера выполняемых работ и обязан ими пользоваться во время производства работ. Средства защиты, инструмент и приспособления, применяемые при обслуживании и ремонте электроустановок, должны подвергаться осмотру и испытаниям в соответствии с правилами и удовлетворять требованиям соответствующих государственных стандартов и других технических нормативных правовых актов. Электротехнический персонал потребителя или объекта даже при наличии аварийного освещения должен быть снабжен переносными электрическими фонарями с автономным питанием.

При эксплуатации осветительных установок должны приниматься меры для предупреждения или ограничения вредного воздействия на окружающую среду выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов в почву и водные источники, снижения звукового давления и иных вредных физических воздействий. И здесь основное внимание службы эксплуатации должно быть уделено вопросам экологии окружающей среды и предотвращения возможного ртутного заражения атмосферы, почвы и водных объектов.

Во всех газоразрядных источниках света содержится в небольших количествах один из наиболее токсичных химических элементов — ртуть, например, в лампах типа ДРЛ — от 25 до 165 мг, а в люминесцентных лампах низкого давления — от 60 до 120 мг. Ртуть не только вызывает острые отравления, но и при относительно малых дозах накапливается в организме и может приводить к серьезным нарушениям психики и токсическим нарушениям функций жизненно важных органов человека. Опасность ртути заключается в том, что она обладает высокой летучестью и может испаряться даже сквозь слой воды.

Естественно, что разбитые газоразрядные лампы являются источником ртутных загрязнений. Известно, что при полном испарении 100 г ртути, высвобождающейся от разбитых примерно 1000 люминесцентных ламп, происходит ртутное заражение воздуха в объеме 10 млн. м³ до предельно допустимой нормы (0,01 мг/м³). Поэтому утилизация отработавших и отбракованных газоразрядных ламп путем вывоза их на свалку или захоронения на специальных полигонах неприемлема, так как не исключает возможности ртутного заражения почвы и подземных вод.

На сегодня наиболее прогрессивным способом утилизации газоразрядных ламп является их централизованный сбор с последующей демеркуризацией (извлечение ртути) на специальных установках. Следует отметить, что применяемые технологии термической демеркуризации в специальных установках требуют значительных энергозатрат и являются дорогостоящим мероприятием. Однако с позиций охраны окружающей среды такой способ утилизации необходим даже при экономической невыгодности. Поэтому вышедшие из строя и отбракованные газоразрядные лампы должны храниться в специальном помещении и периодически вывозиться для уничтожения и дезактивации в установленные для этого места и передаваться специализированным организациям для демеркуризации.

На производстве нередки случаи, когда газоразрядные лампы из-за небрежного хранения и обращения получают механические повреждения на рабочем месте, что может привести к его ртутному загрязнению. Механическое повреждение газоразрядной лампы, сопровождающееся вытеканием из горелки лампы ртути, требует немедленной демеркуризации места происшествия. Демеркуризация в пределах рабочей зоны включает в себя механическую очистку загрязненных мест от видимых скоплений (шариков) ртути, химическую обработку загрязненных поверхностей и влажную убор-

ку с целью удаления продуктов реакции ртути с химическими веществами. Механическую очистку производят стеклянными лопушками, оснащенными резиновыми грушами. Мелкие капельки ртути с гладких поверхностей удаляют влажной фильтровальной бумагой или салфетками. При попадании ртути в щели ее извлекают при помощи полосок или кисточек из белой жести, медной или латунной проволоки или других хорошо соединяющихся с ней металлов. Химическая обработка основана на окислении ртути. Одним из наиболее простых и надежных является метод, использующий взаимодействие ртути с 20 %-ным водным раствором хлорида железа. Поверхность, подлежащую обработке, обильно смачивают указанным раствором и несколько раз протирают щеткой, а затем оставляют до полного высыхания, после чего поверхность тщательно промывают мыльным раствором, а затем чистой водой.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С какой целью организуется эксплуатация осветительных установок и какие проблемы она решает?
2. Для решения каких вопросов создается энергетическая служба предприятия (хозяйства)? Ее состав, структура и основные задачи включенных в нее подразделений.
3. Как определяют численность персонала энергетической службы предприятия (хозяйства), задействованного в обслуживании осветительных установок?
4. Расскажите о порядке приемки в эксплуатацию осветительной установки.
5. Приведите сроки проведения осмотров состояния, планово-предупредительных ремонтов и периодического технического обслуживания осветительных установок. Какие работы производятся при их проведении?
6. Что Вам известно о способах и сроках чистки осветительных приборов и источников света?
7. Какие способы замены вышедших из строя источников света Вам известны и в чем их отличие? Их основные преимущества и недостатки. Как определяют сроки замены источников света?
8. Какие средства доступа к осветительным приборам и источникам света для их осмотров состояния, планово-предупредительных ремонтов и периодического технического обслуживания Вам известны? Поясните требования по охране труда электротехнического персонала, которые необходимо соблюдать при работе с приведенными Вами средствами доступа.
9. Приведите характерные неисправности светотехнического оборудования и способы их устранения.
10. Поясните основные меры электробезопасности, производственной санитарии и экологии, которые необходимо соблюдать при эксплуатации осветительных установок.

7. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Мероприятия по рациональному использованию электрической энергии в осветительных установках необходимо реализовывать на всех стадиях их существования — во время проектирования новой или реконструируемой и в период эксплуатации и технического обслуживания. При этом экономия ни в коем случае не должна достигаться путем уменьшения уровня освещенности рабочих поверхностей ниже нормируемого, невыполнения требований к регламентированным качественным показателям (ослепленности, дискомфорта или цилиндрической освещенности, коэффициента пульсации светового потока или освещенности) и сокращения времени работы установок искусственного освещения. Нельзя достигать мнимой «экономии» электроэнергии за счет отключения части осветительных приборов или отказа от использования искусственного освещения при недостаточной освещенности, в том числе от естественного света. Любые подобные мероприятия приводят к снижению производительности труда или выхода выпускаемой продукции, а технологические потери от ухудшения условий освещения значительно превосходят стоимость «экономленной» таким образом электрической энергии.

7.1. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РАЦИОНАЛЬНАЯ ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СВОТТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Экономия электрической энергии без ущерба для качества освещения рабочих поверхностей, как правило, решается за счет:

- реконструкции физически или морально устаревших осветительных установок;
- применения в осветительных установках энергоэкономичных источников света, электронных пускорегулирующих аппаратов

Рекомендуемые области применения системы комбинированного освещения с точки зрения возможной экономии электрической энергии

Разряд зрительной работы	Системы освещения		Экономия электроэнергии при использовании системы комбинированного освещения, %
	комбинированного	общего	
I, IIа, б	Рекомендуется	Не рекомендуется	—
IIв, г	Рекомендуется при $S > 3 \text{ м}^2$	Рекомендуется при $S \leq 3 \text{ м}^2$	до 60
III	Рекомендуется при $S > 5 \text{ м}^2$	Рекомендуется при $S \leq 5 \text{ м}^2$	до 25
IVа, б	Рекомендуется при $S > 10 \text{ м}^2$	Рекомендуется при $S \leq 10 \text{ м}^2$	15...20
IVв, г	Не рекомендуется	Рекомендуется	—

Экономия электрической энергии в осветительных установках достигается и при неравномерном (локализованном) размещении светильников, когда их количество и мощность установленных в них источников определяются только требованием к нормируемой освещенности рабочей поверхности конкретной зоны помещения и уменьшаются для тех зон, в которых она значительно ниже, чем для основной рабочей зоны, например, зоны коридоров, проходов и проездов. Применение локализованного размещения светильников системы общего освещения рекомендуется в помещениях с несимметричным расположением технологического оборудования и малой плотностью его размещения, а также при выполнении в помещении зрительных работ различной точности.

Приоритетным и наиболее эффективным способом уменьшения установленной мощности осветительной установки является использование источников с высокой световой отдачей. Поскольку газоразрядные источники оптического излучения видимой части света характеризуются высокой световой отдачей и сравнительно большим сроком службы, нормативные документы, в частности [35], рекомендуют их для первоочередного использования во всех осветительных установках. При выборе источников света необходимо помнить, что расход электрической энергии уменьшается при

и светильников с оптимальным светораспределением и кривой силы света, высоким значением коэффициента полезного действия;

— обеспечения гибкости управления осветительными установками или ее отдельными участками, учитывающей временной график работы технологического оборудования и уровень естественной освещенности и направленной на совместную эффективную эксплуатацию систем естественного и искусственного освещения;

— увеличения коэффициентов отражения поверхностей помещений для повышения коэффициента использования светового потока осветительной установки;

— организации качественного технического обслуживания, включающего регулярную чистку светильников, поверхностей помещения и своевременную замену ламп;

— принятия мер по снижению перенапряжений в электрической сети.

Основы рациональной экономии электрической энергии в осветительных установках закладываются в процессе проектирования — при выборе системы освещения, источников света и светильников, а также при оптимальном размещении светильников в освещаемом пространстве.

ТКП 45-2.04-153-2009 [35] допускают применение в установках искусственного освещения как систему комбинированного, так и систему общего освещения. Выбор наиболее целесообразной из них для каждого конкретного случая необходимо осуществлять на основании сопоставления технико-экономической эффективности сравниваемых вариантов.

Проведенный технико-экономический анализ [23, 28] дает основание к утверждению, что целесообразность использования той или иной системы освещения определяется значением площади помещения, приходящейся на одного в нем работающего (табл. 7.1). При этом экономия электрической энергии при применении системы комбинированного освещения может достигнуть от 15 до 60 % в сопоставлении с применением в аналогичной осветительной установке системы общего освещения.

Используя при проектировании осветительных установок традиционную схему равномерного расположения светильников по углам квадратных полей (вершинам прямоугольников или ромбов), следует расстояние между ними принимать с учетом светотехнического или энергетически наиболее выгодного относительного расстояния.

использовании вместо ламп накаливания¹ энергоэкономичных люминесцентных ламп серии Т8 (примерно на 40...60 %), люминесцентных ламп серии Т12 (40...54 %), ламп типа ДРЛ (41...47 %), ламп типа ДРИ (54...65 %), ламп типа ДНаТ (57...71 %). Замена люминесцентных ламп на лампы типа ДРИ позволяет экономить 20...23 % электрической энергии, ламп ДРЛ на лампы ДРИ — 30...40 % и ламп ДРЛ на лампы ДНаТ — 38...50 %.

При выборе энергоэкономичного источника следует стремиться к использованию источников возможно большей единичной мощности, характеризующейся высокой световой отдачей при обязательном одновременном соблюдении нормативных требований к качеству освещения (ослепленности, блескости, пульсации освещенности, равномерности освещения рабочей поверхности и т. п.).

При использовании люминесцентных ламп и отсутствии повышенных требований к цветопередаче или цветоразличию следует применять:

- лампы типа ЛБ, как имеющие наибольшую световую отдачу;
- рефлекторные лампы типа, например, ЛБР, в светильниках без отражателей, применяемых в помещениях с тяжелыми условиями окружающей среды и большим содержанием пыли (экономия электроэнергии может составить до 20 % по сравнению с лампами без рефлектора);
- амальгамные лампы, например, типа ЛБА, при повышенной температуре в зоне размещения ламп (экономия электроэнергии до 25 % по сравнению с не амальгамными лампами).

Существенная экономия электрической энергии в осветительных установках достигается при использовании для стабилизации электрического разряда газоразрядных ламп электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА), которые в сравнении с индукционным балластным сопротивлением позволяют экономить до 20 % электрической энергии (потери мощности в ЭПРА — не более 10 %, в то время как в индукционных, в зависимости от разновидности ПРА, они достигают 20...30 %).

Экономия электрической энергии не является единственным преимуществом ЭПРА, так как они обеспечивают: возможность плавного регулирования потока излучения газоразрядных ламп в диапазоне 10...100 %; высокий коэффициент потребляемой мощ-

ности ($\cos\varphi > 0,96$); увеличение срока службы ламп и уменьшение низкочастотной пульсации их светового потока; меньшие массогабаритные параметры. ЭПРА существенно снижают материалоемкость изделий (на 40...70 %), бесшумны в рабочем режиме, легко вписываются в схемы управления не только отдельным светильником, но и отдельными частями или всей осветительной установкой. Они особо эффективны при работе на повышенной частоте переменного тока – от 0,8 и до десятков кГц. В этом случае наблюдается повышение световой отдачи лампы (на 5...7 %), коэффициента пульсации светового потока (5...15 %) и срока службы лампы (на 10...50 %).

Важным резервом экономии электрической энергии в осветительных установках является обоснованный подбор для них эффективных осветительных приборов оптимальной конструкции (по эксплуатационной группе, характеру светораспределения, кривой силы света) и с высоким значением коэффициента полезного действия.

Правильный выбор требуемой конструктивно-эксплуатационной группы светильников, предназначенных для эксплуатации в помещениях с тяжелыми условиями окружающей среды, позволяет экономить от 6 до 20 % электрической энергии. Этих показателей экономии достигают, применяя в помещениях с тяжелыми условиями окружающей среды осветительные приборы, например, 5-ой (6-ой, 7-ой) эксплуатационных групп, и, следуя указаниям ТКП 45-2.04-153-2009 [35], уменьшая при расчетах регламентируемое значение коэффициента запаса на 0,2. Экономия электрической энергии на 10...15 % можно получить при использовании комплектных осветительных устройств со щелевыми световодами типа КОУ в помещениях с тяжелыми условиями окружающей среды (пожаро- и взрывоопасных, пыльных и т. п.).

Выбор оптимального светораспределения светильников для конкретных условий эксплуатации позволяет сэкономить от 14 до 40 % потребляемой электроэнергии. Так, для производственных помещений предпочтение следует отдавать светильникам прямого или преимущественно прямого светораспределения с типовыми кривыми света К, Г или Д, а для административных, общественных и жилых помещений — светильникам рассеянного, преимущественно отраженного или отраженного светораспределения с типовыми кривыми света М, Л или Ш.

Если необходимо создать требуемый уровень освещенности в горизонтальной плоскости, то наиболее целесообразно применять светильники прямого света класса П, а в помещениях со светлыми сте-

¹ С учетом снижения нормируемой освещенности для ламп накаливания на одну ступень в соответствии с требованиями [35].

нами и потолком — преимущественно прямого света класса Н. Чем выше помещение и больше нормируемая освещенность, тем более концентрированными кривыми силы света должны обладать светильники (кривые К или Г). По мере уменьшения высоты помещения наиболее выгодны светильники с типовой кривой силы света Г, Д и т. д. Для освещения в вертикальной или наклонной плоскости целесообразны светильники рассеянного света класса Р с полуширокой типа Л или равномерной типа М. При освещении произвольно ориентированных наклонных и вертикальных рабочих поверхностей следует помнить, что отношение освещенности вертикальной поверхности к освещенности горизонтальной минимально для светильников с типовой кривой силы света К и увеличивается для М и Л.

Светильники прямого света класса П и преимущественно прямого света класса Н характеризуются более высокими значениями КПД и требуют установки в них источников меньшей мощности для создания одинакового уровня освещенности рабочих поверхностей. При их использовании обеспечивается лучшая видимость рельефных деталей небольших размеров и легче отыскать мелкие дефекты (поры, трещины, изломы и др.), однако одновременно возможно затенение рабочих поверхностей, особенно от рядом стоящих громоздких предметов.

Если сопоставить значения коэффициентов использования светового потока для различных светильников одного класса светораспределения (например, прямого света класса П), то светильники с типовыми кривыми силы света по мере убывания коэффициента использования светового потока располагаются следующим образом: К — Г — Д — Л — М — Ш — С. Разница особенно заметна для помещений большой высоты, поэтому для высоких помещений с точки зрения минимальной установленной мощности источников выбираются светильники с типовыми кривыми силы света Г, Д и в отдельных случаях К. С другой стороны, применение светильников с типовыми кривыми силы света Г, Д, К приводит к уменьшению расстояния между ними и, как следствие, удорожанию осветительной установки.

Проведенный анализ показывает, что применение светильников концентрированного светораспределения (КСС типов К) вместо широкоизлучателей (КСС типов Г) дает возможность получить экономию электроэнергии около 15 %, а при замене светильников с КСС Д-3 на аналогичные с КСС Г-1, Г-2, Г-3, К-1, К-2 или К-3 экономия электроэнергии достигает 30...40 %.

Важным вопросом в деле экономии электрической энергии и снижения затрат в осветительных установках является совершенствование схем питания и распределения электрической энергии, применение рациональных систем автоматического управления, позволяющих осуществлять своевременное полное или частичное включение и отключение осветительных установок, максимально использовать естественное освещение. Сюда же можно отнести и рациональный выбор места размещения пунктов питания и прокладки трасс электрических сетей, а также выбор напряжения питания источников. Например, применение газоразрядных ламп высокого давления, рассчитанных на питание напряжением 400 В, целесообразно не только на предприятиях, где используется система напряжения 690/400 В, но и при напряжении 400/230 В. Включение светильников в этом случае на линейное напряжение 400 В позволит получить значительную экономию электрической энергии. Использование повышенного напряжения 690/400 В для питания осветительных установок в крупных производственных зданиях и сооружениях позволяет получить экономию электроэнергии от 3 до 13 %.

Значительная экономия электроэнергии, расходуемой на освещение, может быть получена за счет максимального использования естественного освещения в сочетании с автоматическим управлением искусственным освещением. В производственных и общественных помещениях должно обеспечиваться отключение рядов осветительных приборов, расположенных параллельно окнам, что может дать снижение расхода электрической энергии на 5...10 %, а в помещениях с совместным (естественным и искусственным) освещением рекомендуется производить включение и отключение отдельных групп осветительных приборов в зависимости от уровня освещенности, создаваемого естественным светом в различных зонах помещения. Эта мера дает экономию электрической энергии порядка 10...20 %. Для наружного освещения территорий предприятий и населенных пунктов целесообразно устройство централизованного дистанционного, телемеханического или автоматического управления, что дает экономию электрической энергии в размере 10...15 %.

Однако наибольшая экономия электрической энергии в осветительных установках достигается при полной автоматизации их управления с учетом использования естественного освещения, присутствия людей в помещении, времени и продолжительности производственного процесса. При этом автоматическое управление ос-

ветительной установкой может достигаться как путем дискретного управления (отключение всех или части светильников), так и плавным изменением мощности источников света (всех, каждого или группы светильников в индивидуальном порядке).

В схемах автоматического дискретного управления освещением (светильником, их группой или осветительной установкой в целом) используют различного рода таймеры (реле времени), фотореле (фотоавтоматы), работающие по сигналам датчиков естественной освещенности, фотоакустические автоматы и автоматические выключатели освещения, оснащенные датчиками присутствия людей (животных) или их движения. Для дискретного управления применяют: светочувствительные лестничные автоматические выключатели; светочувствительные автоматические выключатели наружного освещения; фотоакустические лестничные таймеры; автоматические выключатели освещения с датчиками движения и микрофонами.

Проблемы экономии электрической энергии должны решаться не только на стадии проектирования, изготовления или модернизации осветительных установок или систем их автоматического управления, но и при организации эксплуатации. Только из-за отсутствия и ненадлежащего систематического обслуживания, приводящего как минимум к двукратному снижению КПД осветительных приборов из-за загрязнения ламп, отражателей светильников, поверхностей стен и потолка в помещении и несвоевременной замены ламп в сельскохозяйственных осветительных установках нерационально расходуется до 40...50 % электрической энергии. Это обусловлено тем, что существующий уровень эксплуатации осветительных установок и спад световых потоков источников за время эксплуатации принимается во внимание завышением при проектировании их установленной мощности, как правило, в 1,5...2 раза. Эта мера позволяет выдержать во время эксплуатации уровень освещенности, близкий к нормируемому, но приводит к неоправданно большим потерям электрической энергии.

В мероприятия по экономии электрической энергии необходимо включать чистку остеклений окон и световых фонарей с периодичностью не реже двух раз в год (что позволит сократить время работы установки искусственного освещения в среднем на 3...6 %), а также заблаговременную окраску колонн, ферм, стен, потолка и производственного оборудования в светлые тона. Окраска поверхностей помещений производственных и общественных зданий в светлые тона и их своевременная очистка от пыли и грязи позволяет повысить ко-

эффициент использования светового потока осветительной установки и получить экономию 10...18 % электроэнергии.

В осветительных установках при отклонении напряжения от номинального значения возможен перерасход электрической энергии. Основными причинами значительных колебаний напряжения в осветительной сети являются пусковые токи электродвигателей большой мощности, установленных на агрегатах с тяжелыми маховыми массами, компрессорах, дробилках и т. д., изменение силовой нагрузки в течение суток, особенно ее уменьшение в ночное время, неравномерность загрузки фаз электрической сети. Поэтому одним из мероприятий рациональной экономии электрической энергии является поддержание во время эксплуатации уровней напряжения питания в электрических сетях, осветительных установках в допустимых пределах ($\pm 5\% U_{НОМ}$). Увеличение напряжения питания электрической сети сверх номинального значения приводит к возрастанию потребляемой мощности, светового потока и световой отдачи, как правило, всех источников, как газоразрядных, так и ламп накаливания (табл. 7.2). Однако при этом наблюдается сокращение срока их службы и необходимость более частой замены, что повышает эксплуатационные затраты из-за возрастания расходов по оплате электрической энергии, дополнительному приобретению ламп и трудозатрат при их замене. Уменьшение напряжения до значений ниже номинального приводит к увеличению срока службы источников света, в основном ламп накаливания, и уменьшению их потребляемой мощности, светового потока и световой отдачи, что влечет за собой недополучение продукции и снижение производительности труда работающих.

Таблица 7.2

Примерное увеличение потребляемой мощности и снижение срока службы источников света при повышении напряжения питания [16]

Повышение напряжения, %	Повышение потребляемой мощности, %			Средний срок службы лампы, %	
	лампы накаливания	люминесцентные лампы	лампы типа ДРЛ	лампы накаливания	газоразрядные лампы
1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	100,0	100,0
1	1,6	2,0	2,4	87,1	95,0

Окончание табл. 7.2

1	2	3	4	5	6
2	3,2	4,0	4,9	75,8	93,0
3	4,7	6,0	7,2	66,2	90,0
5	8,0	10,0	12,2	50,5	85,0
7	11,3	14,0	17,0	38,7	80,0
10	16,3	20,0	24,3	28,0	73,0

Для устранения влияния колебаний напряжения на результативность работы осветительной установки их подключают к отдельным трансформаторам, не нагруженным силовой электрической нагрузкой, применяют компенсирующие устройства, включаемые и отключаемые строго по суточному графику, автоматические регуляторы напряжения, специальные тиристорные ограничители напряжения.

7.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Одним из параметров, учитываемых при технико-экономическом обосновании применения того или иного варианта осветительной установки для конкретных условий потребителя, является расчетное значение годового числа часов ее работы и, как следствие, потребляемой ею электрической энергии. При этом, как правило, расчетное число часов работы как всей осветительной установки, так и ее отдельных составляющих приходится определять при отсутствии фактических данных о ее режимах работы, которые зависят от многих трудно учитываемых факторов, например, степень влияния естественного освещения помещения на требуемый уровень минимальной освещенности рабочей поверхности, увеличение времени работы осветительной установки в пасмурные дни и др.

Годовое число часов работы отдельных составляющих осветительной установки может быть вычислено по приведенным ниже формулам (7.1...7.5) [16, 36] или определено по табл. 7.3 и 7.4. [16, 31]:

— рабочего освещения T_p :

$$T_p = (365 - m) \cdot \frac{T_1 + T_2}{2} + T_n; \quad (7.1)$$

416

— аварийного (дежурного) освещения T_d :

$$T_d = 365 \cdot \frac{T_1' + T_2'}{2}; \quad (7.2)$$

— наружного освещения T_H :

$$T_H = 365 \cdot \frac{T_1'' + T_2''}{2} + T_n, \quad (7.3)$$

где m — число рабочих дней в году; T_1, T_1', T_1'' — продолжительности включения осветительной установки соответственно рабочего, аварийного (дежурного) и наружного освещения в наиболее продолжительную зимнюю ночь (21 декабря), ч; T_2, T_2', T_2'' — продолжительности включения осветительной установки соответственно рабочего, аварийного (дежурного) и наружного освещения в наиболее короткую летнюю ночь (21 июня), ч; T_n — дополнительное число часов включения осветительной установки в пасмурные дни, ч.

Дополнительное число часов включения осветительной установки в пасмурные дни T_n в расчетах принимают равным 2...5 % от общего числа часов включения соответствующей составляющей осветительной установки. Следовательно, формулы (7.1) и (7.3) могут быть представлены в виде (7.4) и (7.5) соответственно:

$$T_p = (1,02 \dots 1,05) \cdot (365 - m) \cdot \frac{T_1 + T_2}{2}, \quad (7.4)$$

$$T_H = (1,02 \dots 1,05) \cdot 365 \cdot \frac{T_1'' + T_2''}{2}. \quad (7.5)$$

Годовое число использования максимума осветительной нагрузки в табл. 7.3 и 7.4 приведено для установок внутреннего и наружного освещения, эксплуатируемых на географической широте 56°, и вполне приемлемо для расчета электрической энергии, потребляемой установками, расположенными на территории Республики Беларусь (месторасположения населенных пунктов республики — широта 52...56°).

417

Таблица 7.3

Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки для внутреннего освещения

Количество рабочих дней в неделю	Рабочее освещение и освещение безопасности				Эвакуационное освещение
	при числе смен			при непрерывной работе	
	1	2	3		
При наличии естественного освещения					
5	750	2250	4150	—	4800
6	600	2100	4000	—	4800
7	—	—	—	4800	4800
При отсутствии естественного освещения					
5	2150	4300	6500	—	8760
6	2150	4300	6500	—	8760
7	—	—	—	7700	8760

Таблица 7.4

Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки для наружного освещения

Вид освещения	Режим включения					
	ежедневно			в рабочие дни		
	на всю ночь	до 1 часа ночи	до 24 часов	на всю ночь	до 1 часа ночи	до 24 часов
Рабочее освещение производственных территорий	3600	2450	2100	3000	2060	1750
Охранное освещение	3500	—	—	—	—	—

Годовое потребление электрической энергии установками искусственного освещения определяют по формуле:

$$W_{\text{год}} = P_p \cdot T_{MO}, \quad (7.6)$$

где P_p — установленная (расчетная) мощность осветительной установки, кВт (5.5); T_{MO} — годовое число использования максимума электрической нагрузки (7.1...7.5, табл. 7.3 и 7.4).

7.3. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Проектирование новой или модернизируемой осветительной установки является многовариантной задачей, включающей поиск не только лучших светотехнических и архитектурных решений, но и наиболее выгодных с экономической и энергетической точек зрения вариантов.

Экономическую целесообразность принимаемого решения при полном соответствии сравниваемых по техническим показателям вариантов оценивают путем сопоставления таких абсолютных и относительных показателей как: интегральный эффект за расчетный период, коэффициент роста капитала и срок возврата капиталовложений. Равноценными по светотехническому эффекту считаются такие варианты, для которых расчетные значения освещенности рабочих поверхностей отличаются не более чем на +20...-10 %, а параметры качества освещения — показатели ослепленности или дискомфорта, коэффициент пульсации и цилиндрическая освещенность — не превышают нормируемых значений.

Интегральный эффект за расчетный период \mathcal{E} представляет собой разность дисконтированной (приведенной к дню начала реализации проекта) стоимости будущих доходов и капиталовложений:

$$\mathcal{E} = D_H - K_H, \quad (7.7)$$

где D_H — сегодняшняя стоимость будущих доходов, руб.; K_H — суммарные капиталовложения за расчетный период, приведенные к началу периода, руб.

Если расчетный период не превышает срока службы капиталовложений, то $K_H = K$, где K — первоначальные капиталовложения.

Капитальные затраты K на изготовление осветительной установки определяются стоимостью светильников, одного комплекта источников, материалов и оборудования электрической части и затратами на проектные, строительные-монтажные и пуско-наладочные работы [22]. Их принимают по смете к проекту или рассчитывают по формуле:

$$K = C_{OB} + C_{ПР} + C_{СМР} + C_{ПНР}$$

или

$$K = C_{OB} + 0,1 \cdot C_{СМР} + (0,25...0,3) \cdot C_{OB} + (0,03...0,05) \cdot C_{OB}, \quad (7.8)$$

где $C_{\text{об}}$ — стоимость оборудования (светильников, комплекта ламп, материалов и оборудования на изготовление электрической сети), руб.; $C_{\text{пр}}$ — стоимость проектных работ (принимается приблизительно равной 10 % стоимости строительных-монтажных работ), руб.; $C_{\text{смп}}$ — стоимость строительно-монтажных работ (принимается приблизительно равной 25...30 % стоимости оборудования), руб.; $C_{\text{пнр}}$ — стоимость пуско-наладочных работ (принимается приблизительно равной 3...5 % стоимости оборудования), руб.

В условиях инфляции:

$$K = \alpha_i \cdot K_i, \quad (7.9)$$

где α_i — инфляционный коэффициент, учитывающий рост цен в условиях инфляции; K_i — балансовая стоимость технических средств в ценах i -го года, руб.

Сегодняшняя стоимость будущих доходов $D_{\text{н}}$:

$$D_{\text{н}} = D_{\text{е}} \cdot \alpha_m, \quad (7.10)$$

где $D_{\text{е}}$ — постоянный инвестиционный доход, руб.; α_m — коэффициент приведения инвестиционного дохода к началу периода, определяемый как

$$\alpha_m = \frac{(1+E)^T - 1}{E \cdot (1-E)^T}, \quad (7.11)$$

где E — процентная ставка базового уровня, определяющая нормативный годовой доход от вложения средств, которая может быть принята по величине ставки по долгосрочным банковским депозитам; T — расчетный период, лет.

Постоянный инвестиционный доход $D_{\text{е}}$:

$$D_{\text{е}} = \Pi + C_{\text{а}} - \text{Н}, \quad (7.12)$$

где Π — прибыль от реализации продукции, руб.; $C_{\text{а}}$ — амортизация основных средств (7.17), руб.; Н — сумма налогообложения, руб.

Прибыль от реализации продукции при равноценных в светотехническом отношении вариантах осветительной установки может быть определена как прибыль за счет разницы производственных издержек $\Delta\Pi$:

$$\Delta\Pi = C_{1\text{н}} - C_{2\text{н}}, \quad (7.13)$$

где $C_{1\text{н}}$, $C_{2\text{н}}$ — дисконтированные эксплуатационные издержки сравниваемых вариантов осветительной установки, также определяемые с учетом инфляционных коэффициентов:

$$C_{i\text{н}} = C_{i\text{е}} \cdot \alpha_m, \quad (7.14)$$

где $C_{i\text{е}}$ — эксплуатационные издержки сравниваемых вариантов осветительной установки в первый год инвестиционного периода, руб.

Годовые эксплуатационные издержки $C_{i\text{е}}$ определяются стоимостью электроэнергии, затрачиваемой осветительной установкой, заменяемых источников, затрат на обслуживание и эксплуатацию светотехнических приборов и электрической сети, амортизационных отчислений. Их можно определить по формуле:

$$C_{i\text{н}} = C_{i\text{а}} + C_{i\text{о}} + C_{i\text{э}}, \quad (7.15)$$

где $C_{i\text{а}}$ — годовые затраты на амортизацию и текущий ремонт осветительной установки, руб.; $C_{i\text{о}}$ — годовые затраты на обслуживание осветительной установки, руб.; $C_{i\text{э}}$ — стоимость израсходованной за год электрической энергии с учетом потерь в ПРА и электрической сети, руб.

Отдельные составляющие эксплуатационных затрат рассчитывают по формулам:

$$C_{i\text{а}} = \sum_{j=1}^l C_{j\text{а}}, \quad C_{i\text{о}} = \sum_{j=1}^l C_{j\text{о}}, \quad C_{i\text{э}} = \sum_{j=1}^l C_{j\text{э}}; \quad (7.16)$$

$$C_{j\text{а}} = 0,13K_j; \quad (7.17)$$

$$C_{j\text{о}} = N \left[n_{\text{ч}} \cdot C_{\text{ч}} + n_{\text{л}} \cdot \frac{T_{\text{г}}}{T_{\text{н}}} \cdot (C_{\text{з}} + C_{\text{л}}) \right]; \quad (7.18)$$

$$C_{j\text{э}} = 10^{-3} \cdot \alpha \cdot P_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}} \cdot N \cdot k_{\text{с}}(1+\beta) \cdot T_{\text{г}} \cdot \text{Ц}_{\text{э}}, \quad (7.19)$$

где $C_{j\text{а}}$, $C_{j\text{о}}$, $C_{j\text{э}}$ — соответственно годовые эксплуатационные издержки на амортизацию и текущий ремонт, обслуживание и потребляемую электрическую энергию каждой составляющей осветительной установки, определяемой осветительными приборами одного типа, руб.; l — количество составляющих осветительной установки, шт.; 0,13 — коэффициент, учитывающий отчисления на амортизацию и текущий ремонт установки; K_j — капитальные затраты на изготовление j -й составляющей осветительной установки; N — общее

число световых приборов одного типа в осветительной установке, шт.; $n_{\text{ч}}$ — число чисток световых приборов в год, шт.; $C_{\text{ч}}$ — затраты на одну чистку светового прибора, руб.; $n_{\text{л}}$ — число ламп в световом приборе, шт.; $T_{\text{Г}}$ — продолжительность работы осветительной установки в год, ч; $T_{\text{Н}}$ — номинальный срок службы лампы, ч; $C_{\text{з}}$ — стоимость замены одной лампы (ориентировочно может быть определена как $C_{\text{ч}} \cdot 0,7$, руб.); $C_{\text{л}}$ — стоимость одной лампы, руб.; α — коэффициент, учитывающий потери в ПРА газоразрядных ламп (§ 5.3.4); $P_{\text{л}}$ — мощность одной лампы, Вт; $k_{\text{с}}$ — коэффициент спроса осветительной нагрузки; β — коэффициент, учитывающий потери электрической энергии в сетях (принимают равным 0,03 в электрических сетях с лампами накаливания, 0,037 — с люминесцентными лампами, 0,12 — с лампами ДРЛ, ДРИ и ДНаТ без компенсации реактивной мощности и 0,078 — с лампами ДРЛ, ДРИ и ДНаТ с компенсацией реактивной мощности на групповых линиях; $C_{\text{э}}$ — стоимость электрической энергии, руб. \cdot (кВт \cdot ч)⁻¹.

Коэффициент роста капитала $k_{\text{РК}}$ показывает относительное увеличение капитала за расчетный период в сравнении с увеличением на уровне процентной ставки:

$$k_{\text{РК}} = \frac{D_{\text{Н}}}{K_{\text{Н}}}. \quad (7.20)$$

При $k_{\text{РК}} \geq 1$ делается вывод о целесообразности капитальных вложений.

Срок возврата капитала $T_{\text{В}}$ определяет время, за которое возвращается вложенный капитал и обеспечивается нормативный доход на уровне базовой процентной ставки:

$$T_{\text{В}} = \frac{\lg(1 + E/P_{\text{В}})}{\lg(1 + E)}, \quad (7.21)$$

где $P_{\text{В}}$ — коэффициент возврата капиталовложений:

$$P_{\text{В}} = \frac{D_{\text{Е}}}{K_{\text{Н}}} - E. \quad (7.22)$$

При сравнении между собой равноценных по светотехническому эффекту вариантов предпочтение по результатам технико-экономического анализа отдается тому, в котором больше интегральный эффект Σ за расчетный период и коэффициент роста ка-

питала $k_{\text{РК}}$ и меньше срок возврата капитала $T_{\text{В}}$. При проведении полного технико-экономического анализа не следует делать преждевременные выводы о более или менее экономичных вариантах осветительных установок вообще, а следует говорить только о предпочтительных для данных конкретных условий.

Если при использовании того или иного варианта осветительной установки получают технологический эффект (дополнительный прирост производительности труда, объема или качества выпускаемой продукции и т. д.), то он учитывается при определении прибыли от реализации продукции (7.12, 7.13). К сожалению, в настоящее время достоверные данные по получаемому технологическому эффекту от внедрения осветительных установок отсутствуют. Однако ряд экспериментальных исследований подтверждает наличие подобных зависимостей, например, в результате производственных экспериментов доказано, что при повышении освещенности в коровниках с 10 до 75 лк молочная продуктивность животных возрастает на 7 %, с 75 до 150 лк — дополнительно на 1 % и с 150 до 300 лк дополнительно на 0,8 % [13]. Доказано также, что при оптимальных уровнях освещенности повышается на 5...7 % производительность труда работников животноводческих ферм [13].

Наблюдаемый в последнее время интенсивный рост цен на энергоносители заставляет при технико-экономическом обосновании обращать повышенное внимание на проблему экономии электрической энергии в осветительных установках. Так как осветительные установки являются довольно крупным потребителем электрической энергии, при их эксплуатации стоимость электроэнергии обычно преобладает в общей сумме затрат, включая расходы и на их устройство. Поэтому при анализе возможных решений на начальном этапе создания осветительной установки или ее модернизации можно ограничиться только сопоставлением установленной мощности (относительной разницы установленных мощностей) и ожидаемых затрат на приобретение светильников, ламп или ПРА. Поскольку установленная мощность осветительной установки, как правило, пропорциональна произведению коэффициента использования светового потока ($\eta_{\text{ОУ}}$), КПД светильника ($\eta_{\text{СВ}}$), нормируемой освещенности рабочей поверхности для принятого типа источника (E), принимаемого при расчете коэффициента запаса ($K_{\text{з}}$), световой отдачи источника света ($\eta_{\text{ИС}}$) и коэффициента, учитывающего процентное отношение потерь электрической энергии в применяемых для принятого источника ПРА, ($K_{\text{ПРА}}$), то относительная разность

приведенных установленных мощностей (ΔP , отн. ед.) для рассматриваемых вариантов осветительных установок приближенно может быть определена как:

$$\Delta P = 1 - \frac{\eta_{\text{ОУ}_2} \cdot \eta_{\text{СВ}_2} \cdot E_2 \cdot K_{3_2} \cdot \eta_{\text{ИС}_1} \cdot K_{\text{ПРА}_1}}{\eta_{\text{ОУ}_1} \cdot \eta_{\text{СВ}_1} \cdot E_1 \cdot K_{3_1} \cdot \eta_{\text{ИС}_2} \cdot K_{\text{ПРА}_2}} \quad (7.23)$$

Положительное значение ΔP соответствует экономии электрической энергии в варианте 1 по отношению к принятому при сравнении за базовый (варианту 2), а отрицательное — ее перерасходу.

Относительная разность приведенных установленных мощностей ΔP позволяет определить годовой потенциал экономии или перерасхода электрической энергии ΔW (кВт · ч) при применении того или иного варианта изготовления осветительной установки:

$$\Delta W = \Delta P \cdot W_{\text{год}_2}, \quad (7.24)$$

где $W_{\text{год}_2}$ — годовое потребление электрической энергии базового варианта осветительной установки (7.6), кВт · ч.

Выражение (7.23) может быть использовано и при других случаях сравнительных расчетов, например, обосновании замены светильников на светильники с большим КПД ($\eta_{\text{СВ}}$) или меньшими потерями электрической энергии в ПРА ($K_{\text{ПРА}}$), повышения КПД существующих светильников вследствие их чистки или эффективности использования электроэнергии при автоматизации управления искусственным освещением, мероприятий по устранению отклонений напряжения в электрической сети от номинального значения и др. Например, относительная разность приведенных установленных мощностей ΔP определится как:

— при замене светильников на светильники с большим КПД ($\eta_{\text{СВ}}$):

$$\Delta P = 1 - \frac{\eta_{\text{СВ}_2}}{\eta_{\text{СВ}_1}}; \quad (7.25)$$

— при замене светильников на светильники с меньшими потерями электрической энергии в ПРА ($K_{\text{ПРА}}$) или установке энергоэффективной пускорегулирующей аппаратуры в существующие светильники, например, ЭПРА:

$$\Delta P = 1 - \frac{K_{\text{ПРА}_1}}{K_{\text{ПРА}_2}}; \quad (7.26)$$

— при замене источников света, например, установке в осветительные приборы ламп с большей световой отдачей ($\eta_{\text{ИС}}$):

$$\Delta P = 1 - \frac{\eta_{\text{ИС}_1}}{\eta_{\text{ИС}_2}}; \quad (7.27)$$

— при изменении освещенности рабочей поверхности, например, вследствие проведения мероприятий по уменьшению отклонений напряжения в электрической сети от номинального значения:

$$\Delta P = 1 - \frac{E_2}{E_1}, \quad (7.28)$$

где E_2 и E_1 — нормированные значения освещенности для применяемых в осветительной установке источников света, лк. При этом E_1 — значение освещенности при отклонении напряжения в электрической сети (лк), определяемое расчетным путем по результатам измерения средних фактических значений напряжения и освещенности [20]: $E_1 = \frac{E_{\text{ИЗ}} \cdot U_{\text{Н}}}{U_{\text{Н}} - k \cdot (U_{\text{Н}} - U_{\text{ИЗ}})}$, где $E_{\text{ИЗ}}$ — среднее значение

фактической освещенности, лк; k — коэффициент, учитывающий изменения светового потока лампы при отклонении напряжения питающей сети (принимают равным 4 для ламп накаливания и 2 для газоразрядных ламп); $U_{\text{Н}}$ — номинальное напряжение сети, В; $U_{\text{ИЗ}}$ — среднее фактическое значение напряжения, В.

Относительную разность приведенных установленных мощностей при повышении КПД светильников вследствие их регулярной чистки как [30]:

$$\Delta P = 1 - (g_{\text{С}} + b_{\text{С}} \cdot e^{-(t/t_{\text{С}})}), \quad (7.29)$$

где $g_{\text{С}}$, $b_{\text{С}}$, $t_{\text{С}}$ — постоянные для заданных условий эксплуатации светильников [30]; t — продолжительность эксплуатации светильников между двумя ближайшими чистками.

Расчет экономии электрической энергии при автоматическом управлении осветительными установками требует учета многих фак-

торов. Известная методика расчета, изложенная в книге [18], довольно сложна для использования, но может быть рекомендована для применения при необходимости точной оценки. Тем не менее ориентировочный расчет от внедрения систем автоматизации осветительных установок можно произвести по следующей формуле [20]:

$$\Delta W = k_{ЭА} - 1, \quad (7.30)$$

где $k_{ЭА}$ — коэффициент эффективности, зависящий от уровня сложности системы управления и приближенно определяемый по табл. 7.5.

Таблица 7.5

Примерные значения коэффициента эффективности автоматизации управления освещением для предприятий и организаций с односменным режимом работы

№ п/п	Уровень сложности системы автоматического управления освещением	$k_{ЭА}$
1	Контроль уровня освещенности и автоматическое включение и отключение системы освещения при критическом значении E	1,1...1,15
2	Зонное управление освещением (включение и отключение освещения дискретно, в зависимости от зонного распределения естественной освещенности)	1,2...1,25
3	Плавное управление мощностью и световым потоком светильников в зависимости от распределения естественной освещенности	1,3...1,4

При расчете энергоэффективности осветительных установок следует обратить особое внимание на то, что нормируемая освещенность E_{\min} при замене типа источника света может быть иной, например, при замене ламп накаливания на газоразрядные лампы [35]. Поэтому при определении относительной разности приведенных установленных мощностей ΔP (7.23) или годового потенциала экономии электрической энергии ΔW (7.24) подстановка значений нормируемой освещенности рабочей поверхности для принятого типа источника при замене ламп накаливания на газоразрядные лампы является не совсем корректной, так как в осветительных установках, особенно при лампах накаливания, не всегда соблюдается прямолинейная зависимость установленной мощности от нормируемой освещенности. Однако для приближенного ($\pm 20\%$) опреде-

ления экономии электрической энергии в сравниваемых сопоставимых в светотехническом отношении вариантах этот способ вполне приемлем, особенно при одновременном учете измененных значений других параметров, например, таких как: коэффициент запаса K_3 , световая отдача источника света $\eta_{ИС}$ и коэффициент, учитывающий потери электрической энергии в применяемых для принятого источника ПРА, $K_{ПРА}$.

Значение годового потенциала экономии электрической энергии ΔW (кВт · ч) позволяет ориентировочно оценить ожидаемый эффект от внедрения предлагаемого варианта осветительной установки в сопоставлении с базовым (существующим). Для чего определим:

1) стоимость электрической энергии, которую предполагается сэкономить при внедрении предлагаемого варианта осветительной установки, $C_{ЭЭ}$, руб.:

$$C_{ЭЭ} = \Delta W \cdot C_{кВт}, \quad (7.31)$$

где $C_{кВт}$ — стоимость электрической энергии, руб. · (кВт · ч)⁻¹;

2) капитальные затраты K на изготовление осветительной установки. При незначительной модернизации осветительной установки в расчет могут быть приняты только ее заменяемые элементы, например, светильники, лампы, ПРА или иные. В этом случае при определении дополнительных капитальных затрат в расчетах можно ограничиться лишь стоимостью оборудования $C_{ОБ}$ (7.8);

3) срок окупаемости $T_{ОК}$ (лет) предлагаемых мероприятий по модернизации осветительной установки [22]:

$$T_{ОК} = K/C_{ЭЭ}. \quad (7.32)$$

Чем меньше срок окупаемости, тем более эффективными считаются предложенные мероприятия. Однако если срок окупаемости превышает 6...8 лет, стоит серьезно задуматься о целесообразности капиталовложений в предлагаемый проект.

В качестве примера приведем расчет экономического обоснования замены в осветительной установке бытового помещения (жилая комната, нормируемая освещенность 100 лк при газоразрядных лампах) лампы накаливания БК215-225-75 (мощность — 75 Вт, световой поток — 1030 лм, срок службы — 1000 ч, цена в розничной торговле по состоянию на 01.01.2011 — 1000 руб.) на аналогичную ей по световому потоку энергоэкономичную одноцокольную компактную люминесцентную лампу Т3SPC20 фирмы «Космос» (Россия) со следующими параметрами: номинальная

мощность — 20 Вт, потребляемый ток при напряжении питания 230 В — 0,15 мА, световой поток — 1100 лм, срок службы — 8000 ч, цена в розничной торговле — 17 000 руб. Примем среднегодовое время работы осветительной установки — 1000 часов при условии работы 2,5...3 часа в день. Отпускная для потребителя стоимость электрической энергии — $200 \text{ руб.} \cdot (\text{кВт} \cdot \text{ч})^{-1}$.

Приведенные данные позволяют установить требуемые в формуле (7.23) параметры:

— для базового варианта осветительной установки $E_2 = 75 \text{ лк}$; $\eta_{\text{ИС}(2)} = 13,7 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$; $K_{3(2)} = 1,2$; $K_{\text{ПРА}(2)} = 1,0$;

— для предлагаемого варианта модернизации осветительной установки $E_1 = 100 \text{ лк}$; $\eta_{\text{ИС}(1)} = 52,5 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$; $K_{3(1)} = 1,4$; $K_{\text{ПРА}(1)} = 1,1$.

Тогда:

1) относительная разность приведенных установленных мощностей:

$$\Delta P = \left(1 - \frac{100 \cdot 1,4 \cdot 13,7 \cdot 1,1}{75 \cdot 1,2 \cdot 52,5 \cdot 1,0} \right) = 0,55;$$

2) годовое потребление электрической энергии базового варианта осветительной установки:

$$W_{\text{год}_1} = P_p \cdot T_{\text{МО}} \cdot K_{\text{ПРА}} = 0,1 \cdot 1000 \cdot 1,0 = 100 (\text{кВт} \cdot \text{ч});$$

где P_p — установленная мощность осветительной установки, кВт; $T_{\text{МО}}$ — годовое число использования максимума электрической нагрузки, ч.

3) годовой потенциал экономии электрической энергии ΔW (7.24):

$$\Delta W = 0,55 \cdot 100 = 55 (\text{кВт});$$

4) стоимость сэкономленной электрической энергии $C_{\text{ЭЭ}}$ (7.33):

$$C_{\text{ЭЭ}} = 55 \cdot 200 = 11\,000 (\text{руб.});$$

5) дополнительные капитальные затраты K на модернизацию осветительной установки в рассматриваемом варианте ограничим лишь стоимостью источников с учетом их номинальных сроков службы. Так как за время работы люминесцентной лампы T3SPC20 (8000 ч) пользователю придется сменить 8 ламп накаливания BK215-225-75 (1000 ч), то:

$$K = C_{\text{Об}} = (17\,000 - 8 \cdot 1000) = 9000 (\text{руб.});$$

б) срок окупаемости $T_{\text{ОК}}$ (лет) предполагаемых вложений для реализации мероприятий по модернизации осветительной установки составит:

$$T_{\text{ОК}} = 9000 / 11\,000 \approx 0,82 (\text{года}).$$

Как видим, проведенный анализ целесообразности замены в осветительной установке бытового помещения лампы накаливания на энергоэкономичную одноцокольную компактную люминесцентную лампу указывает на то, что подобное мероприятие позволяет сэкономить до 50...60 % потребляемой электрической энергии при достаточно небольшом сроке окупаемости (менее года).

Приведенная методика ориентировочной оценки эффективности капиталовложений в мероприятия по модернизации осветительных установок показывает удовлетворительные результаты. Ошибки в расчетах по приведенной методике в сравнении с полным расчетом интегрального эффекта по разности дисконтированной стоимости будущих доходов и капиталовложений за расчетный период не превышают $\pm 15...20 \%$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. За счет проведения каких мероприятий повышается эффективность использования и достигается рациональная экономия электрической энергии в установках искусственного освещения?
2. Какие основные мероприятия при проектировании способствуют рациональному использованию и экономии электрической энергии в установках искусственного освещения?
3. Какие основные мероприятия, проводимые во время эксплуатации, приводят к экономии электрической энергии в установках искусственного освещения?
4. Как определить расход электрической энергии, потребляемой в осветительной установке? Приведите основные расчетные формулы.
5. По каким параметрам определяют интегральный эффект от реализации мероприятий по обустройству осветительных установок? Приведите основные формулы для расчета интегрального эффекта, коэффициента роста капитала, инвестиционного дохода и срока возврата капиталовложений.
6. Какие параметры определяют капитальные затраты на изготовление осветительной установки? Приведите основные формулы для расчета их составляющих.
7. По каким параметрам определяют затраты на эксплуатацию осветительных установок? Приведите основные формулы для расчета их составляющих.
8. Каким образом можно провести приближенный анализ технико-экономической эффективности капиталовложений в модернизацию осветительной установки? Приведите известные Вам формулы для расчета его составляющих.
9. Какие основные параметры следует принять в расчет при экономическом обосновании замены в осветительной установке ламп накаливания энергоэкономичными люминесцентными лампами? Какова эффективность подобной замены?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Цель занятия. Ознакомиться с методикой экономического обоснования модернизации осветительных установок, получить практические навыки расчета эффективности капитальных вложений в разрабатываемые мероприятия.

Задачи занятия:

1. Получить практические навыки определения годового числа часов работы и потребления электрической энергии установками искусственного освещения, технико-экономического обоснования их модернизации.
2. Для заданного преподавателем варианта осветительной установки здания:
 - определить годовое число часов работы осветительной установки;
 - определить годовое потребление электрической энергии установкой искусственного освещения;
 - рассчитать дисконтированные стоимости будущих доходов и капиталовложений и интегральный эффект от внедрения осветительной установки;
 - провести ориентировочный расчет эффективности проведения мероприятий по модернизации существующей осветительной установки и проанализировать сроки окупаемости дополнительных капитальных вложений.

Задание на самостоятельную подготовку к практическому занятию:

- По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, изучить:
- последовательность рассмотрения вопросов при технико-экономическом обосновании окупаемости капитальных вложений в создание установок искусственного освещения и проведение мероприятий по их модернизации с целью экономии электрической энергии;

— методику определения годового числа часов работы и потребления электрической энергии установками искусственного освещения;

— методику полного технико-экономического обоснования окупаемости капитальных вложений в создание установок искусственного освещения и определения значений необходимых параметров;

— методику приближенного анализа эффективности капитальных вложений в мероприятия по модернизации осветительных установок с целью экономии электрической энергии.

Методические указания и последовательность выполнения работы:

1. Получить у преподавателя задание для расчета технико-экономического обоснования создания установки искусственного освещения в виде схемы электрической сети осветительной установки или воспользоваться результатами расчетов при выполнении заданий к практическим занятиям №№ 6...7.

2. При выполнении задания к практическому занятию следует придерживаться такой последовательности рассмотрения основных взаимосвязанных вопросов (глава 7.3):

— определить установленную (расчетную) мощность осветительной установки, годовое число использования максимума электрической нагрузки и потребление электрической энергии осветительной установкой по формуле (7.6);

— рассчитать капитальные затраты на изготовление осветительной установки, годовые эксплуатационные издержки, постоянный инвестиционный доход, дисконтированную стоимость будущих доходов, интегральный эффект за расчетный период, коэффициент роста капитала и срок возврата капитала, используя формулы (7.7...7.22);

— предложить мероприятия по модернизации осветительной установки с целью экономии электрической энергии (глава 7.1) и провести ориентировочный анализ эффективности капитальных вложений в их реализацию с помощью формул (7.23...7.32);

— провести анализ эффективности капитальных вложений в создание осветительной установки и проведение мероприятий по ее модернизации и сделать выводы о целесообразности капитальных вложений.

Вопросы для подготовки к защите выполненного задания:

1. Перечислить последовательность рассмотрения вопросов при расчете технико-экономической эффективности капитальных вложений в создание осветительной установки и проведения мероприятий по ее модернизации.

2. Как определить установленную (расчетную) мощность осветительной установки? Приведите основные расчетные формулы.

3. Как определить годовое число использования максимума электрической нагрузки и потребление электрической энергии осветительной установкой? Приведите основные расчетные формулы.

4. По каким параметрам определяют интегральный эффект от реализации мероприятий по обустройству осветительных установок? Приведите основные формулы для расчета интегрального эффекта, коэффициента роста капитала, инвестиционного дохода и срока возврата капиталовложений.

5. Какие параметры определяют капитальные затраты на изготовление и затраты на эксплуатацию осветительной установки? Приведите основные формулы для расчета их составляющих.

6. Каким образом можно провести приближенный анализ технико-экономической эффективности капиталовложений в модернизацию осветительной установки? Приведите известные Вам формулы для расчета его составляющих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов, Л. А. Светотехника и электротехнология : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. 110302 «Электрификация и автоматизация сел. хоз-ва» / Л. А. Баранов, В. А. Захаров. — Москва : Колос, 2008. — 344 с.
2. ГОСТ 13109–97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. ГОСТ 21.101–93 СПДС. Основные требования к рабочей документации.
4. ГОСТ 21.608–84. Внутреннее электрическое освещение.
5. ГОСТ 21.614–88. СПДС Изображения условные графические электрооборудования и проводок на планах.
6. ГОСТ 2.702–75 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
7. ГОСТ 2.710–81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
8. ГОСТ 29322–92 (МЭК 38–83). Стандартные напряжения.
9. ГОСТ 30331.1–95 (МЭК 364-1–72, МЭК 364-2–70). Электроустановки зданий. Основные положения.
10. ГОСТ 30331.3–95 (МЭК 364-4-41–92). Электроустановки зданий. — Ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражений электрическим током.
11. Жилинский, Ю. М. Электрическое освещение и облучение : учебное пособие / Ю. М. Жилинский, В. Д. Кумин. — Москва : Колос, 1982. — 272 с.
12. Инструкция по рациональному использованию электроэнергии и снижению затрат в промышленных осветительных установках (внутреннее освещение). — Светотехника, 1981. — № 5.
13. Канакин, Н. С. Техно-экономические вопросы электрификации сельского хозяйства / Н. С. Канакин, Ю. М. Коган. — Москва : Энергоатомиздат, 1986. — 192 с.
14. Кнорринг, Г. М. Справочная книга по проектированию электрического освещения / Г. М. Кнорринг, Ю. Б. Оболенцев, В. М. Крюч-

ков ; под ред. Г. М. Кнорринга. — Ленинград : Энергия, 1976. — 384 с. : ил.

15. Козинский, В. А. Электрическое освещение и облучение : учебное пособие / В. А. Козинский. — Москва : Агропромиздат, 1991. — 239 с. : ил.

16. Козловская, В. Б. Электрическое освещение : справочник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. — 2-е изд. — Минск : Техноперспектива, 2008. — 271 с. : ил.

17. Кроль, Ц. Е. Качество промышленного освещения / Ц. Е. Кроль, Е. И. Мясоедова, С. Г. Терешкович. — Москва : Энергоатомиздат, 1991. — 224 с. : ил.

18. Кунгс, Я. А. Автоматизация управления электрическим освещением / Я. А. Кунгс. — Москва : Энергоатомиздат, 1989. — 112 с.

19. Лесман, Е. А. Освещение административных зданий и помещений / Е. А. Лесман. — Ленинград : Энергоатомиздат, 1985. — 88 с. : ил.

20. Лоскутов, А. Б. Методика расчета экономии электроэнергии в действующих осветительных установках помещений при проведении энергетического аудита / А. Б. Лоскутов, А. С. Шевченко. — <http://www.marketelectro.ru>.

21. Лунина, Л. Г. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок / Л. Г. Лунина, Я. В. Шафинович. — Москва : Энергоатомиздат, 1986. — 144 с.

22. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. — Минск : Белэнергосбережение, 2003. — 60 с.

23. Николаенок, М. М. Электрическое освещение : конспект лекций для студ. спец. 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства» / М. М. Николаенок, Р. И. Кустова. — Минск : БГАТУ, 2006. — 144 с.

24. Определение численности персонала для обслуживания осветительных установок. Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. — Тяжпроэлектропроект, 1982. — № 8.

25. Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений. — Москва : Колос, 1979. — 24 с.

26. Правила устройства электроустановок. — 7-е изд. — Москва : Омега-Л, 2007. — 268 с.

27. РД 204-141–95. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

28. Светотехника : пособие для студ. вузов спец. 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства» / М. М. Николаенок [и др.]. — Минск : БГАТУ, 2009. — 185 с.

29. СНиП 1.02–85. Инструкции о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений.

30. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. — Москва : Энергоатомиздат, 1995. — 528 с. : ил.

31. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю. Г. Барыбина [и др.]. — Москва : Энергоатомиздат, 1990. — 576 с.

32. Степанцов, В. П. Светотехническое оборудование в сельскохозяйственном производстве : справочное пособие. — Минск : Ураджай, 1987. — 216 с. : ил.

33. Степанцов, В. П. Электрооборудование осветительных и облучательных установок : справочное пособие / В. П. Степанцов [и др.]. — Минск : Ураджай, 1991. — 191 с. : ил.

34. ТКП 181–2009 (02230). Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. — Минск : Инженер центр : БОИМ, 2009. — 325 с.

35. ТКП 45-2.04-153-2009. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования. — Минск : Министерство архитектуры и строительства, 2009. — 59 с.

36. Федоров, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров, В. В. Каменева. — Москва : Энергоатомиздат, 1984. — 472 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ

Величины и единицы измерения оптического излучения

Энергетические величины	Световые величины	Витальные величины	Бактерицидные величины	Фотосинтетические величины
Энергия излучения $Q_e, Дж$	—	—	—	—
Поток излучения Φ_e , Вт	Световой поток Φ_c , лм	Витальный поток Φ_v , вит	Бактерицидный поток Φ_b , бакт	Фитопоток Φ_ϕ , фит
Сила излучения I_e , Вт · ср ⁻¹	Сила света I_c , кд	Сила витального излучения I_v , вит · ср ⁻¹	Сила бактерицидного излучения I_b , бак · ср ⁻¹	Сила фитоизлучения I_ϕ , фит · ср ⁻¹
Облученность (плотность облучения) E_e , Вт · м ⁻²	Освещенность E_c , лк	Витальная облученность E_v , вит · м ⁻²	Бактерицидная облученность E_b , бак · м ⁻²	Фитоблученность E_ϕ , фит · м ⁻²
Энергетическая экспозиция (доза облучения) H_e , Дж · м ⁻²	Световая экспозиция H_c , лк · с	Витальная экспозиция H_v , вит · с · м ⁻²	Бактерицидная экспозиция H_b , бак · с · м ⁻²	Фитоз экспозиция H_ϕ , фит · с · м ⁻²
Энергетическая светимость (плотность излучения) M_{ie} , Вт · м ⁻²	Светимость M_c , лк	—	—	—

Значения зональных телесных углов, для интервалов меридианных углов в 10°

Верхняя полусфера	Нижняя полусфера	Значение зонального телесного угла
170...180°	0...10°	0,095
160...170°	10...20°	0,283
150...160°	20...30°	0,463
140...150°	30...40°	0,628
130...140°	40...50°	0,774
120...130°	50...60°	0,897
110...120°	60...70°	0,993
100...110°	70...80°	1,058
90...100°	80...90°	1,091

Приложение 3

Электрические и светотехнические параметры ламп накаливания

Таблица ПЗ.1

Технические параметры ламп накаливания общего назначения

Тип источника	Мощность источника, Вт	Диапазон напряжений питания источников, В					Значение светового потока, лм				
		Расчетное напряжение питания источников, В									
		215...225	220...230	230...240	235...245	245...255	220	225	235	240	250
В	15	105	105	100	115	110					
	25	220	230	225	225	215					
Б	40	415	415	410	410	410					
БК	40	460	460	450	—	—					
Б	60	730	730	710	710	695					
БК	60	790	800	790	—	—					
Б	75	960	960	940	—	—					
БК	75	1 030	—	—	—	—					
Б	100	1 380	1 380	1360	1360	1320					
БК	100	1 500	1 500	1485	—	—					
Б	150	2 220	—	—	2060	—					
Г	150	2 090	2 090	2 065	2 180	2040					
Б	200	2 950	—	—	—	—					
Г	200	3 150	2 950	2 910	—	2860					
	300	4 850	4 610	4 800	—	4530					
	500	8 400	8 400	8 300	—	8250					
	750	13 100	13 100	—	—	—					
	1000	18 800	18 800	18 610	—	—					

Таблица ПЗ.2

Технические параметры ламп накаливания местного освещения с цоколем Е27

Мощность источника, Вт	Номинальное напряжение, В			Габариты, мм	
	12	24	36	диаметр колбы	полная длина
Лампы типа МО					
15	200	—	—	61	108
25	380	340	300		
40	620	560	500		
60	1000	930	800		
100	—	1710	1550	66	129
Лампы типа МОЗ					
40	400	420	370	71	709
60	660	680	650		
100	—	1250	1200	81	128
Лампы типа МОД					
25	270	—	240	71	109
40	490	480	470		
60	880	950	760		
100	—	1500	1380	81	128

Таблица ПЗ.3

Технические параметры прожекторных ламп накаливания

Тип лампы	Номинальные значения				Габариты, мм		Тип цоколя
	напряжения, В	мощности, Вт	светового потока, лм	срока службы, ч, не менее	диаметр колбы	полная длина	
ПЖ127-1000-1	127	1000	19 000	125	134	220	Е40
ПЖ220-500	220	500	10 500	160	66	140	Е27
ПЖ220-500-5			7 600	400	134	220	
ПЖ220-1000		1000	1000	21 000	150	71	245
ПЖ220-1000-2	21 000			150	112	195	
ПЖ220-1000-5	18 550			400	134	220	

Таблица ПЗ.4

Технические параметры галогенных ламп накаливания для общего освещения и ламп-термоизлучателей

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, клм	Срок службы, тыс. ч	Габариты, мм	
				диаметр	длина
Лампы для общего освещения					
КГ220-400	400	6,4	0,5	8	280
КГ220-500	500	13,5...14	0,15	11	132
КГ220-1000-3(4)	1 000	26...27	0,4...0,42	11	180
КГ220-1000-5	1 000	22	2	12	189
КГ220-1000-6	1 000	26...27	5...6	15	400
КГ220-1500	1 500	33	2	12	254
КГ220-2000-2(3,5)	2 000	54...54,9	0,45...0,47	11	236
КГ220-2000-4	2 000	44	2	12	335
КГ220-5000-01-1	5 000	125...127	2	20,5	990
КТ220-5000-1	5 000	110	3	20,5	1000
КГ220-10000	10 000	260	2	27	1230
КГ220-10000-1	10 000	220	1,3	26	1230
КГ220-20000-1	20 000	440	1,5	36	890
Лампы-термоизлучатели					
КГТ220-600	600	—	2...2,4	12	500
КГТ220-1000	1 000	—	2...2,4	12	500
КГТ220-1000-1	1 000	—	10	12	375
КГТ220-1500	1 500	—	2...2,4	10,75	400
КГТД220-600	600	—	2...2,2	12	500
КГТД220-1000	1 000	—	2...2,2	12	500
КГТО220-2500	2 500	—	2...2,2	12	375
КГТО220-2500-1	2 500	—	2	12	440
КГТО220-2500-2	2 500	—	2...2,2	12	470

Примечания.

1. Напряжение для ламп всех типов равно 220 В.
2. Для ламп-термоизлучателей типа КГТО длина приведена без учета отогнутых концов.

Таблица ПЗ.5

Технические параметры инфракрасных зеркальных ламп-термоизлучателей

Тип лампы	Номинальные значения		Габариты, мм		Тип цоколя
	напряжения, В	мощности, Вт	диаметр колбы	длина лампы	
ИКЗК127-250	127	250	130	195	E27
ИКЗС127-250-1	127	250	130	195	E27
ИКЗ127-250	127	250	130	215	E40
ИКЗ127-500	127	500	180	267	E40
ИКЗ127-500-1	127	500	130	215	E40
ИКЗК220-250	220	250	130	195	E27
ИКЗС220-250-1	220	250	130	195	E27
ИКЗ220-250	220	250	130	215	E40
ИКЗ220-500	220	500	180	267	E40
ИКЗ220-500-1*	220	500	130	215	E40

* Лампа имеет уменьшенные размеры — такие же, как у инфракрасных ламп-термоизлучателей мощностью 250 Вт.

Примечание. Срок службы ламп всех типов составляет 6000 ч.

Приложение 4

Технические параметры люминесцентных ламп

Общего назначения (Т12)												
Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Ток, А	Размеры, мм		Номинальный световой поток для различных типов ламп, лм							
			длина	диаметр	ЛБ	ЛТБ	ЛХБ	ЛД	ЛЕ	ЛБЕ	ЛХЕ	
15	127	0,33	451,6	27	820	820	800	700	—	—	—	—
15-1	127	0,33	451,6	38	825	760	740	640	—	—	—	—
20	127	0,37	604	40	1200	1100	1020	1000	820	—	—	—
30	220	0,365	908,8	27	2180	2020	1940	1800	1460	—	—	—
30-1	220	0,405	908,8	38	2180	1930	1860	1580	—	—	—	—
40	220	0,43	1213,6	40	3200	3100	3000	2500	2100	—	—	1930
40-1	220	0,43	1213,6	38	3200	3150	3100	2600	—	—	—	—
65	220	0,67	1514,2	40	4800	4650	4400	4000	3400	—	—	—
80	220	0,87	1514,2	40	5400	5200	5040	4300	—	—	—	—
					ЛДЦ	ЛЕЦ	ЛХЕЦ	ЛТБЦ	ЛХБЦ	ЛТБЦ	ЛБЕЦ	ЛХЕЦ
15	127	0,33	451,6	27	600	—	—	—	—	—	—	—
20	127	0,37	604	40	865	—	700	—	—	—	—	1050
30	220	0,365	908,8	27	1500	1400	—	—	—	—	—	—
40	220	0,43	1213,6	40	2200	2190	1930	1700	2400	1700	—	2500
40-1	220	0,43	1213,6	38	2200	—	—	—	—	—	—	—
65	220	0,67	1514,2	40	3160	3400	—	—	—	—	—	4200
80	220	0,87	1514,2	40	3800	—	—	—	4100	—	—	4350

Энергоэкономичных (Т8)

Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Ток, А	Размеры, мм		Номинальный световой поток для различных типов ламп, лм			
			длина	диаметр	ЛБ	ЛДЦ	ЛЕЦ	
18	127	0,37	604	26	1250	—	850	850
36	220	0,43	1213,6	26	3050	—	2200	2150
58	220	0,67	1514,2	26	4800	—	—	3330

U-образных

Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Ток, А	Длина, мм		Номинальный световой поток для различных типов ламп, лм					
			Ток, А	Длина, мм	ЛБ	ЛТБ	ЛХБ	ЛД	ЛЕЦ	
20	127	0,37	312	—	850	—	—	750	—	—
30	220	0,365	465	1920	—	—	—	—	—	1485
40	220	0,43	605	—	2500	—	—	—	—	—
65	220	0,67	772,5	—	3900	—	—	—	—	—

Энергоэкономичных линейных

Мощность, Вт	Световой поток, лм, при цветовой температуре, К		Длина, мм	Мощность, Вт	Световой поток, лм, при цветовой температуре, К		Длина, мм
	4200	6400			4200	6400	
	Ø 12,5 мм (T4), цоколь G5				Ø 16 мм (T5), цоколь G5		
6	265	258	207	6	300	280	212,1
8	380	370	327	8	420	400	288,3
12	570	550	356,5	13	840	750	516,9
16	1000	960	455	14	1200	1100	549
20	1280	1260	553	21	1850	1660	849
24	1550	1500	642	24	1950	1850	549
30	1750	1750	750	28	2470	2350	1149
				35	3300	3050	1449
				39	3400	3200	849
				49	4300	4100	1449
				54	4850	4600	1149
				80	6800	6450	1449

Энергосберегающих компактных (КЛЛ), срок службы 10 000 ч

Мощность, Вт	Световой поток, лм, и цветовая температура, К		Тип цоколя	Тип колбы
	2800	4200		
9	530	500	E27	2U
9	530	500	E14, E27	3U
11	585	583	E27	2U
11	620	585	E14, E27	3U, 4U
13	690	—	E14	GLS
15	990	870	E14, E27	2U, 3U
15	990	940	E27	4U
15	870	990	E27	GLS
20	1080	1040	E27	2U
20	1200	1080	E27	3U, 4U
20	1080	—	E27	GLS
23	1300	1260	E27	3U, 4U
26	1612	1456	E27	3U
28	1568	1736	E27	4U

Технические параметры газоразрядных ламп высокого давления

Таблица П5.1

Технические параметры ламп ДРЛ

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Номинальный ток, А	Световой поток, клм	Срок службы, тыс. ч	Габариты, мм		Тип цоколя
						диаметр	длина	
ДРЛ 50	50	95	0,61	1,8...2,0	6	56	130	E27
ДРЛ 80	80	115	0,8	3,2...3,6	6...12	81	165	E27
ДРЛ 125	125	125	1,15	5,35...6,3	6...12	91	184	E27
ДРЛ 250	250	130	2,15	12,0...13,0	8...12	91	227	E40
ДРЛ 400	400	135	3,25	23,0	12...15	122	292	E40
ДРЛ 700	700	140	5,4	38,0...40,0	12...15	152	368	E40
ДРЛ 1000	1000	145	7,5	55,0...58,5	12...15	181	410	E40
ДРЛ 2000	2000	270	8,0	120	6	187	445	E40
ДРВ220-250	250	—	1,25	5	6	91	227	E40
ДРВ220-400	400	—	2,25	11,5	6	122	292	E40

Технические параметры ламп ДРИ общего назначения

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Номинальный ток, А	Световой поток, клм	Срок службы, тыс. ч	Габариты, мм		Тип цоколя
						91	184	
ДРИ 125	125	220	1,15	8 300	3	—	—	E27
ДРИ 175	175	220	1,55	12 000	4	91	227	E27
ДРИ 250	250	220	2,15	18 700	3	91	227	E40
ДРИ 400	400	220	3,4	34 000	5	122	300	E40
ДРИ 700	700	220	6,5	59 500	5	122	300	E40
ДРИ 1000	1000	220	8,55	90 000	3	100	485	E40
ДРИ 2000	2000	380	10,3	170 000	0,8	100	485	—
ДРИ 3500	3500	380	18,0	300 000	0,6	168	290	—
ДРИЗ 250	250	220	2,2	13 700	7,5	182	355	E40
ДРИЗ 400	400	220	3,3	24 000	7,5	255	355	E40
ДРИЗ 700	700	220	6,0	45 000	7,5			E40

Технические параметры ламп ДНаТ

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Номинальный ток, А	Световой поток, клм	Срок службы, тыс. ч	Габариты, мм		Тип цоколя
						91	184	
ДНаТ 70	70	220	0,7	5 800	6	—	—	E27
ДНаТ 100	100	220	1,1	9 500	6	—	—	E27
ДНаТ 150	150	220	1,8	14 500	6	44	210	E27
ДНаТ 210	210	220	2,4	18 000	10	91	227	E40
ДНаТ 250	250	220	3,1	25 000	10	58	240	E40
ДНаТ 360	360	220	3,4	35 000	15	122	292	E40
ДНаТ 400	400	220	4,6	47 000	15	58	240	E40
ДНаТ 700	700	380	4,7	84 000	10	—	—	E40
ДНаТ 1000	1000	380	5,3	125 000	10	—	—	E40

Таблица П5.4

Технические параметры ламп ДКсТ (ДКсТВ)

Тип лампы	Номинальные значения		Срок службы, ч
	Мощность, Вт	Световой поток, лм	
ДКсТ 2000	2 000	36 000	300
ДКсТ 5000	5 000	98 000	300
ДКсТ 10000	10 000	250 000	800
ДКсТВ 3000	3 000	81 000	100
ДКсТВ 5000	5 000	139 000	100
ДКсТВ 6000	6 000	211 000	300

Приложение 6

Основные параметры зажигающих устройств типов УИЗУ и ИЗУ

Тип устройства	Напря- жение сети, В	Напряже- ние отключения, В	Габариты, мм			Устано- вочные размеры, мм	Амплитуда импульса, кВ	Масса, кг, не более		
			длина	ширина	высота					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
УИЗУ-220- 02ХЛ1	220±22	180±10	135	60	47	40	2"	1,9	2,3	0,5
							2'	2,3	3,4	
							2	3,4	5,2	
УИЗУ-380- 02ХЛ1	380±38	265±10	135	60	47	40	2'	2,3	3,5	0,5
							2	4,4	6,0	
ИЗУ-125- 1000ДРЛ/2 20-В-04	220±22	180±10	100	50	50	—	—	0,51*	—	0,45
ИЗУ-250, 400ДРИ, ДНаТ/220- В-03	220±22	180±10	120	62	52	M8	—	4,5*	0,65	
										ИЗУ-250, 400ДРИ, ДНаТ/220- Н-03

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ИЗУ-700, 1000ДРИ, ДНаТ/220-В-05	220±22	180±10	160	62	52	М8	—	—	4,5*	0,95
ИЗУ-700, 1000ДРИ, ДНаТ/220-Н-05	220±22	180±10	170	65	55	31	—	—	4,5*	1,25
ИЗУ-2000ДРИ/380- В-06	380±38	305±15	140	62	52	М8	—	—	4,5*	0,85
ИЗУ-2000ДРИ/380- Н-06	380±38	305±15	150	65	55	31	—	—	4,5*	1,15
ИЗУ-2000ДРИ/380- В-07	380±38	305±15	100	50	50	—	—	—	0,8*	0,45
ИЗУ-2000ДРИ/380- Н-07	380±38	305±15	110	55	55	—	—	—	0,8*	0,6

453

* Среднее значение амплитуды импульса.

Примечание. Для ИЗУ к лампам ДРИ и ДНаТ климатическое исполнение и категория размещения — ХЛ1 и Т1, а к лампам ДРЛ — У1. Степень защиты всех ИЗУ — IP61 (встроенные) и IP64 (независимые).

Таблица П7.1

Технические параметры витальных и бактерицидных ламп низкого давления

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Ток, А	Световой поток, лм	Витальный поток, мв/ч	Бактерицидный поток, мбк/ч	Срок службы, ч	Габариты, мм	
								диаметр	длина
ЛЭ15	15	127	0,33	40	300	55	5000	30	451,6
ЛЭ015	15	127	0,33	650	110	—	5000	30	451,6
ЛЭ30	30	220	0,365	110	750	125	5000	30	908,8
ЛЭ030	30	220	0,365	1350	270	—	5000	27	908,8
ЛЭ040	40	220	0,43	1850	370	—	5000	40	1213,6
ЛЭР40	40	220	0,43	120	1 600	—	3000	40	1213,6
ДБ15	15	127	0,33	60	—	2 500	5000	30	451,6
ДБ30-1	30	220	0,36	140	35	6 600	5000	30	908,8
ДБ36	36	220	0,38	—	—	10 500	7500	16	860
ДБ60	60	220	0,7	180	41	8 000	5000	30	908,8
ДРТ230	230	127	3,8	—	—	6 700	2000	20	190
ДРТ400	400	220	3,25	8000	4 750	10 000	2000	22	265
ДРТ1000	1000	220	7,5	3300	16 500	39 500	2700	32	350
ДРВЭД220-160	160	220	—	1600	350	—	1500	127	190
ДРВЭД220-250	250	220	—	3250	600	—	1500	127	190

454

Технические параметры специальных газоразрядных ламп

Технические параметры газоразрядных ламп для досвечивания растений (фотосинтетических ламп)

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Световой поток, лм	Фитопоток, фит	Срок службы, тыс. ч	КПД ФАР, %	Габариты, мм	
							диаметр	длина
ЛФ40-1	40	220	1 680	4,22	12	15	40	1199,4
ЛФ40-2	40	220	1 600	4,35	5	15	40	1199,4
ЛФР150**	150	220	—	—	6	15	40	1524
ДРЛФ400	400	220	16 000	17,6	6...7	10	152	368
ДРФ1000	1 000	220	—	90...100	1,5...2	20	208	342
ДРЛ2000	2 000	380	120 000	—	6	15	187	445
ДРВ750	750	220	24 000	22	2	7...8	152	368
ДРИ1000-1	1 000	220	70 000	—	3	—	80	405
ДРИ2000-2М	2 000	380	155 000	204	1	30	100	485
ДРИ2000-6	2 000	380	190 000	294	1,5	29	100	420
ДРОТ2000	2 000	380	120 000	204	3	20,6	—	—
ДМ33000	3 000	380/220	240 000	497	1,5	28,5	190	470
ДМ46000	6 000	380/220	540 000	—	—	25	—	—
ДНаТ400	400	220	46 000	62	1,5	27	58	240
ДКСГ10000	10 000	220	25 000	—	0,8...1	13	26	1260

** Сила света — 11 500 кд.

Категории и примерный перечень сельскохозяйственных помещений по условиям окружающей среды

Категория помещения	Характеристика окружающей среды	Примерный перечень помещений
Сухие	Относительная влажность — не более 60 %. Конденсация паров влаги практически невозможна	Инкубатории, котельные, отопляемые склады негорючих материалов, электрощитовые, тепловые узлы, вентиляционные камеры, конторы, помещения для обслуживающего персонала ферм, подсобные помещения и т. п.
Пыльные	По технологическим условиям производства выделяется пыль в таком количестве, что она может оседать на проводах, проникать внутрь машин, аппаратов и т. п.	Цехи по дроблению и приготовлению сухих концентрированных кормов, склады сыпучих негорючих материалов, пункты послеуборочной обработки зерна и технических культур
Влажные	Относительная влажность — более 60 %, но не превышает 75 %. Пары или конденсирующаяся влага выделяются лишь временно и в небольших количествах	Неотапливаемые склады негорючих материалов, лестничные клетки, помещения для холодильного оборудования, помещения для ремонта оборудования
Сырые	Относительная влажность — более 75 %. Имеются пары влаги, способные конденсироваться при небольших понижениях температуры	Помещения для теплогенераторов, цехи по переработке продуктов животноводства, плодов и овощей, лаборатории для анализов молока, помещения для искусственного осеменения животных,

Продолжение табл.

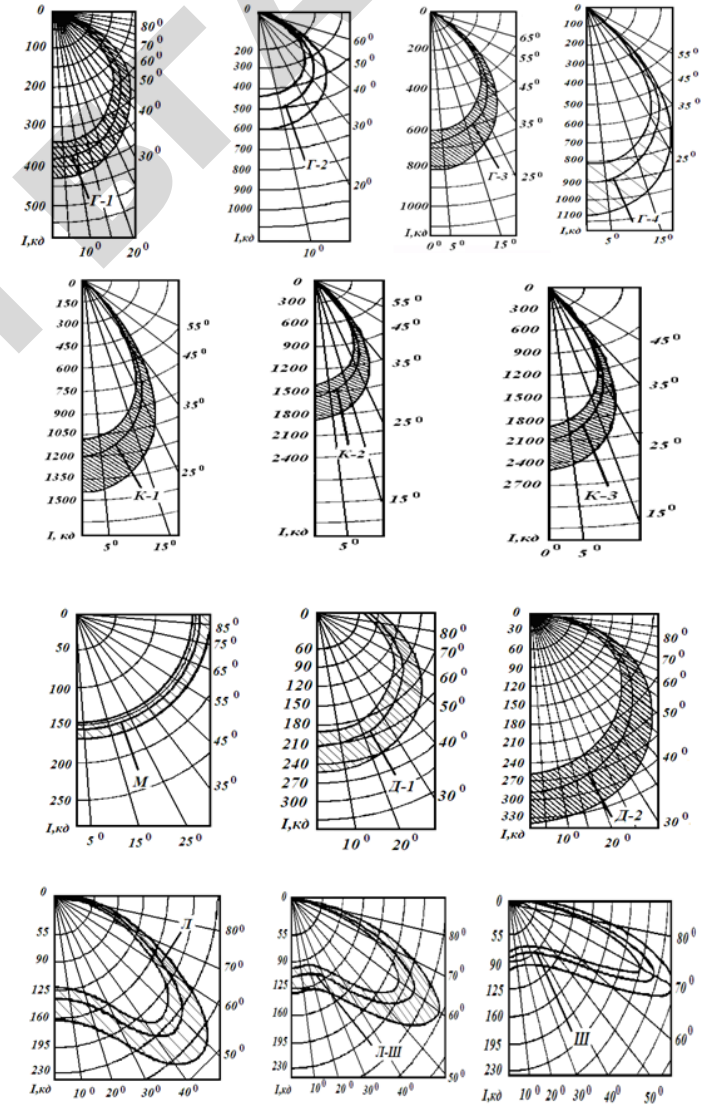
Категория помещения	Характеристика окружающей среды	Примерный перечень помещений
		помещения для ветосмотра и санобработки коров, родильные отделения и ветпункты, вакуум-насосные, кормонавозные проходы. При наличии установок микроклимата: помещения для содержания крупного рогатого скота, свиней, птицы и других животных
Особо сырые	Относительная влажность близка к 100 %: потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой	Кормоприготовительные цехи для влажных кормов, овощехранилища, фруктохранилища, парники, теплицы, моечные отделения цехов по переработке плодов и овощей, доильные залы, молочные блоки, моечные отделения животноводческих ферм и мастерских, силосные и сенажные башни, наружные установки под навесом, в сараях и подсобных неотапливаемых помещениях с температурой, влажностью и составом воздуха, практически не отличающимися от наружных условий
Особо сырые с химически активной средой	Относительная влажность близка к 100 %. Постоянно или длительное время в помещении содержатся пары	Помещения для содержания крупного рогатого скота, свиней, птицы и других животных при отсутствии в них установок

Продолжение табл.

Категория помещения	Характеристика окружающей среды	Примерный перечень помещений
	аммиака, сероводорода или других газов взрывоопасной концентрации или же образуются отложения, действующие разъедающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования	по созданию микроклимата. Склады минеральных удобрений, помещения для протравливания семян
Пожароопасные класса П-I	Применяются или хранятся горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С	Склады минеральных масел, установки по регенерации минеральных масел
Пожароопасные класса П-II	Выделяются горючие пыли или волокна, переходящие во взвешенное состояние. Возникающая при этом опасность ограничена пожаром (но не взрывом) либо в силу физических свойств пыли или волокон, либо в силу того, что содержание их в воздухе по условиям эксплуатации не достигает взрывоопасных концентраций	Деревообделочные цехи, малозапыленные помещения мельниц, элеваторов, зернохранилища
Пожароопасные класса П-IIа	Содержатся твердые или волокнистые горючие вещества, причем признаки, перечисленные для помещений П-II, отсутствуют	Производственные и складские помещения и зоны, содержащие твердые или волокнистые горючие вещества

Категория помещения	Характеристика окружающей среды	Примерный перечень помещений
Пожароопасные класса П-III	Применяются или хранятся горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С, а также твердые вещества	Склады открытые или под навесом для минеральных масел, угля, торфа, дерева и т. п.
Взрывоопасные класса В-Ia	При нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих паров или газов с воздухом или другими окислителями не имеют места, а возможны только в результате аварий или неисправностей	Хранилища легко воспламеняющихся и горючих жидкостей, аккумуляторные
Взрывоопасные класса В-IIa	По условиям технологии могут образовываться взрывоопасные смеси горючей пыли или волокон с воздухом	Комбикормовые заводы, мельницы, склады сыпучих горючих материалов

Детализированные кривые силы света для классификации светильников по форме КСС



Значения типовых КСС светильников с круглосимметричным светораспределением при световом потоке источника, равном 1000 лм

Приложение 10

Номенклатура и технические параметры светильников с лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ

α, град	Типовые кривые силы света светильников с круглосимметричным светораспределением												
	Г-1	Г-2	Г-3	Г-4	К-1	К-2	К-3	М	Д-1	Д-2	Л	Л-Ш	Ш
0	377,3	503,0	670,7	894,2	1192	1583	2120	159,2	233,4	295,0	154,8	119,6	78,3
5	375,5	499,8	664,8	883,8	1173	1549	2062	159,2	232,9	294,0	155,5	119,0	78,6
10	370,3	490,2	647,5	852,5	1118	1449	1893	159,2	229,2	290,5	158,2	118,6	79,4
15	361,6	474,4	618,5	801,1	1026	1288	1595	159,2	228,5	286,5	164,5	120,2	81,4
20	349,8	452,7	579,5	731,2	902	1052	1261	159,2	224,7	277,2	175,5	126,0	81,7
25	334,3	425,1	530,2	643,8	750	810	832	159,2	220,0	269,6	190,7	134,0	83,3
30	316,0	392,1	471,4	541,3	574	515	249	159,2	214,1	255,5	210,8	145,0	87,2
35	294,7	354,1	404,7	439,9	380	196	0	159,2	207,1	246,0	235,1	159,6	94,8
40	270,7	311,7	330,9	301,0	174	0	—	159,2	199,3	226,0	261,8	180,4	105,4
45	244,2	265,2	251,4	168,8	0	—	—	159,2	190,6	215,5	281,6	209,7	121,3
50	215,4	215,5	167,3	32,6	—	—	—	159,2	180,0	189,6	282,1	243,3	137,1
55	184,6	162,9	81,8	0	—	—	—	159,2	170,5	179,0	257,2	269,7	162,0
60	152,0	108,3	0	—	—	—	—	159,2	159,2	147,5	212,9	275,0	199,0
65	118,2	52,6	—	—	—	—	—	159,2	147,1	137,6	161,7	247,6	230,0
70	83,1	0	—	—	—	—	—	159,2	134,3	100,9	113,6	194,0	252,0
75	47,4	—	—	—	—	—	—	159,2	121,0	92,3	71,5	125,2	212,3
80	11,1	—	—	—	—	—	—	159,2	106,9	51,2	35,8	60,4	127,7
85	0	—	—	—	—	—	—	159,2	92,5	44,4	10,0	16,2	39,0
90	—	—	—	—	—	—	—	159,2	77,7	19,9	0	0	0

Тип светильника	Класс светораспределения	Тип КСС	КПД		Степень защиты	Способ монтажа*
			общий	в нижнюю полусферу		
1	2	3	4	5	6	7
светильники с лампами накаливания						
НПО01-60	Н	Д-2	64	54	2'0	4
НСП02-100, НСП02-200	Р	М	70	42	IP54	1, 2
НСО02×100, НСО02×150	Н	Д-2	75	55	IP20	1, 2, 3
НСО02×150	Р	М	67	35	2'0	
НПП03-100	П	Д-1	75	75	IP64	4
НСП03-60	Р	М	80	45	IP54	1, 2, 3
НСП03-100	П	Д-1	50	50		4
НСП04-200	Р	М	65	40	IP22	1, 2
НПП05-100	П	М	75	75	IP55	4
НБО06×100	Р	М	70	40	2'0	—
НБО07×60	Р	М	70	40	2'0	—
НСП09-100, НСП09-200	Р	М	75	45	IP50	1, 2
НСП11-100, НСП11-200	П	Д-2	67	67	IP63	1, 2, 3
	Р	М	77	47	IP60	
НСП11-500	Н	Д-1	67	57	IP52	1, 3
	Р	М	77	47	IP60	
НПО16×60	Р	Д-1	65	35	IP53	4
НСП17-200, НСП17-500	П	Л	80	80	IP20	1, 2, 3
НСП17-500, НСП17-1000		Г-4				
НСП17-1000		К				
НПО18-60, НПО18-2×40	Н	Д-1	65	50	2'0	4
НПО18-2×60		Г-1			IP20	
НПО18-100		Д-1			2'0	
НПО18-150		Л			70	

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
НСП20-500	П	Д-1	67	67	IP54	1, 2, 3
			5'0	75	75	
Г-1		77	77			
				НСП20-500, НСП20-1000	Д-1	
НСП21-100	Г-1	82	82	5'3		
НСП21-200	П			Д	65	65
		Г	65		65	5'3
НСП22-500	Н	К		65		65
			70	70	5'0	
	П	Г-1	67	67	IP63	
			Д-2	75	75	5'0
НПО30×60, НПО30×100	Н	Д-1	64	54	2'0	4
НСП18Ex-75, НСП18Ex-100, НСП18Ex-150, НСП18Ex-200	П	Д	55	55	1ExdeII	1, 3
НСП21Ex-150, НСП21Ex-200, НСП21Ex-300	П	Д	50	50	1ExdeII	1, 3
НСП23-200	П	Д	60	60	2ExdeII	1, 3
Н4БН-150	Р	М	70	40	2ExdII(H)	1, 3
	П	Г-1	55	55		
Н4Т2Н-300	П	Д-1	55	55		1
	Р	М	70	45		
В3Г200АМ	П	Д-2	60	60	1ExdII(B)	1
	Н	Д-1	75	55		
светильники с лампами ДРЛ						
РПП-01-50	П	Д	65	65	IP54	4
РПП-01-80, РПП-01-125			60	60		
РСР02-80, РСР02-125	Р	М	80	45	IP54	1, 2

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
РСР04-250, РСР04-400	П	Д	60	60	IP54	1, 2
			65	65	IP23	
		Г	60	60	IP54	
			70	70	IP23	
РСР05-250, РСР05-400, РСР05-700, РСР05-1000	П	Д	70	70	IP20	1, 2
			Г-1	80	80	
		Г-3	60			
		К-1		70	70	
РСР07-250	П	Г	60	60	IP54	1, 2
		Д	70	70	IP23	
		Д				
РСР08-125, РСР08-250, РСР08-400	П	Л	80	80	5'0	1, 2, 3
					IP20	
		Г-1	70	70	IP20	
			5'3			
РСР08-250	Д	75	75	IP20	1, 2, 3	
РСР08-250, РСР08-400	П	Г-3	80	80		IP20
						5'3
		К-1	5'3			
РСР08-400	П	Д	60	60	IP54	1, 2, 3
					Г	
		Д	65	65	IP23	
РСР08-700	П	Г	70	70	IP23	1, 2
		Д	60	60	IP52	
РСР10-1000	П	Д	60	60	IP54	1, 2
РВП14 2Ex-125	П	Л	55	55	2ExdeII	1
РПП14 2Ex-125	П	Л	55	55	2ExdeII	1
РСР11-400	Р	М	72	42	IP52	1, 3
РСР11Ex-125	Р	М	70	40	1ExdeII	1
РСР12-700	П	Г-1	62	62	IP60	1, 3
РСР12-700	П	Д	71	71	5'4	1, 3

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
РСП16-400	П	Д	62	62	IP54	1
		Г-1	60	60		
РСП17-250, РСП17-400, РСП17-700, РСП18-1000	П	Г-3	80	80	IP20	1, 2
РСП18-250, РСП18-400, РСП18-700, РСП18-1000	П	Д	70	70	IP20	1, 3
		Г-2				
		К-2	75	75		
		Г-4				
РСП18Ех-80, РСП18Ех-125	Р	М	70	40	1ExdeII	1
	П	Д	55	55		
РСП20-250	П	Д	62	62	IP54	1, 2, 3
		Г-1				
РСП20-250, РСП20-400	П	Д	72	72	IP23	1, 2, 3
		Г-1				
РСП20-700	П	Д	65	65	IP53	1, 2, 3
		Г-1	70	70		
РСП21-80, РСП21-125	П	Д	60	60	5'3	1, 2, 3
			65	65	5'0	
					IP25	
					IP25	
РСП21Ех-125	Р	М	50	35	1ExdeII	1
	П	Д		50		
РСП25-80	П	Д	60	60	IP54	1
РСП26-125	П	Д	70	70	5'1	1, 2
светильники с лампами ДРИ						
ГПП01-50, ГПП01-80	П	Д	65	65	IP54	4
		Д	60	60		
ГСП04-250, ГСП-400	П	К	60	60	IP54	1, 2
		Г	65	65	IP23	
ГСП05-175	Р	М	70	40	IP54	1, 2
ГСП05-400, ГСП05-700	П	Г-3	75	75	IP20	1, 3

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
ГСП07-175	П	К	70	70	IP23	1, 2, 3
		Г	60	60	IP54	
ГСП09-700, ГСП09-1000	П	Г	70	70	IP23	1, 2, 3
			60	60	IP54	
ГСП11Ех-250	Р	М	70	40	1ExdeII	1
ГВП14 2Ех-250	П	Л	55	55	2ExdeII	1
ГПП14 2Ех-250	П	Л	55	55	2ExdeII	1
ГСП15-400	П	Г-2	75	75	IP54	1
			70	70	IP20	
			60	60	5'0	
ГСП17-700	П	Г(Г-3)	75	75	5'0	1, 2
		К(К-1)	70	70	IP20	
ГСП17-2000	П	Г	70	70	IP20	1, 2
ГСП18-250, ГСП18-400, ГСП18-700	П	Д-2	70	70	IP20	1, 3
		К-2				
		Г-4				
ГСП19-700, ГСП19-1000	П	Г-1	70	70	IP23	1, 2, 3
					IP54	
ГСП20-700, ГСП20-2000	П	К-2	67	67	IP60	1, 2, 3
			72	72	5'0	
ГСП23-400	П	Д-1	62	62	IP20	1, 2, 3
ГСП24-400	П	Г-1	62	62	IP20	1
ГСП25-125, ГСП25-175, ГСП25-250	П	Г-1	62	62	IP20	1
светильники с лампами ДНаТ						
ЖПП01-70, ЖПП01-100	П	Д	60	60	IP54	4
ЖСП01-400	П	Г-4	70	70	IP54	1, 2
		К-2			IP53	
ЖПП02-250, ЖСП02-400	П	Г	60	60	IP23	1, 2
		Л			IP54	
		Д			5'0	
ЖВП03-70, ЖВП03-100	П	Д	60	60	IP65	—

Окончание табл.

Приложение 11

1	2	3	4	5	6	7
ЖВП04-70, ЖВП04-100	П	Д	60	60	IP65	—
ЖСП04-250	П	Г	60	60	IP23	1, 2, 3
		Д	65	65	IP54	
ЖСП04-400		К	60	60	IP23	
ЖСП05-150	Р	М	70	45	IP23	1, 2, 3
ЖСП07-150	П	К	70	70	IP23	1, 2, 3
		Г	60	60	IP54	
ЖСП09-1000	П	Г	70	70	IP23	1, 2, 3
			60	60	IP54	
ЖСП11Ех-100, ЖСП11Ех-150	Р	М	70	40	1ExdeII	1
ЖСП12-250	П	Д	70	70	IP54	1, 2, 3
ЖВП14 2Ех-100	П	Л	55	55	2ExdeII	1
ЖПП14 2Ех-100	П	Л	55	55	2ExdeII	1
ЖСП17-250	П	Г	65	65	IP54	1, 2
ЖСП17-400		Г-4 К-2	75	75	IP20	
ЖСП18Ех-70	Р	М	70	40	1ExdeII	1
	П	Д	55	55		
ЖСП19-1000	П	Г	60	60	IP23	1, 2
			70	70	IP54	
ЖСП20-250	П	Д-2	72	72	IP20 5'0	1, 2, 3
ЖСП21Ех-100	Р	М	50	35	1ExdeII	1

* Обозначение способа монтажа: 1 — на трубу 3/4"; 2 — на круг; 3 — на монтажный профиль; 4 — на потолке.

Номенклатура и технические параметры светильников
с люминесцентными лампами

Тип светильника	Класс свето- распределения	Тип КСС	КПД		Габариты, мм	Степень защиты	Способ монтажа*
			общий	в нижней полусфере			
1	2	3	4	5	6	7	8
ЛСП01-2×36	Р	М	75	—	1400×260×210	IP64	1, 5, 6, 7
ЛСП01-2×36	П	Д	60	—		5'0	
ЛСП01-2×40	Р	М	82	—			
ЛСП01-2×40	П	Д	60	—	1700×260×210	IP64	
ЛСП01-2×58	Р	М	75	—			
ЛСП01-2×58	П	Д	60	—			
ЛСП01-2×65	Р	М	82	—		5'0	
ЛСП01-2×65	П	Д	60	—			
ЛПО02-20	П	Д-2	50	50	650×120×100	IP20	6
ЛПО02-40					1260×120×100		
ЛПО02-65					1560×120×100		
ЛПО02-2×20					650×220×100		
ЛПО02-2×40					1260×220×100		
ЛПО02-2×65					1560×220×100		
ЛПО02-4×20					645×420×100		
ЛПО02-4×40					1260×420×100		
ЛПО02-4×65					1560×420×100		
ЛСП02-2×40					П		
ЛСП02-2×40	Н	75	—				
ЛСП02-2×65	П	70	—				
ЛСП02-2×65	Н	75	—				
ЛПО03-20, ЛПО03-40	П	Г-1	65	65	—	IP20	6
ЛПО03-20, ЛПО03-40	Н	Д-1	65	48		2'0	
ЛПО03-20, ЛПО03-40	Р		80	60		IP20	

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8						
ЛПП04-2×36	П	Д	60	—	1290×190×140	IP54	6						
ЛПП04-2×40													
ЛСП04-2×40	Р	Г-2	65	25	—	2'0	2, 5						
ЛСП04-2×65			70	30									
ЛСО05-2×40, ЛСО05-2×80	Р	Г-1	85	42	—	IP20	2, 5						
ЛПО06-20	П	Д	70	—	650×60×115	IP20	6						
ЛПО06-40					1250×60×115								
ЛПО06-2×20					650×180×90								
ЛПО06-2×40					1250×180×90								
ЛПО06-2×65					1550×180×80								
ЛПО06-2×80					1550×180×150								
ЛПО06-4×20					650×350×90								
ЛПО06-4×40					1250×350×90								
ЛСП06-2×40, ЛСП06-2×80					П			Д-2	70	—	—	IP20	1, 3, 6, 7
ЛСП06-2×40, ЛСП06-2×80													
ЛСП06-2×40, ЛСП06-2×80	П	Г-1	65	—	—	IP20	1, 3, 6, 7						
ЛСП06-2×40, ЛСП06-2×80								Н	Д-2				
ЛПП07-18	П	Д	60	—	660×100×100	IP65	6						
ЛПП07-36					1270×100×100								
ЛПП07-58					1570×100×100								
ЛПП07-2×18					660×160×100								
ЛПП07-2×36					1270×160×100								
ЛПП07-2×58					1570×160×100								
ЛПО09-40	П	Д-1	65	65	—	IP20	6						
ЛПО09-40	Р		80	80									
ЛСП09-40	П	Д-1	65	65	—	IP20	1, 3, 6, 7						
ЛСП10-36, ЛСП10-2×36	П	Д	84	84	1248×124×170	IP65	1, 3, 6, 7						
ЛСП10-58, ЛСП10-2×58					1548×124×170								

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8						
ЛПБ10-2×20, ЛПБ10-2×40, ЛПБ10-4×20, ЛПБ10-4×40	Н	Д-2	50	50	—	2'0	6						
ЛПО11-2×18	П	Г	70	—	650×340×94	IP20	6						
ЛПО11-4×18					650×650×94								
ЛПО11-36					1255×170×94								
ЛПО11-2×36					1255×340×94								
ЛПП12-18	П	Д	75	—	790×78×125	IP65	6						
ЛПП12-2×18					790×170×125								
ЛПП12-36					1396×78×125								
ЛПП12-2×36					1396×170×125								
ЛПП12-58					1660×78×125								
ЛПП12-2×58					1660×170×125								
ЛПП12-2×36					84			64	64	1270×124×180	IP66		
ЛПП12-2×40										84	84	686×186×127	IP54
ЛПП12-2×20												84	84
ЛСП12-2×40					П			Д	64	64	686×186×160		
ЛСП12-2×40	1286×186×160	IP65											
ЛСП12-2×40	64	64	64	64		64	64						
ЛСП12-2×40													
ЛПО12-2×18, ЛПО12-2×20	П	Д	75	—	645×165×91	IP20	6						
ЛПО12-2×36, ЛПО12-2×40					1250×165×91								
ЛПО12-2×58, ЛПО12-2×65					1555×165×91								
ЛБО12-18					П			Д	70	—	694×520×300	IP20	—
ЛПО13-2×40, ЛПО13-2×65, ЛПО13-2×80	П	Г-1	55	55	—	IP20	6						
ЛСП13-2×40	П	Л	75	75	1246×480×154	IP20	5						
ЛСП13-2×65					1546×480×154								
ЛСП13-2×40		Г-2	75	75	1246×480×154								
ЛСП13-2×65					1546×480×154								
ЛСП14-2×40	Н	Д-1	65	—	—	IP54	2, 7						

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8		
ЛСП15-2×40**	Н	Д	85	—	—	5'4	2, 5, 7		
ЛСП15-2×65**	Р	М							
ЛСП15-2×80	Н	Д							
ЛПО16-20, ЛПО16-40	Н	Д-1	60	45	—	2'0	6		
ЛСП16-2×40	Н	Д-1	60	—	—	IP54	2, 5		
ЛСП18×40**	Н	—	88	—	1330×65×165	5'4	1, 3, 5		
ЛСП18×65**			88		1610×65×165				
ЛСП18-2×40**			85		1330×65×165				
ЛСП18-2×65**			85		1610×65×165				
ЛСП18-18			750×75×180						
ЛСП18-36		М	75		1330×75×180	IP65			
ЛСП18-58					1630×75×180				
ЛСП18-18		П	Д		70	—		720×152×204	5'4
ЛСП18-36								1330×152×204	
ЛСП18-58								1630×152×204	
ЛСП18-2×18	720×270×204								
ЛСП18-2×36	1330×270×204								
ЛСП18-2×58	1630×270×204								
ЛПБ20-2×20, ЛПБ20-2×40	Н	Д-2	60	60	—	2'0	6		
ЛСО20-36	—	М	70	—	1265×90×120	IP20	2, 5, 7		
ЛСО20-2×36					2530×90×120				
ЛСО20-58					1565×90×120				
ЛСО20-2×58					3100×90×120				
ЛПП20-18	П	Д	75	—	680×103×114	IP54	6		
ЛПП20-2×18	П	Д	75	—	680×175×114	IP54	6		
ЛПП20-36					1235×103×114				
ЛПП20-2×36					1235×175×114				
ЛПП20-58					1585×103×114				
ЛПП20-2×58					1585×175×114				
ЛПО21-2×20, ЛПО21-4×20, ЛПО21-2×40, ЛПО21-4×40, ЛПО21-2×65, ЛПО21-4×65	Н	Д-2	60	48	—	2'0	6		

471

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8
ЛСП21-2×40**	Н	Д	80	—	—	5'4	2, 5, 7
ЛПО22-2×20, ЛПО22-4×20, ЛПО22-6×20	Н	Д-2	55	48	—	2'0	6
ЛСП22-65	Н	Д	85	—	1625×148×170	5'0	—
ЛСП22-2×65			75		1625×280×170		
ЛСП22-2×65			П		70		
ЛПО25-2×40, ЛПО25-4×40	П	Д-1	50	50	—	IP54	6
ЛПО26-20	Н	Д-1	55	45	—	2'0	6
ЛПО28-2×20, ЛПО28-2×40, ЛПО28-2×65	Р	Д-2	75	47	—	2'0	6
		Д-1	80	60		IP20	
ЛПО30-20, ЛПО30-40, ЛПО30-65	Н	Д-1	65	48	—	2'0	6
ЛПО30-2×20, ЛПО30-2×40, ЛПО30-2×65	П	Г-1	60	60	—	IP20	6
ЛПО31-2×40	Р	Д-1	60	35	—	IP20	6
ЛПО31-2×40		Д-2	70	40			
Н4Т4Л-65	П	Д	60	—	1695×205×390	2ExiII4	1, 2, 3, 5
Н4Т4Л-65	Р	М	70	—			
Н4Т5Л-65	П	Д	60	—	1695×205×390	2ExiII5	1, 2, 3, 5
Н4Т5Л-65	Р	М	70	—	1695×205×390	2ExiII5	1, 2, 3, 5
ЛСП03Ex-65	Р	М	72	—	1695×113×390	2ExdeII	1, 2, 3, 5
ЛСП03Ex-80					—		
ЛСП03Ex-2×65	П	Д	62	—	1695×230×390		
ЛСП03Ex-2×80					—		
ЛПП05Ex-18	Р	М	70	—	800×190×150	1ExdeII	1, 2, 3, 5
ЛПП05Ex-2×18					—		

472

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7	8
ЛПП05Ех-36	Р	М	70	—	1400×190×150	1ExdeII	1, 2, 3, 5
ЛПП05Ех-2×36					—		
ЛПП05Ех-58					1700×190×150		
ЛПП05Ех-2×58					—		

* Обозначение способа монтажа: 1 — на трубу $\frac{3}{4}$ " ; 2 — на крук; 3 — на монтажный профиль; 4 — к шинопроводу; 5 — на штанге длиной 0,5 или 1,0 м; 6 — на потолке; 7 — на тросе; 8 — на фланце; 9 — к коробу.

** Лампа типа ЛБР.

Приложение 12

Номенклатура и технические параметры прожекторов

Тип прожектора	Тип лампы	I_{\max}^* , ккд	Габариты, мм			Масса, кг
			высота	ширина	длина	
ННУ-500Н (ПЗМ)	Г220-500	65	440	420	280	5,5
ННУ-1000Н (ПЗМ)	ПЖ220-1000	610	590	550	340	11
ИО04-500	КГ220-500	30	285	105	250	2,2
ИО04-1000	КГ220-1000	52	440	410	215	10
ИО04-1500	КГ220-1500	86	440	410	215	—
РО04-125	ДРЛ 125	11	440	410	300	10
РО04-250	ДРЛ 250	18	440	410	300	13
ГО04-150	ДРИ 150	23	400	240	110	8
ГО07-700	ДРИ 700	55	675	630	490	10,5
ГО07-1000	ДРИ 1000	82	675	630	490	10,5
ГО07-2000	ДРИ 2000	180	675	675	540	10,5
ГО08-1000	ДРИ 1000	85	423	423	175	8,6
ЖО04-250	ДНаТ 250	28	440	410	215	13,5
ЖО04-400	ДНаТ 400	48	440	410	310	16,2
ЖО08-1000	ДНаТ 1000	91	423	423	175	8,6

* Осевая сила света прожектора, ккд.

Приложение 13

Номенклатура и технические параметры комплектных осветительных устройств (КОУ)

Тип КОУ	Размер канала КОУ		Источник света	КПД, %	Рекомендуемая высота установки, м	Освещенность рабочей поверхности, лк (при высоте установки, м)
	длина, мм	диаметр, мм				
КОУ1-М600-4×700-У3	18	650	ДРИЗ 700-1	40	4...8	250 (6)
КОУ1-М275-1×250-У3	6	275	ЛФМГ-250	40	2,5...4	150 (3)
КОУ1-М275-1×400-У3	6	275	ЛФМГ-400	40	2,5...4	300 (3)
КОУ1-М275-1×700-У3	6	275	ДРИЗ 700-1	40	2,5...5	400 (3)
КОУ1А-М600-4×700-У2	18	650	ДРИЗ 700-1	30	4...8	200 (6)
КОУ1А-М275-1×250-У2	6	275	ЛФМГ-250	30	2,5...4	120 (3)
КОУ1А-М275-1×400-У2	6	275	ЛФМГ-400	30	2,5...4	230 (3)
КОУ1А-М275-1×700-У2	6	275	ДРИЗ 700-1	30	2,5...5	350 (3)
КОУ1-М600-4×700/С-У3	18	650	ДРИЗ 700-1	35	4...8	230 (6)

Приложение 14

Нормы минимальной освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях [35]

Характеристика зрительной работы и наименьший размер объекта различения	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Освещенность, лк		
					при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения
					всего	в том числе от общего	
1	2	3	4	5	6	7	8
Наивысшей точности, размер объекта различения менее 0,15 мм	I	a	Малый	Темный	5000	500	—
		б	Малый	Средний	4000	400	1250
		в	Малый	Светлый	3500	400	1000
		г	Большой	Темный	2500	300	750
	II	а	Малый	Темный	2000	200	500
		б	Малый	Средний	1000	200	300
		в	Малый	Светлый	750	200	200
		г	Большой	Темный	400	200	200
Очень высокой точности, размер объекта различения от 0,15 до 0,30 мм	I	a	Малый	Темный	4000	400	—
		б	Малый	Средний	3000	300	750
		в	Малый	Светлый	2500	300	600
		г	Большой	Темный	2000	200	500
	II	а	Малый	Темный	1500	200	400
		б	Малый	Средний	1000	200	300
		в	Малый	Светлый	750	200	200
		г	Большой	Темный	400	200	200
Высокой точности, размер объекта различения от 0,30 до 0,50 мм	I	a	Малый	Темный	2000	200	500
		б	Малый	Средний	1000	200	300
		в	Малый	Светлый	750	200	300
		г	Большой	Темный	600	200	200
	II	а	Малый	Темный	1000	200	300
		б	Малый	Средний	750	200	200
		в	Малый	Светлый	600	200	200
		г	Большой	Темный	400	200	200

1	2	3	4	5	6	7	8
Средней точности, размер объекта различения от 0,50 до 1,0 мм	IV	a	Малый	Темный	750	200	300
		б	Малый	Средний	500	200	200
		в	Малый	Светлый	400	200	200
			Средний	Средний			
		г	Средний	Светлый	—	—	200
			Большой	Светлый			
Большой	Средний						
Малой точности, размер объекта различения от 1 до 5 мм	V	a	Малый	Темный	400	200	300
		б	Малый	Средний	—	—	200
		в	Малый	Светлый	—	—	200
		г	Средний	Светлый	—	—	200
			Большой	Светлый			
Большой	Средний	Средний	—	—	200		
	Большой	Средний					
Грубая (очень малой точности), размер объекта различения более 5 мм	VI		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		—	—	200
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	VII		То же		—	—	200
Общее наблюдение за ходом производственного процесса:	VIII						
		— постоянное;	a	"	—	—	200
		— периодическое при постоянном пребывании людей в помещении;	б	"	—	—	75
		— периодическое при периодическом пребывании людей в помещении;	в	"	—	—	50
		— общее наблюдение за инженерными коммуникациями	г	"	—	—	20

Нормы освещенности зданий и сооружений для хранения сельскохозяйственной продукции, животноводческих и птицеводческих помещений [25]

Помещение, участок, оборудование	Рабочая поверхность	Плоскость*	Освещенность, лк		Дополнительные указания
			при газоразрядных лампах	при лампах накаливания	
1	2	3	4	5	6
А. Животноводческие здания и сооружения					
<i>а) для крупного рогатого скота молочного направления</i>					
Помещения для содержания коров и ремонтного молодняка:					
— зона кормления;	Пол, зона расположения кормушек	Г	75	30	Во время доения освещенность на вымени коровы должна быть не менее 150 лк
— стойла, секции, боксы	Пол	Г	50	20	
Помещения для содержания быков-производителей	Пол, зона расположения кормушек	Г	75	30	
Помещения родильного отделения:					
— для отела коров;	Пол	Г	150	100	

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
— для санитарной обработки коров;	Пол	Г	75	30	
— профилакторий для содержания телят	Пол	Г	100	50	
Телятники	Пол	Г	100	50	
<i>б) для крупного рогатого скота мясного направления</i>					
Денники и секции для коров-кормилиц с телятами	Пол	Г	75	30	
Помещения для до-ращивания молодняка	Пол	Г	50	20	
Помещения для от-корма молодняка (стойла, секции, боксы)	Пол	Г	50	20	
Помещения для са-нитарной обработки, сушки и взвешива-ния молодняка	Шкала прибо-ров	**	100	50	
<i>в) для свиней</i>					
Помещения для со-держания хряков-производителей, свиноматок, поросят	Пол	Г	75	30	
Помещения для со-держания отъемы-шей и ремонтного молодняка	Пол	Г	75	30	
Помещения для со-держания откормоч-ного поголовья	Пол	Г	50	20	
<i>г) для овец</i>					
Помещения для со-держания маток, ба-ранов, пробников, молодняка после от-бивки валухов	Пол	Г	—	30	

479

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
Тепляк с родильным отделением	Пол клетки	Г	100	50	
Открытый баз с кор-мовой площадкой	Земля	Г	—	10	
Помещения для стрижки овец	Стол, настил	Г	200	150	При комбини-рованном ос-вещении нор-мируемая ос-вещенность — 300 лк, в том числе от об-щего при: га-зоразрядных лампах — 150 лк, лампах накалива-ния — 50 лк
Помещения для выче-сывания пуха на козе-водческих фермах	Пол	Г	150	100	
<i>д) для лошадей</i>					
Помещение для со-держания племенных лошадей	Пол	Г	75	30	
Помещения для со-держания рабочих лошадей	Пол	Г	50	20	
Помещения для со-держания молодняка, манеж для запряжки, седловки и тренинга	Пол	Г	75	30	
Ванно-душевой ден-ник	Пол	Г	75	30	
Упрощенное помеще-ние для лошадей (за-гонный сарай) при та-бунном содержании	Пол	Г	—	20	

480

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
Навес коновязью, ба- зы-навесы	Земля	Г	—	10	
Б. Птицеводческие здания и сооружения					
Помещения для на- польного содержания кур промышленного стада	Пол	Г	75	30	Обеспечить регулирование интенсивности освещения в диапазоне 30–75 лк
Помещения для кле- точного содержания кур	Кормушки (на всех ярусах)	Г	75	30	То же
Помещения для со- держания родитель- ского стада кур	Пол	Г	75	30	То же
Помещения для вы- ращивания ремонт- ного молодняка	Пол	Г	75	30	То же в диа- пазоне 6–20–75 лк
Помещения для на- польного выращива- ния бройлеров	Пол	Г	75	30	То же в диа- пазоне 5–25–75 лк
Помещения для кле- точного выращива- ния бройлеров	Кормушки, поилки	Г	75	30	То же
Помещения для со- держания родитель- ского стада индеек	Пол	Г	75	30	То же в диапа- зоне 15–75 лк
Помещения для вы- ращивания ремонт- ного молодняка ин- деек	Пол	Г	75	30	То же
Помещения для на- польного выращива- ния индюшат на мясо	Пол	Г	75	30	То же в диапа- зоне 20–75 лк
Помещения для кле- точного выращива- ния индюшат на мясо	Кормушка, по- илка	Г	75	30	То же в диапа- зоне 30–75 лк

481

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
Помещения для вы- ращивания ремонт- ного молодняка и со- держания родитель- ского стада гусей	Пол	Г	75	30	То же в диа- пазоне 15–30–75 лк
Помещения для на- польного выращива- ния гусят на мясо	Пол	Г	75	30	То же в диа- пазоне 20–30–75 лк
Помещения для кле- точного выращива- ния гусят на мясо	Пол	Г	75	30	То же в диа- пазоне 20–30–75 лк
Помещения для со- держания родитель- ского стада уток	Пол	Г	75	30	То же в диа- пазоне 15–30–75 лк
Помещения для вы- ращивания ремонт- ного молодняка уток	Пол	Г	75	30	То же
Помещения для на- польного выращива- ния утят на мясо	Пол	Г	75	30	То же в диа- пазоне 5–30–75 лк
Помещения для кле- точного выращива- ния утят на мясо	Пол	Г	75	30	То же в диа- пазоне 5–30–75 лк
Помещения для со- держания родитель- ского стада цесарок	Пол	Г	75	30	То же в диа- пазоне 15–30–75 лк
Помещения для вы- ращивания цесарок на мясо	Пол	Г	75	30	То же в диа- пазоне 15–40–75 лк
Помещения для сор- тировки и обработки цыплят	Стол	Г	300	200	
Инкубаторий (инку- бационный зал)	Пол	Г	75	20	
В. Здания и сооружения для зверей и кроликов					
Помещения закрыто- го типа для содержа- ния кроликов	0,8 м от пола	Г	75	50	

482

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
Шеды всех типов	0,8 м от пола	Г	75	50	
Вольер для молодняка	Пол	Г	10	10	
Г. Здания, сооружения и помещения, общие для животноводческих, птицеводческих и звероводческих предприятий					
<i>а) пункты искусственного осеменения</i>					
Манеж, пункты искусственного осеменения животных	Станок	Г	200	150	При комбинированном освещении нормируемая освещенность — 400 лк, в том числе от общего при: газоразрядных лампах — 150 лк, лампах накаливания — 50 лк
Помещения со стойлами для передержки животных после осеменения	Стойла	Г	75	30	
<i>б) здания и помещения для доения, обработки и хранения молока</i>					
Преддоильные и последоильные площадки	Пол	Г	50	30	
Доильные залы и площадки	Зона работы оператора машинного доения	Г	200	150	При комбинированном освещении нормируемая освещенность — 300 лк, в том числе от общего при: газоразрядных лампах — 150 лк, лампах накаливания — 50 лк

483

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
Помещения для приема, хранения и первичной обработки молока, заквасочная, разливающая	Шкалы приборов и механизмов	Г	150	100	
Холодильные камеры	0,8 м от пола	Г	—	30	
Моечная фляг	Ванна	Г	150	100	
Цех расфасовки молока в бумажные пакеты	Расфасовочные автоматы	Г	150	100	При комбинированном освещении нормируемая освещенность — 300 лк, в том числе от общего при: газоразрядных лампах — 150 лк, лампах накаливания — 50 лк
<i>в) ветеринарные объекты</i>					
Кабинет врача, аптека	Стол	Г	200	150	
Манеж-приемная, диагностический кабинет	То же	Г	200	150	
Моечная-стерилизационная	Стол, раковина	Г	150	100	
Кладовая для биопрепаратов	0,5 м от пола	Г	100	50	
Помещения для убоя	Стол	Г	100	75	
Камера для временного хранения туш	0,8 м от пола	Г	—	30	
Утилизационная	Пол	Г	—	20	
Помещения для дезинфекции тары, одежды, транспортных средств	То же	Г	—	30	

484

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
Помещения для содержания больных животных	То же	Г	100	50	
<i>з) здания для приготовления корма</i>					
Помещения для приема и хранения кормов	То же	Г	—	20	
Участок для обработки и смешивания кормов	Поверхность бункера и смесителя	Г	150	100	
Варочное отделение	0,8 м от пола	Г	100	50	
Площадка для приема кормов	Земля	Г	5	5	В зоне механизмов повысить освещенность до 10 лк
<i>д) сооружения для обработки навоза</i>					
Отделение хлорации	Зона работы	Г	75	30	
Отделение аэрации и обезвоживания навоза, приемно-распределительная камера	Пол	Г	—	20	
<i>е) пункты переработки шкурок, шерсти (пуха)</i>					
Остывочная	0,8 м от пола	Г	—	20	
Шкуротъемочная и обезжировочная	То же	Г	200	150	
Помещения для съемки шкурок и обработки	Стол	Г	75	30	
Сушильное помещение	То же	Г	—	20	
Помещения для откатки шкурок по мездре и ворсу	То же	Г	150	100	
Сортировка шкурок, пуха	То же	Г	300	—	При комбинированном освещении нормируемая освещенность — 750 лк, в том числе от общего — 150 лк

485

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
Помещения для классировки и пресования шерсти	Стол, пресс	Г	200	150	
Помещения для хранения шерсти	Пол	Г	—	20	
Моечная, камера для дезинфекции яиц, участок для упаковки яиц	Зона работы, ванна, стол	Г	150	100	
Лаборатории различного назначения	0,8 м от пола	Г	300	150	
Помещения для сортировки, браковки и маркировки	Стол	Г	300	200	
Выгульные площадки	Земля	Г	0,5	0,5	Допускается прожекторное освещение
Выгульные кормовые площадки	Кормушка	Г	5	5	
Площадка приема и отгрузки животных	Земля	Г	10	10	
Весовые	Шкала весов	В	150	100	Допускается локализованное размещение светильников
Фуражные, помещения для хранения инвентаря, моющих и дезинфицирующих средств, запаса кормов и подстилки	Пол	Г	—	10	
Убойные разные (для звероводческих, кролиководческих, овцеводческих смушкового и каракулевого направления предприятий)	Стол	Г	100	75	

486

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
Галереи для прогона животных	Пол	Г	50	20	
Д. Здания и сооружения для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции					
Складские помещения для картофеля, овощей и фруктов	Пол проезда, прохода	Г	—	20	
Сортировочная	Зона работы	Г	200	150	
Вентиляционная, фумигационная камера	Пол	Г	50	20	
Экспедиции	Стол	Г	75	30	
Помещения для проращивания картофеля	Зона работы	Г	100	50	
Помещения для инвентаря и машин	Пол	Г	—	10	
Грузовые коридоры	Зона работы	Г	75	30	
Помещения для хранения аммиака	Пол	Г	—	20	
Складские помещения для зерна (зерносклады)	То же	Г	—	5	В зоне действия механизмов — 20 лк
Производственные помещения для обработки зерна	То же	Г	—	10	То же
Е. Тепличные предприятия					
Помещения для изготовления питательных кубиков и торфоперегнойных горшков	Зона обслуживания машин и механизмов	Г	75	30	
Помещения для хранения лука, корнеплодов на выгон семян	Пол	Г	50	20	

487

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6
Помещения для проращивания семян	То же	Г	75	30	Обеспечить световое облучение в соответствии с требованиями технологии проращивания семян
Экспедиции (упаковочные, сортировочные)	Стол	Г	75	30	
Помещения (боксы) выдачи продукции	То же	Г	75	30	
Ж. Склады сухих минеральных удобрений и химических средств защиты					
Складские помещения для удобрений и ядохимикатов	Пол	Г	—	10	

* Плоскость, на которой нормируется освещенность: Г — горизонтальная, В — вертикальная.

** Плоскость расположения шкалы приборов.

488

Приложение 16

Продолжение табл.

Нормируемые значения освещенности общепромышленных помещений и сооружений [16, 32, 35]

Помещения и производственные участки, оборудование, сооружения	Поверхность и плоскость нормирования (Г — горизонтальная, В — вертикальная)	Нормируемая освещенность, лк			Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, % не более
		при общем освещении	при комбинированном освещении			
			всего	от общего		
1	2	3	4	5	6	7
Ремонтно-механические участки:						
1. Слесарно-механические (металлорежущих станков, слесарных и лекальных работ, разметочных плит и контроля)	Г, 0,8 м от пола	500	2000	200	20	10
2. Инструментальные и шлифовально-заточные	Г, 0,8 м от пола	750	2500	300	20	10
3. Сборочные и сборочно-монтажные	Г, 0,8 м от пола	300	1000	200	40	15
4. Заготовительные	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20
5. Кузнечные и термические	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20
6. Сварочных и сварочно-наплавных	Г, пол	200	—	—	40	20
7. Медницкие и жестяницкие	Г, 0,8 м от пола	200	500	200	40	20

1	2	3	4	5	6	7
Участки по обслуживанию автомобилей:						
8. Мойки и уборки, расположенные:						
а) вне зданий	Г, покрытие	10	—	—	—	—
б) в помещениях	Г, пол	150	—	—	40	20
9. Мойки агрегатов, узлов и деталей	Г, места загрузки и выгрузки	150	—	—	40	20
10. Ремонта и технического обслуживания	Г, пол; В, на машине	300	400	200	40	20
11. Моторные, агрегатные, механические, карбюраторные и др.	Г, 0,8 м от пола	300	750	200	40	20
12. Кузовные, столярные и обойные	Г, 0,8 м от пола	300	500	200	40	20
13. Кузнечно-рессорные и сварочно-жестяницкие	Г, 0,8 м от пола	200	500	200	40	20
14. Шиномонтажные и шиномремонтные	Г, 0,8 м от пола	300	400	200	40	20
15. Диагностирования автомобилей	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20
16. Ремонта электрооборудования	Г, 0,8 м от пола	300	—	—	40	20
	Г, верстак, стенд	—	750	200	—	20
17. Слесарно-механические	Г, 0,8 м от пола	300	—	—	20	20

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
18. Агрегатные:						
а) легковых автомобилей	Г, 0,8 м от пола	300	—	—	40	20
	Г, верстак	300	750	200	—	20
б) грузовых автомобилей и автобусов	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20
19. Окрасочные:						
а) легковых автомобилей	Г, В, кузов автомобиля	300	—	—	40	15
б) грузовых автомобилей и автобусов		200	—	—	40	20
20. Сушки автомобилей и автобусов	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	—	—
	Г, верстак	200	400	200	—	20
21. Подъемники*	Г, днище машины	150	—	—	40	20
22. Осмотровые каналы в помещении и вне зданий*	Г, днище машины	200	—	—	—	—
23. Открытые стоянки, площадки для хранения подвижного состава:						
а) без подогрева	Г, на покрытии	2	—	—	—	—
		5	—	—	—	—
б) с электрическим, газовым и другими видами подогрева						
24. Помещения закрытого хранения подвижного состава	Г, пол	50	—	—	—	—

491

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
Помещения для электрокар и электрогрузчиков						
25. Стоянки и зарядки	Г, пол	200	—	—	40	20
26. Зарядных агрегатов, электролитные, дисцилляторные	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20
27. Ремонта электрокар и электрогрузчиков	Г, пол	200	500	200	40	20
28. Осмотровые каналы в помещении и вне зданий*	Г, днище машины	200	—	—	—	—
Окрасочные участки						
29. Склады, кладовые масел и лакокрасочных материалов:						
а) с розливом на складе	Г, пол	75	—	—	—	—
б) без розлива на складе	Г, пол	50	—	—	—	—
30. Краскоприготовительные**	Г, 0,8 м от пола	300	—	—	40	15
	Г, верстак, краскомешалка		1000	200		20
31. Подготовка изделий для покраски (защитка поверхностей, шпатлевка, грунтовка) для лакокрасочных покрытий:						

492

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
а) I класса ($K_{II} \leq 10\%$)	Г и В окрашиваемых изделий	300	1000	200	40	15
б) II и III классов ($K_{II} \leq 15\%$)		200	500	200	40	20
в) IV и V классов ($K_{II} \leq 20\%$)		200	—	—	40	20
г) VI и VII классов ($K_{II} \geq 20\%$)		200	—	—	40	20
32. Окрасочные, в том числе при бескамерной окраске распылением, для лакокрасочных покрытий:	Г и В окрашиваемых изделий					
а) I класса ($K_{II} \leq 10\%$)		750	3000	300	20	10
б) II и III классов ($K_{II} \leq 15\%$)		300	1000	200	40	15
в) IV и V классов ($K_{II} \leq 20\%$)		200	500	200	40	20
г) VI и VII классов ($K_{II} \geq 20\%$)		200	—	—	40	20
Участки деревообрабатывающих предприятий						
33. Лесопильные:						
а) с лесопильными рамами, обрезными станками, станками для торцовки плит	Г, 0,8 м от пола	200	400	200	40	20
б) отделения переработки и транспортировки отходов	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20

493

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
34. Сортировочные:						
а) места браковки и сортировки	Г, доска	200	600	200	20	15
б) транспортер для разборки досок по сортам	Г, доска	200	—	—	40	20
35. Склад пиломатериалов	Г, пол	200	—	—	40	20
36. Цех сушильный	Г, пол	200	—	—	40	20
37. Заготовительные (станочные)	Г, 0,8 м от пола	200	750	200	40	15
38. Столярно-сборочные	Г, 0,8 м от пола	200	400	200	40	16
39. Сборки и изготовления тары	Г, пол	200	—	—	40	20
40. Плотницкие	Г, пол	200	—	—	40	20
41. Раскроя и склеивания фанеры	Г, плита	200	500	200	40	20
42. Изготовления фронтонов, панелей крыши, элементов стен и перекрытий	Г, деталь	200	—	—	40	20
43. Изготовления деталей каркаса, панелей и отделки	Г, деталь	200	400	200	40	15

494

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
44. Склады готовой продукции, промежуточного складирования и выдержки***	Г, пол	200	—	—	40	20
45. Приготовление клея	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20
46. Пилоножечные	Г, 0,8 м от пола	200	500	200	40	20
Склады (кладовые)						
47. Химикатов, карбида кальция, кислот, щелочей и т. п.	Г, пол	50	—	—	—	—
48. Громоздких предметов и сыпучих материалов (песка, цемента и т. п.)	Г, пол	75	—	—	—	—
49. Металла, запасных частей, ремонтного фонда, готовой продукции, деталей, ожидающих ремонта, инструментальные	Г, пол	75	—	—	—	—
50. Грузоподъемные механизмы (кранбалки, тельферы, мостовые краны и т. п.):						

495

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
— в помещении	Г, В, пульт управления	50	—	—	—	—
	В, крюк крана, площадки приема и подачи материалов	50	—	—	—	—
— вне зданий	Г, В, пульт управления	30	—	—	—	—
	В, крюк крана	10	—	—	—	—
	Г, площадки приема и подачи материалов	10	—	—	—	—
51. Сливноналивные эстакады	Г, пол площадки	5	—	—	—	—
	Г, горловина цистерны	20	—	—	—	—
Электроремонтные участки						
52. Изготовления изоляционных материалов и деталей	Г, 0,8 м от пола	200	500	200	40	20
53. Изготовления обмоток (намотки катушечных групп, изоляции секций)	Г, В, 0,8 м от пола	300	750	200	40	15
54. Укладки обмоток	Г, В, 0,8 м от пола	300	750	200	40	15
55. Пропитки и компаудирования	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20
56. Сушки изоляционных материалов и деталей	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20

496

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
57. Сборочные (узловой сборки, генеральной сборки, испытания)	Г, 0,8 м от пола	300	1000	200	40	15
58. Ремонт низковольтной аппаратуры	Г, 0,8 м от пола	300	750	200	40	15
59. Ремонт трансформаторов	Г, пол	300	400	200	40	20
60. Ремонт аппаратов и приборов	Г, 0,8 м от пола	600	2500	300	10	10
Электропомещения						
61. Распределительных устройств, электрощитовые с периодическим пребыванием людей	Г, 0,8 м от пола	150	—	—	40	20
	Г, В, 1,5 м, панели, пульта управления, шкалы приборов	150	—	—	40	20
	В, 1,5 м, задняя сторона щита	50	—	—	—	—
62. Пульты и щиты управления:						
а) с измерительной аппаратурой	Г, 0,8 м от пола, В, 1,5 м, шкалы приборов	150	—	—	—	20
б) без измерительной аппаратуры	Г, 0,8 м от пола, В, 1,5 м, рычаги, рукоятки, кнопки	150	—	—	—	20
в) вне зданий	В, 1,5 м, рычаги, рукоятки, кнопки	50	—	—	—	—

497

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
63. Отдельно стоящие приборы контроля в помещениях:						
а) с постоянным наблюдением	Г, В, шкала приборов	200	—	—	—	20
б) с периодическим наблюдением	Г, В, шкала приборов	150	—	—	—	20
в) вне зданий	Г, В, шкала приборов	50	—	—	—	—
64. Размещения трансформаторов, статических конденсаторов	В, 1,5 м	75	—	—	—	—
	То же	75	—	—	—	—
65. Электрощитовые в жилых и общественных зданиях	То же	75	—	—	—	—
66. Электромашинные помещения с периодическим пребыванием людей	Г, 0,8 м от пола; В, 1,5 м на щитах	150	—	—	40	20
Котельные						
67. Площадки обслуживания котлов	В, на топках, затворках, питателях	200	—	—	40	20
68. Площадки и лестницы котлов и экономайзеров, проходы за котлами	Г, пол	50	—	—	—	—

498

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
69. Помещения дымососов, вентиляторов, бункерное отделение	Г, 0,8 м от пола	150	—	—	40	20
70. Помещения конденсационной, химводоочистки, деаэрационной, бойлерной, зольное	Г, пол	75	—	—	—	—
71. Помещения топливоподачи	Г, 0,8 м от пола	150	—	—	40	20
72. Надбункерные помещения	Г, 0,8 м от пола	50	—	—	—	—
73. Помещения генераторных	Г, пол	50	—	—	—	—
74. Участки расположения запорной и регулирующей аппаратуры:	В, на топках, задвижках, вентилях, клапанах и т. д.					
а) в помещениях		75	—	—	—	—
б) вне зданий		30	—	—	—	—
Участки водоснабжения, канализации и компрессорных установок						
75. Водоприемные установки	Г, пол	75	—	—	—	—
76. Помещения насосов	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20
77. Помещения трубопроводов	Г, пол	50	—	—	—	—
78. Водонапорная башня	Г, пол	50	—	—	—	—

499

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
79. Помещения резервуаров для очистки воды	Г, 0,8 м от пола	75	—	—	—	—
80. Реагентное отделение, хлораторная и аммонизаторная	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20
81. Компрессорные и воздухоудувные	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20
82. Вентиляционные помещения и установки:						
а) камеры вытяжных и приточных вентиляторов	Г, 0,8 м от пола	50	—	—	—	—
б) отсеки для калориферов и фильтров	Г, 0,8 м от пола	20	—	—	—	—
83. Помещения для кондиционеров и насосов, тепловые пункты*	Г, 0,8 м от пола	150	—	—	40	20
Помещения инженерных сетей и прочие технические помещения						
84. Машинные залы насосных, компрессорных и воздухоудувных*:	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20
а) с постоянным дежурством персонала						
	В, на шкалах приборов контроля	150	—	—	—	20
	Г, стол машиниста	200	400	200	—	20

500

1	2	3	4	5	6	7
б) без постоянного дежурства персонала	Г, 0,8 м от пола	150	—	—	40	20
	В, на шкалах приборов контроля	150	—	—	—	20
85. Компрессорные (станции, помещения, залы)*:						
а) с постоянным дежурством персонала	Г, 0,8 м от пола	200	—	—	40	20
	В, на шкалах приборов, щите управления	150	—	—	—	20
	Г, стол машиниста	200	400	200	—	20
б) без постоянного дежурства персонала	Г, 0,8 м от пола	150	—	—	60	20
	В, на шкалах приборов, щите управления	150	—	—	—	20
86. Помещения инженерных сетей (галереи и тоннели, транспортеры, конвейеры, кабельные, теплофикационные, водопроводные и др.)	Г, пол	20	—	—	—	—

* Предусмотреть розетки для переносных светильников.

** Использовать лампы типа ЛДЦ.

*** Предусмотреть размещение светильников в местах комплектации.

Нормируемые показатели освещения некоторых помещений общественных зданий и сооружений [16, 32, 35]

Помещения	Нормируемая освещенность, лк	при комбинированном освещении	при общем освещении	Цилиндрическая освещенность, лк	Показатель дискомфорта, не более	Коэффициент пульсации, %, не более
1	2	3	4	5	6	7
Общеобразовательные школы и школы-интернаты						
1. Классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты, лаборатории, лаборантские:						
а) на доске (середина)	В, на доске	—	500	—	—	15
б) на рабочих столах и партах	Г, 0,8 м от пола	—	500	—	40	15
2. Кабинеты технического черчения и рисования	В, на доске; Г, 0,8 м от пола	—	500	—	40	10
3. Кабинеты информатики и вычислительной техники	В, 1,2 м от пола на экранах дисплеев; Г, 0,8 м от пола на столах, партах	500	400	—	25	10
4. Лингафонные кабинеты	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20
5. Мастерские по обработке металлов и древесины	Г, 0,8 м от пола на верстаках и рабочих столах	1000	500	—	40	15
6. Кабинеты обслуживающих видов труда для девочек:						

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
а) по обработке тканей (шитье)	Г, 0,8 м от пола	—	500	—	40	10
б) кулинария	Г, 0,8 м от пола	—	300	—	40	15
7. Инструментальная, комната мастера, инструктора	Г, 0,8 м от пола	—	300*	—	40	15
8. Спортивные залы	Г, пол; В, 2 м от пола с обеих сторон на продольной оси помещения	—	75	—	—	—
9. Снарядные, инвентарные, хозяйственные кладовые	Г, 0,8 м от пола	—	75	—	—	—
10. Крытые бассейны	Г, на поверхности воды	—	300	—	60	20
11. Актзовые залы, киноаудитории	Г, 0,8 м от пола	—	200	75	90	—
12. Эстрады актовых залов	В, 1,5 м от пола	—	300	—	—	—
13. Кабинеты и комнаты преподавателей	Г, 0,8 м от пола	—	300	—	40	15
Библиотеки						
14. Читальные залы	Г, 0,8 м от пола	400	300	100	40	15
15. Помещения записи и регистрации читателей	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20
16. Читательские каталоги	В, фронт карточек	—	200	—	60	20
17. Помещения тематических выставок новых поступлений	Г, 0,8 м от пола	—	200	75	60	—
18. Помещения для работы с дисплеями и видеотерминалами, дисплейные залы	В, 1,2 м от пола на экранах дисплеев; Г, 0,8 м от пола на рабочих столах	500	400	—	25	10
19. Переплетно-брошюровочные	—	—	200	—	60	20
20. Помещения для электрофотографирования, светокопирования и микрофотографирования	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
Кинотеатры, клубы						
21. Зрительные залы клубов	Г, 0,8 м от пола	—	200	75	90	—
22. Выставочные залы	Г, 0,8 м от пола	—	200	75	60	—
23. Зрительные залы кинотеатров	Г, 0,8 м от пола	—	75	—	90	—
24. Фойе кинотеатров, клубов	Г, пол	—	150	50	90	—
25. Комнаты кружков	Г, 0,8 м от пола	—	300	—	40	15
26. Киноаппаратные, звукоаппаратные, светоаппаратные	Г, 0,8 м от пола	—	150	—	60	20
27. Артистическая, примерная	на лице человека у зеркала	—	200*	—	40	15
Детские дошкольные учреждения						
28. Приемные	Г, 0,8 м от пола	—	300	—	25	15
29. Раздевательные	Г, пол	—	300	—	60	15
30. Групповые с зонами отдыха, игральные, столовые, комнаты для музыкальных и гимнастических занятий	Г, 0,5 м от пола	—	300	—	25	15
31. Спальные, веранды	Г, 0,5 м от пола	—	150	—	25	15
32. Изоляторы, комнаты для заболевших детей	Г, 0,5 м от пола	—	150	—	25	15
Предприятия общественного питания						
33. Обеденные залы, буфеты	Г, 0,8 м от пола	—	200	75	60	20
34. Раздаточные	Г, 0,8 м от пола	—	300	—	40	15
35. Горячие, холодные, доготовочные и заготовочные цехи	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20
36. Моечные кухонной и столовой посуды, помещения для резки хлеба, помещения заведующего производством	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20
37. Кондитерские цехи и помещения для мучных изделий	Г, 0,8 м от пола	—	300	—	40	15
38. Моечные тары полуфабрикатов	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
39. Помещения для персонала	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20
40. Экспедиции	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	—
41. Загрузочные, кладовые тары	Г, 0,8 м от пола	—	75	—	—	—
Предприятия бытового обслуживания						
42. Бани:						
а) ожидальные-остывочные	Г, 0,8 м от пола	—	150	—	90	20
б) раздевальные	Г, 0,8 м от пола	—	75	—	—	—
в) моечные, душевые	Г, пол	—	75	—	—	—
г) бассейны	Г, пол	—	100	—	—	—
д) парильные	Г, пол	—	75	—	—	—
43. Парикмахерские	Г, 0,8 м от пола	500	400	—	40	10
44. Фотографии						
а) салоны выдачи заказов	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20
б) съемочный зал фотоателье	Г, 0,8 м от пола	—	100	—	—	20
в) фотолаборатории, помещения для приготовления растворов и регенерации серебра	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20
г) помещения для ретуши	Г, 0,8 м от пола	1000	300	—	40	10
45. Прачечные:						
а) отделения приема и выдачи белья	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20
б) отделение механической стирки и приготовления растворов	Г, пол	—	200	—	60	20
в) хранение стиральных материалов	Г, пол	—	50	—	—	—
г) механические сушильно-гладильные отделения	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	15
д) отделения разборки, починки и упаковки белья	Г, 0,8 м от пола	—	300	—	40	15
46. Прачечные с самообслуживанием	Г, пол	—	200	—	60	20
47. Ателье химической чистки:						
а) салон приема и выдачи одежды	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20

505

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
б) помещение химической чистки	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20
в) отделение выведения пятен	Г, 0,8 м от пола	2000	500	—	40	15
г) помещение для хранения химикатов	Г, 0,8 м от пола	—	75	—	—	—
48. Ателье изготовления и ремонта одежды:						
а) пошивочные цехи	Г, 0,8 м от пола	2000	—	—	20	10
б) закройные отделения	Г, 0,8 м от пола	—	750	—	20	10
в) отделения ремонта одежды	Г, 0,8 м от пола	2000	—	—	20	10
г) отделения подготовки прикладных материалов	Г, 0,8 м от пола	—	300	—	40	20
д) отделения ручной и машинной вязки	Г, 0,8 м от пола	—	500	—	40	10
е) уютные, декоративные	Г, 0,8 м от пола	—	300	—	40	20
49. Пункты проката:						
а) помещения для посетителей	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20
в) кладовые	Г, 0,8 м от пола	—	150	—	—	—
50. Ремонтные мастерские:						
а) изготовление и ремонт головных уборов, скорняжные работы	Г, 0,8 м от пола	2000	—	—	40	10
б) ремонта обуви и галантереи, металлоизделий, изделий из пластмассы, бытовых электроприборов	Г, 0,8 м от пола	2000	—	—	40	10
в) ремонта часов, ювелирные и граверные работы	Г, 0,8 м от пола	3000	—	—	20	10
г) ремонт фото-, кино-, радио- и телеаппаратуры	Г, 0,8 м от пола	2000	—	—	20	10
Жилые дома						
51. Жилые комнаты, кухни	Г, 0,8 м от пола	—	100	—	—	—
52. Коридоры, ванные, туалеты	Г, пол	—	50	—	—	—
53. Общедомовые помещения:						

506

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
а) вестибюли жилых зданий	Г, пол	—	30	—	—	—
б) поэтажные коридоры и лифтовые холлы жилых зданий	Г, пол	—	20	—	—	—
в) лестницы и лестничные площадки жилых зданий	Г, пол, площадки, ступени	—	10	—	—	—
Гостиницы						
54. Бюро обслуживания	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20
55. Помещения дежурного обслуживающего персонала	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20
56. Гостиные	Г, 0,8 м от пола	—	150	—	90	—
57. Номера	Г, 0,8 м от пола	—	100*	—	—	—
Бытовые здания и помещения предприятий						
58. Санитарно-бытовые помещения:						
а) умывальные, туалет, курительные	Г, пол	—	75	—	—	—
б) душевые, гардеробные, помещения для сушки, обеспыливания и обезвреживания одежды и обуви, помещения для обогрева работающих	Г, пол	—	50	—	—	—
59. Здравпункты:						
а) ожидальные	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	15
б) регистратура, комнаты дежурного персонала, кабинет заведующего	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	15
в) кабинеты врачей, перевязочные	Г, 0,8 м от пола	—	300	—	15	15
г) процедурные кабинеты	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	25	15
д) автоклавные, кладовые перевязочных и лекарственных средств	Г, 0,8 м от пола	—	150	—	—	—
д) ингалятории	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	25	15
ж) помещения для личной гигиены женщин	Г, 0,8 м от пола	—	75	—	—	—

507

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
Здания управления						
60. Кабинеты и рабочие комнаты	Г, 0,8 м от пола	400	300	—	60	15
61. Машинописные и машиносчетные бюро	Г, 0,8 м от пола	500	400	—	40	10
62. Конференц-залы, залы заседаний	Г, 0,8 м от пола	—	200	75	60	15
63. Кулуары (фойе)	Г, пол	—	150	50	90	—
Лаборатории						
64. Лаборатории (химии, термические, спектрографические, стилометрические, микроскопные, фотометрические, рентгеноструктурного анализа, механические и радиоизмерительные, электронных устройств), препараторские	Г, 0,8 м от пола	500	400	—	40	10
65. Аналитические лаборатории	—	600	500	—	40	10
66. Весовые, термостатные	Г, 0,8 м от пола	400	300	—	60	15
67. Дисциплинарные, фотокомнаты, стеклодувные	Г, 0,8 м от пола	—	200	—	60	20
68. Архив проб, хранение реактивов	В, 1,0 м от пола	—	100	—	60	—
69. Моечные	—	—	300	—	40	15
Прочие помещения производственных, вспомогательных и общественных зданий						
70. Помещения дежурного персонала	Г, 0,8 м от пола	—	150*	—	60	20
71. Вестибюли и гардеробные уличной одежды:						
а) в заведениях образования, клубах, общежитиях и главных входах на крупные промышленные предприятия, вспомогательные и общественные здания	Г, пол	—	150	—	—	—

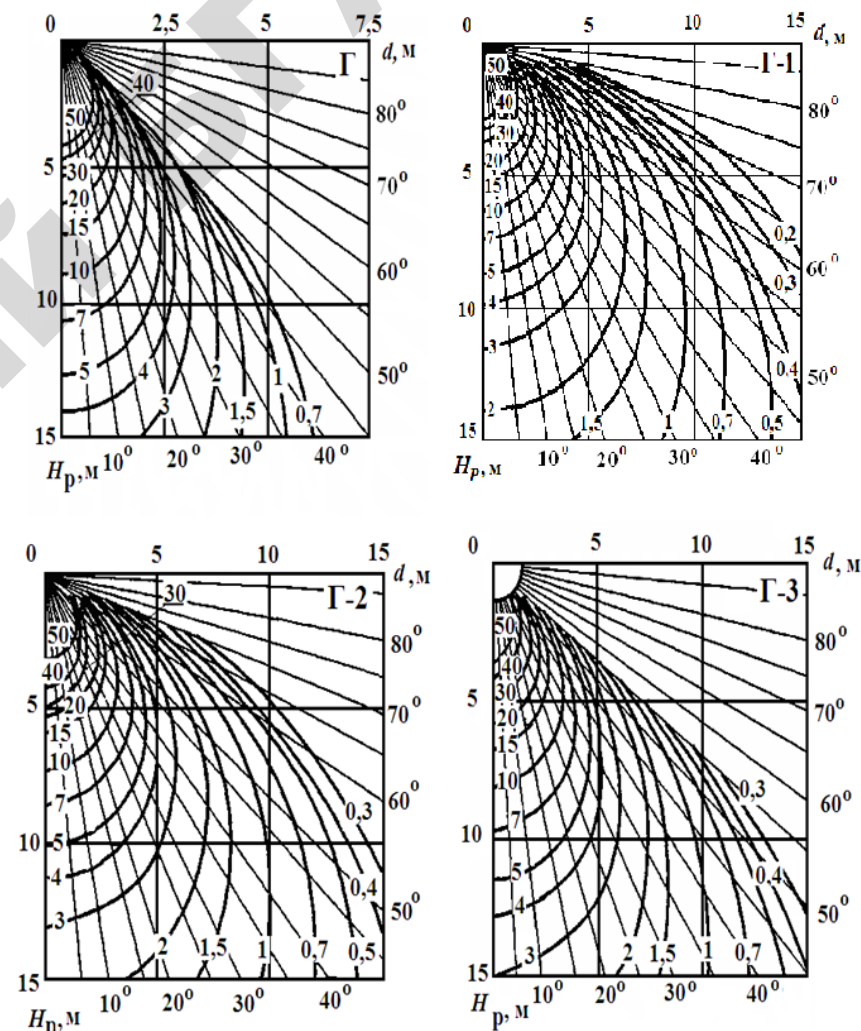
508

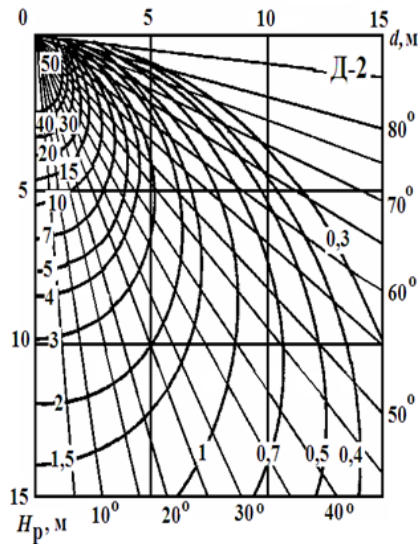
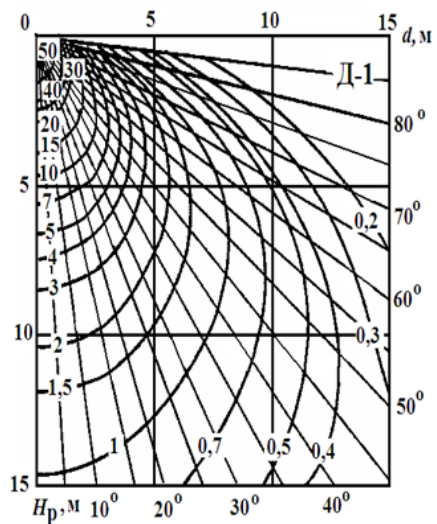
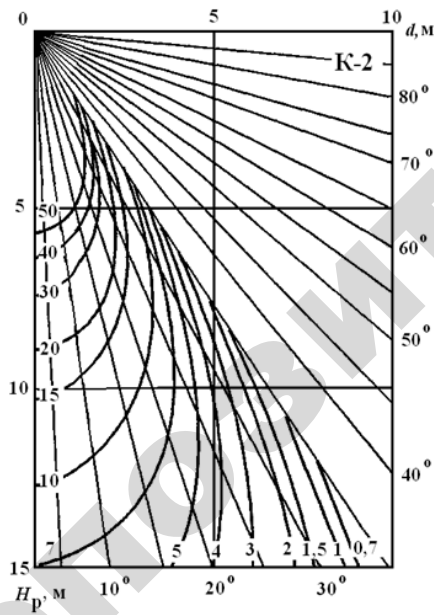
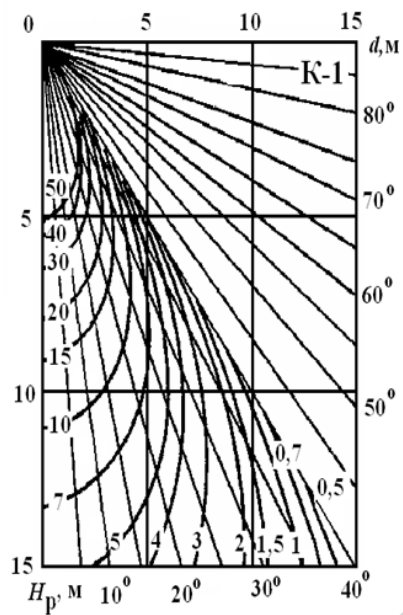
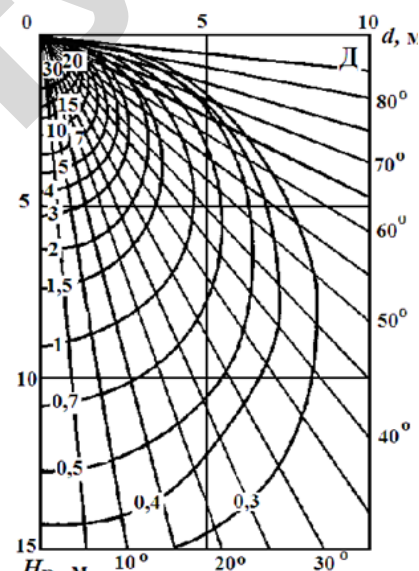
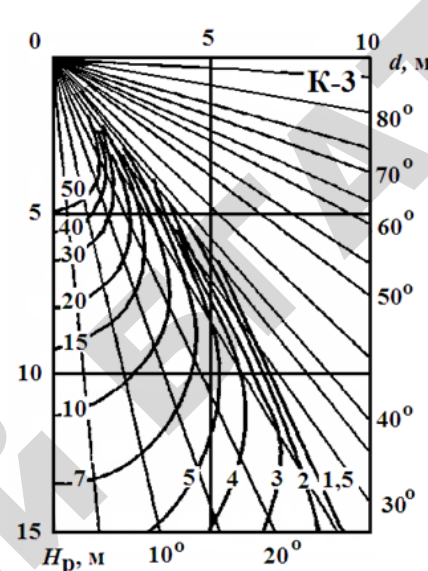
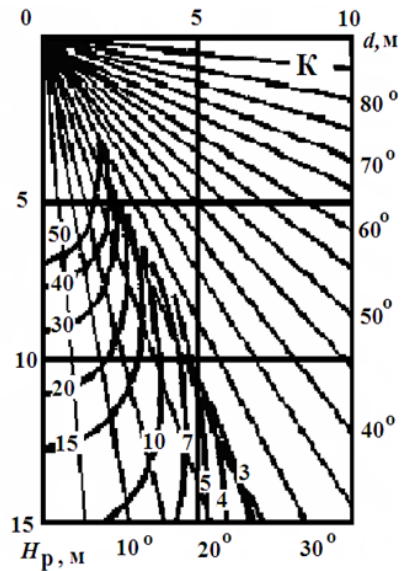
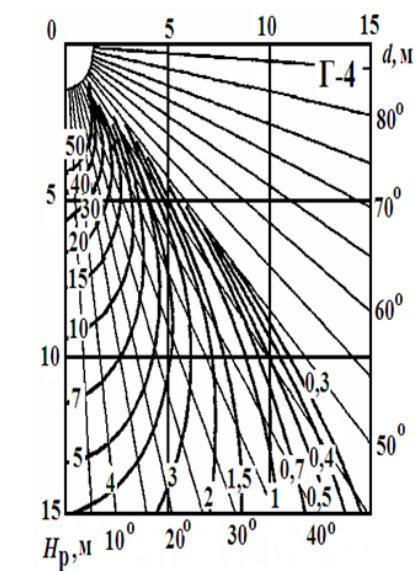
1	2	3	4	5	6	7
б) в прочих промышленных, вспомогательных и общественных зданиях	Г, пол	—	75			
72. Лестницы:						
а) главные лестничные проходы промышленных, вспомогательных и общественных зданий	Г, пол (площадки, ступени)	—	100			
б) прочие лестничные проходы	Г, пол	—	50			
73. Лифтовые холлы в общественных, производственных, административных и бытовых зданиях	Г, пол	—	75			
74. Коридоры и проходы:						
а) главные коридоры и проходы	Г, пол	—	75			
б) прочие коридоры и проходы	Г, пол	—	50			
75. Машинные отделения лифтов и помещения для фреоновых установок	Г, 0,8 м от пола	—	30**			
76. Остальные проходы в технических этажах, подвалах и чердаках	Г, пол	—	10**			
77. Чердаки	Г, пол	—	5**			

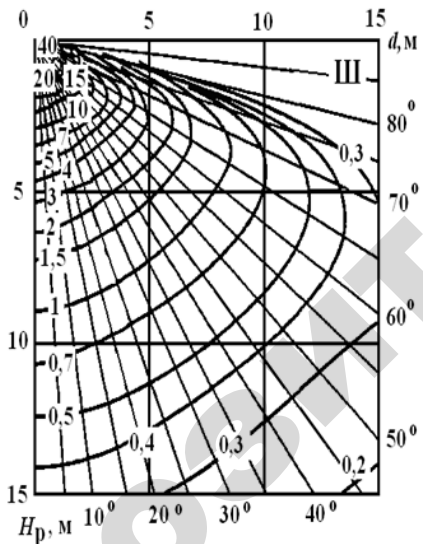
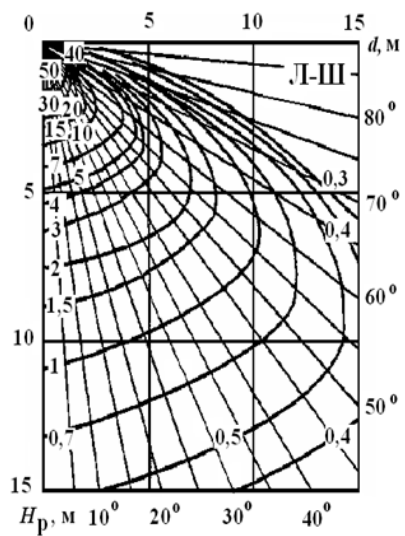
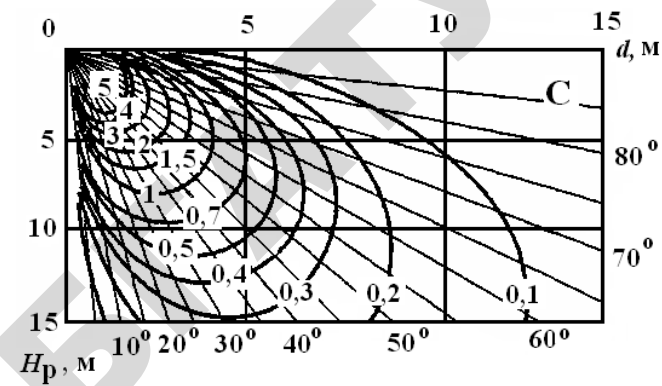
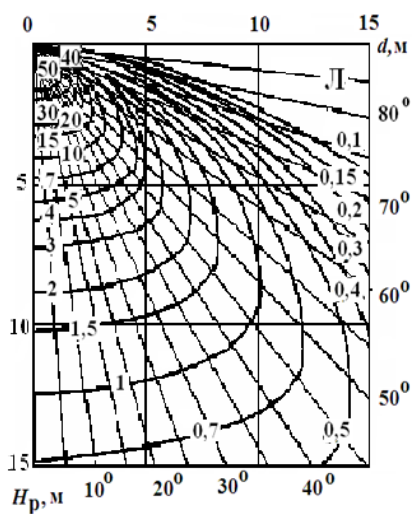
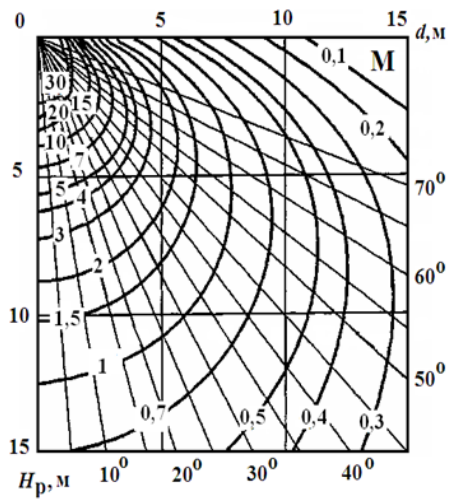
* Для местного освещения предусмотреть розетки.

** Нормы для ламп накаливания.

Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности для светильников круглосимметричного светораспределения с типовыми и детализированными кривыми силы света, лк

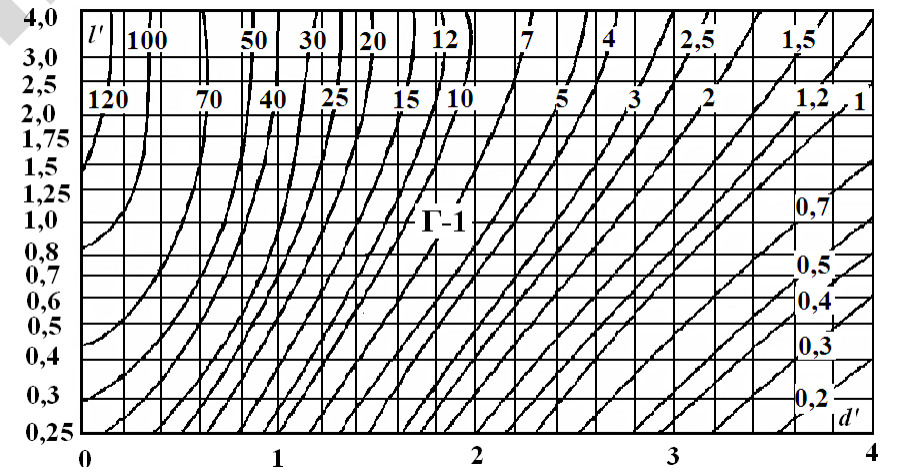
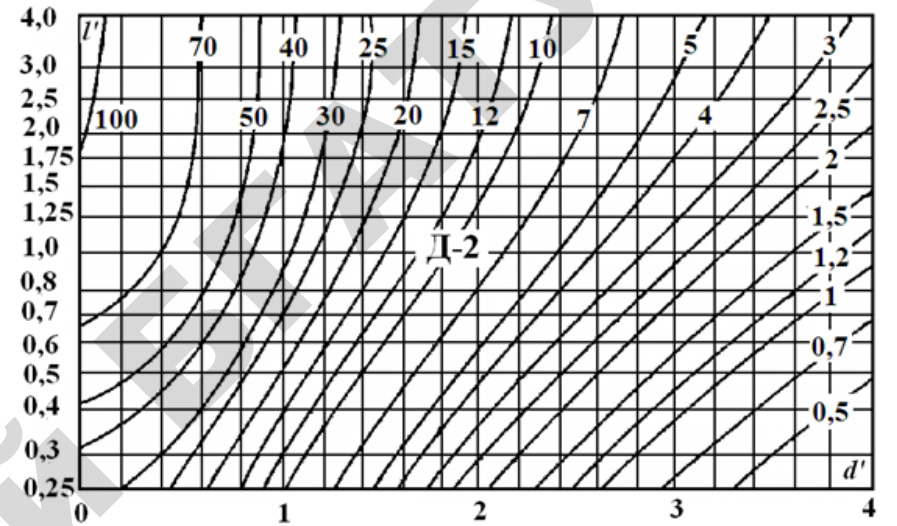
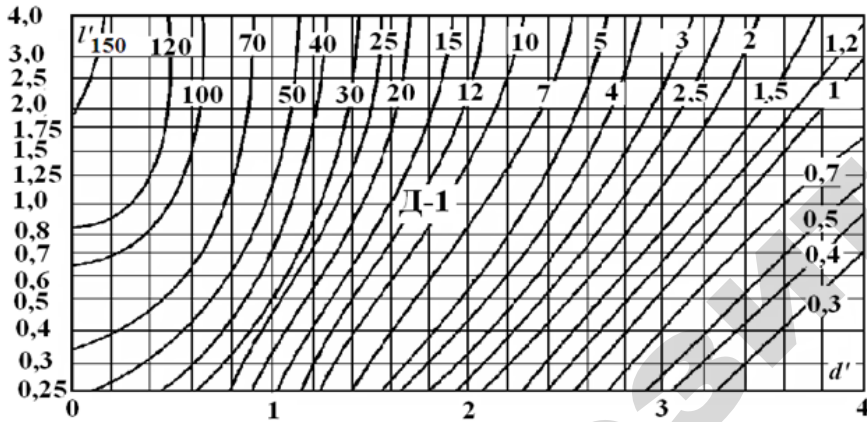
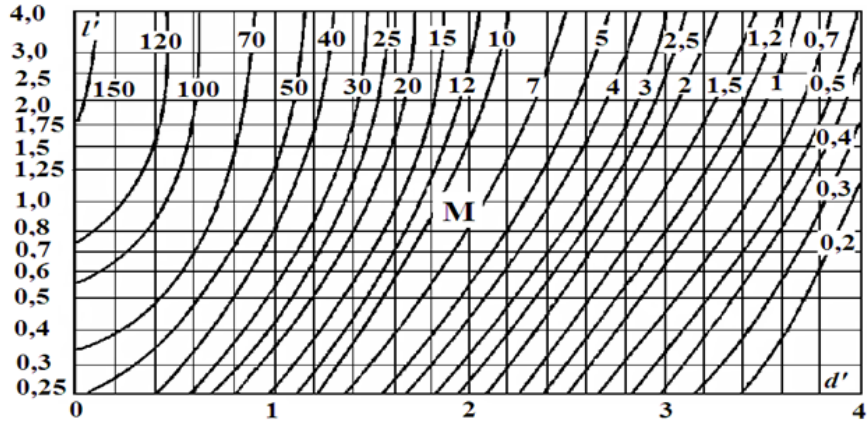






Приложение 19

Линейные изолюксы условной горизонтальной освещенности
для светильников с детализированными кривыми силы света, лк



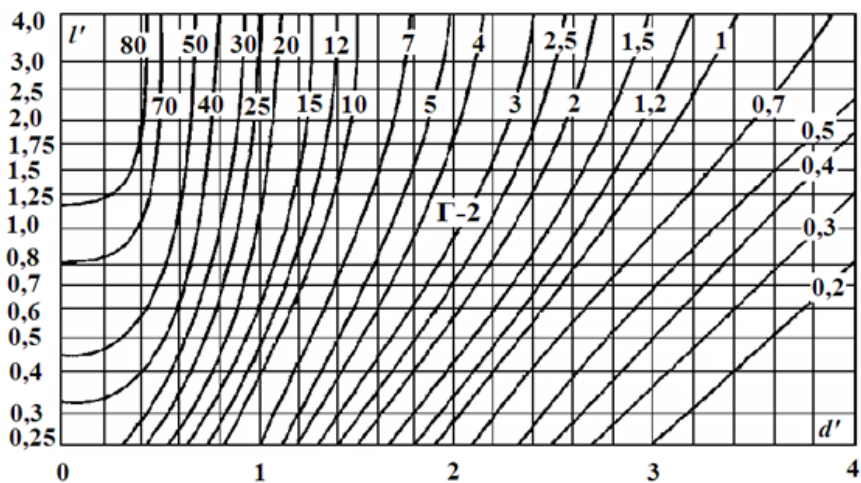


Таблица П20.1

Значения коэффициентов использования светового потока осветительных установок для светильников с детализированными типами КСС и зональных множителей для верхней полусферы

Тип кривой силы света	$\rho_{\text{П}} = 70, \rho_{\text{С}} = 50, \rho_{\text{Р}} = 30 (\%)$					$\rho_{\text{П}} = 70, \rho_{\text{С}} = 50, \rho_{\text{Р}} = 10 (\%)$						
	Индекс помещения, i											
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
	Коэффициент использования светового потока $\eta, \%$											
М	35	50	61	73	85	95	34	47	56	66	75	86
Д-1	36	50	58	72	81	90	36	47	56	63	73	79
Д-2	44	52	68	84	93	103	42	51	64	76	84	84
Г-1	49	60	75	90	101	106	48	57	71	82	89	94
Г-2	58	68	82	96	102	109	55	64	78	86	92	96
Г-3	64	74	85	95	100	105	62	70	79	86	90	93
Г-4	70	77	84	90	94	99	65	71	78	83	86	87
К-1	74	83	90	96	100	106	69	76	83	88	91	92
К-2	75	84	95	104	108	115	71	78	87	95	97	100
К-3	76	85	96	106	110	116	73	80	90	94	99	102
Л	32	49	59	71	83	91	31	46	55	65	74	83
	Зональные множители для верхней полусферы, отн. ед.											
$K_{\text{П.Р}}$	0,30	0,38	0,49	0,60	0,68	0,75	0,28	0,36	0,46	0,54	0,60	0,66
$K'_{\text{П.Р}}$	0,24	0,31	0,43	0,55	0,64	0,73	0,22	0,29	0,41	0,50	0,57	0,64

Тип кривой силы света	$\rho_{П} = 70, \rho_{С} = 30, \rho_{Р} = 10 (\%)$					$\rho_{П} = 50, \rho_{С} = 50, \rho_{Р} = 30 (\%)$						
	Индекс помещения, i											
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
Коэффициент использования светового потока $\eta, \%$												
М	26	36	46	56	67	80	32	45	55	67	74	84
Д-1	28	40	49	59	68	74	36	48	57	66	76	85
Д-2	33	43	56	74	80	76	42	51	65	71	90	85
Г-1	42	52	69	78	73	76	45	56	65	78	76	84
Г-2	48	60	73	84	90	94	55	66	80	92	98	103
Г-3	57	66	76	84	83	91	63	72	83	91	96	100
Г-4	62	69	76	81	84	85	68	73	81	87	91	94
К-1	65	73	81	86	89	90	70	78	86	92	96	100
К-2	67	75	84	93	97	100	72	80	91	99	103	108
К-3	68	77	86	95	98	101	74	83	93	101	106	110
Л	24	40	50	62	71	77	32	47	57	69	79	90

Тип кривой силы света	$\rho_{П} = 50, \rho_{С} = 50, \rho_{Р} = 10 (\%)$					$\rho_{П} = 50, \rho_{С} = 30, \rho_{Р} = 10 (\%)$						
	Индекс помещения, i											
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
Коэффициент использования светового потока $\eta, \%$												
М	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75
Д-1	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73
Д-2	40	48	61	74	92	84	33	42	52	69	75	86
Г-1	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88
Г-2	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93
Г-3	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90
Г-4	65	71	78	81	84	85	62	68	74	81	83	85
К-1	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90
К-2	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99
К-3	72	79	88	94	97	99	68	76	85	93	95	99
Л	30	45	55	65	70	78	24	40	49	60	70	76
Зональные множители для верхней полусферы, отн. ед.												
$K_{н.р}$	—	—	—	—	—	—	0,16	0,21	0,28	0,35	0,40	0,44
$K'_{н.р}$	—	—	—	—	—	—	0,11	0,16	0,24	0,31	0,36	0,42

Тип кривой силы света	$\rho_{Л} = 30, \rho_{С} = 10, \rho_{Р} = 10 (\%)$					$\rho_{Л} = 0, \rho_{С} = 0, \rho_{Р} = 0 (\%)$						
	Индекс помещения, i											
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
	Коэффициент использования светового потока $\eta, \%$											
М	17	29	38	46	58	67	16	28	38	45	55	65
Д-1	27	35	42	52	61	68	21	33	40	49	58	66
Д-2	28	36	48	63	75	81	25	33	47	61	70	78
Г-1	35	45	60	73	88	77	34	44	56	71	68	74
Г-2	43	54	68	79	85	90	43	53	66	77	82	86
Г-3	53	62	73	80	84	86	53	61	71	78	82	85
Г-4	61	66	72	78	81	83	59	65	71	78	80	81
К-1	62	71	77	83	86	88	60	69	77	84	85	86
К-2	68	72	80	89	93	97	65	71	79	88	92	95
К-3	64	73	83	90	94	97	64	72	81	88	91	94
Л	20	35	44	48	65	69	17	33	42	53	63	70
Л-Ш	—	—	—	—	—	—	12	26	35	47	58	68
Ш	—	—	—	—	—	—	9	17	25	36	49	62
	Зональные множители для верхней полусферы, отн. ед.											
$K_{\text{н.р}}$	0,08	0,11	0,15	0,19	0,22	0,25	0	0	0	0	0	0
$K'_{\text{н.р}}$	0,05	0,07	0,12	0,16	0,20	0,24	0	0	0	0	0	0

Значения коэффициентов использования светового потока осветительных установок со светильниками с лампами накаливания и газоразрядными лампами низкого и высокого давления

Пример типа светильника	НСП20, РПП01, РСП08, РСП20, РСП21, ГПП01, ЖСП04					НСП03, В4А, Н4Т2Н, НСП(РСП)21Ех, РСП(ЖСП)18Ех					НСП22, РСП08, ГСП19, ЖСП09, ЖСП19				
	Светораспределение														
	П, Д-1					П, Д-1					П, Г-1				
КПД, %	$\eta_{\text{Л}} = 65 \dots 67, \eta_{\text{У}} = 0$					$\eta_{\text{Л}} = 50 \dots 55, \eta_{\text{У}} = 0$					$\eta_{\text{Л}} = 67 \dots 70, \eta_{\text{У}} = 0$				
$\rho_{\text{П}}, \%$	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\text{С}}, \%$	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{\text{Р}}, \%$	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
i	Коэффициент использования светового потока $\eta, \%$														
0,5	36	33	29	26	24	19	18	14	10	8	30	28	25	21	18
0,6	41	38	33	30	29	23	22	17	14	13	33	31	26	23	22
0,7	48	44	39	35	35	27	26	20	17	16	38	36	31	28	25
0,8	53	48	43	39	38	30	28	23	20	19	41	39	34	30	29
0,9	56	52	47	43	42	33	30	25	21	21	46	42	37	33	32
1	59	55	50	47	46	35	31	26	23	22	48	45	40	37	36
1,1	61	56	51	48	47	37	33	28	24	23	49	46	41	38	38
1,25	63	58	53	50	49	39	35	30	26	24	52	47	43	40	40
1,5	67	61	56	53	52	42	37	32	29	26	55	50	46	43	43
1,75	70	63	59	55	54	44	39	34	31	28	58	52	49	46	45
2	72	65	61	57	56	46	41	36	32	29	61	55	51	48	47
2,25	74	66	62	59	57	48	42	38	34	31	63	56	52	49	49
2,5	76	67	63	60	58	49	44	39	36	32	64	57	53	50	50
3	78	69	65	63	61	52	46	41	37	34	67	59	56	53	52
3,5	79	70	67	64	62	54	48	43	39	36	69	61	57	55	54
4	81	72	68	65	63	55	49	44	40	38	71	63	59	57	55
5	83	73	69	66	64	58	51	46	42	39	73	64	61	59	57

Пример типа светильника	РСП05, РСП08, РСП14, РСП20, ГСП09	НСП02, НСП04, НБО06, НБО07, НСП09, НПО20, Н4БН, Н4Г2Н, ГСП05, ЖСП05, РСП11, ЖСП11, РСП(ГСП, ЖСП)18Ex	НСП03, НСП09, НСП11, Н4БН, РСП02												
	П, Г-1	Р, М	Р, М												
Светораспределение	П, Г-1	Р, М	Р, М												
КПД, %	$\eta_{\Gamma} = 70 \dots 72, \eta_{\cup} = 0$	$\eta_{\Gamma} = 40 \dots 47, \eta_{\cup} = 25 \dots 30$	$\eta_{\Gamma} = 45 \dots 47, \eta_{\cup} = 30$												
$\rho_{\Gamma}, \%$	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0												
$\rho_{\cup}, \%$	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0												
$\rho_{\text{Р}}, \%$	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0												
<i>i</i>	Коэффициент использования светового потока $\eta, \%$														
0,5	30	30	23	20	18	12	10	7	5	3	19	18	12	9	6
0,6	37	36	30	27	26	16	15	10	7	6	24	23	15	11	8
0,7	42	40	33	31	29	20	19	14	10	9	29	27	19	15	12
0,8	45	43	37	34	33	23	21	16	12	11	33	31	23	18	14
0,9	47	45	40	37	35	26	24	18	15	13	35	33	25	19	15
1	49	47	41	40	38	28	26	20	17	15	37	35	26	20	16
1,1	51	50	43	42	40	29	27	21	18	16	40	37	28	22	18
1,25	55	53	47	44	42	31	28	23	19	17	43	40	30	24	19
1,5	59	56	50	48	45	35	31	25	21	19	46	42	32	25	20
1,75	62	58	53	50	48	37	33	27	22	20	49	45	35	27	22
2	67	60	56	53	51	39	35	29	23	20	52	47	37	29	23
2,25	69	62	57	54	52	42	37	30	25	21	54	49	39	31	24
2,5	71	63	59	57	53	44	39	32	27	22	56	51	40	32	25
3	73	66	60	58	56	48	43	35	29	24	60	53	43	35	27
3,5	75	67	61	59	57	51	45	37	31	25	62	55	45	36	28
4	77	69	63	61	58	53	47	39	32	26	64	57	47	38	30
5	79	70	66	63	60	57	50	42	35	29	67	59	49	40	32

Пример типа светильника	ЛСП02, ЛСП06, ЛПП07, ЛБО12, ЛСП18, ЛСП22					ЛСП02, ЛСП22					ЛСП02, ЛПО30				
	П, Д-2					Н, Д-2					П, Г-1				
Светораспределение	П, Д-2					Н, Д-2					П, Г-1				
КПД, %	$\eta_{\Gamma} = 70, \eta_{\cup} = 0$					$\eta_{\Gamma} = 75, \eta_{\cup} = 0$					$\eta_{\Gamma} = 60, \eta_{\cup} = 0$				
$\rho_{\Gamma}, \%$	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\cup}, \%$	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{\text{Р}}, \%$	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
<i>i</i>	Коэффициент использования светового потока $\eta, \%$														
0,5	28	27	21	18	16	25	25	19	14	12	20	20	16	13	12
0,6	33	32	25	22	20	31	29	22	18	16	26	25	20	17	16
0,7	38	36	30	26	24	36	33	26	22	20	30	29	24	21	20
0,8	42	39	33	29	28	39	36	30	25	22	34	31	27	24	22
0,9	46	42	37	32	31	43	40	33	28	25	37	34	30	26	25
1	49	45	40	35	34	46	43	36	30	28	40	36	32	29	28
1,1	52	48	42	38	36	49	45	38	32	30	42	38	34	31	30
1,25	55	50	45	40	39	52	47	40	35	32	44	40	36	33	32
1,5	60	54	49	45	44	56	51	44	38	35	48	44	40	37	36
1,75	63	57	52	48	47	59	54	47	42	38	50	46	42	39	38
2	65	59	55	51	49	62	56	49	44	40	52	48	44	41	40
2,25	68	62	57	53	52	64	58	51	46	42	54	49	46	43	42
2,5	70	63	58	55	54	66	60	53	48	43	56	50	47	45	44
3	73	65	61	58	56	69	62	55	50	45	58	52	49	47	45
3,5	75	67	62	60	58	71	63	56	51	46	60	53	50	48	46
4	77	68	64	61	59	73	64	58	53	48	61	54	51	49	48
5	80	70	67	65	62	77	67	60	56	50	64	56	53	52	50

Значения удельной мощности общего рабочего освещения

Таблица П21.1

Значения удельной мощности общего рабочего освещения светильниками с лампами накаливания (при $\rho_{\text{П}} = 50\%$, $\rho_{\text{С}} = 30\%$, $\rho_{\text{Р}} = 10\%$, $K_z = 1,3$; $z = 1,15$ и КПД светильника $\eta_{\text{С}} = 100\%*$)

H_p , м	Площадь помещения, м^2	Удельная мощность ($\text{Вт} \cdot \text{м}^2$) при освещенности (лк), равной						
		5	10	20	30	50	75	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Светильники с характеристикой светораспределения П, Д-1								
4...6	10...17	2,8	5,5	11,3	13,5	22,2	33,4	44,4
	17...25	2,4	4,6	8,8	11,6	19,3	29,0	38,6
	25...35	2,0	3,8	6,6	9,4	15,6	23,4	31,2
	35...50	1,5	2,9	5,3	7,6	13,2	19,8	26,4
	50...80	1,2	2,3	4,5	6,3	10,4	15,6	20,8
	80...150	1,1	2,1	3,7	5,3	8,5	12,7	16,9
	150...400	0,9	1,8	3,1	4,4	7,3	10,9	14,6
	> 400	0,7	1,4	2,5	3,3	5,8	8,7	11,6
6...8	25...35	2,7	5,0	8,3	12,4	20,6	30,9	41,2
	35...50	2,3	4,2	7,3	10,9	18,1	27,2	36,3
	50...65	1,9	3,4	6,3	9,5	15,8	23,7	31,6
	65...90	1,6	2,8	5,5	8,3	13,8	20,7	27,6
	90...135	1,3	2,3	4,5	6,7	11,2	16,8	22,4
	135...250	1,1	2,0	3,5	5,3	8,8	13,3	17,7
	250...500	1,0	1,8	3,1	4,7	7,8	11,7	15,6
> 500	0,7	1,3	2,5	3,6	6,1	9,2	12,2	
Светильники с характеристикой светораспределения П, Д-2								
2...3	10...15	2,0	3,6	6,4	9,0	14,7	21,1	26,9
	15...25	1,7	3,0	5,2	7,3	11,6	16,8	21,4
	25...50	1,4	2,6	4,5	6,2	10,0	14,2	18,0
	50...150	1,2	2,2	3,8	5,2	8,5	12,0	15,5
	150...300	1,0	1,8	3,3	4,5	7,5	10,6	13,6
> 300	1,0	1,7	3,0	4,2	7,0	9,9	12,4	
3...4	10...15	2,9	4,9	9,8	13,1	20,0	28,6	36,6
	15...20	2,3	3,9	7,3	10,3	17,1	23,0	31,0

Пример типа светильника	ЛПО03, ЛСП06					ЛСП15, ЛСП18, ЛСП22					ЛСО02, ЛСП04				
	П, Г-1					Н, Д-1					Р, Г-2				
КПД, %	$\eta_{\text{С}} = 65\%$, $\eta_{\text{У}} = 0$					$\eta_{\text{С}} = 85\%$, $\eta_{\text{У}} = 0$					$\eta_{\text{С}} = 30\%$, $\eta_{\text{У}} = 40$				
$\rho_{\text{П}}$, %	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{\text{С}}$, %	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{\text{Р}}$, %	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
i	Коэффициент использования светового потока η , %														
0,5	26	24	20	17	16	28	27	20	13	11	19	19	14	11	8
0,6	32	31	25	21	20	33	32	22	17	14	23	22	18	15	10
0,7	37	35	29	26	24	38	36	27	20	17	26	25	21	18	11
0,8	41	38	32	28	27	42	40	30	23	20	29	27	23	20	13
0,9	45	41	36	32	30	47	44	34	26	22	32	30	25	22	14
1	48	44	39	35	33	51	47	37	29	25	34	32	27	24	15
1,1	50	46	41	37	36	54	50	39	31	27	36	34	28	26	16
1,25	53	48	43	39	38	57	53	42	34	29	38	36	30	28	17
1,5	57	52	48	44	42	63	57	47	38	33	42	38	32	30	19
1,75	60	55	51	47	45	67	61	50	42	36	45	41	34	32	20
2	63	57	53	49	48	70	63	53	44	38	47	42	36	34	21
2,25	65	59	55	51	50	73	66	55	47	40	49	44	37	35	22
2,5	67	60	56	53	51	76	68	57	49	42	50	45	39	36	23
3	70	62	58	55	54	80	71	60	52	44	53	47	40	38	24
3,5	71	64	60	57	55	82	73	62	54	46	54	48	41	39	24
4	73	65	61	59	57	85	75	64	56	48	56	49	42	40	25
5	77	67	64	62	60	90	79	69	61	52	59	51	44	42	26

Продолжение табл. П21.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3...4	20...30	1,9	3,2	5,8	8,5	13,9	18,6	24,8
	30...50	1,5	2,6	4,6	6,8	10,7	15,0	19,2
	50...120	1,3	2,2	3,8	5,8	9,0	12,5	15,9
	120...300	1,0	1,8	3,3	4,9	7,6	10,4	13,4
	> 300	0,9	1,5	2,9	4,2	6,6	8,8	11,7
Светильники с характеристикой светораспределения П, Г-1								
3...4	10...15	1,9	3,4	6,4	9,0	14,1	20,4	25,2
	15...20	1,7	3,0	5,6	8,2	12,9	17,4	22,5
	20...30	1,6	2,7	5,0	7,3	11,7	15,8	20,4
	30...50	1,3	2,3	4,2	6,3	9,8	13,6	17,4
	50...120	1,1	2,0	3,6	5,3	8,2	11,4	14,7
	120...300	1,0	1,7	2,9	4,6	7,0	9,6	12,9
	> 300	0,9	1,5	2,7	4,1	6,3	8,6	11,3
4...6	10...17	2,8	5,1	9,3	14,9	22,7	31,5	42,0
	17...25	2,3	4,2	7,5	11,6	17,3	25,2	33,6
	25...35	1,9	3,5	6,4	9,0	14,0	21,7	28,9
	35...50	1,7	2,9	5,4	7,7	11,6	18,0	24,0
	50...80	1,4	2,5	4,7	6,5	10,0	14,8	19,7
	80...150	1,1	2,0	3,8	5,4	8,3	12,3	16,4
	150...400	0,9	1,7	3,1	4,2	6,6	9,9	13,2
> 400	0,8	1,4	2,6	3,5	5,5	8,1	10,8	
6...8	25...35	2,7	4,5	7,4	11,7	19,5	29,3	39,0
	35...50	2,2	3,8	6,5	9,9	16,5	24,8	33,0
	50...65	1,8	3,3	5,7	8,6	14,3	21,5	28,7
	65...90	1,5	2,9	5,0	7,4	12,4	18,6	24,8
	90...135	1,3	2,5	4,4	6,2	10,3	15,5	20,6
	135...250	1,1	2,0	3,5	5,1	8,6	12,8	17,1
250...500	0,8	1,7	2,9	4,2	7,1	10,6	14,1	
> 500	0,7	1,3	2,3	3,4	5,6	8,4	11,3	
Светильники с характеристикой светораспределения П, Л								
4...6	10...17	3,8	7,5	15,7	27,2	33,6	52,2	69,6
	17...25	3,2	6,1	12,6	19,7	27,2	40,5	54,0
	25...35	2,5	4,5	8,5	12,5	19,4	28,2	37,6
	35...50	1,9	3,3	6,2	8,7	13,6	19,8	26,4
	50...80	1,4	2,5	4,6	6,4	10,2	14,9	19,8
	80...150	1,1	1,9	3,7	5,1	8,0	11,7	15,6

Продолжение табл. П21.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4...6	150...400	1,0	1,6	3,1	4,4	6,7	9,6	12,8
	> 400	0,8	1,4	2,6	3,8	5,6	8,1	10,8
6...8	25...35	3,6	6,6	13,7	21,4	31,5	47,2	63,0
	35...50	3,0	5,4	10,7	15,8	25,0	37,6	50,1
	50...65	2,5	4,3	8,2	11,5	18,8	28,2	37,6
	65...90	1,9	3,4	6,2	8,8	14,0	21,0	28,0
	90...135	1,4	2,5	4,6	6,7	10,6	15,9	21,2
	135...250	1,0	2,0	3,5	5,1	8,3	12,4	16,6
250...500	0,9	1,6	3,0	4,2	6,7	10,1	8,6	
> 500	0,7	1,4	2,4	3,4	5,6	8,4	11,2	
Светильники с характеристикой светораспределения Н, Д-1								
1,5...2	10...15	1,3	2,6	5,1	7,7	12,8	19,1	25,5
	15...25	1,1	2,2	4,3	6,5	10,8	16,1	21,5
	25...50	0,9	1,8	3,6	5,4	9,0	13,5	18,0
	50...150	0,9	1,7	3,3	4,9	8,2	12,2	16,3
	150...300	0,8	1,5	3,0	4,5	7,5	10,5	15,0
> 300	0,7	1,3	2,6	3,9	6,5	9,8	13,0	
2...3	10...15	1,8	3,5	7,0	10,5	17,5	26,3	35,0
	15...25	1,5	2,9	5,9	8,8	14,6	22,0	29,3
	25...50	1,2	2,3	4,5	6,8	11,3	16,9	22,5
	50...150	0,9	1,8	3,6	5,3	8,9	13,3	17,8
	150...300	0,8	1,5	3,0	4,2	7,4	11,2	14,8
	> 300	0,7	1,3	2,6	3,9	6,5	9,8	13,0
Светильники с характеристикой светораспределения Р, М								
1,5...2	10...15	1,5	3,0	6,0	9,0	14,9	22,5	29,9
	15...25	1,3	2,6	5,2	7,8	13,1	19,6	26,1
	25...50	1,1	2,2	4,3	6,5	10,8	16,2	21,6
	50...150	0,9	1,8	3,6	5,3	8,9	13,3	17,8
	150...300	0,7	1,4	2,8	4,2	7,0	10,5	14,0
	> 300	0,6	1,2	2,4	3,6	6,1	9,1	12,2
2...3	10...15	2,1	3,6	7,5	11,3	19,0	26,9	35,7
	15...25	1,7	3,4	6,8	10,1	16,9	25,3	33,8
	25...50	1,3	2,6	5,1	7,7	12,8	19,2	25,7
	50...150	1,0	2,0	4,1	6,1	10,1	15,2	20,3
	150...300	0,9	1,7	3,4	5,1	8,5	12,6	16,9
	> 300	0,7	1,4	2,7	4,1	6,8	10,1	13,5

Окончание табл. П21.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3...4	10...15	4,2	8,5	16,9	25,4	42,3	63,5	84,6
	15...20	3,2	6,3	12,5	18,8	31,3	46,9	62,6
	20...30	2,3	4,5	8,9	13,4	22,3	33,4	44,6
	30...50	1,7	3,3	6,6	9,9	16,4	24,6	32,9
	50...120	1,3	2,5	5,0	7,6	12,6	18,9	25,2
	120...300	1,0	2,0	4,0	5,9	9,9	14,9	19,8
	> 300	0,7	1,4	2,9	4,3	7,2	10,8	14,4

* При значении КПД светильника в нижнюю полусферу, отличающемся от приведенного в качестве исходных данных при составлении таблицы (100 %), табличное значение удельной мощности следует увеличить на отношение приведенного в качестве исходных данных таблицы КПД к значению КПД в нижнюю полусферу принятого светильника, т. е. $100/\eta_{\text{с}}$.

Таблица П21.2

Значения удельной мощности общего рабочего освещения светильниками с лампами типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ (при $\rho_{\text{л}} = 50\%$, $\rho_{\text{с}} = 30\%$, $\rho_{\text{р}} = 10\%$, $K_{\text{з}} = 1,5$; $z = 1,15$, $E = 100$ лк и КПД светильника $\eta_{\text{с}} = 100\%$ *)

$H_{\text{р}}$, м	Площадь помещения, м^2	Удельная мощность ($\text{Вт} \cdot \text{м}^2$) для светильников с лампами													
		светораспределение П, Д-1						светораспределение П, Д-2						светораспределение П, Г-1	
		ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДРИ	ДНаТ
4...6	15...30	21,6	14,3	12,5	15,7	10,4	9,1	6,3	9,1	13,8	9,1	8,0	9,1	8,0	
	30...50	13,1	8,6	7,6	10,8	7,1	6,3	3,7	6,3	8,4	5,5	4,9	5,5	4,9	
	50...120	7,4	4,9	4,3	6,4	4,2	3,7	3,1	3,7	6,2	4,1	3,6	4,1	3,6	
	120...300	6,1	4,0	3,5	5,4	3,6	3,1	2,4	3,1	4,9	3,2	2,8	3,2	2,8	
	> 300	4,1	2,7	2,4	4,1	2,7	2,4	2,4	2,4	3,9	2,6	2,3	2,6	2,3	
	50...65	13,3	8,8	7,7	11,5	7,6	6,7	6,7	6,7	9,1	6,0	5,3	6,0	5,3	
	65...90	10,7	7,1	6,2	9,4	6,2	5,5	5,5	5,5	7,9	5,2	4,6	5,2	4,6	
6...8	90...135	8,7	5,7	5,0	7,3	4,8	4,2	4,2	4,2	6,6	4,4	3,8	4,4	3,8	
	135...250	6,4	4,2	3,7	6,2	4,1	3,6	3,6	3,6	6,1	4,0	3,5	4,0	3,5	
	250...500	5,9	3,9	3,4	5,4	3,6	3,1	3,1	3,1	4,9	3,2	2,8	3,2	2,8	
	> 500	4,5	3,0	2,6	4,2	2,8	2,4	2,4	2,4	3,9	2,6	2,3	2,6	2,3	
	70...100	17,6	11,6	10,2	14,2	9,4	8,2	8,2	8,2	11,4	7,5	6,6	7,5	6,6	
	100...130	13,8	9,1	8,0	11,6	7,7	6,7	6,7	6,7	9,5	6,3	5,5	6,3	5,5	
	130...200	9,9	6,5	5,7	9,4	6,2	5,5	5,5	5,5	7,8	5,1	4,5	5,1	4,5	
8...12	200...300	7,6	5,0	4,4	6,8	4,5	3,9	3,9	3,9	6,7	4,4	3,9	4,4	3,9	
	300...600	6,7	4,4	3,9	6,3	4,2	3,7	3,7	3,7	5,8	3,8	3,4	3,8	3,4	
	600...1500	5,6	3,7	3,2	5,2	3,4	3,0	3,0	3,0	4,4	2,9	2,6	2,9	2,6	
	> 1500	4,4	2,9	2,6	4,5	3,0	2,6	2,6	2,6	3,8	2,5	2,2	2,5	2,2	

H _р , м	Площадь помещения, м ²	Удельная мощность (Вт · м ²) для светильников с лампами																	
		ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДРИ	ДНаТ							
		светораспределение П, Г-2					светораспределение П, Г-3					светораспределение П, Г-4							
4...6	15...30	9,6	6,3	5,6	7,4	5,1	4,4	7,6	5,2	4,5	4,5	7,6	5,2	4,5	4,5	7,6	5,2	4,5	
	30...50	6,4	4,2	3,7	5,9	4,0	3,5	5,8	3,9	3,4	3,4	5,8	3,9	3,4	3,4	5,8	3,9	3,4	
	50...120	5,3	3,5	3,1	4,6	3,1	2,7	4,5	3,1	2,7	2,7	4,5	3,1	2,7	2,7	4,5	3,1	2,7	
	120...300	4,3	2,8	2,5	4,1	2,8	2,4	4,0	2,7	2,4	2,4	4,0	2,7	2,4	2,4	4,0	2,7	2,4	
	> 300	3,5	2,3	2,0	3,6	2,4	2,1	3,5	2,4	2,1	2,1	3,5	2,4	2,1	2,1	3,5	2,4	2,1	
6...8	50...65	8,9	5,9	5,1	6,3	4,6	3,7	6,2	4,2	3,7	6,2	4,2	3,7	6,2	4,2	3,7	6,2	4,2	3,7
	65...90	7,4	4,9	4,3	5,7	3,9	3,4	5,6	3,8	3,3	5,4	3,7	3,2	3,2	5,4	3,7	3,2	3,2	3,2
	90...135	6,1	4,0	3,5	5,2	3,4	3,1	4,2	3,1	2,7	2,7	4,2	3,1	2,7	2,7	4,2	3,1	2,7	2,7
	135...250	5,2	3,4	3,0	4,4	3,1	2,7	4,0	2,7	2,4	2,4	4,0	2,7	2,4	2,4	4,0	2,7	2,4	2,4
	250...500	4,4	2,9	2,6	4,0	2,7	2,4	3,6	2,4	2,1	2,1	3,6	2,4	2,1	2,1	3,6	2,4	2,1	2,1
8...12	> 500	3,8	2,5	2,2	3,6	2,4	2,1	3,5	2,4	2,1	2,1	3,5	2,4	2,1	2,1	3,5	2,4	2,1	2,1
	70...100	10,2	6,7	5,9	7,3	5,2	4,3	7,1	4,8	4,2	7,1	4,8	4,2	4,2	7,1	4,8	4,2	4,2	4,2
	100...130	8,3	5,5	4,8	6,2	4,2	3,7	6,2	4,2	3,7	6,2	4,2	3,7	6,2	4,2	3,7	6,2	4,2	3,7
	130...200	7,1	4,7	4,1	5,6	3,8	3,3	5,4	3,7	3,2	3,2	5,4	3,7	3,2	3,2	5,4	3,7	3,2	3,2
	200...300	6,0	4,0	3,5	5,1	3,5	3,0	4,9	3,3	2,9	2,9	4,9	3,3	2,9	2,9	4,9	3,3	2,9	2,9
600...1500	300...600	5,1	3,4	3,0	4,5	3,1	2,7	4,3	3,1	2,7	4,3	3,1	2,7	2,7	4,3	3,1	2,7	2,7	2,7
	600...1500	4,2	2,8	2,4	3,8	2,6	2,2	3,7	2,5	2,2	3,7	2,5	2,2	2,2	3,7	2,5	2,2	2,2	2,2
	> 1500	3,6	2,4	2,1	3,5	2,4	2,1	3,4	2,3	2,0	3,4	2,3	2,0	2,0	3,4	2,3	2,0	2,0	2,0

H _р , м	Площадь помещения, м ²	Удельная мощность (Вт · м ²) для светильников с лампами																		
		ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДРИ	ДНаТ								
		светораспределение П, К-1					светораспределение П, К-2					светораспределение П, Л								
4...6	15...30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16,6	11,0	9,6	—	—	—	—	—	—
	30...50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,3	8,1	7,1	—	—	—	—	—	—
	50...120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,6	5,7	5,0	—	—	—	—	—	—
	120...300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,7	4,4	3,9	—	—	—	—	—	—
	> 300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,3	3,5	3,1	—	—	—	—	—	—
6...8	50...65	5,6	3,7	3,2	8,2	5,4	4,8	13,2	8,6	7,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	65...90	5,1	3,4	3,0	7,4	4,9	4,3	10,9	7,2	6,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	90...135	4,7	3,1	2,7	6,1	4,0	3,5	9,1	6,0	5,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	135...250	4,3	2,8	2,5	5,4	3,6	3,1	7,4	4,9	4,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	250...500	3,9	2,6	2,3	4,6	3,0	2,7	5,8	3,8	3,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8...12	> 500	3,4	2,2	2,0	4,0	2,6	2,3	4,6	3,0	2,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	70...100	6,2	4,1	3,6	7,8	5,1	4,5	16,6	11,0	9,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	100...130	5,3	3,5	3,1	6,9	4,6	4,0	13,2	8,7	7,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	130...200	5,1	3,4	3,0	6,2	4,1	3,6	10,7	7,1	6,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	200...300	4,6	3,0	2,7	5,6	3,7	3,2	8,7	5,8	5,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
600...1500	300...600	4,4	2,9	2,6	4,8	3,2	2,8	7,1	4,6	4,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	600...1500	3,9	2,6	2,3	4,5	3,0	2,6	5,4	3,6	3,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	> 1500	3,5	2,3	2,0	4,0	2,6	2,3	4,3	2,9	2,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* При значении КПД светильника в нижнюю полусферу, отличающемся от приведенного в качестве исходных данных при составлении таблицы (100 %), табличное значение удельной мощности следует увеличить на отношение приведенного в качестве исходных данных таблицы КПД к значению КПД в нижней полусфере принятого светильника, т. е. 100/η.

Таблица П21.3

Значения удельной мощности общего рабочего освещения светильниками с люминесцентными лампами типа ЛБ40 (при $\rho_{\text{П}} = 50\%$, $\rho_{\text{С}} = 30\%$, $\rho_{\text{Р}} = 10\%$, $K_3 = 1,5$; $z = 1,1$, $E = 100$ лк и КПД светильника $\eta_{\text{С}} = 100\%$)***

$H_{\text{р}}$, м	Площадь помещения, м ²	Удельная мощность (Вт · м ²) для светильников с люминесцентными лампами и КСС			
		Д-1	Д-2	Г-1	Г-2
2...3	10...15	8,1	6,9	5,7	4,6
	15...25	6,1	5,5	4,6	3,8
	25...50	4,8	4,1	3,7	3,4
	50...150	3,8	3,1	2,9	2,6
	150...300	3,4	2,8	2,6	2,5
	> 300	2,9	2,5	2,4	2,3
3...4	10...15	11,5	9,6	9,1	8,5
	15...20	9,8	8,1	7,3	6,7
	20...30	7,7	6,9	5,5	4,2
	30...50	6,0	5,4	4,4	3,9
	50...120	4,6	3,9	3,6	3,2
	120...300	3,8	3,1	2,9	2,7
4...6	> 300	2,9	2,5	2,3	2,2
	10...17	13,7	12,5	11,7	10,4
	17...25	12,0	10,1	9,5	8,1
	25...35	10,4	8,7	8,3	7,2
	35...50	8,6	7,6	6,0	4,9
	50...80	6,6	6,0	4,8	3,8
	80...150	5,3	4,2	4,0	3,3
	150...400	4,0	3,2	3,1	2,8
> 400	2,9	2,8	2,4	2,2	

* При значении КПД светильника в нижнюю полусферу, отличающемся от приведенного в качестве исходных данных при составлении таблицы (100%), табличное значение удельной мощности следует увеличить на отношение приведенного в качестве исходных данных таблицы КПД к значению КПД в нижнюю полусферу принятого светильника, т. е. $100/\eta_{\text{С}}$.

** Для люминесцентных ламп другого типа приведенное табличное значение удельной мощности целесообразно умножить на отношение светового потока (лм) лампы типа ЛБ40 (3200 лм) к световому потоку принятой лампы.

Приложение 22

Значения нормируемой освещенности для открытых осветительных установок

Таблица П22.1

Нормы освещения карьеров и открытых строительных площадок

Наименование участков и рабочих операций	Минимальная освещенность, лк	Плоскость, в которой нормируется освещенность
1	2	3
1. Карьеры в районе производства работ	2	На уровне земли
2. Карьеры в районе временного пребывания людей и транспортных коммуникаций	0,5	На уровне земли
3. Пути постоянного движения людей	1	На уровне земли
4. Участки снятия пород экскаватором	10	Вертикальная (со стороны машины)
5. Места производства ручных работ	5	На уровне земли
6. Монтаж и сборка различных механизмов, столярные, штукатурные, малярные и опалубочные работы, установка или монтаж аппаратуры	50	Горизонтальная
7. Кладка из крупных бетонных блоков, сборка и монтаж готовых частей механизмов, металлоконструкций (каркасы зданий, колонны, фермы), санитарно-технические работы	30	Горизонтальная

1	2	3
8. Кирпичная кладка, монтаж сборных фундаментов, крановые и такелажные работы	10	Горизонтальная
9. Земляные работы, производимые экскаватором	5	Горизонтальная
10. Основные автодороги строительных площадок	10 3	Вертикальная Горизонтальная
11. Территория котлованов и сооружений, участки разгрузки, погрузки и складирования материалов	2	Горизонтальная

Таблица П 22.2

Нормируемые значения освещенности производственных территорий, улиц, дорог и площадей в городах и поселках

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
1	2
1. Улицы и дороги местного значения категории В с наибольшей интенсивностью движения транспорта в обоих направлениях, единиц · час ⁻¹ : — 500 и более; — менее 500; — одиночные автомобили	6 4 4
2. Магистральные улицы районного значения категории Б с наибольшей интенсивностью движения транспорта в обоих направлениях, единиц · час ⁻¹ : — 1000 и более; — менее 1000	15 10

1	2
3. Улицы, дороги, проезды и площади сельских населенных пунктов: — главные улицы, площади общественных и торговых центров; — основные улицы в жилой застройке; — второстепенные улицы в жилой застройке (перелук, проезд); — поселковая дорога	4 4 2 2
4. Покрытия непроезжей части улиц, дорог и площадей, бульваров и скверов, пешеходных улиц и территорий микрорайонов городских поселков: — главные пешеходные улицы, непроезжие части площадей категорий А и Б и предзаводские площади; — в пределах общественных центров; — пешеходные улицы на других территориях; — тротуары, отделенные от проезжей части на улицах категорий А и Б; — тротуары, отделенные от проезжей части на улицах категории В; — посадочные площадки общественного транспорта; — пешеходные мостики; — основные проезды территорий микрорайонов; — вспомогательные проезды территорий микрорайонов, в том числе тротуары-подъезды; — детские площадки в местах расположения оборудования для подвижных игр; — пешеходные дорожки бульваров и скверов, примыкающих к улицам категории Б; — пешеходные дорожки бульваров и скверов, примыкающих к улицам категории В; — автостоянки, хозяйственные площадки и площадки при мусоросборниках; — прогулочные дорожки	10 6 4 4 2 10 10 4 2 10 4 2 1 1
5. Площадки предприятий, в точках минимального значения освещенности: — проезды с интенсивностью движения в обоих направлениях от 50 до 150 единиц · час ⁻¹ ;	3

1	2
— проезды с интенсивностью движения в обоих направлениях от 10 до 50 единиц · час ⁻¹ ;	2
— проезды с интенсивностью движения в обоих направлениях менее 10 единиц · час ⁻¹ ;	1
— пожарные проезды и дороги для хозяйственных нужд;	0,5
— пешеходные и велосипедные дорожки с интенсивностью движения в обоих направлениях свыше 100 единиц · час ⁻¹ ;	2
— пешеходные и велосипедные дорожки с интенсивностью движения в обоих направлениях от 10 до 100 единиц · час ⁻¹ ;	1
— пешеходные и велосипедные дорожки с интенсивностью движения в обоих направлениях менее 20 единиц · час ⁻¹ ;	0,5
— ступени и площадки лестниц и переходных мостиков;	3
— пешеходные дорожки на площадках и в скверах;	0,5
— предзаводские площадки перед зданиями, подъезды и проходы к зданиям, стоянки транспорта	2
6. Территории общеобразовательных школ и иных учебных заведений:	
— групповые и физкультурные площадки;	10
— площадки для подвижных игр, зоны отдыха;	10
— проезды и подходы к корпусам и площадям	4
7. Открытые автостоянки:	
— на улицах;	4
— в микрорайонах	2
8. Проезды между рядами гаражей боксового типа	4
9. Подъезды к противопожарным водоемам и источникам, расположенные на неосвещенных частях улиц или проездов:	
— в городах и поселках;	2
— в сельских населенных пунктах	1

К расчету установок прожекторного освещения
методом компоновки изолуок

Угол, θ	Значения ξ , ρ и ρ^3 при значениях x/H_p															
	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6		
8	ξ	2,47	1,48	1,01	0,75	0,49	0,34	0,25	0,19	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	
	ρ	0,39	0,63	0,88	1,13	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1	
	ρ^3	0,06	0,25	0,68	1,42	6,2	9,5	18	30	46	68	97	132	173	225	
10	ξ	2,24	1,34	0,94	0,7	0,44	0,3	0,21	0,15	0,11	0,07	0,05	0,03	0,01	0,01	
	ρ	0,42	0,67	0,91	1,16	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1	
	ρ^3	0,07	0,3	0,76	1,54	6,5	9,8	18	30	48	69	98	132	174	225	
12	ξ	2,05	1,25	0,87	0,63	0,4	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,01	0,01	0,03	0,05	
	ρ	0,45	0,7	0,94	1,19	1,7	2,2	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1	
	ρ^3	0,09	0,34	0,34	1,66	4,7	10	19	31	48	70	98	132	174	225	
14	ξ	1,88	1,17	0,82	0,6	0,36	0,23	0,14	0,08	0,04	0	0,03	0,05	0,07	0,08	
	ρ	0,48	0,73	0,97	1,21	1,7	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1	
	ρ^3	0,11	0,38	0,91	1,77	4,9	10	19	31	48	70	98	132	173	222	
16	ξ	1,73	1,09	0,76	0,56	0,32	0,19	0,1	0,04	0	0,04	0,06	0,09	0,1	0,12	
	ρ	0,62	0,79	1	1,24	1,7	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,6	5	5,6	6	
	ρ^3	0,14	0,43	0,99	1,89	5,1	11	19	32	48	70	97	130	172	220	
18	ξ	1,6	1,01	0,7	0,51	0,28	0,15	0,07	0,01	0,04	0,07	0,1	0,12	0,14	0,15	
	ρ	0,55	0,78	1,02	1,26	1,7	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,6	5,1	5,5	6	
	ρ^3	0,16	0,48	1,06	2	5,2	11	19	32	48	69	97	130	170	216	
20	ξ	1,48	0,87	0,65	0,47	0,25	0,12	0,04	0,05	0,07	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	
	ρ	0,58	0,81	1,05	1,28	1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,6	5	5,5	6	
	ρ^3	0,19	0,53	1,14	2,1	5,3	11	19	32	48	68	95	128	167	213	
22	ξ	1,37	0,88	0,6	0,42	0,21	0,08	0,01	0,06	0,11	0,14	0,17	0,19	0,21	0,22	
	ρ	0,61	0,84	1,07	1,3	1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,5	5	5,5	5,9	
	ρ^3	0,22	0,59	1,22	2,2	5,6	11	19	31	48	68	94	125	163	210	

Технические параметры щитов распределительных серии ЩР

Угол, °	ξ	Значения ξ, ρ и ρ³ при значениях х/Н _р													
		6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0
8	ξ	0,02	0	0,01	0,02	0,08	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
	ρ	6,6	7,1	7,6	8,1	8,6	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	13	14
	ρ³	284	350	430	520	625	740	860	1020	1170	1350	1530	1740	2200	2700
10	ξ	0,02	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09	0,1	0,1	0,11	0,11
	ρ	6,6	7,1	7,6	8,1	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	13	14
	ρ³	284	350	432	520	625	735	860	1010	1160	1340	1520	1720	2180	2700
12	ξ	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,1	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14
	ρ	6,6	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	11,9	12,9	13,9
	ρ³	283	350	425	515	620	730	850	995	1150	1320	1500	1700	2150	2700
14	ξ	0,09	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	—	—
	ρ	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	9,9	10,4	10,9	11,4	11,9	—	—
	ρ³	280	345	425	512	610	720	845	980	1140	1300	1480	1670	—	—
16	ξ	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,2	—	—	—
	ρ	6,5	7	7,5	8	8,4	8,9	9,4	9,9	10,4	10,8	11,3	—	—	—
	ρ³	227	343	415	500	600	710	830	960	1110	1280	1450	—	—	—
18	ξ	0,17	0,18	0,19	0,19	0,2	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	—	—	—	—
	ρ	6,5	7	7,4	7,9	8,4	8,9	9,3	9,8	10,3	10,8	—	—	—	—
	ρ³	272	340	410	495	590	700	810	940	1080	1240	—	—	—	—
20	ξ	0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,25	0,26	0,26	—	—	—	—	—
	ρ	6,4	6,9	7,4	7,9	8,3	8,8	9,3	9,7	10,2	—	—	—	—	—
	ρ³	267	330	400	485	580	680	800	920	1060	—	—	—	—	—
22	ξ	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,29	—	—	—	—	—	—
	ρ	6,4	0,9	7,3	7,8	8,3	8,7	9,2	9,6	—	—	—	—	—	—
	ρ³	260	320	390	470	560	680	770	890	—	—	—	—	—	—

Марка	Вводной автоматический выключатель		Групповой автоматический выключатель			Степень защиты	Габариты (В×Ш×Г), мм	Масса, кг	Тип установки
	марка	ток, А	марка	ток, А	кол-во				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЩР0-1136-6-31УХЛ3	AE2046M	40	BM-4	16	6	IP31	183×284×73 (ниша)	—	встраиваемый
ЩР0-3136-6-31УХЛ3	Legrand DXC	40	BM-40	16	6	IP31	250×350×90	4,2	навесной
ЩР0-1136-6-40УХЛ4	Schneider 11227	40	Schneider 11203	16	6	IP40	183×284×73 (ниша)	2,0	встраиваемый
ЩР0-1136-6-40УХЛ4	Schneider 11227	40	Schneider 11203	16	6	IP40	250×305×95	—	навесной
ЩР0-1136-6-41УХЛ3	AE2046M	40	BM-40	16	6	IP41	230×355×130	—	навесной
ЩР0-1136-6-65УХЛ3	Legrand DXC	40	BM-40	16	6	IP65	282×349×141	—	навесной
ЩР1-1136-6-31УХЛ3	AE2046M	63	BM-40	16	6	IP31	440×330×160 (ниша)	—	встраиваемый
ЩР1-1136-6-40УХЛ3	AE2046M	63	BM-40	25 16	3 + 3	IP40	183×284×73 (ниша)	—	встраиваемый
ЩР1-1136-6-40УХЛ4	AE2046M	63	BM-40	25 16	3 + 3	IP40	183×284×73 (ниша)	—	встраиваемый
ЩР1-1136-12-31УХЛ3	AE2046M	63	BM-40	16	12	IP31	440×330×160 (ниша)	—	встраиваемый

Рекомендуемые марки проводов и кабелей
для различных видов электропроводки, способов прокладки
и условий окружающей среды

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЩР1-1136-12-40УХЛ4	Schneider 11227	63	Schneider 11203	16	12	IP40	376×280×80 (ниша)	—	встраиваемый
ЩР1-3136-6-31УХЛ3	AE2046M	63	BM-40	16	6	IP31	466×350×170	9,1	навесной
ЩР1-3136-6-31УХЛ3	AE2046M	63	BM-40	16	6	IP31	440×330×160 (ниша)	—	встраиваемый
ЩР1-3136-6-40УХЛ4	Schneider 11227	40	Schneider 11203	25 16	3 + 3	IP40	200×305×95 (ниша)	—	встраиваемый
ЩР1-3136-12-31УХЛ3	AE2046M	63	BM-40	16	12	IP31	466×350×170	10,0	навесной
ЩР1-3136-6-40УХЛ4	AE2046M	63	BM-40	16	12	IP40	350×305×95	—	навесной
ЩР2-3136-12-41УХЛ3	AE2046M	100	BM-40	16	12	IP41	407×350×155	—	навесной
ЩР2-1136-12-31УХЛ3	AE2046M	100	BM-40	16	12	IP31	440×330×160 (ниша)	—	встраиваемый
ЩР2-3136-12-41УХЛ3	AE2046M	100	BM-40	25	12	IP41	407×350×155	—	навесной
ЩР2-1136-12-31УХЛ3	AE2046M	100	BM-40	25	12	IP31	440×330×160 (ниша)	—	встраиваемый

Примечания: 1. Осветительные щиты могут быть укомплектованы аналогичными по параметрам вводным и групповыми автоматическими выключателями других производителей, например, АВВ, Schneider Electric, Legrand, Электроаппарат и др.

2. Корпус осветительного щита в исполнении 3136 — металлический, окрашен порошково-полимерным составом; 1136 — самозатухающий термопластик.

3. Количество полюсов вводного автоматического выключателя для всех марок щитов равно трем, группового автоматического выключателя — одному, количество шин N и PE — по одной.

Вид электропроводки и способ прокладки проводов и кабелей	Категория помещения по условиям окружающей среды					
	Сухое	Пыльное	Влажное	Сырое	Особо сырое	Особо сырое с химически активной средой
1	2	3	4	5	6	7
Открытая по несгораемым и трудносгораемым поверхностям:						
непосредственно	АПРН, АПРВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АПРН, АВВГ, АВРГ, АПВГ	ПРН, АПРВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АПВГ, АППР	АППР, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ
в виниловых и стальных трубах	АПВ, АПР, АПРН, АПРВ	АПВ, АПР, АПРТО	АПР, АПРН, АПРТО	АПВ, АПР, АПРН, АПРТО	АПВ, АПРН, АПРТО	АПВ, АПРТО, АПРН
в коробах и на лотках	АПРВ, АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВТВ, АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВТВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВТВ, АВТВУ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ
на тросах и тросовыми проводами	АПРН, АПРВ, АВТВ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРИ, АВТВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АРТ, АВТВ, АВТВУ, АВРГ, АВВГ, АНРГ	АПРН, АВТВ, АПРВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРВ, АВТВ, АПРН, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВТВ, АВРГ, АВТВУ, АНРГ, АВВГ, АПВГ
в гибких металлических рукавах	АПВ, АПР, АПРВ, АПРВ, АППВС	АПВ, АПР, АПРТО, АППВС	АПВ, АПРН, АППВС, АПРТО	АПВ, АПРН, АППВС, АПРТО	АПВ, АПРН, АППВС, АПРТО	АПВ, АПРН, АПРТО

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
Открытая по сгораемым поверхностям:						
непосредственно	АПРВ, АПВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРИ, АПВ, АВРГ, АВРГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АПРВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ
в винипластовых и стальных трубах	АПВ, АПР, АППВС, АПРН, АПРТО, АПРВ	АПВ, АПР, АПРТО, АППВС, АПРН	АПВ, АПРТО, АПРН, АППВС	АПВ, АПРВ, АПРТО, АПРН	АПВ, АПРТО, АПРН	АПВ, АПРТО
в коробах и на лотках	АПРВ, АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВАГ	АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ
на тросах и тросовыми проводами	АПРВ, АВТВ, АВВГ, АВРГ, АНРГ, АПВГ	АПРН, АВТВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВТВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВТВ, АВРГ, АВВГ, АНРГ, АПВГ	АПРН, АВТВ, АВРГ, АВВГ, АНРГ, АПВГ	АВТВ, АВРГ, АВТВУ, АВВГ, АНРГ, АПВГ
в гибких металлических рукавах	АПВ, АПРН, АПРТО	—	АПВ, АПРН, АПРТО	АПВ, АПРН, АПРТО	АПВ, АПРН, АПРТО	АПВ, АПРН, АПРТО
Скрытая по несгораемым и трудносгораемым поверхностям:						
под штукатуркой	АППВС, АППВ	АППВ, АППВС	АППВ, АППВС	АППВ, АППВС	АППВС	—
в каналах строительных конструкций	АПРВ, АППВС	АПРВ, АПРТО, АППВС	АПРВ, АПРТО, АППВС	АППВС	АППВС	—
в винипластовых и стальных трубах	АПРН, АПРВ, АПРТО, АППВС	АПРН, АПРВ, АПРТО, АППВС	АПРН, АПРВ, АПРТО, АППВС	АППВС	АППВС	—

543

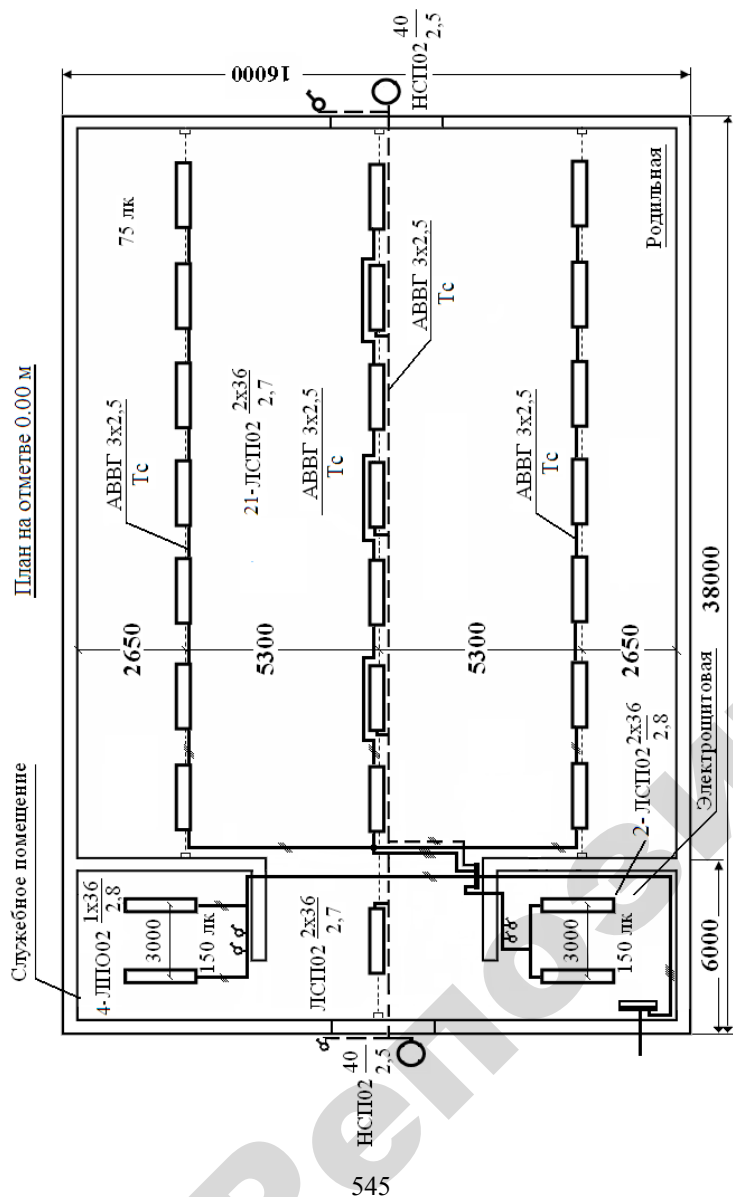
Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7
в полиэтиленовых трубах (только по несгораемым поверхностям)	АПРТО, АППВС, АПРВ	АПРВ, АППВС, АПРТО	АПРВ, АПРТО, АППВС	АПРВ, АПРТО, АППВС	АПРВ, АПРТО, АППВС	АПРВ, АПРТО, АППВС
Скрытая по сгораемым поверхностям:						
под штукатуркой	АППВС	АППВС	АППВС	АППВС	ППВС	—
в винипластовых трубах	ПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН	АПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН	АПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН	АПРВ, АПРТО, АПРН, АППВС	АПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН	АПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН
в стальных трубах	АПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН	АПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН	АПРТО, АПРВ, АППВС, АПРН	АППВС, АПРТО, АПРН	АППВС, АПРН, АПРТО	—

Примечание. Для прокладки проводов в трубах используются преимущественно пластмассовые трубы и лишь при невозможности их прокладки — стальные.

544

План электрической сети осветительной установки родильной



Технические параметры автоматических выключателей серий ВА14, ВА16, ВА51, ВА57, ВА61, АЕ1000 и АЕ2000

Тип автоматического выключателя	Технические параметры		Номинальный ток распределителей, А
	число полюсов	номинальный ток, А	
1	2	3	4
ВА14 26-14	1	32	6; 8; 10; 16; 20; 25; 32
ВА14 26-24	2		
ВА14 26-34	3		
ВА16-19	1	6,3	6
ВА16-21		10	10
ВА16-23		16	16
ВА16-24		20	20
ВА16-25		25	25
ВА51-29	1	63	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
ВА51-31	1, 2, 3	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100
ВА51-33		160	80; 100; 125; 160
ВА57-31	3	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100
ВА61F29-3C	3	63	0,5; 0,6; 1; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
ВА61F29-1B	1		
ВА51-25	3	25	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25
АЕ1000	1	10	0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 6; 10
АЕ1031	1	25	6; 10; 16; 25
АЕ2020	1, 2, 3	16	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16
АЕ2040	1, 2, 3	63	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
АЕ2046-10Б	3	63	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63

Окончание табл.

1	2	3	4
AE2045-10Б	2	63	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
AE2050	1, 2, 3	100	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100
AE2060	1, 2, 3	160	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160

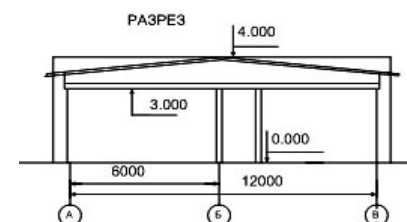
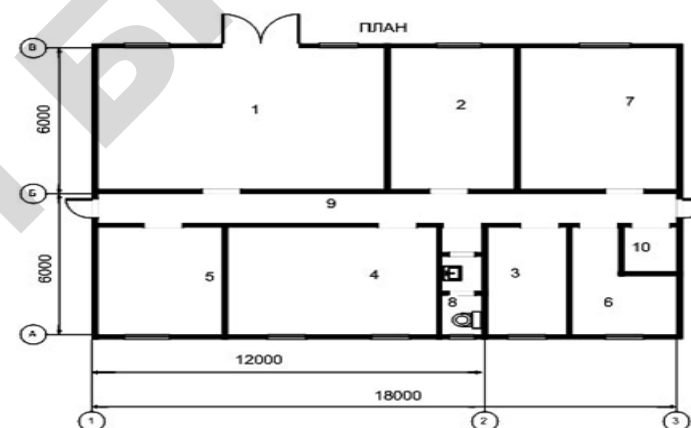
Приложение 28

Пример задания на выполнение курсового проекта

Задание на выполнение курсового проекта по дисциплине «Электротермия и светотехника»

Студенту _____ (Ф.И.О.), группы _____, курса _____, факультета _____

Тема проекта: «Проект осветительной установки молочного блока производительностью 3 тонны молока в сутки».



Экспликация помещений

Наименование помещения	№ на плане
Молокоприемная	1
Мочная	2
Лаборатория	3
Вакуум-насосная	4
Помещение холодильных установок	5
Склад моющих и дезинфицирующих средств	6
Склад для хранения готовой продукции	7
Уборная	8
Коридор	9
Электрощитовая	10

Характеристика строительных конструкций

Стены — из обыкновенного глиняного кирпича.
Перекрытие — из сборных железобетонных плит.
Полы — из керамических плиток, деревянные, бетонные.

Окна, двери — деревянные.

Инженерное оборудование

Отопление — водяное с параметрами 105–70 °С и воздушное.

Вентиляция — приточно-вытяжная с механическим побуждением.

Приложение 29

Продолжение табл.

Перечень частей осветительной установки, подлежащих осмотру и проверке при приеме ее в эксплуатацию

Наименование частей установки	Подлежат осмотру и проверке
1	2
Светильники	<p>1. Тип и количество светильников общего, местного рабочего и аварийного освещения, правильность их установки, мощность источников света.</p> <p>2. Наличие отличительных знаков на светильниках аварийного освещения, если они по типу и размеру не отличаются от светильников рабочего освещения.</p> <p>3. Марки и сечения проводов для зарядки и заземления осветительных арматур. Достаточность запаса длины проводов для повторного подсоединения в случае обрыва. Правильность подсоединения рабочего и защитного заземления к сети и контактными зажимам. Надежность присоединения фазного, нулевого и заземляющего проводов. Правильность выполнения ввода (в местах ввода провода не должны подвергаться механическим повреждениям, а контакты патронов должны быть разгружены от механических усилий).</p> <p>4. Надежность крепления патронов (патроны не должны проворачиваться при ввертывании ламп), съемных отражателей, рассеивателей и защитных сеток. Качество выполнения уплотнителей. Надежность узла подвеса.</p> <p>5. Исправность и тщательность очистки от пыли и грязи патронов, ламп, отражателей, рассеивателей, затенителей, защитных стекол, сеток и наружных поверхностей светильника. Качество покрытий наружных поверхностей.</p> <p>6. Расположение светильников в ряду и по высоте (не должно быть заметных для глаз отклонений).</p> <p>7. Привязка рядов светильников к стенам (колоннам). Расстояние между светильниками в ряду.</p>

1	2
Прожекторы	Для прожекторов дополнительно проверяются фокусировка, углы наклона и поворота (погрешность угла наклона и поворота допускается не более 2°).
Электрическая сеть	<p>1. Марки и сечения проводов, шнуров и кабелей.</p> <p>2. Виды и трассы электропроводок. Правильность размещения опор наружного освещения. (По мотивированным обстоятельствам и соображениям могут быть допущены изменения видов и трасс электропроводок. Значительные отклонения от проекта, влекущие за собой изменение способов прокладки, увеличение длины и сечений проводов (кабелей), должны быть подтверждены проектной организацией и отображены на исполнительных чертежах.)</p> <p>3. Заземление металлических оболочек и брони кабелей, кабельных конструкций, коробок, ящиков, распределительных и групповых щитов, металлических труб, арматуры и др.</p> <p>4. Законченные скрытые работы, своевременно осмотренные, принимаются по акту. При этом должны быть предъявлены акты: осмотра трубной канализации перед закрытием; приемки траншей, каналов, туннелей, блоков под монтаж кабелей; осмотра кабельной канализации в траншеях и каналах перед закрытием; приемки установленных опор воздушной линии под монтаж проводов; осмотра заземлителей нулевых проводов воздушных линий перед закрытием; проверки наличия цепи между заземлителями и нулевыми проводами.</p> <p>5. Качество выполнения работ. Внешним осмотром и выборочной проверкой устанавливаются: достаточность натяжки проводов (провисшие провода должны быть подтянуты или переложены); расстояния от проводов воздушных линий до поверхности земли, крыш, тротуаров, балконов, окон, стен зданий; правильность прокладки проводов</p>

1	2
	<p>и кабелей (при открытой проводке) относительно архитектурных линий помещений; правильность принятых расстояний между точками крепления и осями параллельно проложенных проводов и кабелей для разных видов электропроводки; правильность выполнения пересечений проводов и кабелей между собой и трубопроводами и выбора расстояний до трубопроводов при параллельной их прокладке; правильность выполнения проводов через стены, перегородки и междуэтажные перекрытия и вводов в здания от воздушных линий (сломанные воронки, втулки, поврежденные трубки должны быть заменены); наличие компенсирующих устройств в местах пересечения электропроводкой температурных и осадочных швов; правильность вывода проводов и кабелей из коробов, труб, металлорукавов (должна быть предусмотрена защита от повреждения острыми краями металла посредством установки втулок или раззенковки); наличие в производственных помещениях защиты от механических воздействий на спуски (подъемы) к выключателям, штепсельным розеткам, щиткам и аппаратам на высоте до 1,5 м от пола (площадки); правильность выполнения соединений и ответвлений проводов и кабелей; отсутствие механических усилий в местах соединений и ответвлений; правильность и надежность присоединения проводов и кабелей к аппаратам защиты и управления на групповых щитках, к выключателям, штепсельным розеткам и др.; наличие запаса проводов в местах соединений (в ответвительных коробках) и у мест присоединений к светильникам, электроустановочным изделиям и различным аппаратам; соблюдение необходимых мер защиты от коррозии металлических конструкций и частей осветительной установки (подверженные коррозии части установки, расположенные</p>

1	2
	<p>внутри помещения и на открытом воздухе, должны иметь окраску или защитные покрытия, предохраняющие их от воздействия окружающей среды).</p>
<p>Электроустановочные изделия (выключатели, переключатели, штепсельные розетки)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технические характеристики изделий: исполнение по роду защиты от воздействия окружающей среды (защищенное, брызгонепроницаемое и др.) и по способу установки (открытая, утопленная). 2. Правильность и надежность установки коробов для изделий утопленной установки (запас длины проводов, прочность закрепления изделия в коробке). 3. Места установки выключателей (выключатели должны быть установлены у входа в помещение так, чтобы они не закрывались открывающейся дверью, а выключатели для санитарных узлов, ванн и душевых должны быть установлены вне помещений). 4. Наличие напряжения в линиях штепсельных розеток. 5. Правильность схемы управления (проверяется включением и отключением светильников выключателями и переключателями). 6. Тщательность очистки от пыли и грязи коробов и изделий.
<p>Групповые и магистральные щитки</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Тип щитка, токи расцепителей автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей. 2. Правильность и надежность установки (плоскость дверей щита должна быть параллельна плоскости стены), качество уплотнения вводов проводов и кабелей. 3. Правильность подсоединения питающих и групповых линий (достаточность запаса длины проводов, надежность заземления корпуса щитка, брони и оболочки кабелей и металлических труб).

1	2
	<p>4. Исправность замка, наличие ключей и инструментов, поставляемых комплектно со щитком.</p> <p>5. Целостность частей щитка, тщательность окраски, очистки от пыли и грязи, отсутствие отверстий в кожухе, надписи на фронтальной части, устанавливающие назначение (рабочее или аварийное освещение) и номер щитка.</p> <p>6. Правильность схемы (проверяется последовательным включением групповых линий автоматическими выключателями со щитка).</p>

Типовые объемы работ по техническому обслуживанию и ремонту осветительных установок

Светотехническое оборудование	Состав работ по техническому обслуживанию и ремонту
1	2
Осветительные электропроводки	<p><i>Техническое обслуживание</i> Очистить электропроводку от пыли и грязи. Проверить состояние крепления проводки, закрепить при необходимости отдельные участки. Проверить состояние выключателей и розеток, ответвительных коробок, замеченные дефекты устранить. Проверить состояние соединения проводов в ответвительных коробках. Места проводки с поврежденной изоляцией усилить наложением нескольких слоев изолянта. Проверить состояние заземления металлических защитных конструкций.</p> <p><i>Текущий ремонт</i> Выполнить операции технического обслуживания. Заменить отдельные дефектные участки электропроводки, неисправные выключатели и розетки. Проверить сопротивление изоляции проводки мегомметром.</p>
Осветительные щитки	<p><i>Техническое обслуживание</i> Очистить щиток от пыли и грязи. Проверить состояние контактов между шинами щитка, кабеля и провода. Проверить состояние коммутационных аппаратов предохранителей, соответствие токов их плавких вставок расчетным значениям, состояние заземления щитка.</p> <p><i>Текущий ремонт</i> Выполнить операции технического обслуживания. Проверить состояние изоляционных деталей щитка, дефектные детали заменить. Поменять обгоревшие шины, коммутационные аппараты и предохранители. Окрасить кожух щитка, восстановить предупредительные надписи.</p>

1	2
Светильники с лампами накаливания	<p><i>Техническое обслуживание</i></p> <p>Измерить освещенность в контрольных точках. Очистить светильник от пыли и грязи, проверить его работоспособность, заменить в нем перегоревшие лампы. Проверить соответствие лампы типу светильника. Заменить защитные стекла, имеющие трещины и сколы. Снять корпус патрона и проверить состояние его частей. Зачистить окислившиеся или подгоревшие контакты и собрать патрон. Подтянуть ослабевшие зажимы. Проверить состояние изоляции проводов в месте ввода в светильник, а также надежность присоединения нулевого провода к зажиму на корпусе светильника.</p> <p><i>Текущий ремонт</i></p> <p>Очистить светильник от пыли и грязи, разобрать его, осмотрев все детали на наличие сколов и трещин. Дефектные детали отремонтировать или заменить. Выправить вмятины и погнутости деталей корпуса. Очистить детали от ржавчины. Покрыть места с поврежденной окраской грунтовкой и просушить. Окрасить светильник, кроме отражателя и экранирующей решетки, подходящей по цвету эмалью и высушить. Окрасить отражатель (эмалированный) и экранирующую решетку белой эмалью. Собрать схему светильника. Проверить сопротивление изоляции проводов. Проверить работоспособность ламп и установить их в светильник. Подключить светильник к электрической сети и проверить его работоспособность.</p>
Светильники с газоразрядными лампами	<p><i>Техническое обслуживание</i></p> <p>Очистить светильник от пыли и грязи. Проверить его работоспособность, заменить перегоревшие лампы, проверить состояние рассеивателей. Снять и разобрать патроны ламп и стартеров, зачистить окислившиеся или подгоревшие</p>

1	2
	<p>контакты и собрать патроны. Проверить надежность крепления к корпусу светильника ПРА, конденсаторов, патронов, клеммных коробок. Проверить состояние изоляции проводов в месте ввода в светильник, а также надежность присоединения нулевого провода к зажиму на корпусе светильника. Подтянуть ослабевшие зажимы.</p> <p><i>Текущий ремонт</i></p> <p>Очистить светильник от пыли и грязи. Вывернуть болты крепления защитного стекла (рассеивателя) и снять защитное стекло (рассеиватель или экранирующую решетку). Разобрать светильник, осмотреть все детали. Патроны ламп, стартеров и соединительные колодки не должны иметь сколов и трещин на корпусах, все крепежные детали (резьбовые) не должны иметь срыва ниток, на контактных поверхностях не должно быть следов окисления. Дефектные детали отремонтировать или заменить. Проверить работоспособность ПРА, при неисправности или повышенном уровне шума заменить. Проверить исправность конденсаторов и резисторов. Выправить вмятины и погнутости деталей корпуса. Очистить детали корпуса от ржавчины. Покрыть места с поврежденной окраской грунтовкой и просушить. Окрасить отражатель (эмалированный) и экранирующую решетку белой эмалью. Собрать схему светильника, проверить сопротивление изоляции проводов. Проверить работоспособность ламп и стартеров и установить их в светильник (облучатель). Подключить светильник сети и проверить его работоспособность. Установить экранирующую или защитную решетку (защитное стекло, рассеиватель).</p>

Приложение 31

Возможные неисправности в светильниках, их вероятные причины и пути устранения

Вид неисправности	Возможные причины появления	Рекомендуемые пути устранения
1	2	3
При люминесцентных лампах		
Лампа не зажигается. По концам лампы нет свечения	Прервана цепь тока (плохой контакт или обрыв в цепи ПРА или патрона); недостаточное напряжение сети; неисправен стартер; неисправна лампа; ошибки в схеме соединений; неисправен ПРА	Проверка индикатором (контрольной лампой) наличия напряжения на вводах в лампо- и стартеродержатели; проверка вольтметром напряжения сети; замена стартера или лампы; проверка всех соединений в схеме. Если обрыва проводов и нарушения контактных соединений и ошибок в схеме не обнаружено, очевидно, неисправен ПРА и необходимо его замена
Лампа мигает, но не зажигается, имеется свечение только на одном конце лампы	Ошибки в схеме; замыкание в цепи или патроне, замыкающее лампу (проверяется перестановкой лампы таким образом, чтобы ее концы поменялись патронами). Замыкание выводов в самой лампе на том конце, где нет	Проверка схемы соединений, замена патрона, замена лампы, замена стартера или ПРА. При низкой температуре окружающей среды лампу на некоторое время поместить в теплое помещение и затем снова быстро

Продолжение табл.

1	2	3
	свечения; неисправность стартера; низкая температура окружающего воздуха; недостаточное напряжение в сети (контроль производится вольтметром)	установить в светильник и включить. При длительном спаде напряжения в сети использовать повышающий трансформатор
Лампа не мигает и не зажигается. Свечение имеется на обоих концах	Ошибки в схеме; неисправен стартер (пробой конденсатора для подавления радиопомех или замыкание контактов стартера); потеря эмиссии электродов лампы, низкая температура или высокая влажность окружающей среды	Проверка вольтметром напряжения сети; замена стартера; проверка напряжения на катодах и на зажимах лампы, проверка схемы
Лампа мигает и не зажигается.	Ошибки в схеме; неисправный стартер; низкое напряжение в сети; потеря эмиссии электродов лампы	Проверка напряжения сети; замена стартера; замена лампы. Если стартер работает нормально, то замена ПРА
В лампе при включении появляется быстро исчезающее оранжевое свечение. Лампа не зажигается	Неисправна лампа	Замена лампы
Лампа попеременно зажигается и гаснет	Неисправна лампа; неисправен стартер	Замена лампы; замена стартера
Лампа зажигается, но ее яркость заметно ниже яркости	Неисправен ПРА (мал рабочий ток); неисправна лампа	Измерение рабочего тока аппарата. Если он меньше

1	2	3
других ламп	(в лампе мало ртути); недостаточное напряжение сети	нормального, заметить ПРА; измерение напряжения сети. При исправном ПРА и нормальном напряжении неисправна лампа; замена лампы
При включении лампы перегорают спирали ее электродов. Почернение концов лампы	Неисправен ПРА (нарушена его изоляция). Неисправна лампа. Неисправный или непригодный стартер (холодное зажигание — недостаточный подогрев электродов перед зажиганием). Ошибка в схеме (в двухламповых ПРА с расщепленной фазой возможна неправильная полярность обмотки). Почернение (осаждена ртуть)	Замена ПРА. Замена лампы. Замена стартера. Испытание ПРА и, если необходимо, его замена. Поворот лампы на 180° (иногда почернение пропадает через некоторое время работы лампы)
Лампа зажигается, при ее горении начинается вращение разрядного шнура и проявляются перемещающиеся спиральные и змеевидные полосы света, зоны неравномерной яркости	Неисправна лампа; сильные колебания напряжения сети; неплотный, колеблющийся контакт; ПРА из-за неисправности дает большой рабочий ток через лампу; лампу охватывают магнитные силовые линии рассеивания ПРА	Замена лампы; проверка напряжения сети; проверка контактных соединений; замена ПРА или установка экранов из листового стали

1	2	3
При включении концы лампы чернеют и лампа больше не зажигается, при последующей проверке обнаруживается стгорание нитей накала	Неисправность лампы — загазованность. Неисправен ПРА, подающий на лампу повышенное напряжение	Замена лампы. Испытание ПРА и, если необходимо, его замена
При включении наблюдается яркая вспышка у концов лампы, после чего лампа не зажигается и электроды не накаляются	Короткое замыкание в обмотках ПРА. Нарушение изоляции проводов схемы. Неисправна лампа	Мегомметром проверяют сопротивление изоляции проводов по отношению к корпусу светильника. Если сопротивление в норме, то проверяют лампу на зажигание. Если лампа зажигается нормально, то меняют ПРА
<i>При лампах накаливания</i>		
Лампа не зажигается или горит вполнакала	Отсутствует напряжение сети. Напряжение сети ниже номинального. Неисправна схема включения. Перегорела лампа	Проверить наличие и качество напряжения, Проверить схему. Заменить лампу
<i>При лампах ДРЛ, ДРИ, ДНаТ</i>		
Лампа не зажигается и не горит	Неисправность схемы. Отсутствует напряжение питания. Неисправно устройство зажигания (ИЗУ или УИЗУ). Неисправна лампа	Проверить напряжение сети и схему включения. Заменить ИЗУ или УИЗУ. Заменить лампу

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	8
1.1. ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ: ПОНЯТИЕ, ПРИРОДА, СВОЙСТВА	8
1.2. СПЕКТР ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕГО ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ	10
1.3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	13
1.4. КРИВАЯ СИЛЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ИСТОЧНИКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ	17
1.5. ОБЛУЧЕННОСТЬ ОТ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, СФЕРЫ, ЦИЛИНДРА	19
1.6. ПРИЕМНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ	24
1.7. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПРИЕМНИКАМИ, ПОНЯТИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПОТОКА	28
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	32
2. СВЕТОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ...	33
2.1. ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	33
2.2. УСЛОВИЯ ВИДИМОСТИ ОКРУЖАЮЩИХ ПРЕДМЕТОВ	38
2.3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	41

2.4. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	46
2.5. МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА И СИЛЫ СВЕТА ПРИБОРАМИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ	52
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	54
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	55
3. ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	57
3.1. ИСКУССТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ	57
3.2. ТЕПЛОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	60
3.2.1. Основные положения теории теплового излучения	60
3.2.2. Лампы накаливания общего назначения	65
3.2.3. Кварцевые галогенные лампы накаливания	72
3.2.4. Инфракрасные зеркальные лампы-термоизлучатели	75
3.3. ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	76
3.3.1. Основные положения теории электрического разряда в газах и парах металлов	77
3.3.2. Газоразрядные лампы низкого давления	84
3.3.3. Схемы включения в сеть газоразрядных ламп низкого давления	90
3.3.4. Газоразрядные лампы высокого давления и схемы их включения в сеть	98
3.3.5. Специальные газоразрядные источники бактерицидного, витального и фотосинтетического излучений	112
3.3.6. Светодиоды	117
3.3.7. Индукционные лампы	122
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	125

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВОТТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ	127	4.5.4. Выбор светильников	201
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БАЛЛАСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И СВОТТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП	134	4.5.5. Размещение светильников в освещаемом пространстве	204
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВОТТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В ПЕРИОД ИХ РАЗГОРАНИЯ	142	4.6. СВОТТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ...	209
4. УСТАНОВКИ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ	148	4.7. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ, СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК, ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ ДОРОГ И УЛИЦ	226
4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ	148	4.7.1. Прожекторное освещение	226
4.2. СТЕПЕНИ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	155	4.7.2. Освещение открытых пространств светильниками ...	233
4.3. СВОТОВЫЕ ПРИБОРЫ	165	КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	239
4.3.1. Устройство, классификация, характеристики, условное обозначение и номенклатура светильников	165	ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ	241
4.3.2. Устройство, характеристики и область применения прожекторов	174	ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВОТОВОГО ПОТОКА ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.....	248
4.3.3. Устройство, номенклатура и область применения комплектных осветительных устройств	176	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. ПРАВИЛА И НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВОТТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....	255
4.4. НОРМИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ, ПОМЕЩЕНИЙ И ТЕРРИТОРИИ	179	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК МЕТОДОМ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ	259
4.5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВОК ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ	187	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК МЕТОДОМ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВОТОВОГО ПОТОКА	262
4.5.1. Выбор источников света	187	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ТОЧЕЧНЫМ МЕТОДОМ	265
4.5.2. Выбор системы и вида освещения	194	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ, СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК, ДОРОГ И УЛИЦ	269
4.5.3. Выбор нормируемой освещенности и коэффициента запаса	197		

5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	272
5.1. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК...	272
5.2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....	283
5.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	309
5.3.1. Выбор напряжения и схемы питания электрической сети.....	310
5.3.2. Выбор групповых щитков, определение места их расположения и трассы сети.....	313
5.3.3. Выбор марки проводов (кабелей) и способов их прокладки	315
5.3.4. Расчет и проверка сечения проводников электрической сети	317
5.4. УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ РАБОТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	333
5.5. УЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ.....	346
5.6. ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ НА ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ	350
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	353
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ.....	355
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....	361
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7. РАСЧЕТ СЕЧЕНИЯ ПИТАЮЩИХ И ГРУППОВЫХ СЕТЕЙ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....	364

6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	367
6.1. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	369
6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПЕРСОНАЛА ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	374
6.3. ПРИЕМКА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	376
6.4. ПОРЯДОК И ОБЪЕМ РАБОТ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	380
6.5. СПОСОБЫ И СРОКИ ЧИСТКИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И ИСТОЧНИКОВ СВЕТА.....	384
6.6. СРЕДСТВА ДОСТУПА К ОСВЕТИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРАМ И ИСТОЧНИКАМ СВЕТА.....	392
6.7. ХАРАКТЕРНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ	395
6.8. МЕРЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ, ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ САНИТАРИИ И ЭКОЛОГИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	397
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	406
7. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	407
7.1. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РАЦИОНАЛЬНАЯ ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ.....	407
7.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ.....	416
7.3. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	419

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	430
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....	431
ЛИТЕРАТУРА.....	434
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	437

Учебное издание

Степанцов Вячеслав Павлович, Кустова Раиса Ивановна

СВЕТОТЕХНИКА

Учебное пособие

Ответственный за выпуск В. П. Степанцов
Редактор А. И. Третьякова
Компьютерная верстка А. И. Третьяковой

Подписано в печать 14.03.2012. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 33,02. Уч.-изд. л. 25,81. Тираж 300 экз. Заказ 278.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.
Пр. Независимости. 99-2, 220023, Минск.