

**УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ ВЫСШИХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ**

**Ю.М.ЖИЛИНСКИЙ
В.Д.КУМИН**

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ И ОБЛУЧЕНИЕ

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по специальностям 1510 — «Электрификация сельского хозяйства» и 1515 — «Автоматизация сельскохозяйственного производства»



МОСКВА «КОЛОС» 1982

ББК 40.7

Ж72

УДК 63:535.21(075.8)

Рецензенты: кандидаты техн. наук *Л. П. Тищенко* и *С. С. Шевель* (УСХА), канд. техн. наук *В. А. Козинский* и инж. *Н. П. Кочетков* (Ижевский сельскохозяйственный институт)

Жилинский Ю. М., Кумин В. Д.

Ж 72 Электрическое освещение и облучение. — М.: Колос, 1982. — 272 с., ил., 4 л. ил. — (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).

Учебное пособие предназначено для студентов факультетов электрификации сельского хозяйства и автоматизации сельскохозяйственного производства. В нем изложены физические основы получения, преобразования и использования оптического излучения в сельскохозяйственном производстве. Приведены методы расчета осветительных и облучательных установок, их конструктивные особенности, возможности автоматизации этих установок, технико-экономическая оценка их эффективности, а также вопросы их эксплуатации.

Ж $\frac{3802040200-243}{035(01)-82}$ 253—82.

ББК 40.7
631.3

Юрий Мечиславович Жилинский, Владимир Дмитриевич Кумин

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ И ОБЛУЧЕНИЕ

Заведующая редакцией *А. И. Гераскина*

Редактор *В. М. Никитина*

Художественный редактор *Е. Г. Прибегина*

Технический редактор *Н. В. Новикова*

Корректор *В. М. Русина*

ИБ № 2923

Сдано в набор 16.03.82. Подписано к печати 13.08.82. Т-16531. Формат 84×108 $\frac{1}{32}$. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 14,28+ +4 цв. вкл. Усл. кр.-отт. 16,8. Уч.-изд. л. 15,11. Изд. № 179. Тираж 16 000 экз. Заказ № 114. Цена 85 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спаская, 18.

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 113105, Нагатинская ул., д. 1.

© Издательство «Колос», 1982

Трудно переоценить сегодня значение оптического излучения (ультрафиолетового, видимого и инфракрасного участков спектра электромагнитных колебаний), естественного или полученного искусственно, в жизнедеятельности человечества. Все живое на нашей планете возникло и существует благодаря оптическому излучению. Это в первую очередь относится к зеленым растениям, без которых не могли бы существовать ни животные, ни человек. Зеленые растения — это первоисточник всех традиционных энергетических ресурсов Земли (торф, уголь, нефть, газ). К. А. Тимирязев в работе «Об усвоении света растением» писал: «...зерно хлорофилла — исходная точка всякого органического движения, всего того, что мы разумеем под словом жизнь».

Невозможно представить себе современную производственную деятельность людей в темное время суток без электрического освещения. На фоне бурного развития электроэнергии в нашей стране и других развитых странах все явственнее проявляется тенденция к увеличению доли потребления электроэнергии в осветительных и облучательных установках. Так, в развитых капиталистических странах (таких как Франция и др.) количество электроэнергии, расходуемое на искусственное освещение, составляет более 20% общего расхода ее на все потребности страны. В США, например, производство светотехнических изделий в 70-х годах возросло на 15% при общем росте валового продукта лишь на 3,5%, то есть развитие светотехнической отрасли производства более чем в 4 раза в среднем опережает остальные. Рационально спроектированные и грамотно осуществленные осветительные установки позволяют существенно повысить про-

изводительность труда и качество продукции без значительных затрат материальных и денежных ресурсов.

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

Все большую роль в балансе потребления электроэнергии играют облучательные установки. Необходимо отметить различие между осветительными и облучательными установками. Под осветительными установками понимаются устройства, обеспечивающие нормальные условия видения для выполнения технологических операций или ориентирования в окружающем пространстве. Облучательные установки оказывают непосредственное влияние на технологические процессы в сельскохозяйственном производстве, в результате чего повышается их эффективность: увеличиваются урожай растений, продуктивность животных, птицы и т. п.

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» отмечается необходимость создавать и внедрять в производство новую технику, прогрессивную технологию. Оптическое излучение как технологический фактор в сельскохозяйственном производстве является новым и перспективным направлением в его интенсификации. Партией и правительством уделяется большое внимание развитию этого направления электрификации сельского хозяйства. Объем светотехнических изделий, выпускаемых для сельского хозяйства, только за десятилетку увеличился в 1,5 раза. Промышленность выпускает многие десятки типов источников оптического излучения, светильников и облучателей, предназначенных для использования в сельскохозяйственном производстве.

В отличие от традиционных приемов и технологий, сложившихся в науке о механизации сельского хозяйства, использование оптического излучения как технологического фактора не связано с механическим воздействием на обрабатываемые объекты. Необходимое положительное воздействие достигается благодаря значительной проникающей способности излучения и специфическому воздействию его на клеточном и молекулярном уровнях.

Выявляются новые области сельскохозяйственного производства, в которых использование оптического излучения приведет к значительному повышению эффективности производства.

Основным элементом осветительной или облучательной установки является источник оптического излучения. В истории создания и совершенствования источников оптического излучения сыграли огромную роль русские ученые прошлого века и советские ученые и инженеры.

В 1802 г. профессор В. В. Петров публично демонстрировал явление электрической дуги, для которого потребовался источник постоянного тока с ЭДС более 2000 В. Это послужило основой для развития двух главных направлений в разработке источников оптического излучения: источников, основанных на тепловом излучении, и источников, основанных на электрическом разряде, сопровождающемся оптическим излучением.

В 1872 г. А. Н. Лодыгин подал заявку на привилегию, предметом которой была лампа с угольным телом накаливания, заключенным в стеклянную колбу. Однако широкого распространения она не получила. Предпочтение отдавалось в те годы лампам П. Н. Яблочкова («свеча Яблочкова»), представлявшим собой открытую электрическую дугу между двумя, расположенными параллельно, угольными стержнями, разделенными легкоплавкой вставкой, исключавшей необходимость в устройстве, регулирующем расстояние между концами угольных электродов по мере их сгорания. Тем не менее лампа А. Н. Лодыгина сыграла большую роль в дальнейшем совершенствовании источников света, основанных на тепловом излучении. Она послужила исходным образцом для обширных изысканий и организации промышленного производства ламп накаливания известным американским изобретателем Т. А. Эдисоном.

Опуская промежуточные этапы совершенствования конструкций ламп накаливания, которые и сегодня являются наиболее распространенными, отметим, что лишь в тридцатых годах нашего века был создан источник света, способный конкурировать с лампой накаливания, — люминесцентная лампа, в которой преобразование электрической энергии в энергию оптического излучения происходит в результате воздействия ультрафиолетового излучения, возникающего при электрическом разряде в парах ртути в межэлектродном промежутке, на люминофор

(порошкообразное химическое вещество), наносимый на внутреннюю поверхность колбы лампы. В разработке теории и практическом освоении производства люминесцентных ламп ведущую роль сыграл в 30-х годах нашего столетия бывший президент Академии наук СССР С. И. Вавилов.

В настоящее время промышленностью нашей страны выпускаются газоразрядные лампы высокого и сверхвысокого давления и без использования люминофоров. Тысячи типов источников оптического излучения производятся для всех отраслей народного хозяйства.

Как было отмечено выше, оптическое излучение — важный технологический фактор, позволяющий интенсифицировать различные процессы сельскохозяйственного производства. В связи с этим учебная дисциплина «Электрическое освещение и облучение», введенная в 1966 г. в учебный план всех факультетов электрификации сельскохозяйственного производства, стала профилирующей. При создании факультетов автоматизации сельскохозяйственного производства она вошла в качестве самостоятельного раздела в курс «Электрическое освещение и электротехнология в сельскохозяйственном производстве».

Раздел первый

ФИЗИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ



Глава 1

ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЕГО ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В ДРУГИЕ ВИДЫ ЭНЕРГИИ

§ 1.1. Основные понятия и определения

Излучение есть перенос энергии от излучающего тела к поглощающему. Более строго можно определить понятие излучения как материю особой формы, имеющую массу покоя, равную нулю, и движущуюся в безвоздушном пространстве с постоянной скоростью.

Энергия излучения является количественной мерой движения материи и представляет собой одну из качественных разновидностей энергии.

Физическая сущность возникновения излучения в настоящем пособии не рассматривается, так как является предметом изучения в курсе физики технического вуза.

Часть спектра электромагнитных излучений, наиболее значимая для нашей дисциплины, и прилегающие к ней области электромагнитных излучений показаны на рисунке 1.1 (вклейка).

Свойства электромагнитных излучений, начиная от γ -излучений и до излучений диапазона радиоволн, существенно различны и определяются в значительной мере энергией фотонов. Излучения с длинами волн в диапазоне от 1,0 нм до 1,0 мм выделены из общего спектра электромагнитных излучений и называются оптическим излучением. В указанных пределах содержится ультрафиолетовое излучение (невидимое), видимое и инфракрасное (невидимое). Излучения этих трех диапазонов в практическом их использовании по-разному воздействуют на людей, животных, растения и другие объекты. Однако они объединены общим названием «оптическое излучение», потому что принципы возбуждения оптического излучения, его распространения в простран-

ве и преобразования в другие виды энергии общие и весьма близкие.

Участки спектра, занимаемые перечисленными излучениями, неодинаковы: ультрафиолетовое— $1,0 \dots 380$ нм, видимое — $380 \dots 760$ нм, инфракрасное — 760 нм $\dots 1,0$ мм. Из приведенных цифр следует, что видимое излучение занимает самую узкую часть оптического диапазона. Однако необходимо отметить, что именно видимое излучение играет решающую роль в жизнедеятельности человека, так как обеспечивает возможность ориентироваться в пространстве, различать цвета окружающих предметов, выполнять необходимые технологические операции. Продукты питания растительного и животного происхождения и энергетические ресурсы (уголь, нефть, газ и др.), которые получает человечество, — это результат воздействия видимого излучения Солнца на нашу планету через посредство фотосинтеза, непрерывно происходящего на Земле в зеленых растениях. На рисунке 1.1 в нижней его части показана кривая излучения Солнца и выделена видимая его часть.

В окружающем нас пространстве постоянно существует поле оптического излучения, так как все тела, температура которых выше абсолютного нуля, непрерывно обмениваются энергией, являющейся мерой движения материи особой формы — излучения. Энергия оптического излучения измеряется в джоулях (Дж). В практике удобнее пользоваться понятием мощности излучения, то есть энергии излучения, переносимой в единицу времени. Мощность излучения называют потоком излучения и измеряют в ваттах (Вт).

Качественные и количественные характеристики потока излучения следующие:

- 1) спектральный состав;
- 2) распределение в пространстве;
- 3) изменение величины во времени.

§ 1.2. Распределение энергии оптического излучения по спектру

Рисунок 1.1 показывает, что видимое излучение Солнца неоднородно, хотя оно и создает ощущение белого света. Поскольку спектр Солнца сплошной, цвета, составляющие видимое излучение, плавно переходят один в другой. Условно можно выделить восемь характерных

Таблица 1.1

Длина волн, нм	Цвет	Длина волн, нм	Цвет
80...450	Фиолетовый	550...575	Желто-зеленый
50...480	Синий	575...585	Желтый
80...510	Голубой	585...620	Оранжевый
10...550	Зеленый	620...760	Красный

цветов и ориентировочно указать их границы на шкале длин волн (табл. 1.1).

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

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

Средневолновое УФ излучение (область В) в диапазоне от 315 до 280 нм оказывает более сильное и разнообразное воздействие на организмы.

Коротковолновое УФ излучение (область С) с длинами волн короче 280 нм проявляет бактерицидное действие, то есть способность уничтожать бактерии, губительно действовать на растения, оказывать вредное действие на человека.

Излучение с длиной волны короче 200 нм активно поглощается атмосферой и получило название вакуумного УФ излучения.

В спектре инфракрасного излучения (ИК излучения) различают области ИК-А (780...1400 нм), ИК-В (1400...3000 нм), ИК-С ($3 \cdot 10^3 \dots 10^6$ нм).

Необходимо отметить, что указанные границы различных участков оптической части спектра следует считать условными, ориентировочными.

§ 1.3. Преобразование оптического излучения в другие виды энергии

Преобразование излучения происходит в приемниках оптического излучения, под которыми понимаются любые объекты независимо от их происхождения и агрегатного состояния, в которых энергия оптически-

го излучения превращается в другие виды энергии. Первичным процессом преобразования излучения является поглощение приемником фотонов падающего на него излучения. Количественно этот процесс оценивается коэффициентом поглощения α , представляющим собой отношение поглощенной приемником энергии оптического излучения к упавшей на него.

В соответствии с законом сохранения энергии для оптического излучения процесс преобразования в общем виде можно описать следующим уравнением:

$$W_{\alpha} = \alpha \int_{t_0}^t \Phi(t) dt = W_{\Sigma} + W_{\Pi}, \quad (1.1)$$

где W_{α} — энергия оптического излучения, поглощенная за промежуток времени dt , Дж; α — коэффициент поглощения излучения приемником; $\Phi(t)$ — поток излучения, упавший на приемник, в функции времени, Вт; W_{Σ} — эффективная энергия, Дж; W_{Π} — энергия потерь, Дж.

Величины W_{Σ} и W_{Π} требуют некоторого разъяснения.

Энергия оптического излучения принципиально может преобразовываться в любой другой вид энергии: тепловую, электрическую, энергию химических связей и т. п.

В практике установки, в которых используется оптическое излучение, имеют конкретное назначение получить определенный положительный результат воздействия оптического излучения на приемник, в качестве которого может быть человек, животное, растение, сельскохозяйственные продукты, фотоэлемент, фоторезистор и т. п.

При решении таких задач предусматривается превращение в приемнике энергии оптического излучения в определенный другой вид энергии, что позволит получить ожидаемый положительный результат. Но, как и в любом процессе, преобразование одного вида энергии в другой не обходится без потерь, то есть часть энергии излучения преобразуется в такие виды энергии, которые для решения данной задачи не нужны.

Таким образом, под W_{Σ} следует понимать ту часть поглощенной приемником энергии излучения, которая преобразовалась в необходимый вид энергии, обеспечивающий ожидаемый положительный эффект. Другие виды энергии, которые при этом образовались побочно, следует отнести к потерям W_{Π} .

Глава 2

ФОТОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

§ 2.1. Виды фотобиологического воздействия

Энергия оптического излучения непосредственно воздействует на человека, животных, растения, микроорганизмы и другие приемники. Основные виды фотобиологического воздействия следующие.

Световое воздействие выражается в зрительном ощущении человека и животного, позволяющем ориентироваться в окружающем пространстве.

Фотосинтезное действие выражается в том, что видимое и длинноволновое УФ излучения обеспечивают процесс, в результате которого в зеленых растениях из минеральных веществ синтезируются вещества органические.

Фотопериодическое действие выражается в том, что при различном чередовании и длительности периодов освещенности (облученности) и темноты проявляется влияние на развитие растений, животных, птицы.

Терапевтическое (эритемное, антирахитное) действие оптического излучения заключается в следующем. Облучение людей, животных, птицы дозированными количествами УФ, видимого, ИК излучений улучшает обмен веществ, повышает сопротивляемость организма к заболеваниям.

Бактерицидное действие состоит в том, что облучение УФ излучением и в больших количествах видимым и ИК излучением вызывает гибель бактерий, растений, насекомых.

Мутагенное действие оптического излучения выражается в том, что длительное воздействие на животных и растения УФ излучения приводит к наследственным изменениям, которые можно использовать для выведения растений и других организмов с новыми свойствами.

Для каждого фотобиологического процесса можно построить зависимость его интенсивности от длины волны излучения. Такую графическую зависимость называют спектром действия излучения. Спектр действия имеет важное значение при создании эффективных и экономичных источников излучения и проектировании облучательных установок.

Если объект подвергать облучению активным в отношении данного процесса излучением и одновременно воздействовать на него излучением неактивным в отношении того же процесса, то последнее может повысить или снизить эффективность облучения. Например, при сопровождении ультрафиолетового облучения животных интенсивным освещением эффективность ультрафиолетового облучения будет значительно меньшей, чем одного облучения. Это явление взаимной связи излучений различных диапазонов длин волн при воздействии на один объект называется фотореактивацией.

§ 2.2. Воздействие оптического излучения на человека

Излучения всех трех диапазонов оптической части спектра активно воздействуют на человека. Результат воздействия различен и определяется энергией квантов излучения, уровнем облученности и продолжительностью действия. Он может быть как положительным (благоприятным), так и отрицательным для отдельных органов человека и для организма в целом.

Ультрафиолетовое солнечное излучение в определенных дозах дает благоприятные результаты, так как под его влиянием образуются биологически активные вещества (витамин D и др.). Распространяясь по организму, эти вещества оказывают положительное терапевтическое и тонизирующее действие на организм. В результате поглощения квантов ультрафиолетового излучения на коже человека спустя несколько часов возникают эритема и пигментация. Переоблучение приводит к воспалительным процессам и, следовательно, вредно для здоровья. Недостаток естественного ультрафиолетового излучения в северных районах нашей страны, особенно в зимний период, приводит к ослаблению организма, поэтому в настоящее время в этих районах используют искусственное ультрафиолетовое облучение людей. Коротковолновое ультрафиолетовое излучение может вызывать заболевание глаз — конъюнктивит, если они не защищены.

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

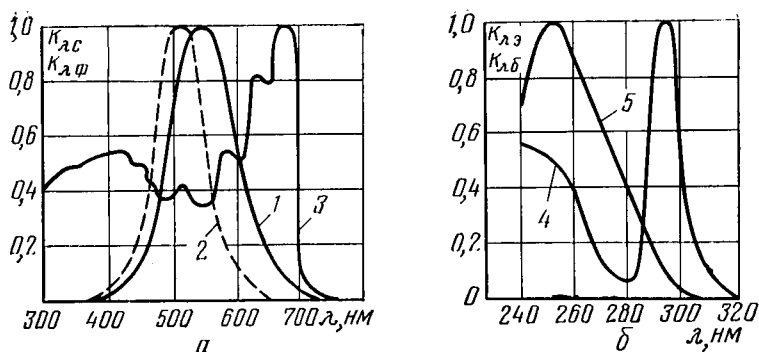


Рис. 2.1. Спектры действия видимого (а) и ультрафиолетового (б) излучений:

1 — спектральная чувствительность глаза человека при дневном зрении; 2 — то же, при ночном зрении; 3 — спектральная чувствительность среднего листа растения; 4 — спектр эритемного действия УФ излучения; 5 — спектр бактерицидного действия УФ излучения.

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

Глаз человека способен активно воспринимать освещенность от 0,1 лк до 100 000 лк благодаря способности приспосабливаться к различным уровням освещенности — а д а п т а ц и и. Глаз является избирательным приемником оптического излучения, то есть при одной и той же мощности видимого излучения, но разных длин волн получаются разные уровни светового ощущения. Спектральная чувствительность глаза непостоянна даже для одного человека. Она определяется уровнем яркости наблюдаемого объекта (см. § 3.3).

В сетчатой оболочке глаза содержатся два типа светочувствительных элементов. Одни работают при высоких уровнях освещенности сетчатки, другие — при низких. Соответственно этому различают кривые спектральной чувствительности для дневного и ночного зрения (рис. 2.1, а, кривые 1 и 2). Основной принято считать кривую, характеризующую спектральную чувствительность дневного зрения с максимумом при длине волны 555 нм. Кривая ночного зрения смещена в сторону мень-

ших длин волн. При переходе от освещенностей, соответствующих ночному зрению, к освещенностям дневного зрения глаз находится в режиме сумеречного зрения, когда работают оба типа чувствительных элементов сетчатки. Сумеречный режим работы наиболее неблагоприятен для зрения.

Инфракрасное излучение обладает значительной проникающей способностью, позволяющей нагревать глубинные ткани человека, и оказывает тепловое действие.

§ 2.3. Воздействие оптического излучения на животных и птицу

Проявления воздействия оптического излучения на животных и птицу весьма разнообразны и зависят от спектрального состава излучений.

Ультрафиолетовое излучение оказывает сильное тонирующее и терапевтическое действие на организм животных. Установлено влияние УФ облучения на обмен веществ, процессы дыхания, активизацию кровообращения, увеличение содержания гемоглобина в крови, активизацию деятельности желез внутренней секреции и другие функции организма животного.

Излучение области УФ-А наименее активно, хотя и оказывает определенное положительное влияние на организм животных и птицы. Излучение области УФ-В вызывает покраснение облученных участков кожи (эритему), обладает антирахитным действием, способно превращать провитамин D в витамин D, способствующий повышению усвояемости кормов, общему оздоровлению организма, сохранности молодняка. В связи с переводом животноводства и птицеводства на промышленную основу, при которой широко используют безвыгульное содержание крупного рогатого скота, свиней и птицы, проявляется сезонное солнечное голодание. Значительно уменьшить отрицательные последствия этого можно правильной организацией ультрафиолетового облучения и светового режима. Спектр эритемного действия приведен на рисунке 2.1, б (кривая 4). Максимум кривой приходится на длину волны 297 нм. При расчетах облучательных установок учитывается лишь часть кривой, лежащая в диапазоне длин волн 280...320 нм.

Ультрафиолетовое излучение области УФ-С, по имеющимся данным, также может оказывать положительное

действие на животных и в основном используется как фактор бактерицидного воздействия на вредные микроорганизмы.

Ультрафиолетовое облучение положительно влияет на животных и птицу при соблюдении правильного режима кормления полноценными, сбалансированными по необходимым компонентам кормами и соблюдении требуемого дозирования облучения.

Необходимо отметить, что механизм действия ультрафиолетового излучения на живые организмы изучен не в полной мере.

УФ излучение с длиной волны менее 280 нм, имеющее большую энергию квантов, воздействуя на бактерий, приводит к коагуляции содержащихся в них белковых веществ и гибели бактерий. Свойство излучения убивать бактерии называется **бактерицидностью**.

Наибольшей бактерицидной эффективностью обладают излучения с длиной волны 254 нм. На рисунке 2.1, б приведен спектр бактерицидного действия излучения (кривая 5). Видно, что излучения с длиной волны 300 нм и более обладают меньшим бактерицидным действием. Различные виды бактерий неодинаково чувствительны к ультрафиолетовому излучению. Наименее чувствительны дифтерийные бактерии, более чувствительны кишечные бактерии коли, стафилококки, бациллы холеры, тифа.

Спектры бактерицидного действия для различных видов бактерий отличаются друг от друга незначительно.

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

Физиологические ритмы (размножение, смена волосяного и перового покрова и др.) определяются условиями светового режима. Продуктивность животных и птицы зависит при прочих равных условиях от уровня освещенности, режима освещенности и спектрального состава излучения.

В условиях промышленного животноводства и птицеводства особое значение имеет не столько определенный уровень освещенности, сколько режим изменения продолжительности светового периода суток в зависимости от вида и возраста животных и птицы. Неупорядоченное искусственное освещение в животноводческих и птице-

водческих помещениях отрицательно влияет на физическое состояние и продуктивность животных и птицы.

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

§ 2.4. Воздействие оптического излучения на растения. Спектр действия фотосинтеза

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

Влияние оптического излучения на растения многогранно.

От условий облучения зависят не только фотосинтез, но и многие другие физиологические процессы растений: рост, развитие листьев и других органов. Однако основным наиболее характерным процессом зеленых растений является фотосинтез. Этим процессом в конечном счете определяется урожайность растений.

Общее энергетическое действие излучения на растения складывается из фотосинтезного и теплового. Поглощенная растениями энергия излучения частично используется на осуществление фотосинтеза, а часть ее идет на нагрев и испарение воды (транспирация). Фотосинтезным действием обладают излучения с длинами волн от 300 до 750 нм. Тепловое действие на растения могут оказывать не только видимое, но и УФ и ИК излучения. Это действие излучения в известной мере можно заменить нагревом растений от окружающей среды.

Излучение действует на растения не только как источник энергии, но и как своеобразный регулятор или раздражитель. Характерным примером такого действия излучения является фотопериодическая реакция расте-

ний. Чтобы вызвать эту реакцию, требуется во много раз меньшее количество энергии, чем для осуществления фотосинтеза. Вызывать фотопериодическую реакцию растений и оказывать на нее влияние может также фотосинтетически неактивное излучение, например ИК.

Ультрафиолетовое излучение с длинами волны короче 295 нм при поглощении протоплазмой клеток вызывает разрушение белковых веществ. Это излучение при больших дозах оказывает вредное (разрушающее) воздействие на растения.

Зеленый лист растения поглощает 80 ... 90% падающего на него суммарного фотосинтетически активного излучения, отражает 5 ... 10%, и примерно у всех зеленых растений эти соотношения носят одинаковый характер. В естественных условиях из всей энергии, падающей на растения, примерно 2% используется на фотосинтез, остальная поглощенная энергия излучения превращается в растении в тепло.

К. А. Тимирязев впервые установил, что хлорофилл, поглощая энергию излучения, вступает в окислительно-восстановительную реакцию с CO_2 и H_2O , в результате которой образуются углеводы и свободный кислород, которым растения обогащают воздух.

Фотосинтез — сложная многоступенчатая реакция. Часть элементарных реакций фотосинтеза может протекать только при наличии видимого излучения, а часть — в темноте. В связи с этим различают световую и темновую стадии фотосинтеза. Конечными продуктами фотосинтеза могут быть самые разнообразные органические вещества (углеводы, белки, жиры и т. д.).

Общий путь превращения энергии излучения в процессе фотосинтеза в химическую энергию у всех видов растений одинаков.

В установках, применяемых на практике для искусственного облучения растений, используют источники с неоднородным излучением. Для получения хорошо развитых растений и высокой продуктивности фотосинтеза источники в облучательных установках должны содержать в своем спектре все излучения области 300...750 нм.

Спектральная интенсивность фотосинтеза разных видов растений различна. Она может быть также неодинаковой для растений одного и того же вида, но выращенных в различных условиях или имеющих разный возраст или фазу развития.

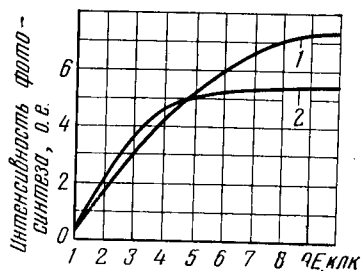


Рис. 2.2. Световая кривая фотосинтеза:

1 — при температуре 20 °С; 2 — при температуре 10 °С.

Для разработки специальных источников для установок искусственного облучения растений важно знать некоторый средний спектр действия фотосинтеза.

На рисунке 2.1, а приведен спектр действия излучения на так называемый средний лист растения (кривая 3).

У растений одновременно с процессом фотосинтеза происходит и процесс дыхания. Разлагая органические вещества, растения затрачивают на дыхание энергию. При этом они выделяют углекислый газ и поглощают кислород. При малых значениях облученности интенсивность фотосинтеза бывает настолько мала, что усваиваемой при этом энергии недостаточно для покрытия расхода ее на дыхание. При низких облученностях процесс дыхания может преобладать над фотосинтезом. По мере повышения облученности наступает такое ее значение, при котором количество энергии, накапливаемой растением путем фотосинтеза, равно энергии, расходуемой на дыхание.

Облученность, при которой фотосинтез уравнивается дыханием, называют компенсационной. При повышении облученности, начиная от компенсационного значения, интенсивность фотосинтеза возрастает пропорционально облученности.

Как видно из рисунка 2.2, прямолинейный участок световой кривой фотосинтеза заканчивается при некотором значении облученности и начинается плавный изгиб, который затем переходит в плато насыщения. Значение облученности, начиная с которого дальнейшее увеличение ее не приводит к повышению интенсивности фотосинтеза, называют насыщенным.

Компенсационное и насыщающее значения облученности для разных видов растений могут быть разными. Эти значения облученности зависят от внешних условий произрастания растений и их физиологического состояния.

ВЕЛИЧИНЫ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 3.1. Основные энергетические величины и единицы их измерения

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

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

Потоком излучения Φ называют энергию излучения, переносимую в единицу времени:

$$\Phi = \frac{dW}{dt}, \quad (3.1)$$

где dW — энергия излучения за время dt , Дж; dt — промежуток времени, в течение которого излучение может быть принято равномерным, с.

Поток излучения измеряется в ваттах.

Применяемые в практике источники оптического излучения дают, как правило, сложный поток, состоящий из излучений с различными длинами волн. Спектральное распределение потока излучения источника со сплошным спектром можно изобразить в прямоугольной системе координат с осями: поток излучения — длина волны (рис. 3.1, а). Значения потока излучения откладываются в виде прямоугольников шириной $\Delta\lambda$ и высотой, равной в некотором масштабе однородному потоку на этом участке.

Однако таким графиком пользоваться неудобно и, кроме того, он является приближенным, условным.

В практике распределение излучения по спектру определяют значением спектральной плот-

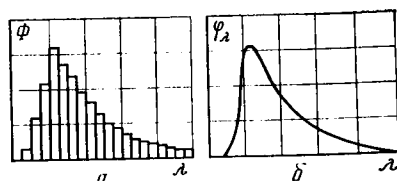


Рис. 3.1. Спектральное распределение потока излучения со сплошным спектром (а) и спектральная плотность потока излучения (б).

ности потока излучения. Спектральная плотность Φ_λ ($\text{Вт} \cdot \text{нм}^{-1}$) численно равна отношению однородного потока $\Delta\Phi$ к ширине полосы спектра $\Delta\lambda$, на которой измерен однородный поток:

$$\Phi_\lambda = \frac{\Delta\Phi_\lambda}{\Delta\lambda}.$$

Принимая $\Delta\lambda$, стремящейся к нулю, получим в пределе

$$\Phi_\lambda = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi_\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{d\Phi_\lambda}{d\lambda}. \quad (3.2)$$

Функция спектральной плотности потока излучения обычно строится в прямоугольной системе координат (рис. 3.1, б). Интегрируя заданную функцию спектральной плотности в пределах оптической части спектра, получим значение потока излучения (Вт) данного источника:

$$\Phi = \int_{\lambda=1,0 \text{ нм}}^{\lambda=1,0 \text{ мм}} \Phi(\lambda) d\lambda. \quad (3.3)$$

Функция спектральной плотности потока излучения является основной характеристикой источника энергии излучения, так как позволяет оценить и спектральный состав потока излучения, и его значение. Она может быть представлена как в виде графика, так и в виде таблицы, в которой данные спектральной плотности приводятся обычно с интервалом в 10 нм. Значение потока излучения может быть вычислено как площадь, ограниченная кривой $\Phi(\lambda)$ и осью абсцисс при известных масштабах по осям.

Пространственная плотность потока излучения источника называется силой излучения ($\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$) и определяется отношением потока излучения к телесному углу, в котором он заключен и равномерно распределен:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}. \quad (3.4)$$

Плотность излучения ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$) представляет собой отношение потока излучения к площади излучающей поверхности:

$$R = \frac{d\Phi}{dS_n}, \quad (3.5)$$

где dS_n — площадь поверхности излучающего тела, в пределах которой излучение можно считать равномерным.

Важной для расчетов величиной является облученность (плотность облучения). Она определяется отношением потока излучения, падающего на облучаемую поверхность и равномерно распределенного по ней, к площади этой поверхности ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$):

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (3.6)$$

Единицей измерения облученности, как и для измерения плотности излучения, служит $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$. Разница между этими величинами состоит лишь в том, что понятие плотности излучения относится к излучателю и характеризует его, а понятие облученности относится к облучаемой поверхности.

Поскольку процесс преобразования излучения в другие виды энергии определяется не только значением облученности приемника и спектральным составом излучения, но и продолжительностью облучения, важное значение имеет величина, называемая количеством облучения. Количество облучения H ($\text{Вт} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$) представляет собой значение энергии излучения, упавшей на единицу облучаемой поверхности в течение времени облучения. В общем случае

$$H = \int_{t_1}^{t_2} \varepsilon_t dt, \quad (3.7)$$

где ε_t — мгновенное значение облученности; t_1 , t_2 — соответственно время начала и конца облучения.

§ 3.2. Общие принципы построения систем эффективных величин

При расчете светотехнической установки надо знать и учитывать не только свойства источника, но и свойства приемников энергии излучения.

Основными энергетическими характеристиками любого приемника являются его интегральная и спектральная чувствительность.

Интегральная чувствительность приемника, то есть чувствительность к сложному излучению, характеризуется отношением эффективной части энергии ко всей энергии излучения, падающей на приемник. В об-

щем случае интегральная чувствительность приемника излучения g может быть выражена соотношением

$$g = C \frac{W_0}{W},$$

где W_0 — эффективная энергия излучения, то есть преобразующаяся в приемнике в другой полезный вид энергии; W — вся энергия излучения, падающая на приемник; C — коэффициент, определяемый выбором единиц измерения величины W_0 .

Большинство приемников обладает так называемой избирательностью поглощения энергии излучения и избирательностью реакции на поглощенную энергию.

Для оценки чувствительности приемника к однородным излучениям введено понятие спектральной чувствительности g_λ , которая представляет собой отношение однородных потоков, падающих на приемник, — эффективного потока к полному:

$$g_\lambda = C \frac{dF_\lambda}{d\Phi_\lambda}, \quad (3.8)$$

где dF_λ — эффективный поток однородного излучения при данной длине волны; $d\Phi_\lambda$ — полный поток однородного излучения при той же длине волны.

dF_λ определяет собой меру реакции данного приемника на падающее на него излучение, поэтому выражается в единицах, характеризующих эту реакцию. Например, если приемником служит фотоэлемент, то dF_λ может быть выражен в единицах, характеризующих фотоэффект, — амперах. При фотохимических приемниках dF_λ может выражаться количеством вещества, вступающего в реакцию за единицу времени. Следовательно, значение спектральной чувствительности выражается именованным числом: $\text{лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, $\text{А} \cdot \text{Вт}^{-1}$ и т. п.

Спектральная чувствительность селективных приемников излучения, выраженная графически, представляет собой кривую $g(\lambda) = f(\lambda)$, имеющую максимум в определенных областях спектра. Если этот максимум принять за единицу, то спектральная чувствительность приемника к излучению с данной длиной волны может быть выражена относительной величиной в долях от максимальной:

$$K(\lambda) = \frac{g(\lambda)}{(g_\lambda)_{\max}}. \quad (3.9)$$

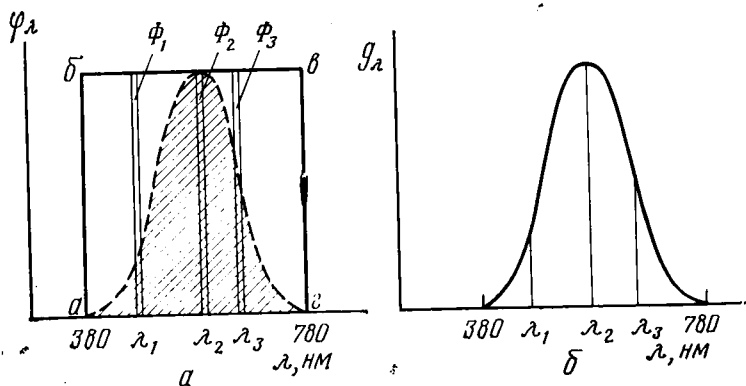


Рис. 3.2. К пояснению понятия «эффективный поток излучения».

Знание потока излучения данного источника или создаваемой им облученности, выраженной в энергетических единицах, еще не дает достаточных оснований для того, чтобы предвидеть результат воздействия излучения на приемник излучения. Для того чтобы предсказать и рассчитать результат воздействия потока излучения известной величины на приемник, необходимо оценить этот поток по уровню реакции на него приемника излучения.

Для упрощения расчетов и облегчения количественной оценки процесса преобразования энергии излучения введено понятие эффективного потока, под которым понимается мощность излучения, оцененная по уровню реакции на него приемника энергии излучения. Поясним смысл понятия эффективного потока на примере. На рисунке 3.2, а изображена функция спектральной плотности излучения источника. Для упрощения рассуждений принято, что $\varphi(\lambda) = \text{const}$ в пределах некоторой части спектра. Площадь фигуры $ab\gamma\delta$, как известно, представляет собой в определенном масштабе значение потока излучения источника. Относительная спектральная чувствительность приемника энергии излучения приведена на рисунке 3.2, б. Выделим на графике $\varphi(\lambda)$ равные по значению потоки излучения $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3$. Приведет ли их энергетически равное воздействие на приемник к одинаковой его реакции? Реакция приемника будет пропорциональна произведению потока однородного излучения на спектральную чувствительность приемника

при данной длине волны. Это произведение и представляет собой эффективный поток, то есть поток излучения, оцененный по уровню реакции на него приемника излучения:

$$F_1 = \Phi_1 g_{\lambda_1}; \quad F_2 = \Phi_2 g_{\lambda_2}; \quad F_3 = \Phi_3 g_{\lambda_3}.$$

Причем в нашем примере $F_1 < F_2 > F_3$. Умножая ординаты кривой $\varphi(\lambda)$ на соответствующие им значения $g(\lambda)$, можно получить на графике (рис. 3.2, а) кривую. Площадь, ограниченная осью абсцисс и этой кривой, представляет собой значение эффективного потока данного источника. Таким образом, в общем случае для излучения со сплошным спектром численное значение эффективного потока можно определить по выражению

$$F = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \varphi(\lambda) g(\lambda) d(\lambda). \quad (3.10)$$

Из этого уравнения следует, что численные значения эффективного потока одного и того же излучения неодинаковы для различных приемников. При прочих равных условиях они определяются спектральной чувствительностью приемника.

Используя понятие относительной спектральной чувствительности, эффективный поток можно определить по следующему выражению:

$$F = (g_{\lambda})_{\max} \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \varphi(\lambda) K(\lambda) d(\lambda). \quad (3.11)$$

Выбор единиц измерения эффективного потока зависит от типа приемника и меры его реакции (ток в цепи фотоэлемента, скорость фотохимической реакции и т. п.). Следует отметить, что не для всех приемников можно установить меру реакции и измерить ее. К числу таких приемников в первую очередь относятся биологические.

Из определения эффективного потока следует, что он оценивается уровнем реакции на него приемника и только этим отличается от потока излучения. Это дает основание для построения систем эффективных величин по аналогии с системой энергетических величин. Однако из-за большого числа приемников энергии излучения, обладающих резко отличающимися

зависимостями чувствительностей, не представляется возможным иметь одну систему эффективных величин. Число различных систем эффективных величин вместе с тем не должно быть большим, так как это затруднило бы практические расчеты. В настоящее время в практике расчетов и проектирования осветительных и облучательных установок используют четыре системы эффективных величин. Каждая из таких систем строится на основе спектральной чувствительности какого-либо одного из близких по спектральной чувствительности приемников. Этот приемник называют эталонным, если он удовлетворяет следующим требованиям:

1) реагирует на любые однородные излучения в том диапазоне спектра, в пределах которого расположены кривые спектральной чувствительности всех приемников данной группы;

2) мера реакции приемника при облучении его поддается непосредственному или косвенному измерению;

3) эффективные величины системы, построенной на основе эталонного приемника, обладают аддитивностью, то есть свойством, позволяющим вычислить целое путем простого суммирования составляющих.

Следует отметить, что ни одна из систем эффективных величин: бактерицидных, эритемных, световых и фито-величин— в полной мере не удовлетворяет перечисленным выше требованиям. Лишь система световых величин признана в международном масштабе в 1924 г., несмотря на присущие ей недостатки, аналогичные недостаткам трех других перечисленных систем. Однако практика в нашей стране и за рубежом показывает, что использование систем эффективных величин, несмотря на их недостатки, позволяет добиваться больших результатов в практическом использовании оптического излучения, например, в сельскохозяйственном производстве.

§ 3.3. Основные световые величины и единицы их измерения

Система эффективных величин, в которой за основу принята спектральная чувствительность среднего человеческого глаза (или относительная видность излучения), названа системой световых величин. Эффективный поток в системе световых величин называется световым потоком и определяется как мощность энергии излу-

чения, оцениваемая по действию на средний глаз человека.

За единицу светового потока принят люмен, то есть световой поток, излучаемый абсолютно черным телом с площади $0,5305 \text{ мм}^2$ при температуре затвердевания платины (2042 К). Глаз человека проявляет наивысшую чувствительность к излучению с длиной волны $\lambda = 555 \text{ нм}$. Кривая относительной чувствительности глаза человека в пределах видимой части спектра электромагнитных колебаний $K(\lambda)_c$ показана на рисунке 2.1, а. В практике часто бывает удобнее пользоваться таблицей коэффициентов относительной спектральной чувствительности глаза.

Экспериментально установлено, что однородное излучение мощностью 1 Вт при $\lambda = 555 \text{ нм}$ составляет 680 лм светового потока. Число 680 называют световым эквивалентом мощности излучения. Максимальное значение спектральной чувствительности среднего глаза человека равно 680 лм/Вт . Следовательно, в общем случае для излучения со сплошным спектром световой поток (лм) определяется как

$$F = 680 \int_0^{\infty} \varphi(\lambda) K(\lambda)_c d\lambda. \quad (3.12)$$

Пространственная плотность светового потока в данном направлении называется силой света и определяется отношением светового потока к значению телесного угла, в пределах которого заключен и равномерно распределен данный поток. Для сложного излучения

$$I = \frac{dF}{d\omega}. \quad (3.13)$$

Единицей силы света служит кандела (свеча), то есть пространственная плотность светового потока в 1 лм , заключенного и равномерно распределенного внутри телесного угла в 1 ср .

Плотность светового потока по освещаемой поверхности называется освещенностью и определяется отношением светового потока к площади поверхности, по которой он равномерно распределен. Единицей освещенности служит люкс, то есть такая освещенность, при которой на каждом квадратном метре освещаемой по-

верхности равномерно распределен световой поток в 1 лм:

$$E = \frac{dF}{dS}. \quad (3.14)$$

В практике расчета осветительных установок весьма часто возникает потребность вычислять освещенность по известной силе света источника излучения. Установим зависимость между этими величинами. Точечный источник света A (рис. 3.3) освещает элементарную площадку dS на поверхности q . Сила света источника в направлении освещаемой площади I_α . Угол между нормалью к элементу поверхности и направлением силы света β . Элементарный телесный угол $d\omega$, в пределах которого заключен световой поток, падающий на площадку dS , можно определить исходя из простейших геометрических соотношений:

$$d\omega = \frac{dS \cos \beta}{l^2}.$$

Тогда световой поток, падающий на площадку dS ,

$$dF = I_\alpha d\omega = \frac{I_\alpha dS \cos \beta}{l^2}.$$

Освещенность площадки dS получим по выражению

$$E = \frac{dF}{dS} = \frac{I_\alpha \cos \beta}{l^2}. \quad (3.15)$$

Таким образом, освещенность поверхности в данной точке прямо пропорциональна силе света и косинусу угла между вектором силы света и нормалью к освещаемой поверхности и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света до точки.

Одной из основных величин, характеризующих источник излучения, является яркость, под которой понимается пространственная плотность светового потока, отнесенная к единице проекции светящейся поверхности на

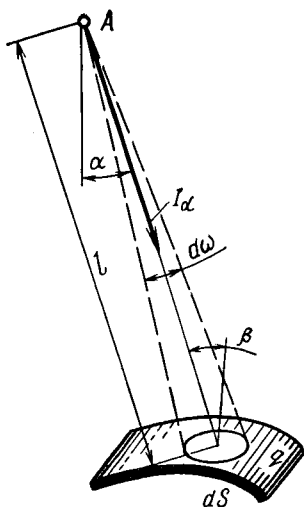


Рис. 3.3. К выводу соотношения между силой света и освещенностью.

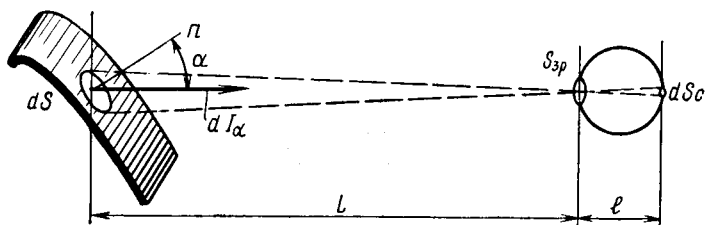


Рис. 3.4. К определению яркости поверхности.

плоскость, перпендикулярную заданному направлению. Покажем, что яркость есть та величина, уровнем которой непосредственно определяется реакция глаза на излучение тела.

На рисунке 3.4 схематически показаны малая светящаяся поверхность dS и расположенный от нее на расстоянии L глаз человека, воспринимающий изображение этой поверхности на сетчатке. Освещенность зрачка

$$E_{\text{зр}} = \frac{dI_{\alpha}}{L^2}.$$

Световой поток, падающий на зрачок,

$$dF_{\text{зр}} = \frac{dI_{\alpha}}{L^2} S_{\text{зр}}.$$

Освещенность сетчатки глаза

$$E_{\text{с}} = \frac{dF_{\text{зр}}}{dS_{\text{с}}} \tau, \quad (3.16)$$

где τ — коэффициент пропускания сред глаза.

По правилам геометрической оптики для действительного изображения можно записать:

$$\frac{dS \cos \alpha}{dS_{\text{с}}} = \frac{L^2}{l^2}.$$

Используя это равенство, получим:

$$E_{\text{с}} = \frac{S_{\text{зр}} \tau}{l^2} \frac{dI_{\alpha}}{dS \cos \alpha}. \quad (3.17)$$

Первая дробь выражения (3.17) содержит величины, характеризующие глаз человека. Вторая дробь характеризует источник излучения. При данных значениях $S_{\text{зр}}$, τ , l^2 освещенность на сетчатке, а следовательно, и уро-

вень светового ощущения при наблюдении светящейся поверхности определяются величиной

$$B_{\alpha} = \frac{dI_{\alpha}}{dS \cos \alpha}. \quad (3.18)$$

Эта величина, называемая яркостью, есть отношение силы света в данном направлении к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную этому направлению. Яркостью характеризуют не только источники света, но и освещенные поверхности. Таким образом, глаз человека непосредственно реагирует на яркость объекта наблюдения, которая, как это следует из выражения (3.18), не зависит от расстояния между ними. Единицей измерения яркости служит кандела на квадратный метр ($\text{кд} \cdot \text{м}^{-2}$).

§ 3.4. Основные величины ультрафиолетового излучения и единицы их измерения

Для характеристики энергии излучения в ультрафиолетовой части спектра пользуются системами эффективных величин: бактерицидной и эритемной.

В качестве эталонного приемника энергии излучения для системы бактерицидных величин приняты бактерии, для которых известна относительная спектральная чувствительность к излучениям с различными длинами волн. Относительная бактерицидная эффективность однородных излучений графически изображена на рисунке 2.1, б. Максимальную чувствительность бактерии обнаруживают к однородным излучениям с длиной волны $\lambda = 254 \text{ нм}$, то есть максимальной эффективностью уничтожения бактерий обладает монохроматическое излучение при $\lambda = 254 \text{ нм}$.

Исходной величиной в системе бактерицидных величин служит бактерицидный поток, который определяется как поток излучения, оцененный по его бактерицидному действию, то есть по эффективности уничтожения бактерий:

$$F_6 = \int_{\lambda=200 \text{ нм}}^{\lambda=300 \text{ нм}} \varphi(\lambda) K(\lambda) d\lambda. \quad (3.19)$$

Единицей бактерицидного потока принято считать бакт (б), численно равный излучению мощностью 1 Вт

при $\lambda = 254$ нм. В практике часто пользуются величиной микробакт, равной $1 \cdot 10^{-6}$ б. Плотность бактерицидного потока по поверхности облучаемого тела называется бактерицидной облученностью ($\text{б} \cdot \text{м}^{-2}$ или $\text{мкб} \cdot \text{м}^{-2}$):

$$E_6 = \frac{dF_6}{dS}. \quad (3.20)$$

Силой бактерицидного излучения ($\text{б} \cdot \text{ср}^{-1}$) называется пространственная плотность бактерицидного потока, равная отношению бактерицидного потока к значению телесного угла, в котором равномерно распределено излучение:

$$I_6 = \frac{dF_6}{d\omega}. \quad (3.21)$$

Весьма важной расчетной величиной является количество бактерицидного облучения ($\text{б} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}$), определяемое количеством энергии бактерицидного излучения, упавшей на единицу поверхности облучаемого тела:

$$H_6 = \int_{t_1}^{t_2} E_{6i} dt. \quad (3.22)$$

Эталонным приемником энергии излучения для построения системы эритемных величин является кожа человека, реакция которой выражается в покраснении участка, подвергшегося облучению. Спектральная чувствительность кожи к однородным излучениям неодинакова. Следовательно, эритемная эффективность излучений различных длин волн также неодинакова. Кривая относительной эритемной чувствительности кожи человека приведена на рисунке 2.1, б.

Исходной величиной в системе эритемных величин служит эритемный поток (эр), определяемый как поток излучения, оцененный по его эритемному действию:

$$F_3 = \int_{\lambda=280 \text{ нм}}^{\lambda=320 \text{ нм}} \Phi(\lambda) K(\lambda)_3 d\lambda, \quad (3.23)$$

где $K(\lambda)_3$ — относительная эритемная эффективность излучения.

Единицей эритемного потока служит эр, численно равный излучению мощностью 1 Вт при $\lambda = 297$ нм.

Плотность эритемного потока на поверхности облучаемого тела называется эритемной облученностью ($\text{эр} \cdot \text{м}^{-2}$):

$$E_3 = \frac{dF_3}{dS}. \quad (3.24)$$

Силой эритемного излучения ($\text{эр} \cdot \text{ср}^{-1}$) называется пространственная плотность эритемного потока, равная отношению эритемного потока к значению телесного угла, в котором равномерно распределено излучение:

$$I_3 = \frac{dF_3}{d\omega}. \quad (3.25)$$

Количеством эритемного облучения ($\text{эр} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}$) называется количество энергии эритемного излучения, упавшей на единицу облучаемой поверхности:

$$H_3 = \int_{t_1}^{t_2} E_{3t} dt. \quad (3.26)$$

§ 3.5. Основные величины оптического излучения, используемого в растениеводстве, и единицы их измерения

В нашей стране и за рубежом существуют различные мнения о роли отдельных участков спектра излучения в процессах развития растения. В настоящее время нет общепринятой точки зрения по этому вопросу. Существуют различные мнения о правомерности установления системы эффективных величин применительно к такому приемнику оптического излучения, как растения.

Вместе с тем любая обоснованная методика расчета осветительных и облучательных установок должна базироваться на учете интенсивности основных реакций приемника на оптическое излучение. Необходимо, следовательно, иметь эталонную зависимость основных реакций приемника от спектрального состава падающего на него излучения. Эта зависимость может быть выражена графически или аналитически.

В настоящем пособии в качестве такой эталонной зависимости применительно к растениям принята полученная расчетным путем в ВИЭСХе кривая спектральной

чувствительности среднего листа растения. Необходимо отметить, что степень достоверности этой кривой так же, как и всех других подобных кривых, полученных различными авторами, может быть большей или меньшей. Дальнейшие исследования, несомненно, позволят установить истинную эталонную кривую. Однако это не изменит принципиальной необходимости вести расчеты реальных облучательных установок для растениеводства (особенно в защищенном грунте) на основе соответствующей кривой спектральной чувствительности среднего листа растения. По мере уточнения последней может потребоваться лишь корректировка некоторых констант.

Приведенная на рисунке 2.1, *a* кривая спектральной чувствительности среднего листа растения построена на основании зависимости, учитывающей различие в квантовом выходе фотосинтеза для излучения, поглощаемого каротиноидами и хлорофиллом.

Эффективный поток излучения в растениеводстве — фитопоток — вычисляется по выражению

$$F_{\Phi} = (g_{\lambda})_{\max} \int_{\lambda=300}^{\lambda=750} \varphi(\lambda) K(\lambda)_{\Phi} d\lambda, \quad (3.27)$$

где $(g_{\lambda})_{\max}$ — максимальная спектральная фотосинтезная эффективность оптического излучения, равная 0,95.

Фитопоток F_{Φ} является мерой свободной с точки зрения фотосинтеза энергии, содержащейся в излучении. Он характеризует содержание в интегральном излучении энергии, потенциально доступной растениям для осуществления фотосинтеза. За единицу фитопотока принят фит, численно равный монохроматическому потоку излучения в 1 Вт с длиной волны 680 нм.

В качестве производных величин от фитопотока в практике расчетов установок для облучения растений используются следующие:

1) пространственная плотность фитопотока (фит·ср⁻¹), под которой понимается отношение фитопотока к телесному углу, в пределах которого он заключен и равномерно распределен:

$$I_{\Phi} = \frac{dF_{\Phi}}{d\omega}; \quad (3.28)$$

2) фитооблученность (фит·м⁻²), под которой понимается отношение фито потока к облучаемой площади:

$$E_{\Phi} = \frac{dF_{\Phi}}{dS}; \quad (3.29)$$

3) количество фитооблучения (фит·м⁻²·с) — значение фотосинтетически активной энергии излучения, достигшей облучаемой поверхности в течение времени облучения:

$$H_{\Phi} = \int_{t_1}^{t_2} E_{\Phi} dt. \quad (3.30)$$

При расчете и проектировании установок для искусственного облучения растений одним из основных является вопрос о выборе из ряда принципиально пригодных для решения данной задачи источников излучения наиболее целесообразного.

Основными свойствами и показателями работы источников излучения, сравнительный анализ которых дает основания для выбора источника оптического излучения, являются следующие:

спектральный состав излучения источника, позволяющий судить о потенциальных возможностях использования последнего для решения данной задачи. Характеристикой, позволяющей оценить спектральный состав излучения, является кривая спектральной плотности излучения $\varphi(\lambda)$;

фитоотдача потока излучения, под которой понимается отношение фито потока к полному потоку излучения источника (фит·Вт⁻¹):

$$\eta_{\Phi} = \frac{F_{\Phi}}{\Phi}; \quad (3.31)$$

фитоотдача источника излучения (фит·Вт⁻¹):

$$H_{\Phi} = \frac{F_{\Phi}}{P_{\text{ист}}}, \quad (3.32)$$

где $P_{\text{ист}}$ — присоединенная мощность источника излучения, включая мощность пускорегулирующих устройств (при наличии их), Вт.

§ 4.1. Оптические свойства тел

В установках и приборах для освещения и облучения, для измерения оптического излучения применяют различные материалы, как прозрачные, так и непрозрачные. При проектировании и эксплуатации осветительных и облучательных установок необходимо знать основные оптические (светотехнические) свойства материалов.

Поток излучения, падающий на тело из непрозрачного материала, частично поглощается им, а частично отражается. Если тело прозрачно, то, помимо отражения и поглощения, часть потока излучения оно пропускает. Для количественной оценки отражения, поглощения и пропускания пользуются соответствующими коэффициентами.

Коэффициентом отражения ρ называют отношение потока излучения Φ_ρ , отраженного телом, к потоку излучения Φ , падающему на него:

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi}.$$

Коэффициент поглощения α равен отношению потока излучения Φ_α , поглощенного телом, к потоку излучения, падающему на него:

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi}.$$

Коэффициент пропускания τ равен отношению потока излучения Φ_τ , прошедшего сквозь тело, к потоку излучения, падающему на него:

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi}.$$

Коэффициенты отражения, поглощения и пропускания могут относиться к интегральному потоку излучения, потокам излучения отдельных участков оптического спектра (видимый, ультрафиолетовый, инфракрасный) или к эффективным потокам (световой, эритемный, бактерицидный и т. д.). В соответствии с законом сохранения энергии во всех случаях $\Phi = \Phi_\rho + \Phi_\alpha + \Phi_\tau$.

Следовательно, для одного и того же падающего на тело потока

$$\rho + \alpha + \tau = 1.$$

Большинство материалов отражает и поглощает излучение избирательно, то есть их коэффициенты отражения и поглощения для различных длин волн неодинаковы. Поэтому пользуются понятиями спектральных коэффициентов отражения ρ_λ , поглощения α_λ и пропускания τ_λ . Аналитически они определяются следующими выражениями:

$$\rho_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda\rho}}{\Phi_\lambda}; \quad \alpha_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda\alpha}}{\Phi_\lambda}; \quad \tau_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda\tau}}{\Phi_\lambda},$$

где Φ_λ , $\Phi_{\lambda\rho}$, $\Phi_{\lambda\alpha}$, $\Phi_{\lambda\tau}$ — монохроматические потоки излучения, соответственно падающий, отраженный, поглощенный и пропущенный.

Если известны спектральный состав падающего излучения и зависимости спектральных коэффициентов от длины волны λ , то интегральные коэффициенты отражения, поглощения и пропускания можно вычислить, пользуясь формулами:

$$\rho = \frac{\int_0^\infty \varphi(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty \varphi(\lambda) d\lambda}; \quad \alpha = \frac{\int_0^\infty \varphi(\lambda) \alpha(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty \varphi(\lambda) d\lambda};$$

$$\tau = \frac{\int_0^\infty \varphi(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty \varphi(\lambda) d\lambda}. \quad (4.1)$$

При определении суммарных коэффициентов для эффективных потоков в подынтегральные выражения числителей и знаменателей выражений (4.1) должна входить в качестве множителя величина $K(\lambda)$ — относительная спектральная чувствительность, по которой определяется эффективный поток излучения. Например, при определении суммарного коэффициента отражения светового по-

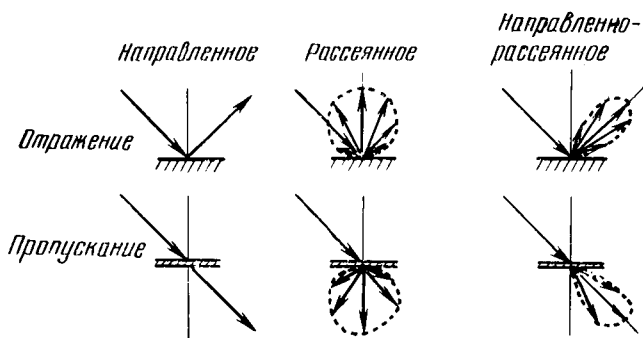


Рис. 4.1. Разновидности отражения и пропускания потока оптического излучения.

тока расчетная формула будет иметь такой вид:

$$\rho_c = \frac{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) K(\lambda)_c \rho(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) K(\lambda)_c d\lambda},$$

где ρ_c — суммарный коэффициент отражения светового потока; $K(\lambda)_c$ — относительная спектральная чувствительность глаза человека.

В зависимости от свойств поверхности тела и внутренней его структуры отраженный и пропущенный им поток излучения может по-разному распределяться в пространстве. Различают три вида отражения и пропускания: 1) направленное, 2) рассеянное (диффузное) и 3) направленно-рассеянное (рис. 4.1).

Направленным (зеркальным) отражением обладают гладкие поверхности, у которых размеры неровностей малы по сравнению с длиной волны падающего излучения (полированный металл, зеркальное стекло). При направленном отражении угол отражения равен углу падения, а отраженный луч находится в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром к отражающей поверхности в точке падения. Идеальные зеркала имеют яркость только в направлении отраженного луча, а во всех других направлениях их яркость равна нулю.

При направленном пропускании значение телесного угла, в пределах которого распространяется прошедший поток, также остается неизменным.

В случае рассеянного или диффузного отражения и пропускания от плоской поверхности телесный угол, в пределах которого распространяется отраженный или пропущенный телом поток излучения, равен 2π . Отраженное излучение при этом распространяется равномерно по всем направлениям полусферы. Яркость такой поверхности во всех направлениях практически одинакова.

У поверхностей с рассеянным отражением (гипс, кле-евая краска) неровности значительно превышают длину волны падающего излучения. Диффузным пропусканием обладают молочные стекла. Объемное рассеивание излучения обусловлено наличием в их составе частиц веществ с разными показателями преломления.

Материалов с идеально зеркальным, идеально диффузным отражением или пропусканием в природе нет. У существующих материалов имеются обе разновидности отражения или пропускания одновременно. В облучательных и осветительных приборах применяют материалы с направленно-рассеянным отражением и пропусканием.

§ 4.2. Измерительные приемники оптического излучения

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

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

Тепловые приемники излучения. В этих приемниках поглощаемая энергия превращается в теплоту, вследствие чего изменяется их температура. Таким образом, задача измерения оптического излучения сводится к измерению перепада температур, вызванного поглощением энергии излучения приемником.

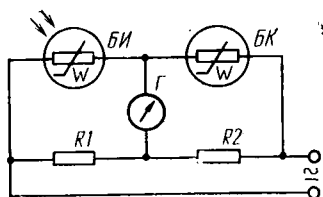


Рис. 4.2. Мостовая схема включения болометров:

БИ — измерительный болометр; *БК* — компенсационный болометр; *R1*, *R2* — сопротивления плеч моста; *Г* — измерительный прибор, гальванометр.

на чувствительный элемент болометра. Той же цели служат многочисленные оболочки, окружающие колбу болометра.

Измерительный болометр *БИ* включается в плечо равновесного моста, питаемого постоянным или переменным током (рис. 4.2). В смежное плечо моста включают такой же компенсационный болометр *БК*, который не подвергается действию излучения, а служит лишь для поддержания равновесия моста при изменениях окружающей температуры.

При облучении измерительного болометра его температура, а следовательно, и сопротивление изменяются и в диагонали моста течет ток, косвенно характеризующий поток излучения на болометр.

Чувствительность современных болометров достигает 10^{-10} Вт.

Термоэлектрические приемники излучения. Действие термоэлектрических приемников (термопары, термоэлементы и пр.) основано на возникновении термоэлектродвижущей силы при нагреве спая разнородных металлов или полупроводников падающим на него излучением.

Для небольших перепадов температур справедлива зависимость

$$E_T = \alpha \Delta\theta, \quad (4.2)$$

где E_T — термоэлектродвижущая сила, В; $\Delta\theta$ — перепад температур между спаями термопары, град; α — коэффициент, характеризующий свойства спая, В·град⁻¹.

В термоэлектрических приемниках используют спай константана с манганином, висмута с сурьмой или оло-

вом, сплавы селенистого и сернистого серебра с добавлением меди и теллура. Термоэлектродвижущая сила современной термопары, помещенной в вакуум, достигает 500 мкВ на 1° перепада температур между «холодным» и «горячим» спаем термопары.

Для компенсации внешних воздействий на термоэлектрический приемник излучения встречно-последовательно включают два одинаковых приемника (рис. 4.3), один из которых является измерительным *И*, а другой — компенсационным *К*. Оба приемника герметично закрыты полусферическими стеклами *1*, поверх которых можно устанавливать полусферические оптические фильтры *2*. Рабочие поверхности *3* приемников чернят специальным составом, что повышает их чувствительность и делает их равночувствительными к излучениям широкого диапазона длин волн.

Чувствительность термоэлектрических приемников излучения достигает $5 \text{ В} \cdot \text{Вт}^{-1}$.

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

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

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом. Внешний фотоэффект проявляется в эмиссии электронов материала катода при возбуждении их энергией оптического излучения.

Катоды фотоэлементов изготавливают из материалов, обладающих свойством поглощать оптическое излучение требуемого диапазона волн и испускать электроны под действием этого излучения.

Фотоэлементы могут быть вакуумными и газонаполненными. В вакуумных элементах фототок определяется потоком электронов, покинувших катод под действием излучения. В газонаполненных фотоэлементах фототок

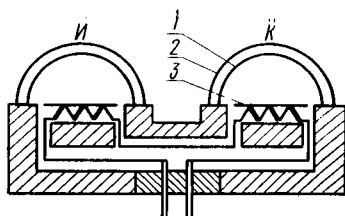


Рис. 4.3. Компенсированный термоэлектрический приемник излучения конструкции ЛЭТИ: *И* — измерительный приемник излучения; *К* — компенсационный приемник излучения; *1* — защитное стекло; *2* — оптический фильтр; *3* — рабочие поверхности приемников.

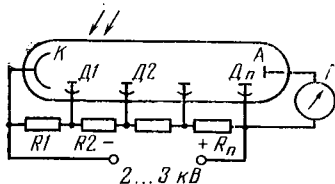


Рис. 4.4. Принципиальная схема включения фотоумножителя:

K — катод; $D1...D_n$ — диноды; A — анод; $R1...R_n$ — резисторы делителя; Γ — измерительный прибор, гальванометр.

усиливается за счет ионизации инертных газов в полости колбы фотоэлемента под действием потока электронов, покинувших катод при его облучении.

Ток фотоэлементов мал (около 10^{-6} А), и поэтому для измерения часто требуется предварительно его усилить.

Разновидностью фотоэлектрических приемников с

внешним фотоэффектом являются *фотоэлектронные умножители*, в которых фототок катода усиливается благодаря вторичной электронной эмиссии (рис. 4.4).

Кроме катода K и анода A , в колбе фотоумножителя размещены дополнительные электроды — диноды D . Оптическое излучение поглощается катодом, испускающим под его действием электроны в вакуум колбы. В электростатическом поле, создаваемом электродами, имеющими определенную конфигурацию и потенциал один относительно другого, электроны ускоряются и фокусируются на диноде $D1$. Электроны, имеющие за счет ускорения достаточный запас энергии, выбивают из тела динода вторичные электроны, число которых в несколько раз превышает число первичных. Поток электронов вновь ускоряется и фокусируется на следующем диноде. С последнего динода электронный поток собирается анодом.

Коэффициент усиления многокаскадных фотоумножителей (7...14 каскадов) достигает 10^7 . Фотоумножители весьма чувствительны и позволяют обнаруживать потоки излучения мощностью 10^{-12} ... 10^{-15} Вт, что обуславливает их преимущества перед фотоэлементами с последующим усилением фототока.

Фотоумножители применяются для регистрации и измерения излучений ультрафиолетовой и видимой частей спектра. Входное окно фотоумножителя изготавливают из сапфира, кварца, увиолевого стекла или других материалов с высокой прозрачностью в требуемом диапазоне длин волн.

Напряжение источника питания фотоумножителя достигает нескольких киловольт, что требует осторожности при работе с ним.

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом. Внутренний фотоэффект проявляется в изменении проводимости материалов под действием оптического излучения.

Энергия оптического излучения переводит электроны кристаллической решетки материала в свободное состояние, что увеличивает проводимость материала. На указанном явлении основано действие *фоторезисторов*. Фоторезистор (рис. 4.5) состоит из изоляционной подложки 1, часто выполняемой из стекла, фоточувствительного слоя 2 (сернистые или селенистые кадмий, висмут, свинец) и контактной сетки 3, нанесенной на поверхность фоточувствительного слоя. Фоторезистор можно включать в цепь постоянного или переменного тока. Под действием оптического излучения проводимость фоторезистора увеличивается, и ток в цепи возрастает.

Под действием оптического излучения увеличивается проводимость и полупроводниковых материалов в *фотодиодах* и *фототранзисторах*. При облучении $p-n$ перехода обратный ток прибора увеличивается. Фотодиоды и фототранзисторы как датчики оптического излучения используются в цепях постоянного тока (рис. 4.6) при встречном включении относительно полярности источника питания.

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом обладают весьма высокой чувствительностью к излучениям ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной частей спектра. Порог чувствительности у них достигает 10^{-11} Вт, однако им присущи такие недостатки, как нелинейная зависимость фототока от облученности, ярко выраженная зависимость характеристик прибора от температуры. Указанные недостатки затрудняют использование фотоэлементов с внутренним фотоэффектом для измерения оптического излучения.

Фотоэлементы с запирающим слоем (вентильные фотоэлементы). Действие фотоэлементов с запирающим слоем основано на явлении возникновения электродвижущей силы на электродах

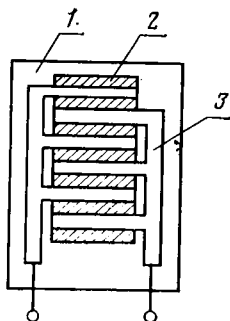


Рис. 4.5. Устройство фоторезистора:

1 — изоляционная подложка; 2 — фоточувствительный слой; 3 — контактная сетка.

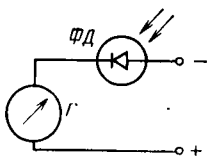


Рис. 4.6. Принципиальная схема включения фотодиода:

ФД — фотодиод; Г — измерительный прибор, гальванометр.

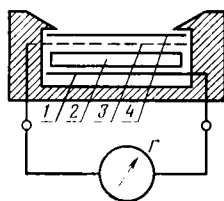


Рис. 4.7. Устройство вентильного фотоэлемента:

1 — токопроводящая подложка; 2 — слой полупроводника; 3 — прозрачный электрод; 4 — защитный слой лака.

прибора при воздействии на него оптического излучения. Вентильный фотоэлемент (рис. 4.7) представляет собой токопроводящую подложку 1, на которую нанесены слой полупроводника 2 (закись меди, селен, сернистое серебро) и тонкий прозрачный электрод 3 из серебра, золота или платины. Для предохранения полупроводника от воздействия окружающей среды фотоэлемент помещен в пластмассовый корпус и покрыт слоем прозрачного защитного лака 4. При облучении фотоэлемента электроны преодолевают запирающий слой, образовавшийся на границе полупроводника 2 и электрода 3, причем обратный переход электронов за счет вентильных свойств запирающего слоя невозможен. Накопление зарядов противоположного знака на электродах создает разность потенциалов, под действием которой во внешней цепи с измерительным прибором Г течет ток.

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

Вентильные фотоэлементы не нуждаются в дополнительном источнике питания, обладают значительной чувствительностью, ток короткого замыкания фотоэлементов в определенных пределах почти пропорционален облученности и составляет несколько десятков микроампер, что позволяет подключать их непосредственно к измерительному прибору без предварительного усилителя.

§ 4.3. Основные характеристики измерительных приемников оптического излучения

Характеристики измерительных приемников оптического излучения определяют области их применения и во многом конструкцию и качество измерительных устройств в целом.

Важнейшими характеристиками измерительных приемников излучения являются интегральная и спектральная чувствительности, рассмотренные ранее (§ 3.2).

На рисунке 4.8 показаны характеристики относительной спектральной чувствительности некоторых измерительных приемников излучения.

Термоэлектрический приемник конструкции Ленинградского электротехнического института им. В. И. Ульянова (Ленина) неселективен в широком диапазоне длин волн от ультрафиолетового (200 нм и более) до инфракрасного (1000 нм и более) излучения (рис. 4.8, кривая 1). Подобная спектральная характеристика присуща тепловым приемникам излучения: болометрам, термопарам, термоэлементам.

Большинство приемников излучения селективно и обладает максимальной спектральной чувствительностью

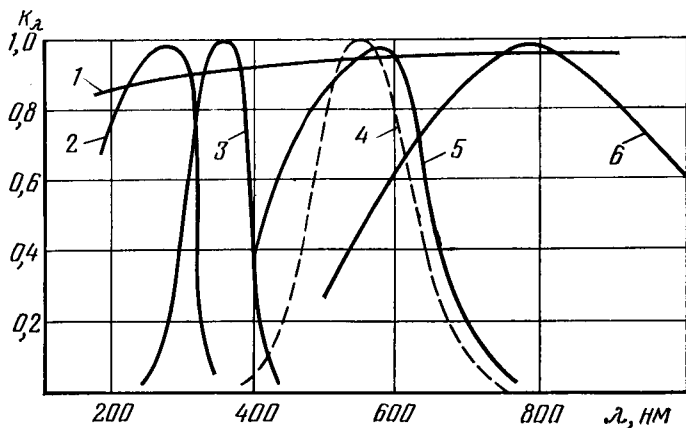


Рис. 4.8. Относительная спектральная чувствительность некоторых приемников оптического излучения:

1 — термоэлектрический приемник ЛЭТИ; 2 — фотоумножитель с входным окном из увиолевого стекла; 3 — фоторезистор СФ2-18; 4 — глаз человека; 5 — селеновый фотоэлемент; 6 — кислородно-цезиевый вакуумный фотоэлемент.

или к излучениям ультрафиолетовой части спектра (рис. 4.8, кривые 2, 3), или к видимым излучениям (кривая 5), или к излучениям инфракрасной части спектра (кривая 6).

Спектральные характеристики приемников излучения, как правило, значительно отличаются от характеристик спектральной чувствительности эталонных приемников. Это относится и к приемникам, предназначенным для измерения оптических излучений в системе эффективных величин и для измерения излучений в системе энергетических величин.

Отклонения спектральных характеристик приемников излучения от требуемого вида должны быть компенсированы условиями измерения излучения, конструктивными особенностями измерительных приборов или учтены при обработке результатов измерений путем введения поправочных коэффициентов.

Спектральная характеристика селенового фотоэлемента наиболее сходна со спектральной чувствительностью глаза человека (рис. 4.8, соответственно кривые 5, 4), поэтому селеновый фотоэлемент после соответствующей коррекции его характеристики спектральной чувствительности наиболее часто применяется для световых измерений.

К спектральной и интегральной чувствительностям приемника предъявляются требования стабильности во время работы и при хранении, независимости характеристик от внешних воздействий: температуры, влажности, электрических и магнитных полей.

Фотоэлектрическая характеристика определяет зависимость тока приемника от падающего на него потока излучения.

Фотоэлектрические характеристики большинства приемников оптического излучения при значительных изменениях потока излучения или сопротивления внешней цепи не являются линейными. За прямую линию их можно принять с достаточной степенью точности лишь в небольших пределах изменения потока излучения (рис. 4.9, а, б).

У вакуумных фотоэлементов с внешним фотоэффектом фотоэлектрическая характеристика независимо от приложенного напряжения линейна при малых потоках излучения (рис. 4.9, а), но у газонаполненных фотоэлементов нелинейность характеристики весьма значительна

и возрастает с увеличением потока излучения и напряжения питания.

Влияние сопротивления внешней цепи приемника показано на рисунке 4.10. Фоторезисторы и селеновые фотоэлементы имеют наиболее линейную характеристику в режимах, близких к короткому замыканию. Сопротивление внешней цепи селеновых фотоэлементов выбирают около 10...15 Ом, для фоторезисторов эта величина колеблется в пределах от 0,1 до 1 кОм.

Вольт-амперная характеристика определяет зависимость фототока приемника от приложенного к нему напряжения при неизменном потоке излучения.

У вакуумных фотоэлементов при определенном напряжении фототок достигает насыщающего значения и при дальнейшем увеличении напряжения перестает возрастать (рис. 4.11). При напряжении, превышающем напряжение насыщения, фототок приемника зависит лишь от потока излучения, поэтому вакуумные элементы используются именно в таком режиме работы. Для различных потоков излучения напряжения насыщения различны.

Ток газонаполненных фотоэлементов при повышении напряжения неограниченно увеличивается до момента разрушения фотоэлемента в результате возникновения в нем дугового разряда (рис. 4.12).

Вольт-амперная характеристика большинства фоторезисторов линейна, так как по своей физической природе они являются активными сопротивлениями

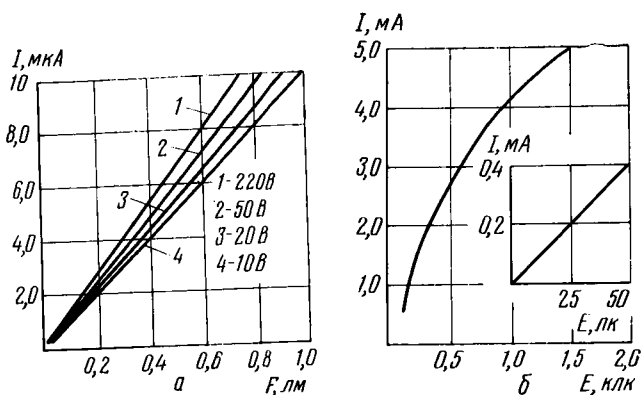


Рис. 4.9. Фотоэлектрические характеристики:

а — вакуумного кислородно-цезиевого фотоэлемента; б — фоторезистора СФ2-1.

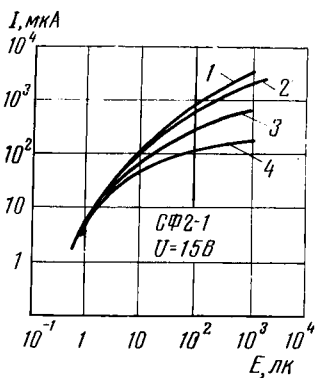


Рис. 4.10. Влияние значения сопротивления внешней цепи фоторезистора СФ2-1 на его фотозлектрическую характеристику:

1 — $R_n = 0$; 2 — $R_n = 1$ кОм; 3 — $R_n = 50$ кОм; 4 — $R_n = 100$ кОм.

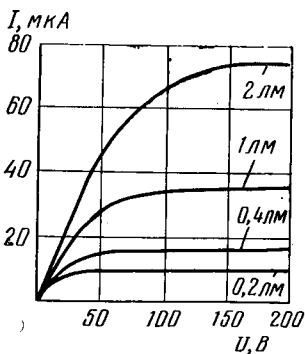


Рис. 4.11. Вольт-амперная характеристика вакуумного кислородно-цезиевого фотозлемента.

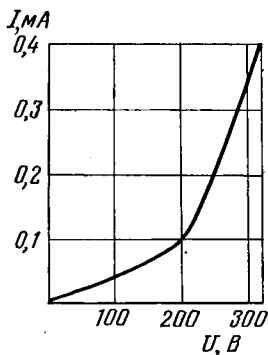


Рис. 4.12. Вольт-амперная характеристика газонаполненного фотозлемента.

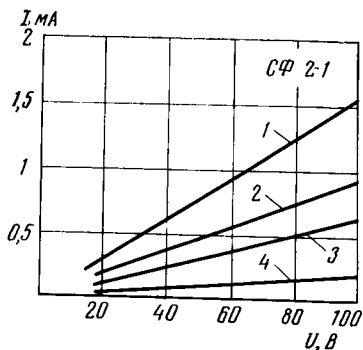


Рис. 4.13. Вольт-амперные характеристики фоторезистора СФ2-1 при освещенности:

1 — 500 лк; 2 — 300 лк; 3 — 200 лк; 4 — 50 лк.

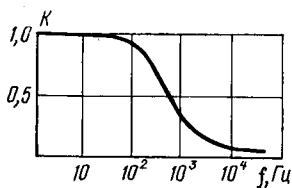


Рис. 4.14. Зависимость относительной чувствительности фоторезистора СФ2-1 от частоты модуляции потока излучения.

(рис. 4.13). Наклон характеристики увеличивается при увеличении облученности фоторезистора. Нарушение линейности характеристики может произойти в результате нагрева фоторезистора при превышении допустимых значений тока или рассеиваемой мощности.

Угловая характеристика определяет зависимость реакции приемника от угла падения на его приемную поверхность неизменного потока излучения.

При измерении горизонтальной облученности эта зависимость должна соответствовать закону косинуса, при измерении средней сферической облученности реакция приемника не должна зависеть от угла падения на него неизменного потока излучения.

Для достижения требуемого характера угловой характеристики приемника его снабжают специальными насадками в виде полусферы из матированного кварца или в виде полого шара. Известны и другие способы коррекции угловой характеристики приемника.

Частотная характеристика определяет зависимость реакции приемника от частоты изменения падающего потока излучения.

На рисунке 4.14 приведена зависимость относительной чувствительности фоторезистора от частоты модуляции потока излучения. Уже при относительно небольшой частоте модуляции потока (1 кГц) чувствительность фоторезистора составляет лишь 20% от чувствительности к немодулированному потоку.

У фотоэлементов с внешним фотоэффектом чувствительность при увеличении частоты модуляции потока излучения падает значительно медленнее и начинает сказываться лишь при частотах более 5 МГц.

Частотная характеристика тесно связана с понятием инерционности приемника излучения — отставанием момента реакции приемника от момента изменения падающего на него потока излучения. Время установления фототока, например, селенового фотоэлемента составляет 1,5...3 с и зависит от длины волны излучения. Запаздывание растет с уменьшением потока излучения.

Утомление приемников излучения — это понижение их чувствительности при длительном облучении. Утомление присуще большинству фотоэлектрических приемников излучения.

Вакуумные фотоэлементы подвержены утомлению в меньшей мере, чем газонаполненные или фотоэлементы со сложными многокомпонентными катодами, подверженные утомлению в значительной степени.

Селеновые фотоэлементы уменьшают свою чувствительность более чем на 10% за 1...2 ч непрерывного облучения. Утомление зависит не только от индивидуальных свойств фотоэлемента, но и от условий его работы: температуры, облученности и пр. Большинство фоторезисторов в течение первых 50 ч непрерывного облучения уменьшает чувствительность на 20...30%, но дальнейшее их облучение не вызывает еще большего снижения чувствительности.

Утомление фотоэлектрических приемников — явление обратимое. После 2...20-часового отдыха в темноте приемники восстанавливают свою первоначальную чувствительность.

Старением называют необратимое изменение (чаще уменьшение) чувствительности с течением времени. Более чувствительные фотоэлементы стареют быстрее. С течением времени может измениться и спектральная чувствительность приемника излучения.

§ 4.4. Люксметр

Для измерения освещенности на плоскости наиболее часто применяется люксметр Ю-16. Прибор состоит из селенового фотоэлемента, вделанного в оправу с ручкой, и микроамперметра, шкала которого проградуирована в единицах освещенности.

Прибор имеет три основных (25, 100 и 500 лк) и три дополнительных (2500, 10 000 и 50 000 лк) предела измерения. Переход с одного основного предела на другой достигается включением соответствующих шунтирующих резисторов $R_2 \dots R_4$ (рис. 4.15). Для перехода на дополнительные пределы фотоэлемент ФЭ прибора снабжен нейтральным светофильтром с коэффициентом пропускания 0,01. Приведенная погрешность измерения освещенности 10...15%.

Спектральная чувствительность люксметра не в полной мере соответствует чувствительности глаза человека (см. рис. 4.8), кроме того, градуировка прибора заводом-изготовителем выполняется при помощи стандартных ламп накаливания, поэтому при измерениях естествен-

ной освещенности или освещенности под люминесцентными лампами необходимо показания прибора умножать на поправочный коэффициент: при естественной освещенности 0,8, при лампах ЛД 0,9, при лампах ЛБ 1,1.

Часть фотоэлемента люксметра прикрыта непрозрачной шторкой, при помощи которой выполняется совместная настройка приемной и измерительной частей прибора, поэтому произвольно передвигать шторку категорически запрещается. Фотоэлементы люкметров не взаимозаменяемы.

Не следует подвергать фотоэлемент длительному освещению во избежание его утомления и ускоренного старения. Не реже одного раза в полгода люкметры следует проверять путем сравнения их показаний с показаниями образцового прибора, а один раз в год они должны подвергаться государственной проверке в отделении Комитета стандартов, мер и измерительных приборов.

§ 4.5. Приборы для измерения излучения при выращивании растений

Оптическое излучение при выращивании растений оценивают либо по мощности фотосинтетически активного, потенциально доступного растению излучения, выражая его в энергетических величинах, либо по его способности обеспечить процесс фотосинтеза. В этом случае оценка базируется на спектральной чувствительности эталонного приемника излучения — среднего листа растения, а эффективное излучение измеряется в единицах системы фитовеличин.

Фотосинтетически активное излучение измеряют приборами с неселективными приемниками теплового действия.

Пиранометр Янишевского — наиболее распространенный прибор с практически неизбирательной спектральной чувствительностью в диапазоне длин волн от 300 до 2400 нм.

Приемником излучения пиранометра служит термоэлемент, защищенный стеклянной полусферой. Ток тер-

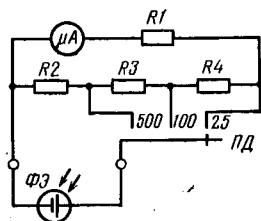


Рис. 4.15. Принципиальная электрическая схема люксметра Ю-16.

моэлемента измеряется гальванометром типа ГСА-1 без предварительного усиления. Инерционность прибора не превышает 40 с.

Фотосинтетически активную облученность получают как разность двух измерений: без светофильтра и со светофильтром, задерживающим излучение, подлежащее измерению. Таковы, например, светофильтр типа КС-19, непрозрачный для излучений с длиной волны менее 680 нм, или светофильтр ЖС-11, задерживающий видимое, но пропускающий ультрафиолетовое излучение.

Таким же образом можно использовать болометры, термоэлементы ЛЭТИ и другие неселективные в требуемом диапазоне длин волн приемники оптического излучения.

Фитооблученность в единицах системы фитовеличин измеряют фитофотометрами — приборами, спектральная чувствительность которых приближена к спектральной чувствительности листа растения.

Фитофотометр ФИТОМ-70 разработан ЦОКБ приборостроения МСХ СССР. В качестве приемника излучения использован фотоумножитель, спектральная чувствительность которого откорректирована методом спектральной диафрагмы (рис. 4.16).

Фитофотометр позволяет измерять фитооблученность, создаваемую источниками излучения любого спектрального состава.

Предел измерения прибора $20\,000\text{ мфт}\cdot\text{м}^{-2}$ с тремя поддиапазонами. Приведенная погрешность измерения облученности не превышает $\pm 5\%$. Питание прибора автономное.

Недостатком прибора является громоздкость, обусловленная сложностью оптической части, но при наличии набора спектральных диафрагм прибор может быть универсальным средством измерения излучений в диапазоне от 380 до 700 нм.

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

Спектральная чувствительность прибора (рис. 4.16) приближена к спектральной характеристике листа растения путем использования в качестве приемника излучения блока из трех фоторезисторов, каждый из которых имеет свой оптический фильтр, а все вместе они прикры-

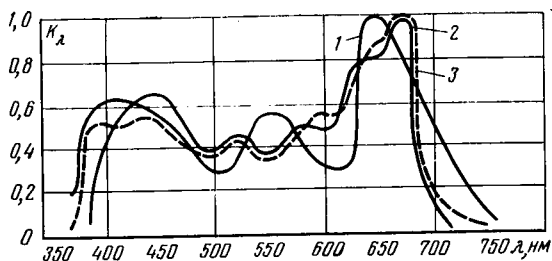


Рис. 4.16. Относительная спектральная чувствительность фитофотометров:

1 — ФМ-71; 2 — ФИТОМ-70; 3 — эталонного приемника — среднего листа растения.

ты матовой полусферой с целью приближения угловой характеристики приемника к закону косинуса.

Предел измерения прибора $300 \text{ фит} \cdot \text{м}^{-2}$. Приведенная погрешность измерения не превышает $\pm 15\%$. Питание прибора автономное.

§ 4.6. Приборы для измерения УФ излучения

Для измерения ультрафиолетового излучения наибольшее распространение получили измерительные приборы, в которых используются вакуумные фотоэлементы с внешним фотоэффектом.

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

Уфиметр комплектуется либо фотоэлементом Ф-7 для измерений в бактерицидной области УФ излучения (220 ... 280 нм), либо фотоэлементом Ф-26 с оптическим фильтром УФС-2, корректирующим его спектральную чувствительность под П-образную форму для измерений в диапазоне 280 ... 380 нм. Этот диапазон иногда называется «благодетельной» областью УФ излучения (рис. 4.17). Приемники снабжены насадкой из двух кварцевых концентрических матированных полусфер, приближающих их угловую характеристику к закону косинуса.

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

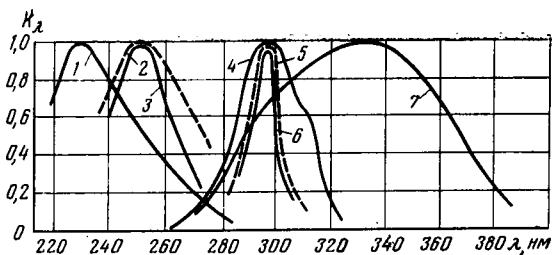


Рис. 4.17. Спектры действия излучений (2 — бактерицидного, 5 — эритемного) и относительная спектральная чувствительность приборов для измерения УФ излучения:

1 — уфиметра УФИ-73 и уфидозиметра УФД-73 с фотоэлементом Ф-7; 3 — бактметра УБ-1А; 4 — эрметра УФМ-71 и эрдозиметра УФД-1А; 6 — эрметра УБФ; 7 — уфиметра УФИ-73 и уфидозиметра УФД-73 с фотоэлементом Ф-26.

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

Эрметр УБФ предназначен для измерения эритемной облученности на плоскости раздельно в диапазонах длин волн 280...315 нм (зона УФ-В) и 315...380 нм (зона УФ-А спектра) путем использования соответствующих наборов оптических фильтров.

Спектральная чувствительность прибора близка к спектральной эритемной эффективности излучения (рис. 4.17), что позволяет измерить облученность, создаваемую источниками УФ излучения любого спектрального состава без введения поправочных коэффициентов. Требуемая спектральная характеристика прибора получена путем применения большого количества оптических фильтров, имеющих значительную толщину (13...40 мм) и как следствие малый коэффициент пропускания излучения. Последнее обстоятельство обусловило использование в качестве приемника излучения фотоумножителя ФЭУ-18А с усилителем постоянного тока.

Для достижения косинусной угловой характеристики приемника излучения перед его входным окном установлена насадка в виде так называемого шара Ляшэ.

Пределы измерения прибора: в области УФ-А до $900 \text{ мэр} \cdot \text{м}^{-2}$; в области УФ-В до $6000 \text{ мэр} \cdot \text{м}^{-2}$. Относительная погрешность измерения облученности не превышает $\pm 30\%$.

Эрметр УФМ-71 предназначен для измерения сферической эритемной облученности, создаваемой искусственными источниками излучения. В качестве приемника излучения использован фотоэлемент Ф-27 с полупрозрачным катодом, нанесенным изнутри на сферическую колбу фотоэлемента. Максимум спектральной чувствительности прибора близок к максимуму спектральной эритемной эффективности излучения (рис. 4.17).

Прибор градуируется по образцовой УФ лампе ДРТС-250, и при измерении облученности, создаваемой лампами ЛЭ и ДРТ, необходимо в результаты измерения вводить поправочные коэффициенты 1,6 и 1,45 соответственно.

Предел измерения эрметра $3000 \text{ мэ} \cdot \text{м}^{-2}$. Приведенная погрешность измерения не превышает $\pm 15\%$. Питание прибора автономное.

Бактметр УФБ-1А предназначен для измерения бактерицидной облученности на плоскости в единицах системы эффективных величин под искусственными источниками излучения.

Спектральная чувствительность прибора (рис. 4.17) определяется спектральной характеристикой специально разработанного фотоэлемента «Ванда».

Предел измерения бактметра $5000 \text{ мбк} \cdot \text{м}^{-2}$. Приведенная погрешность измерения не превышает $\pm 20\%$. Питание прибора автономное.

Уфидозиметр УФД-73 предназначен для измерения количества УФ излучения, создаваемого искусственными источниками на плоскости.

Приемная часть уфидозиметра и ее характеристики аналогичны приемной части и характеристикам уфиметра УФИ-73. Измерение выполняется в единицах системы энергетических величин.

Работа прибора основана на преобразовании тока фотоэлементов в электрические импульсы, частота которых пропорциональна величине УФ облученности. Измерение количества облучения осуществляется подсчетом числа импульсов при помощи пятиразрядного счетчика.

Емкость счетчика 10^6 импульсов, цена деления счетчика $0,02 \text{ Вт} \cdot \text{мин} \cdot \text{м}^{-2}$. Погрешность измерения количества облучения $\pm 5\%$. Питание прибора от сети или от аккумуляторов.

Эрдозиметр УФД-1А предназначен для измерения в системе эффективных величин количества облучения на

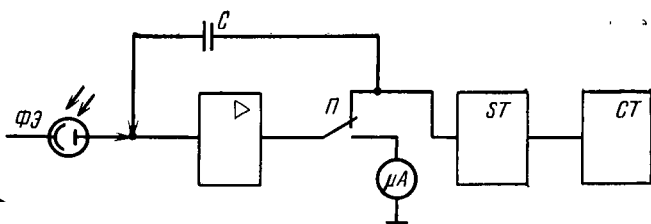


Рис. 4.18. Упрощенная функциональная схема эрдозиметра УФД-1А: ФЭ — приемник излучения Ф-27; $\triangleright$ — усилитель; C — интегрирующий конденсатор; ST — пороговый элемент; $СТ$ — счетчик импульсов; $П$ — переключатель режима работы.

поверхности сферы и для измерения сферической эритемной облученности от искусственных источников излучения.

Приемником излучения служит сферический фотоэлемент Ф-27, определяющий спектральную чувствительность прибора (рис. 4.17). Упрощенная функциональная схема прибора показана на рисунке 4.18.

В режиме измерения облученности сигнал фотоэлемента Ф-27 после усиления измеряется микроамперметром, проградуированным в $\text{мэр} \cdot \text{м}^{-2}$.

При измерении количества облучения (переключатель $П$ в верхнем положении) усилитель, в обратную связь которого включается масштабный конденсатор C , работает как интегратор. По мере заряда конденсатора напряжение на выходе усилителя линейно возрастает. Когда оно достигает наперед заданного значения, срабатывает пороговое устройство ST , подающее сигнал на счетчик импульсов $СТ$ и разряжающее конденсатор C . Процесс повторяется.

Эрдозиметр имеет 7 поддиапазонов измерения облученности до $1000 \text{ мэр} \cdot \text{м}^{-2}$ и может измерять количество эритемного облучения до $100 \text{ эр} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-2}$. Основная приведенная погрешность прибора не более $\pm 25\%$. Питание сетевое.

§ 4.7. Приборы для измерения ИК излучения

Для измерения ИК излучения применяют приборы с достаточно высокой и постоянной чувствительностью в ИК области спектра (рис. 4.8). Для этой цели используют неселективные приемники излучения: пиранометр Янишевского, болометры и термоэлементы с оптическим

фильтром КС-19, а также приборы, специально предназначенные для измерения ИК излучения.

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

Фотошуп ИВФ-1 предназначен для измерения облученности в видимой (360 ... 760 нм) и инфракрасной (760 ... 2500 нм) областях спектра.

Прибор комплектуется двумя сменными приемниками излучения, чувствительными в каждом из указанных диапазонов длин волн.

Предел измерения облученности $100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ с двумя поддиапазонами. При помощи нейтрального фильтра предел измерения может быть повышен в 5 раз. Приведенная погрешность измерения $\pm 5\%$. Питание прибора автономное.

Прибор для измерения ИК облученности, создаваемой искусственными источниками излучения, предназначен специально для работы в условиях сельскохозяйственного производства. Спектральная чувствительность прибора лежит в пределах от 620 до 10^4 нм. Приемником излучения служит термобатарея РК-15 из десяти хромелькопелевых термопар, соединенных последовательно. «Горячие» спай термобатареи покрыты платиновой чернью.

Предел измерения прибора $1000 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ с тремя поддиапазонами. Приведенная погрешность измерения $\pm 10\%$. Питание автономное.

Анализ характеристик приборов, предназначенных для измерения излучений оптической части спектра, показывает, что спектральная чувствительность большинства из них, несмотря на использование скорректированных приемников излучения, значительно отличается от спектральной чувствительности соответствующих эталонных приемников (рис. 4.16, 4.17), что вынуждает пользоваться спектральными поправочными коэффициентами для получения достоверных результатов измерения.

Анализ конструкций приборов для измерения оптических излучений показывает, что электрические схемы приборов во многом сходны между собой. Существенные отличия одного прибора от другого есть лишь в приемной

части, определяющей характеристики и качества прибора в целом.

В связи с вышеизложенным в разработке измерительных приборов наметилась тенденция блочно-модульного построения их конструкции, когда один универсальный измерительный блок со стрелочной или цифровой индикацией результатов измерения с набором фотометрических блоков позволит измерять спектральные, энергетические и эффективные величины в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной частях спектра. В идеальном случае набор фотометрических блоков может быть заменен одним-двумя фотометрическими блоками с трансформируемой характеристикой спектральной чувствительности.

Такая конструкция прибора позволит сделать его универсальным, удобным при практическом использовании, удешевит прибор при массовом производстве.

Раздел второй

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



Источником оптического излучения принципиально может быть названа любая материальная система естественного или искусственного происхождения, генерирующая оптическое излучение. В современных искусственных источниках оптическое излучение получают, как правило, путем преобразования электрической энергии. В зависимости от способа преобразования электрической энергии источники оптического излучения разделяются на тепловые, в которых излучателем является нагретое в результате протекания по нему электрического тока тело, и газоразрядные, действие которых основано на явлениях, сопровождающих электрический разряд в газах или парах металла.

Наша промышленность выпускает огромное число источников оптического излучения различных типов, мощностей и назначения.

В настоящем разделе рассмотрены источники оптического излучения, применяемые в сельскохозяйственном производстве.

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

Укажем основные свойства и показатели работы источника оптического излучения, сравнительный анализ которых дает основания для выбора этого источника.

1. Спектральный состав излучения источника имеет первостепенное значение, так как позволяет судить о потенциальных возможностях использования излучения для выполнения тех или иных функций в осветительных или облучательных установках. Ха-

рактеристикой, позволяющей оценить спектральный состав излучения, является кривая спектральной плотности потока излучения источника.

Для решения вопроса о приемлемости спектрального состава излучения того или иного источника сопоставляют кривые спектральной плотности излучения с кривой спектральной чувствительности приемника излучения. Пример анализа кривой спектральной плотности излучения с целью выяснить степень целесообразности использования источника для решения конкретной задачи рассматривается в § 14.2.

2. Эффективный поток измеряется в единицах соответствующей системы величин (лм, эр, б и др.).

3. Эффективная отдача потока излучения представляет собой отношение эффективного потока к мощности полного излучения источника:

$$\eta_{\text{эф}} = \frac{F}{\Phi} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi(\lambda) K(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) d\lambda}, \quad (5.1)$$

где λ_1 и λ_2 — границы, в пределах которых расположена кривая спектральной чувствительности данного эталонного приемника.

4. Эффективная отдача источника излучения — одна из характеристик, позволяющих наиболее полно оценить эффективность источника, она представляет собой отношение эффективного потока к электрической мощности источника излучения:

$$H_{\text{эф}} = \frac{F}{P}. \quad (5.2)$$

В тех случаях, когда для нормальной работы источника требуется постоянно включенный пускорегулирующий аппарат (ПРА), в котором происходят потери электрической энергии, можно говорить и об эффективной отдаче комплекта «лампа-ПРА». В этом случае в знаменатель формулы (5.2) ставят сумму мощности источника излучения и мощности потерь в пускорегулирующем устройстве. Применительно к каждому источнику излучения в зависимости от назначения понятие эффективной отдачи может быть конкретизировано: световая отдача, эритемная, бактерицидная и т. п. В соответствии

с этим эффективная отдача может измеряться в $\text{лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, $\text{эр} \cdot \text{Вт}^{-1}$, $\text{б} \cdot \text{Вт}^{-1}$ и в других соответствующих единицах.

5. Срок службы источника излучения может быть полный и полезный. *Полный* срок службы — это число часов работы источника излучения до выхода его из строя. *Полезный* срок службы — число часов эксплуатации источника излучения, в течение которых снижение его потока излучения не превышает определенного ГОСТом значения.

6. Стоимость источника излучения и необходимой ПРА, стоимость их эксплуатации и надежность работы в различных условиях, часто весьма тяжелых, имеют важное значение при выборе типа источника и в практике их использования.

Глава 5

ИСТОЧНИКИ, ОСНОВАННЫЕ НА ТЕПЛОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ

§ 5.1. Основные законы теплового излучения

Тепловое излучение есть результат преобразования энергии теплового движения атомов и молекул тела в энергию оптического излучения. Температура излучающего тела определяет как значение потока излучения, так и его спектральный состав.

Основные законы теплового излучения сформулированы применительно к абсолютно черному телу, под которым понимается приемник оптического излучения, полностью поглощающий падающие на него излучения независимо от направления падения, спектрального состава и поляризации. Существует и другое определение понятия абсолютно черного тела: это тепловой излучатель, способный создавать при прочих равных условиях наибольший в сравнении с другими тепловыми излучателями поток излучения.

Закон Кирхгофа устанавливает связь между способностями тела излучать и поглощать излучения: отношение плотностей излучения тел с одинаковой температурой равно отношению их коэффициентов поглощения:

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

Закон Кирхгофа можно записать иначе:

$$\frac{R_1}{\alpha_1} = \frac{R_2}{\alpha_2} = \dots = \frac{R_n}{\alpha_n} = \text{const} = R_T, \quad (5.3)$$

где R_T — плотность излучения абсолютно черного тела при той же температуре, Вт·м⁻².

Другими словами, отношение плотности излучения к коэффициенту поглощения для всех тел, имеющих одинаковую температуру, — величина постоянная, равная плотности излучения абсолютно черного тела при той же температуре.

Закон Стефана — Больцмана устанавливает связь между плотностью излучения тела и его температурой. Стефан и Больцман установили, что плотность излучения абсолютно черного тела зависит только от его температуры и пропорциональна четвертой степени ее:

$$R_T = \sigma T^4, \quad (5.4)$$

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

Для практики весьма важно знать распределение энергии в спектре теплового излучения. Распределение энергии в спектре теплового излучения абсолютно черного тела описывается формулой Планка:

$$R_{\lambda T} = c_1 \lambda^{-5} \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1}, \quad (5.5)$$

где $R_{\lambda T}$ — спектральная плотность потока излучения абсолютно черного тела, Вт·м⁻²·мкм⁻¹; c_1 — постоянная, равная $3,74 \cdot 10^8$ Вт·м⁻²·мкм⁴; c_2 — постоянная, равная $1,43 \cdot 10^4$ мкм·град; e — основание натуральных логарифмов.

Продифференцировав уравнение (5.5) по λ и приравняв первую производную нулю, получим:

$$\lambda_{\max} T = 2896 \text{ мкм} \cdot \text{град}, \quad (5.6)$$

где $\lambda_{\max}$ — длина волны, соответствующая максимуму кривой спектральной плотности потока излучения, мкм.

Уравнение (5.6) определяет положение максимума кривой спектральной плотности потока излучения абсолютно черного тела и выражает закон смещения Вина: при повышении температуры излучающего тела

максимум кривой спектральной плотности его потока излучения смещается в сторону более коротких длин волн (рис. 5.1). В видимой части спектра максимум находится при температуре абсолютно черного тела в пределах 3750...7800 К. Вин, пользуясь законом Стефана—Больцмана и законом смещения, установил, что максимальное значение спектральной плотности потока излучения абсолютно черного тела возрастает пропорционально пятой степени температуры тела, то есть

$$(R_{\lambda T})_{\max} = c_3 T^5, \quad (5.7)$$

где c_3 — постоянная, равная $1,041 \cdot 10^{-11}$ Вт·м⁻²·мкм⁻¹·град⁻⁵.

Основные законы теплового излучения позволяют сделать следующие выводы.

1. Поток излучения абсолютно черного тела пропорционален четвертой степени температуры нагрева.

2. Значение максимума спектральной плотности потока излучения абсолютно черного тела пропорционально пятой степени температуры нагрева.

3. С повышением температуры нагрева абсолютно черного тела максимум кривой спектральной плотности его потока излучения смещается в сторону более коротких длин волн.

Большое практическое значение имеет вопрос о характере зависимости эффективной отдачи потока излучения теплового излучателя от температуры нагрева.

Рассмотрим этот вопрос применительно к тепловому излучателю, используемому в качестве источника видимого излучения. Эффективная отдача потока излучения (световой к.п.д.) в данном случае

$$\eta_c = \frac{F}{\Phi} = \frac{\int_{380}^{760} \varphi(\lambda) K(\lambda) c d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) d\lambda}. \quad (5.8)$$

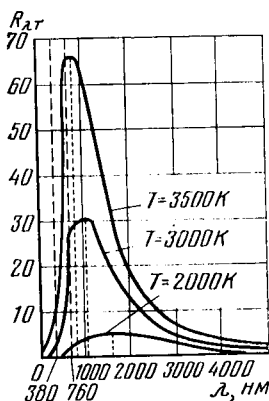


Рис. 5.1. Спектральная плотность излучения абсолютно черного тела при нагреве его до различных температур.

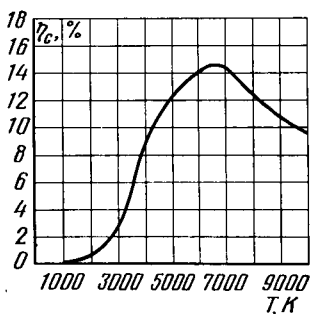


Рис. 5.2. Зависимость светового к.п.д. от температуры абсолютно черного тела.

При повышении температуры излучателя световой к.п.д. возрастает, что объясняется смещением максимума кривой спектральной плотности потока излучения в сторону видимого излучения. Наибольшего значения (14,5%) световой к.п.д. достигает при температуре абсолютно черного тела около 6500 К. Максимум кривой спектральной плотности излучения при этом оказывается в зоне видимой части спектра. Дальнейшее увеличе-

ние температуры излучателя приводит к смещению максимума кривой $\phi(\lambda)$ в коротковолновую часть спектра. Значение светового к.п.д. начинает уменьшаться (рис. 5.2).

В таблице 5.1 приведены максимальные значения светового к.п.д. и световой отдачи излучения для некоторых характерных тепловых излучателей.

Т а б л и ц а 5.1

Характер излучения или излучатель	Температура, К	Световая отдача, лм/Вт	Световой к. п. д., %
Монохроматическое излучение при $\lambda = 555$ нм	—	680	100
Равноэнергетическое излучение	—	242	35,5
Полный излучатель	6500	99	14,5
Солнце в зените	—	94	13,8
Вольфрам при плавлении	3665	55	8,1
Лампа с угольной нитью	2135	3,54	0,52
Керосиновая лампа	1850	0,27	0,04

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

§ 5.2. Устройство и работа ламп накаливания

Конструкция ламп накаливания зависит от их назначения. Стеклопаянная колба, диаметр которой определяется мощностью лампы, заполнена газом (аргон, азот или криптон). Колба соединена с цоколем специальной цоколевочной мастикой. На цоколе имеется винтовая нарезка для крепления в патроне, при помощи которого лампа включается в сеть. В колбе расположена стеклянная ножка лампы, которая состоит из штабика, лопаточки и штенгеля или откачной трубки. В верхнюю часть штабика впаяны молибденовые крючки, на которых укреплено тело накала (нить накала). Для соединения тела накала с цоколем служат никелевые электроды, платиновые вводы и медные выводы.

Цоколи ламп накаливания изготавливают резьбовыми, штифтовыми и фокусирующими. Последние применяют в тех случаях, когда требуется обеспечить точное расположение тела накала лампы по отношению к сопряженной с патроном части цоколя.

Колба лампы накаливания представляет собой стеклянный баллон, предназначенный для изолирования тела накала от внешней среды. Форма колбы ламп накаливания может быть различной. Кроме прозрачных колб, осветительные лампы накаливания могут иметь колбы из матированного, опалового или «молочного» стекла. Такие колбы имеют значительно больший коэффициент поглощения по сравнению с прозрачными, но позволяют избавиться от слепящей яркости тела накала. Если требуется получить от лампы направленный световой поток, часть внутренней поверхности колбы покрывают зеркальным слоем из серебра или алюминия. В зависимости от формы отражающей части колбы можно получать различный характер распределения светового потока в пространстве. Зеркальные осветительные лампы накаливания могут выполнять одновременно функции источника оптического излучения и осветительной арматуры.

При рассмотрении работы лампы накаливания речь пойдет, по существу, о работе тела накала.

Как следует из основных законов теплового излучения, важнейшие показатели работы ламп накаливания (спектральный состав излучения, значение потока излучения, к.п.д. и др.) при прочих равных условиях зависят

только от температуры нагрева излучающего тела. Однако добиться повышения эффективности ламп накаливания только путем повышения температуры тела накала не просто, так как нагревание тела накала сопровождается распылением вещества нити накала. Интенсивность процесса распыления резко возрастает с повышением температуры нагрева тела накала, что, в свою очередь, приводит к резкому снижению срока службы лампы накаливания.

При тех значениях температуры, до которых обычно нагревается тело накала (2400 ... 2800 К), повышение ее на 1% увеличивает скорость распыления примерно в 2 раза.

Наиболее широко распространены в настоящее время вольфрамовые газонаполненные (газополные) лампы накаливания. Колба этих ламп после освобождения от воздуха заполняется инертным газом при давлении в холодном состоянии около 800 ГПа. Наполняющим газом является смесь аргона с азотом (86% Ar + 14% N₂) или криптон и ксенон в смеси с азотом. Роль азота состоит в предотвращении внутренних коротких замыканий через газовую среду.

Скорость распыления тела накала при равных условиях в газе меньше, чем в вакууме. Это позволяет повысить температуру нагрева тела накала, не снижая срока службы лампы. В мощных газополных лампах накаливания температура нити достигает 3000 К, световая отдача при этом составляет 20 лм·Вт⁻¹, срок службы — 1000 ч.

В современных лампах общего назначения с целью уменьшения потерь тепла в газе и скорости распыления нити ее выполняют в виде спирали, имеющей форму незамкнутого кольца и укрепленной в держателях в плоскости, перпендикулярной оси лампы. Дальнейшее повышение эффективности работы лампы было достигнуто при использовании тела накала, выполненного в виде биспирали.

Основные конструктивные признаки лампы накаливания отражены в шифре ее типа. Буквы В, Г, Б, БК соответственно означают: вакуумная, газополная, биспиральная, биспиральная криптоновая. Цифры означают диапазон напряжений, на который рассчитана лампа, и мощность.

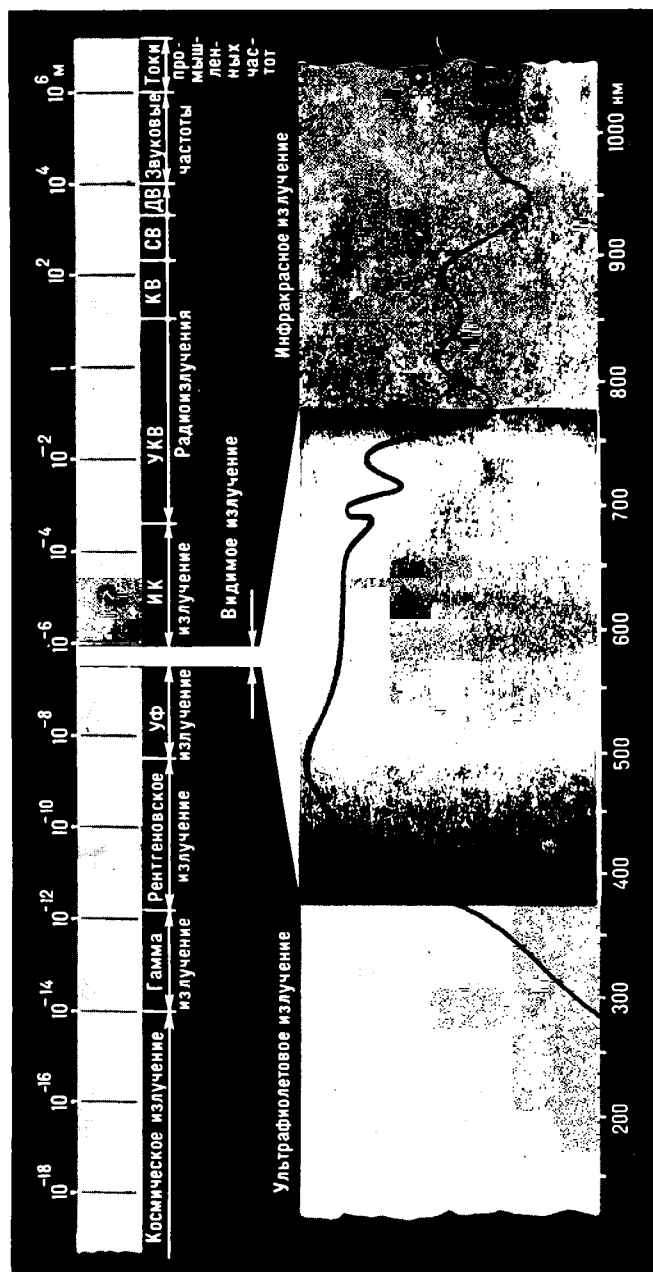


Рис. 1.1.1. Спектр электромагнитных колебаний с характеристической спектральной плотности излучения Солнца.

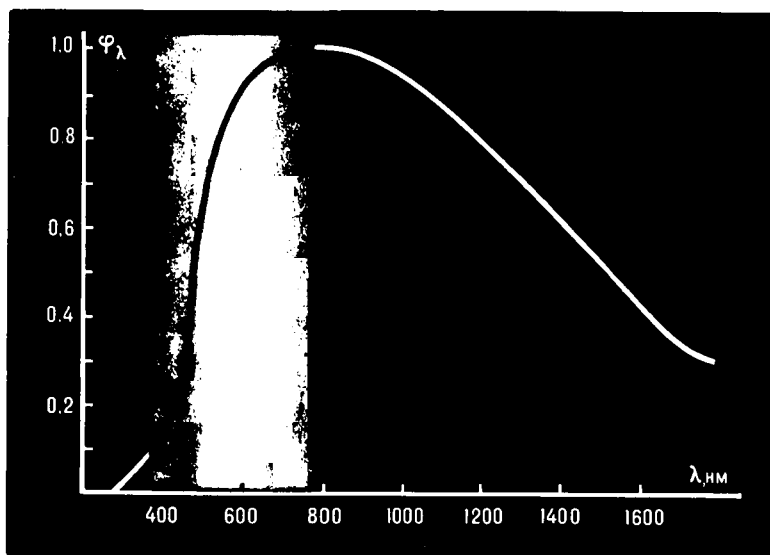


Рис. 5.5. Спектральная плотность излучения лампы КГ 220-1000-5.

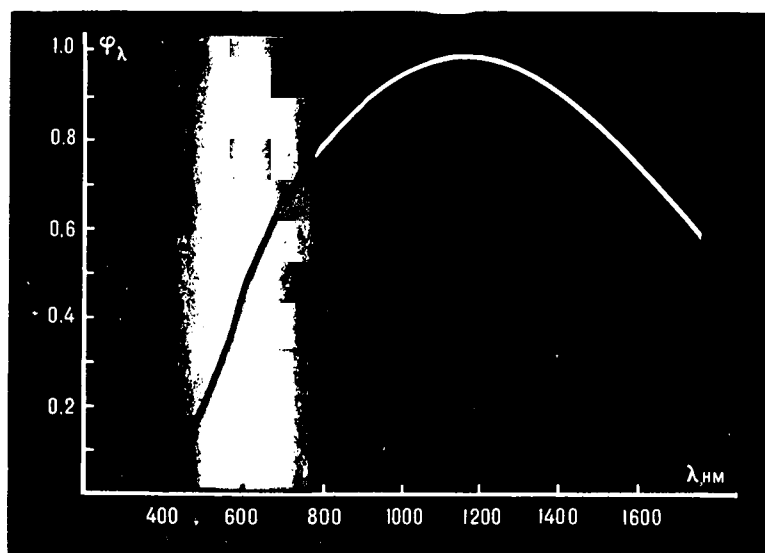


Рис. 5.6. Спектральная плотность излучения инфракрасной лампы ИКЗК 220-250.

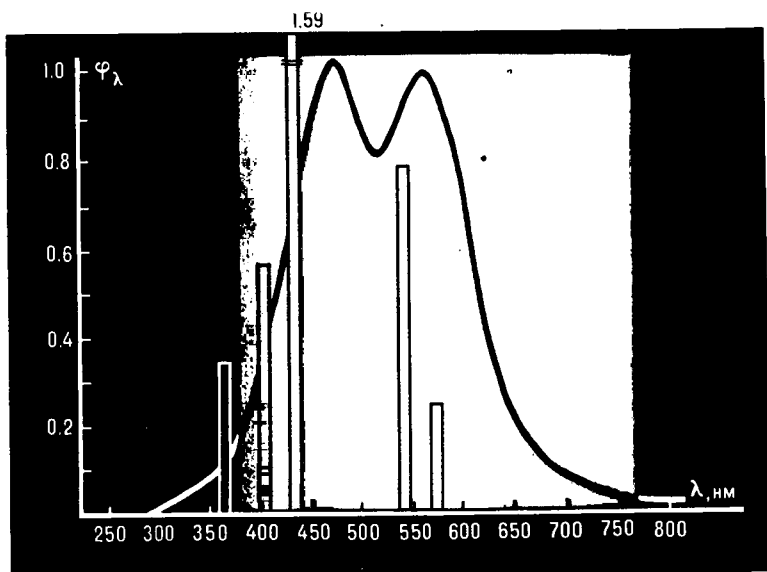


Рис. 7.5. Спектральная плотность излучения лампы ЛД.

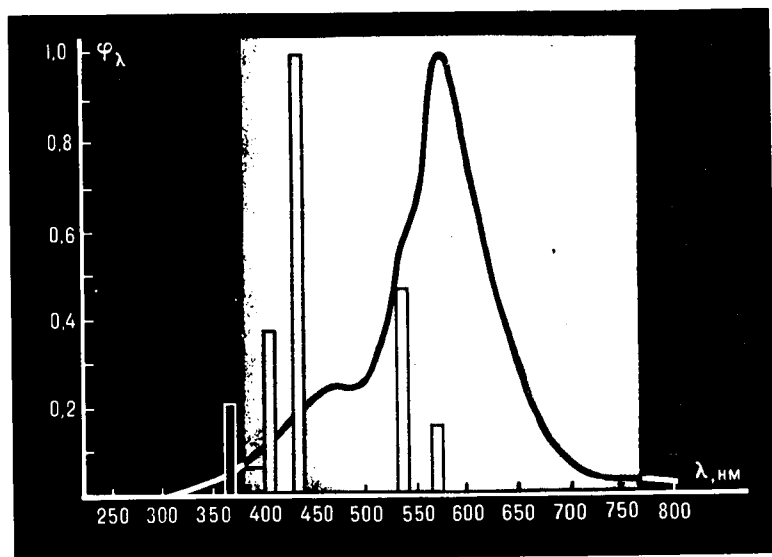


Рис. 7.6. Спектральная плотность излучения лампы ЛБ.

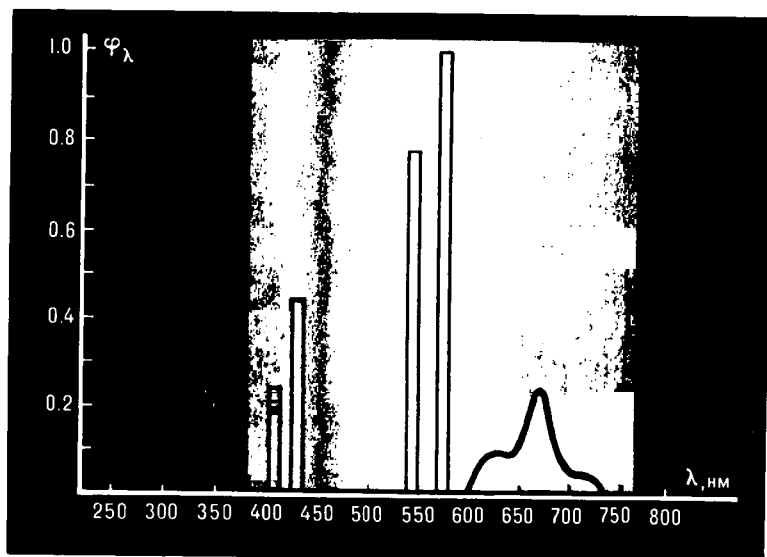


Рис. 9.3. Спектральная плотность излучения лампы ДРЛ.

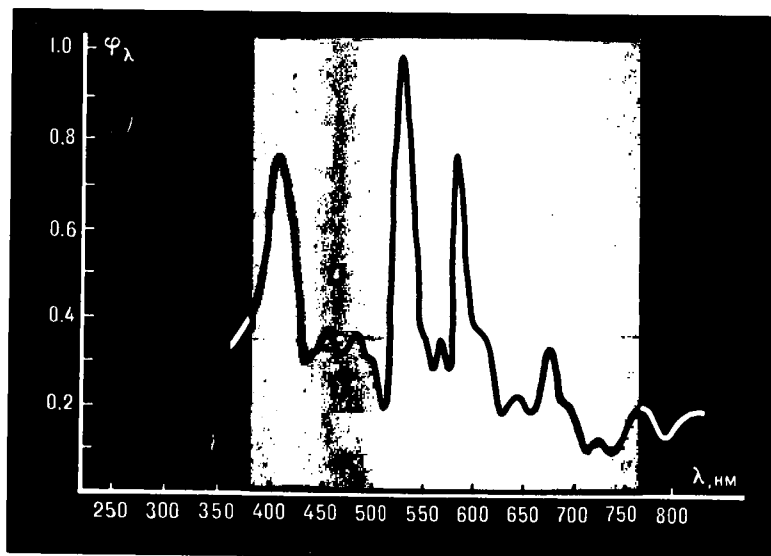


Рис. 9.7. Спектральная плотность излучения лампы ДРИ.

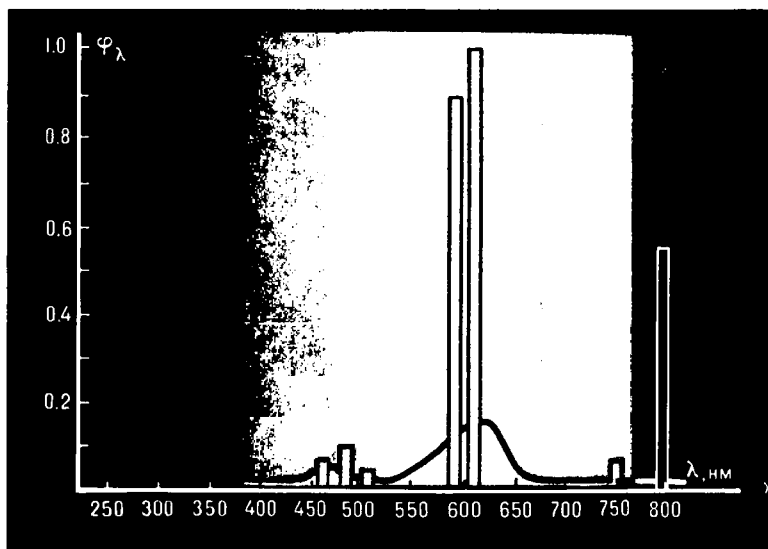


Рис. 9.10. Спектральная плотность излучения лампы ДНаТ.

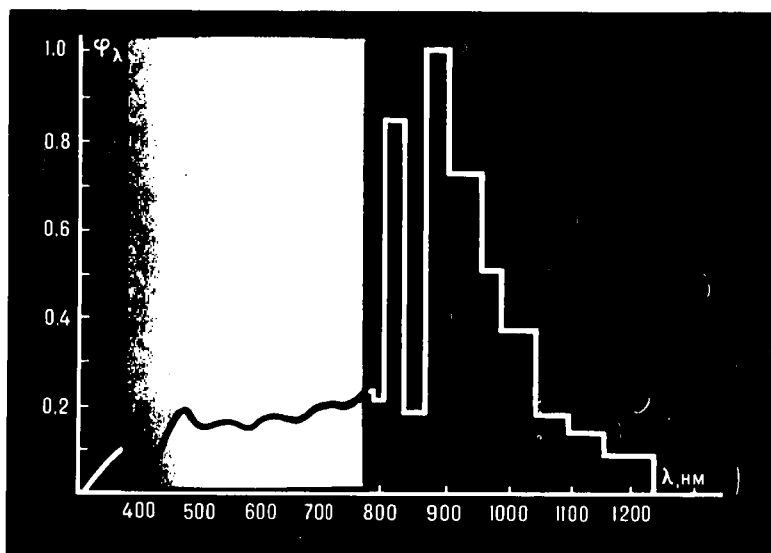


Рис. 9.13. Спектральная плотность излучения лампы ДКсТВ 6000.

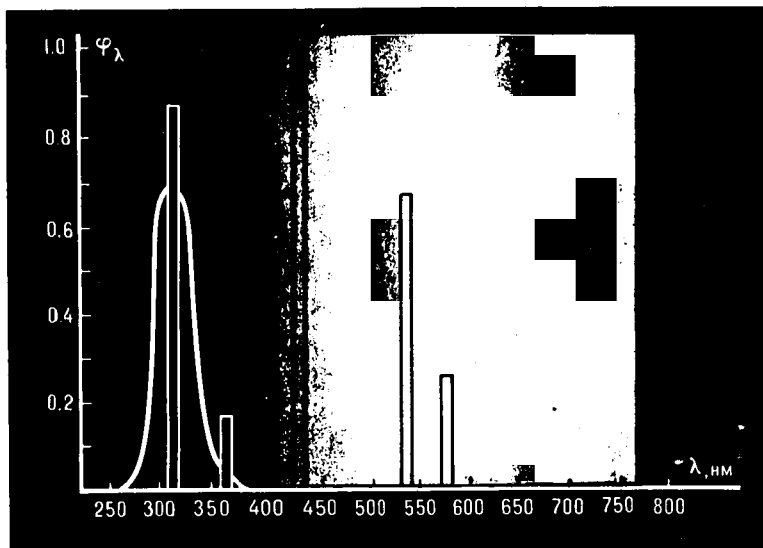


Рис. 10.1. Спектральная плотность излучения лампы ЛЭР-40.

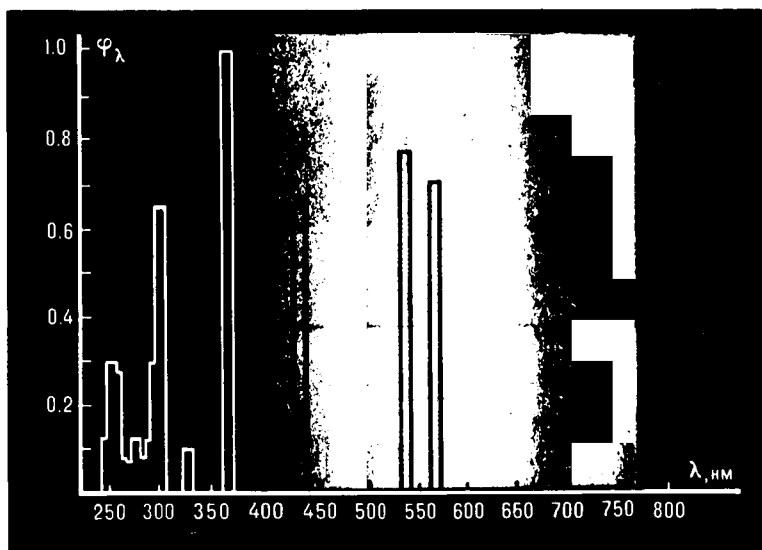


Рис. 10.5. Спектральная плотность излучения лампы ДРТ.

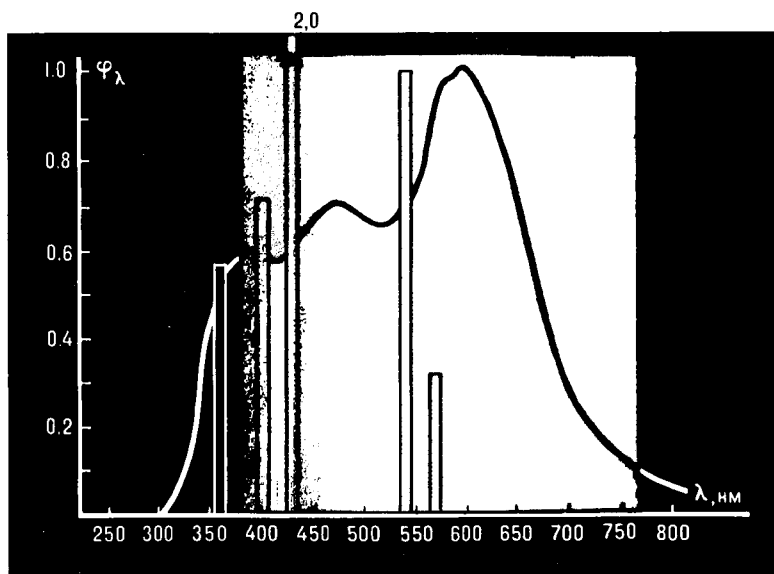


Рис. 10.6. Спектральная плотность излучения лампы ЛФ-40-2.

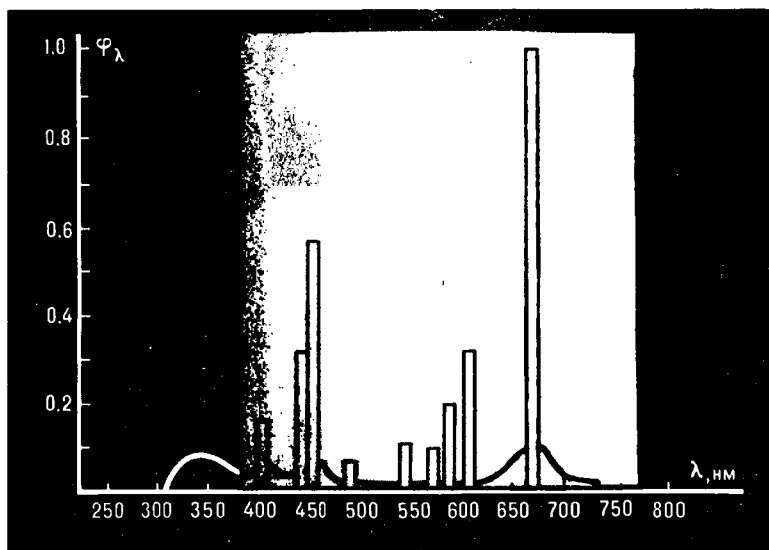
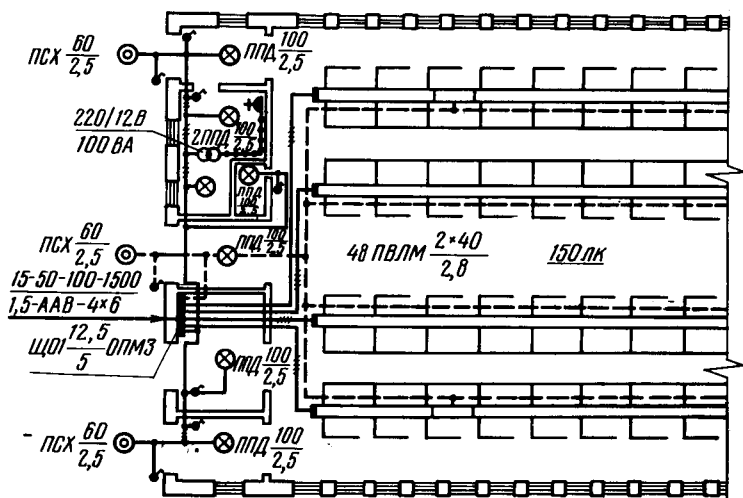
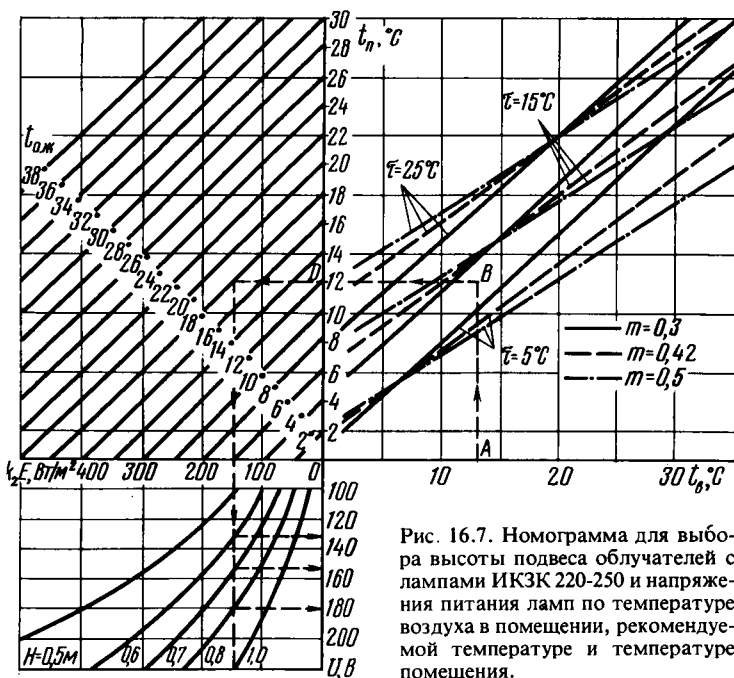


Рис. 10.8. Спектральная плотность излучения лампы ДРФ-1000.



§ 5.3. Основные характеристики ламп накаливания

Номинальное напряжение — это напряжение, при котором лампа предназначена к работе. Выпускаемые промышленностью лампы накаливания имеют различные значения номинального напряжения от 1 до 220 В, в зависимости от типа и назначения. Например, автомобильные и тракторные лампы имеют номинальное напряжение 6 и 12 В; лампы для местного освещения — 12 и 36 В; железнодорожные — 24, 50, 74 В; осветительные лампы общего назначения выпускаются на следующие диапазоны напряжений: 127 ... 135 В, 215 ... 225, 220 ... 235, 230 ... 240, 235 ... 245 В. Диапазоны напряжений обусловлены тем, что в практике эксплуатации осветительных установок с лампами накаливания отклонения напряжения от номинального значения — явление нередкое.

Электрическая мощность ламп накаливания указывается как средняя величина при регламентируемых соответствующими ГОСТами допусках. Промышленность выпускает лампы накаливания мощностью от долей ватта до нескольких киловатт.

Световой поток лампы накаливания зависит от ее мощности и температуры нагрева тела накала. Так как при изготовлении лампы неизбежны отклонения от расчетных величин, стандарты предусматривают определенные допуски по световому потоку. В процессе эксплуатации лампы световой поток ее понижается, так как уменьшаются излучение тела накала и прозрачность колбы из-за оседания на внутренней поверхности ее продуктов распыления тела накала. Световой поток ламп в матированных колбах должен составлять не менее 97%, а у ламп в «молочных» колбах — не менее 80% от соответствующих величин для ламп с прозрачными колбами.

Световая отдача — одна из основных характеристик, определяющих экономичность лампы накаливания ($\text{лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$):

$$H = F/P, \quad (5.9)$$

Значение световой отдачи зависит от температуры нагрева тела накала. При равных условиях температура нагрева нити накала большего диаметра может быть более высокой при одинаковом сроке службы. Следова-

тельно, лампы накаливания большей мощности и меньшего номинального напряжения должны иметь при прочих равных условиях более высокую световую отдачу. Действительно, если биспиральная лампа накаливания мощностью 40 Вт, рассчитанная на напряжение 125 ... 135 В, имеет световую отдачу $12,3 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, то лампа того же типа и напряжения, но мощностью 1000 Вт имеет световую отдачу $19,1 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$.

Лампа мощностью 500 Вт, напряжением 215 ... 225 В имеет световую отдачу $16,6 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, а такая же лампа, но рассчитанная на 127 ... 135 В, — $17,4 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$.

Наряду с лампами накаливания с нормальной световой отдачей выпускаются лампы с криптоновым наполнением, обладающие повышенной на 11 ... 13% световой отдачей.

Срок службы, то есть средняя продолжительность горения всех типов ламп накаливания общего назначения, составляет не менее 1000 ч. При этом продолжительность горения каждой из ламп при номинальном напряжении должна быть не менее 700 ч. Световой поток ламп после 750 ч горения должен составлять не менее 85% первоначального значения.

Основные характеристики ламп накаливания общего назначения приведены в приложении 1.

§ 5.4. Влияние отклонений напряжения в сети на основные показатели работы ламп накаливания

При изменении напряжения в сети, к которой присоединена лампа накаливания, изменяются ток, протекающий по нити накала, температура нагрева, сопротивление и мощность, рассеиваемая нитью в окружающее пространство. Следствием этого будет изменение яркости нити накала, светового потока, световой отдачи и срока службы лампы.

Зависимость отдельных характеристик лампы накаливания от напряжения может быть выражена графически и аналитически. На рисунке 5.3 изменение напряжения и основных характеристик лампы накаливания дается в процентах от номинальных значений.

В таблице 5.2 приведены значения изменения этих параметров в процентах при отклонениях напряжения, допускаемых в сельских электроустановках.

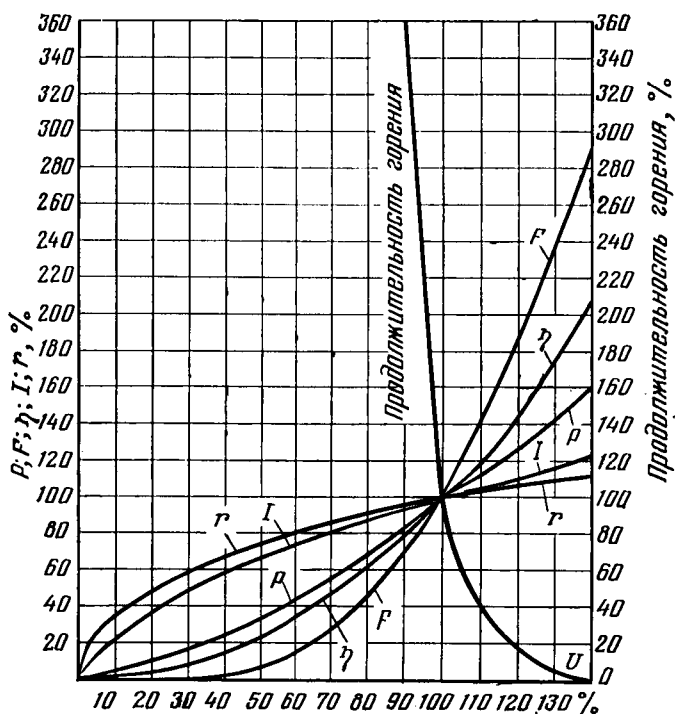


Рис. 5.3. Зависимость основных характеристик ламп накаливания общего назначения от подводимого напряжения.

К достоинствам ламп накаливания могут быть отнесены простота устройства, низкая стоимость изготовления, надежность работы в различных условиях окружающей среды.

Недостатки ламп накаливания: низкая световая отдача (до $20 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$), неудовлетворительный спектральный состав излучения, чрезмерная яркость.

Таблица 5.2

Отклонение напряжения	Изменение мощности	Изменение светового потока	Изменение световой отдачи	Изменение срока службы
-7,5%	-13%	-27%	-12%	+217%
+2%	+3%	+7%	+4%	-25%
+7,5%	+15%	+30%	+20%	-60%

§ 5.5. Галогенные лампы накаливания

Повышению температуры нагрева нити и, следовательно, повышению эффективности работы ламп накаливания препятствует, прежде всего, процесс распыления тела накала. В кварцевых лампах с йодным циклом процесс распыления нити накала не устранен, но найдено надежное средство борьбы с его последствиями. Это позволило значительно улучшить показатели работы ламп этого типа.

На рисунке 5.4 показано устройство лампы типа КГ 220-1000. Цилиндрическая колба 3 изготовлена из кварцевого стекла, имеющего температуру размягчения выше 1373 К. В колбу помещено дозированное количество йода, и она наполнена аргоном до давления примерно 800 ГПа. Тело накала 4, выполненное в виде моноспирали из особо чистого вольфрама, смонтировано по оси трубки на вольфрамовых supports 5. Ввод в лампу выполнен молибденовыми электродами 2, впаянными в кварцевые ножки 1. В сеть лампу включают контактными поверхностями 6.

Лампа рассчитана на работу от сети с напряжением 220 В. Регенеративный йодный цикл состоит в следующем. Образующиеся в результате распыления тела накала частицы вольфрама движутся от нити к стенкам колбы, где вступают в соединение с йодом, образуя йодид вольфрама WJ_2 . Образование йодида вольфрама происходит при температуре в зоне колбы от 523 до 1473 К. При более низких температурах интенсивность реакции недостаточна для поддержания цикла. При более высоких температурах разложение йодида у поверхности

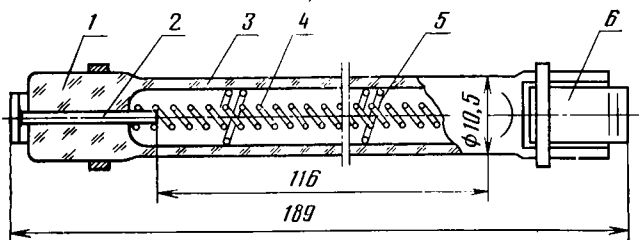


Рис. 5.4. Устройство кварцевой галогенной лампы накаливания КГ 220-1000:

1 — плоскозаштампованные ножки лампы; 2 — молибденовые электроды; 3 — кварцевая колба; 4 — моноспиральное тело накала; 5 — вольфрамовые держатели; 6 — плоские контактные поверхности.

колбы более вероятно, чем его образование. Степень диссоциации йодида в зоне спирали на несколько порядков выше, чем у стенок. Следовательно, и концентрация WJ_2 там меньше, чем у поверхности колбы. Образовавшийся йодид вольфрама перемещается к спирали, в сторону меньшей концентрации. Достигнув зоны спирали, в условиях высокой температуры йодид вольфрама разлагается. Вольфрам осаждается на спираль, а йод освобождается и вновь принимает участие в цикле.

Схематически регенеративный цикл выглядит следующим образом:

1) образование йодида вольфрама у поверхности колбы;

2) возвращение вольфрама в виде йодида к спирали;

3) разложение йодида вблизи спирали с осаждением на ней вольфрама и освобождением йода.

Характерной особенностью галогенных ламп является возможность регулирования их потока излучения путем изменения подводимого напряжения. Повышение напряжения сверх номинального не приводит к столь резкому сокращению срока службы, как это происходит у обычных ламп накаливания.

Основные достоинства ламп накаливания с йодным циклом следующие:

1) высокая удельная плотность излучения;

2) стабильность потока излучения в течение срока службы;

3) относительно малые габаритные размеры;

4) способность выдерживать длительные и большие перегрузки;

5) возможность плавного регулирования потока излучения в широких пределах путем изменения подводимого напряжения.

Основные недостатки ламп накаливания с йодным циклом общего назначения таковы:

1) возможность работы только в горизонтальном положении во избежание деформаций тела накала под действием собственного веса и нарушения йодного цикла;

2) более высокая стоимость в связи с необходимостью использовать кварцевое стекло и особо чистый вольфрам.

Спектральная плотность излучения лампы КГ 220-1000 показана на рисунке 5.5 (вклейка).

Основные технические данные кварцевых галогенных осветительных ламп приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Тип лампы	Напряже- ние, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, ч	Размер, мм	
					длина	диа- метр
КГ 220-1000-5	220	1 000	22 000	2000	189	10,5
КГ 220-1500		1 500	33 000		254	10,5
КГ 220-2000-4		2 000	44 000		335	10,5
КГ 220-5000-1		5 000	110 000		520	20,0
КГ 220-10000-1		10 000	220 000		675	26,0

§ 5.6. Источники инфракрасного (ИК) излучения, используемые в сельскохозяйственном производстве

Инфракрасное излучение используется во многих технологических процессах сельскохозяйственного производства для обогрева молодняка животных и птицы, сушки сельскохозяйственных продуктов и др.

Источники ИК излучения по спектральному составу делятся на «светлые» и «темные».

«Светлые» источники конструкцией и принципом действия не отличаются от ламп накаливания, однако их тело накала рассчитано на меньшую, чем в осветительных лампах, температуру ($T=2270 \dots 2770$ К) для увеличения доли ИК излучения в полном потоке ламп и сокращения доли видимого излучения. Максимум спектральной плотности излучения таких ламп смещен, как это следует из выражения (5.7), в длинноволновую часть спектра и приходится на излучения с длиной волны $1000 \dots 1400$ нм.

Промышленность выпускает инфракрасные зеркальные лампы типов ИКЗ 220-500, ИКЗК 220-250 и инфракрасные кварцевые галогенные лампы КГ 220-1000-1.

Часть внутренней поверхности колбы зеркальных ламп покрыта слоем алюминия или серебра с коэффициентом отражения ИК излучения около 0,9. Форма колбы с отражающим покрытием определяет характер распределения излучения ламп в пространстве.

Колба ламп ИКЗК покрыта красным термостойким лаком, снижающим световой поток ламп. Распределение спектральной плотности излучения ламп ИКЗК 220—250 показано на рисунке 5.6 (вклейка). Пониженная температура тела накала инфракрасных ламп способствует увеличению их срока службы до 5000 ч.

«Темные» источники ИК излучения представляют собой металлическую трубку, заполненную огнестойкой изоляционной массой, в которую помещен нагреватель в виде спирали из нихрома.

Спектр излучения «темных» источников находится в диапазоне длин волн 1400 ... 10 000 нм с максимумом спектральной плотности излучения при 4000 нм.

Для целей ИК обогрева промышленность выпускает трубчатые электронагреватели (ТЭНы) с единичной мощностью 400 ... 800 Вт, предназначенные для включения в сеть с напряжением 220 В. Срок службы ТЭНов 10 000 ч.

Глава 6

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ГАЗАХ И ПАРАХ МЕТАЛЛОВ

§ 6.1. Общие сведения

Дальнейшее совершенствование источников света, основанных на тепловом излучении, как было показано выше, не может сколько-нибудь значительно повысить их светотехнические и технико-экономические показатели. Это побудило к поискам иных принципов получения оптического излучения, не связанных с нагревом излучающего тела.

Газоразрядные источники оптического излучения могут обладать значительно более высоким к.п.д., чем источники, основанные на тепловом излучении. Цветность излучения и характер распределения его по спектру зависят от рода паров металла или газа и условий электрического разряда. Эти свойства открыли для газоразрядных источников широкие перспективы для многообразных применений во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства.

В зависимости от рода излучателя, обеспечивающего основную часть энергии излучения газоразрядного источника, различают:

а) газосветные лампы, в которых используется излучение газа или паров металла в процессе электрического разряда;

б) электродосветные лампы, в которых используется излучение раскаляющихся в процессе разряда электродов;

в) люминесцентные лампы, в которых основным источником излучения являются люминофоры, возбуждаемые излучением электрического разряда в газе.

Излучение газоразрядных источников носит, как правило, смешанный характер и содержит излучение раскаленных электродов, газовой среды и люминофора, если он в данном источнике имеется. Одно из этих излучений обычно преобладает. Наиболее широкое распространение среди газоразрядных источников оптического излучения получили лампы, в которых используется электрический разряд в парах ртути. В зависимости от давления, развиваемого в рабочем режиме, их можно условно классифицировать следующим образом:

1) лампы низкого давления, в которых разряд происходит при давлении до 0,01 МПа;

2) лампы высокого давления, в которых оно в рабочем режиме составляет 0,01 ... 1 МПа;

3) лампы сверхвысокого давления, в которых разряд осуществляется при давлении более 1 МПа;

§ 6.2. Электрический разряд в газах и парах металлов

Процесс прохождения электрического тока в газовой среде существенно отличается от протекания тока в металлах и электролитах. Электрический пробой газа или пара и протекание в результате этого тока отличаются от соответствующего явления и в диэлектриках. Если в последних электрический пробой приводит к их разрушению и превращению полностью или частично в проводник или в полупроводник, то газ или пар восстанавливает свои свойства при снятии электрического поля, если в результате пробоя не произошла химическая реакция. Характер и механизм электрического разряда в газах и парах металлов зависят главным образом от свойств среды, приложенного напряжения и плотности тока.

В настоящее время наиболее широко применяется в газоразрядных источниках излучения разряд в парах ртути, при котором основная доля энергии излучения характеризуется длиной волны резонансного излучения ртути, равной 253,7 нм.

Для того чтобы в электрической цепи, содержащей газовый промежуток, в установившемся режиме проте-

кал ток, электроны должны переходить с поверхности катода в газ, а из газа — в анод. Выход электрона с поверхности твердого проводника требует затраты энергии на преодоление потенциального барьера, существующего на границе между электродом и газом. Эта энергия называется «работой выхода», выражается в электрон-вольтах и зависит от материала поверхности катода, его температуры и природы газа. При попадании электронов на поверхность анода часть их энергии расходуется на его нагрев. Для облегчения выхода электронов с поверхности катода принимают специальные меры, например электроды подогревают или покрывают их поверхности активирующим веществом, повышающим эмиссионные свойства катода.

Характер и механизм электрического разряда в газе или парах металла существенно зависят от плотности разрядного тока и свойств среды, главным образом от давления.

Различают следующие основные формы разряда.

Тихий разряд характеризуется весьма малой плотностью тока (до 10^{-6} А·см⁻²) и отсутствием заметного свечения.

Тлеющий разряд характеризуется явно выраженным свечением. Плотность разрядного тока 10^{-2} ... 10^{-4} А·см⁻².

Дуговой разряд характеризуется интенсивной эмиссией электронов с катода и значительной яркостью свечения. Плотность разрядного тока может достигать больших величин (десятки и сотни А·см⁻²).

В одном и том же разрядном промежутке можно осуществить любую из трех форм разряда, изменяя значения давления и плотности разрядного тока.

Существование разряда в данной форме так же, как и переход в другую форму, может зависеть от воздействия внешних факторов, способствующих образованию заряженных частиц.

Самостоятельным называют такой разряд, который поддерживается благодаря внутренним процессам, возникающим в газоразрядном промежутке под действием приложенной к электродам разности потенциалов.

Несамостоятельным называется разряд, существование которого возможно только в условиях воздействия внешних факторов (ионизирующие излучения, подогрев электродов от внешнего источника и т. п.).

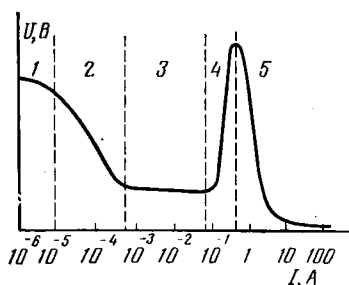


Рис. 6.1. Вольт-амперная характеристика газоразрядного промежутка:

1 — тихий разряд; 2 — переходная область; 3 — нормальный тлеющий разряд; 4 — аномальный тлеющий разряд; 5 — дуговой разряд.

Статическая вольт-амперная характеристика газоразрядного промежутка $U_n = f(I)$, изображенная на рисунке 6.1, позволяет проследить переход разряда из одной формы в другую. Возникающий при некотором напряжении тихий разряд в результате изменения электрических свойств промежутка с увеличением плотности тока развивается в тлеющий, а затем и в дуговой. Значения напряжений, соответствующие различным участкам

вольт-амперной характеристики, определяются в основном свойствами и давлением газа или паров металлов. Значения токов, в пределах которых сохраняется одна и та же форма разряда, зависят от свойств материала, формы и состояния поверхности катода.

При определенных плотностях тока ионизация межэлектродного промежутка может стать лавинообразной. В этом случае сопротивление его резко уменьшается с увеличением тока. Следовательно, межэлектродный газовый промежуток может и не иметь определенного характерного для него значения сопротивления.

Рабочим режимом источников излучения, которые будут рассмотрены ниже, является дуговой разряд. Часть вольт-амперной характеристики, соответствующая этому виду разряда, является «падающей», то есть ток имеет тенденцию к неограниченному возрастанию. Это специфическое свойство электрического разряда в газе или парах металла чрезвычайно важно. Оно вынуждает во избежание разрушения газоразрядного источника излучения включать последовательно с ним специально подобранное сопротивление для ограничения разрядного тока.

§ 6.3. Условия зажигания и стабилизации дугового разряда в газах и парах металлов

При отсутствии напряжения на электродах газоразрядной лампы процесс естественного возникновения заря-

женных частиц уравнивается их рекомбинацией. По мере повышения напряжения на электродах число заряженных частиц возрастает.

Начиная с некоторого значения напряжения, определенного для каждого конкретного случая, процесс возрастания числа заряженных частиц и, следовательно, силы тока в межэлектродном промежутке развивается практически мгновенно ($10^{-5} \dots 10^{-7}$ с) и приводит к возникновению свечения. Это явление называется **зажиганием самостоятельного разряда**.

Напряжением зажигания U_z называется наименьшее значение напряжения, при котором возникает самостоятельный разряд. Оно зависит от рода газа, его давления, эмиссионных свойств электродов и расстояния между ними. Существенную роль в зажигании разряда могут играть внешние факторы, вызывающие первичную ионизацию газа. Напряжение зажигания самостоятельно-го дугового разряда значительно выше напряжения, требующегося для поддержания разряда в установившемся режиме, когда межэлектродный промежуток ионизирован и катод, разогретый за счет кинетической энергии падающих на него заряженных частиц, обеспечивает достаточный уровень эмиссии электронов.

Напряжение зажигания, как правило, превышает и эффективное напряжение сети, к которой подключен газоразрядный источник. Вместе с тем весьма желательной является возможность зажигания дугового разряда при напряжении, не превышающем U_c . Этого можно добиться различными способами. Например, можно увеличивать первичную ионизацию газа, вводя в газоразрядный промежуток дополнительные электроды, при помощи которых создается высокая напряженность электрического поля вблизи катода, способствующая возникновению и развитию разряда. Применяются и другие способы снижения напряжения зажигания: покрытие электродов активирующим слоем, повышающим их эмиссионные свойства; предварительный нагрев электродов, уменьшающий работу выхода электронов с катода; расположение на поверхности лампы проводящей полосы, изменяющей распределение электрического поля в межэлектродном промежутке, и т. п.

Падающая вольт-амперная характеристика дугового разряда делает его неустойчивым. Поэтому электрическая схема включения газоразрядного источника излуче-

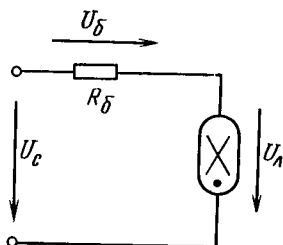


Рис. 6.2. Принципиальная электрическая схема включения газоразрядной лампы в сеть.

ния должна содержать элемент, который стабилизировал бы разряд и ограничивал бы ток заданным значением. При питании источника от сети переменного тока в качестве такого элемента принципиально может быть применено правильно подобранное сопротивление любого вида: активное, индуктивное, емкостное, смешанное. Однако светотехнические, энергетические и эксплуатационные показатели работы газоразрядного источника излучения при

различных видах балластного сопротивления будут далеко не одинаковыми.

Рассмотрим условия стабилизации разряда при питании лампы от сети постоянного тока. Это позволит воспользоваться более простыми графическими построениями для пояснения существа вопроса. Устойчивый режим электрического разряда в межэлектродном промежутке газоразрядного источника излучения, включенного по схеме, приведенной на рисунке 6.2, будет обеспечен при выполнении следующих условий:

$$U_c = U_{\text{л}} + I_{\text{л}} R_{\text{б}}; \quad (6.1)$$

$$R_{\text{б}} + \frac{dU_{\text{л}}}{dI_{\text{л}}} > 0, \quad (6.2)$$

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

Отношение $\frac{dU_{\text{л}}}{dI_{\text{л}}} = R_d \equiv -\text{tg } \beta$, называемое дифференциальным сопротивлением разряда, есть величина отрицательная. На основе этих условий ведется расчет устройств, стабилизирующих разряд.

Пусть кривая 1 на рисунке 6.3 есть вольт-амперная характеристика газового разряда, а линия 2 — вольт-амперная характеристика балластного сопротивления, проведенная для удобства дальнейших построений не из начала координат, а из точки пересечения линии напряжения сети с осью ординат. При этом $\text{tg } \alpha \equiv R_{\text{б}}$. Вертикальные отрезки, заключенные между линией напряжения сети и линией 2, представляют собой в некотором мас-

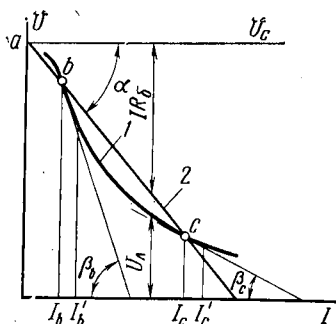


Рис. 6.3. Условия стабилизации разрядного тока при активном балластном сопротивлении.

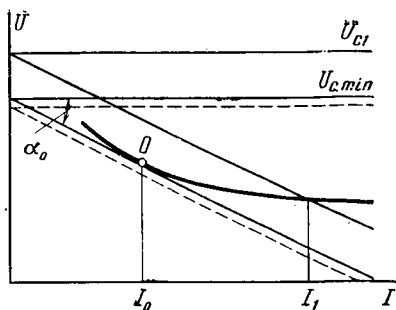


Рис. 6.4. Определение минимально возможного значения активного балластного сопротивления и падения напряжения на нем при заданном разрядном токе.

штабе падение напряжения на балластном сопротивлении $I_{\text{л}}R_{\text{б}}$. В точках пересечения b и c вольт-амперных характеристик лампы и балластного сопротивления удовлетворяется первое из двух условий стабилизации разряда. Но лишь в точке c , для которой $\text{tg } \beta < \text{tg } \alpha$, удовлетворяются оба условия. Следовательно, устойчивому разряду будет соответствовать точка c . Действительно, возрастанию разрядного тока в точке b ничто не препятствует, так как при $I'_b = I_b + \Delta I$ имеем $U_c > U_{\text{л}} + I_{\text{л}}R_{\text{б}}$, что приводит к практически мгновенному (около 10^{-5} с) развитию разряда до состояния, характеризуемого на графике точкой c . Дальнейшее увеличение разрядного тока при данных условиях невозможно, так как при $I'_c = I_c + \Delta I$ получаем $U_{\text{л}} + I_{\text{л}}R_{\text{б}} > U_c$.

Поскольку последовательное включение с лампой балластного сопротивления неизбежно приводит к дополнительным потерям электрической энергии, представляет интерес вопрос о наименьших возможных величинах балластного сопротивления и падения напряжения на нем для обеспечения стабильного разряда при заданном токе I_0 .

На рисунке 6.4 показано графическое определение этих величин. В точке O вольт-амперной характеристики, соответствующей заданному значению разрядного тока, проведена к ней касательная до пересечения с осью ординат. Линия $U_{c, \text{min}}$ характеризует наименьшее напряжение

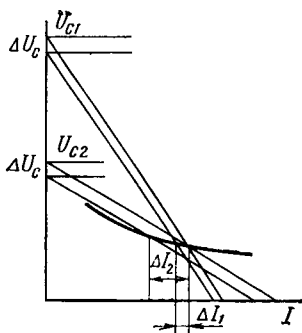


Рис. 6.5. Влияние отношения $U_{\text{л}}/U_{\text{с}}$ на стабильность работы газоразрядной лампы при изменении напряжения питающей сети.

сети, а $\lg \alpha_0$ пропорционален наименьшему возможному значению балластного сопротивления $R_{\text{б. min}}$. Однако работа лампы в режиме, соответствующем точке О, не будет устойчивой, так как малейшее снижение напряжения в питающей сети приведет (при постоянном значении балластного сопротивления) к погасанию разряда. Действительно, как это видно на графике, при снижении напряжения в сети (пунктирная линия) вольт-амперные характеристики балластного сопротивления и лампы не пересекаются, то есть $U_{\text{с}} < U_{\text{л}} + I_{\text{л}}R_{\text{б}}$, что означает отсутствие разряда. При повышении

напряжения в питающей сети до $U_{\text{с1}}$ резко возрастает разрядный ток от I_0 до I_1 .

Газоразрядная лампа может работать при различных соотношениях между напряжением сети и напряжением на лампе. Однако стабильность работы лампы будет различной. Чем выше напряжение питающей сети по сравнению с напряжением на лампе, тем меньше влияют отклонения напряжения сети на ток лампы. Наоборот, чем больше отношение $U_{\text{л}}/U_{\text{с}}$, тем более будут отражаться отклонения напряжения сети на силе разрядного тока и, следовательно, на всех показателях работы источника излучения. Это положение иллюстрируется рисунком 6.5, из которого следует, что при $\Delta U_{\text{с}} = \text{const}$ для $U_{\text{с1}} > U_{\text{с2}}$ имеем $\Delta I_1 < \Delta I_2$. В практике для обеспечения достаточной надежности работы газоразрядных источников излучения и постоянства их параметров в условиях колебаний и отклонений напряжения балластные сопротивления выбирают так, чтобы выполнялось условие $U_{\text{л}} \leq 0,65 U_{\text{с}}$.

§ 6.4. Влияние вида балластного сопротивления на работу газоразрядных ламп

При питании газоразрядных ламп от сети переменного тока сохраняют свое значение рассмотренные выше основные положения стабилизации разряда, но возникает ряд дополнительных специфических обстоятельств;

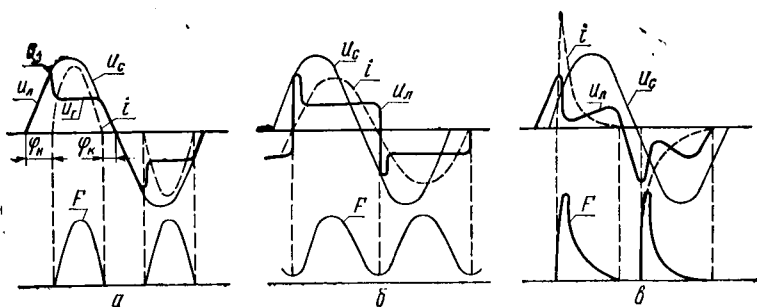


Рис. 6.6. Осциллограммы мгновенных значений напряжений, тока и светового потока газоразрядной лампы:

а — при активном балластном сопротивлении; *б* — при индуктивном балластном сопротивлении; *в* — при емкостном балластном сопротивлении.

взаимосвязь между показателями работы источника излучения и параметрами балластного сопротивления становится более многообразной и сложной.

Для обеспечения нормального срока службы лампы в цепях переменного тока форма кривой мгновенных значений тока должна быть возможно более близкой к синусоиду. Степень искажения формы кривой тока зависит в основном от вида балластного сопротивления (рис. 6.6) и оценивается значением коэффициента амплитуды:

$$k_a = \frac{i_{\max}}{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}}. \quad (6.3)$$

Балластное устройство должно обеспечивать коэффициент амплитуды, не превосходящий 1,7. При $k_a > 1,7$ продолжительность работы люминесцентной лампы значительно сокращается.

Стабилизация разряда на переменном токе при помощи активного сопротивления осуществляется просто и дешево, но имеет ряд принципиальных недостатков, которые ограничивают использование ее специальными случаями. Некоторые из них рассмотрены далее.

На рисунке 6.6, *а* приведены кривые мгновенных значений напряжений и тока лампы при включении ее с ак-

тивным балластным сопротивлением в цепь переменного тока стандартной частоты. Разряд в лампе возникает по достижении напряжением мгновенного значения, равного u_3 . В процессе разряда напряжение на лампе значительно снижается до значения u_r , требующегося для поддержания разряда, и остается неизменным до момента, когда мгновенное значение напряжения сети уменьшится до значения u_n . После этого разряд гаснет, ток в цепи прекращается. В следующий полупериод процесс зажигания и погасания разряда повторяется. Как следует из рассматриваемого графика, перезажигание разряда в каждый полупериод сопровождается паузами тока: начальной φ_n и конечной φ_k . Общая пауза $\varphi_n + \varphi_k$ может достигать $1/3$ периода. Наличие пауз разрядного тока значительно ухудшает показатели работы источника излучения и является причиной возникновения пульсаций потока излучения и стробоскопического эффекта. Кривая мгновенных значений тока утрачивает форму синусоиды (искажается). Если при этом увеличивается коэффициент амплитуды [см. формулу (6.3)], то срок службы электродов уменьшается вследствие ускоренного распыления оксидного слоя и потери эмиссионных свойств. Особенно большим недостатком является большой расход электрической энергии в активном балластном сопротивлении, резко снижающий энергетические показатели работы схемы.

Стабилизация разряда посредством индуктивного сопротивления имеет ряд преимуществ перед стабилизацией при помощи активного сопротивления и широко применяется. На рисунке 6.6, б показаны кривые мгновенных значений тех же величин, что и на рисунке 6.6, а, но при индуктивном балластном сопротивлении. Благодаря сдвигу по фазе между напряжениями сети и на зажимах лампы значительно облегчается процесс перезажигания разряда в каждый полупериод, так как в момент перехода тока через нулевое значение к зажимам лампы оказывается приложенным значительное мгновенное напряжение сети. Перезажигание разряда поэтому происходит без заметной паузы. Форма кривой тока приближается к синусоиде. Режим работы электродов облегчается. Потери мощности в индуктивном балластном сопротивлении обычно значительно ниже, чем в активном, и составляют от 10 до 35% от мощности источника излучения. Наряду с отмеченными

преимуществами индуктивного балластного сопротивления следует указать и основные его недостатки: большой расход металла, низкий коэффициент мощности, высокую стоимость.

Стабилизация разряда при помощи емкости применяется редко. Соответствующие этому случаю кривые показаны на рисунке 6.6, в. Кривая тока приобретает чрезвычайно искаженную форму. Срок службы электродов резко снижается. Большие паузы и всплески тока приводят к значительному снижению светотехнических показателей работы лампы.

Весьма перспективным является применение емкостного балластного сопротивления при питании источника излучения от сети переменного тока повышенной частоты. Подробнее об этом говорится в § 8.5.

Вернемся еще раз к рисунку 6.6 для того, чтобы обратить внимание на следующее важное обстоятельство. При любом виде балластного сопротивления сдвиг по фазе между напряжением на лампе и ее током практически отсутствует. Однако мощность лампы не будет равна произведению действующих значений напряжения на лампе и тока. Дело в том, что кривые мгновенных значений этих величин существенно отличаются по форме одна от другой и от синусоиды и, следовательно, для вычисления истинного значения мощности разряда в межэлектродном промежутке необходимо разложить кривые тока и напряжения на гармонические составляющие. Истинная мощность будет равна сумме мощностей для полученных гармоник тока и напряжения. В практике пользуются понятием коэффициента мощности газоразрядной лампы, не связывая его с углом сдвига фаз. Тот же смысл имеет и употребляемый термин «коэффициент искажения»:

$$k_{\alpha} = \frac{P}{UI}.$$

Коэффициент мощности лампы зависит от величины и вида балластного сопротивления и, следовательно, не является постоянным для данной лампы.

Обычно коэффициент мощности газоразрядных ламп составляет 0,7 ... 0,9, а коэффициент мощности комплекта газоразрядная лампа — балластное сопротивление — 0,4 ... 0,9. Для того чтобы уменьшить возможность ошибки

при измерениях в цепях газоразрядных ламп, желательно пользоваться приборами электродинамической системы.

Глава 7

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ЛАМПЫ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

§ 7.1. Устройство и принцип действия люминесцентной лампы

Люминесцентная лампа общего назначения (рис. 7.1) представляет собой цилиндрическую колбу 5, герметически закрытую вваренными в ее торцы стеклянными ножками 3. На ножках смонтированы вольфрамовые биспирали 4, покрытые слоем оксида (окислов щелочноземельных металлов), обеспечивающего хорошую эмиссию электронов. По концам лампа имеет короткие цоколи 2 с полыми штырьками 1, служащими для включения ее в электрическую сеть. К штырькам припаяны выводы электродов.

Внутренняя поверхность колбы лампы покрыта тонким слоем люминофора — кристаллического вещества определенного химического состава.

Из колбы откачан воздух и введен аргон с небольшим количеством ртути (30...80 мг). Назначение аргона состоит в уменьшении распыления покрытия электродов и облегчении зажигания разряда, так как смесь инертного газа с парами ртути представляет собой более благоприятную среду для возникновения разряда, чем аргон или пары ртути, отдельно взятые. При разряде возбуждаются и излучают, однако, лишь атомы ртути.

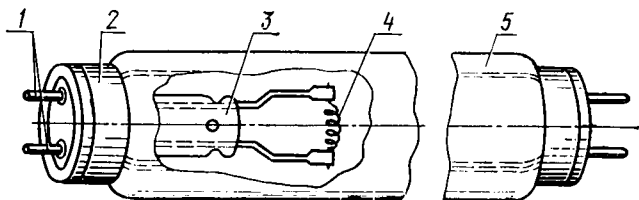


Рис. 7.1. Устройство люминесцентной лампы:

1 — штырьки; 2 — цоколь; 3 — стеклянная ножка; 4 — биспираль; 5 — колба.

Преобразование электрической энергии в видимое излучение можно разделить на два этапа:

1) преобразование электрической энергии в процессе электрического разряда в парах ртути в энергию ультрафиолетового излучения;

2) преобразование в слое люминофора ультрафиолетового излучения в видимое.

Незначительная часть видимого излучения (5...7%) создается в результате самого электрического разряда в межэлектродном промежутке.

Люминофор, применяемый в люминесцентных лампах, представляет собой порошкообразное вещество. Размер зерен, толщина и структура слоя влияют на световые свойства лампы. Обычно на 1 см^2 поверхности наносится 2...3 мг люминофора. Слой люминофора работает на просвет: возбуждается изнутри, а излучает в окружающее лампу пространство. Для создания люминесцентной лампы, наиболее эффективной для выполнения заданных функций и вместе с тем экономичной, существенное значение имеют следующие основные факторы:

1. Рациональное сочетание спектра излучения электрического разряда в смеси газа и паров металла со свойствами люминофоров.

2. Сочетание геометрических размеров лампы (длина, диаметр), от которых зависят при определенной мощности плотность тока, температура колбы лампы, а следовательно, и давление в межэлектродном промежутке. Как будет показано ниже, наиболее рациональное сочетание указанных факторов имеют современные люминесцентные лампы мощностью 40 Вт.

Вследствие важности люминофоров как преобразователей невидимого излучения в видимое необходимо охарактеризовать их основные свойства.

1. Спектр поглощения люминофора расположен в зоне меньших длин волн, чем спектр его излучения.

2. Спектр излучения люминофора не зависит от характера спектра поглощенного излучения (линейчатый или сплошной) и является сплошным. Имеющиеся в спектре излучения люминесцентных ламп спектральные линии (см. рис. 7.5 и 7.6, вклейка) вызваны излучением в результате электрического разряда в наполняющей колбу лампы среде.

3. Спектр излучения люминофора определяется только его химическим составом и не зависит от спектра поглощенного излучения.

Эффективность люминесцентных ламп в значительной мере зависит от степени удовлетворения следующих требований к люминофору.

1. Максимум спектральной чувствительности люминофора должен совпадать с максимумом спектральной плотности возбуждающего излучения или быть близким к нему.

2. Люминофор должен обладать большим коэффициентом поглощения для возбуждающего излучения и малым для излучаемого оптического излучения.

3. Основные характеристики люминофора должны быть стабильными во времени как при эксплуатации, так и при хранении.

Предъявляется и ряд других требований.

Путем подбора химического состава люминофора в современных условиях можно получить практически любой спектр излучения люминесцентной лампы.

В современных люминесцентных лампах общего назначения используются люминофоры, максимум спектральной чувствительности которых лежит в зоне 253,7... 185 нм, то есть вблизи резонансных линий излучения паров ртути.

Выпускаемые в настоящее время нашей промышленностью люминесцентные лампы различаются по цветности излучения. Приняты следующие обозначения стандартных цветностей ламп: Д — дневная, соответствует цветности излучения абсолютно черного тела при температуре 6500 К, Б — белая — 4200 К, ХБ — холодно-белая — 4800 К, ТБ — тепло-белая — 2800 К, ДЦ — с улучшенной цветопередачей, Е — естественная, БЕ — белая естественная, ХЕ — холодная естественная.

§ 7.2. Работа стартерной схемы включения люминесцентной лампы

Электрический пробой промежутка между электродами лампы может произойти лишь при напряжении, равном напряжению зажигания или больше его. Значение напряжения зажигания может в несколько раз превосходить напряжение питающей сети. Чтобы снизить

требующееся для возникновения разряда напряжение и сохранить работоспособность электродов, их предварительно нагревают электрическим током до температуры $1100...1200^{\circ}\text{C}$. Это обеспечивает достаточную термоэлектронную эмиссию оксидного покрытия. После зажигания люминесцентная лампа работает в режиме дугового разряда, и процесс преобразования электрической энергии в видимое излучение происходит так, как об этом говорилось выше. Зажигается лампа в практических условиях автоматически посредством стартера и дросселя.

Наиболее часто применяемый стартер тлеющего разряда (рис. 7.2) представляет собой миниатюрную газоразрядную лампу с биметаллическими электродами.

В стартерной схеме (рис. 7.3) лампа $\mathcal{L}$ включается последовательно с индуктивным балластным сопротивлением (дроссель Dp). Обмотка дросселя состоит из двух равноценных частей, размещенных на одном магнитопроводе и подключенных к разным электродам лампы, что позволяет ограничить проникновение радиопомех в электрическую сеть за счет увеличения индуктивного сопротивления ветвей схемы. Параллельно лампе подключены газоразрядный стартер и конденсатор $C2$ емкостью $0,01 \text{ мкФ}$, предназначенный для снижения радиопомех, некоторого увеличения длительности импульса зажигания лампы и уменьшения вероятности дугообразования между контактами стартера в момент их размыкания. Параллельно схеме подключены конденсатор $C1$ для повышения коэффициента мощности схемы до $0,9$ и разрядное сопротивление R . Коэффициент мощности такой схемы без компенсирующего конденсатора $C1$ обычно не превышает $0,5...0,6$.

Процесс зажигания лампы показан на рисунке 7.4.

При включении схемы в момент времени t_1 разряд в лампе не возникает, так как напряжение зажигания лампы $U_{з.л}$ выше напряжения на ее электродах (напряжение

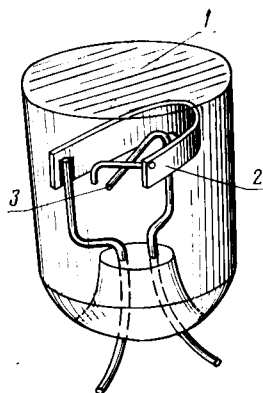


Рис. 7.2. Устройство стартера тлеющего разряда:

1 — стеклянный баллон; 2 — подвижный биметаллический электрод; 3 — неподвижный электрод.

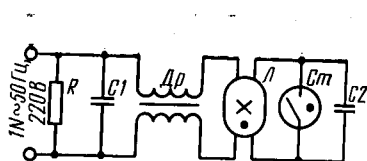


Рис. 7.3. Схема включения в сеть люминесцентной лампы.

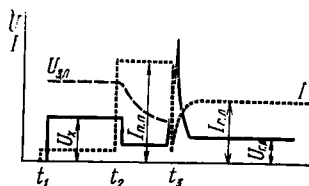


Рис. 7.4. Диаграмма напряжений и тока люминесцентной лампы при ее зажигании.

холостого хода U_x). В стартере же возникает тлеющий разряд, так как напряжение зажигания стартера ниже напряжения сети. В период $t_1 \dots t_2$ ток тлеющего разряда стартера разогревает его контакты и вызывает их замыкание. Электроды лампы нагреваются током предварительного подогрева $I_{п.л.}$, определяемым напряжением сети, сопротивлением дросселя и электродов. Ток предварительного подогрева обычно на 40 ... 50% превосходит значение номинального тока лампы. В течение 1 ... 2 с электроды лампы нагреваются до требуемой температуры и напряжение зажигания лампы понижается. За это время электроды стартера остывают (так как разряд между ними прекратился), в момент времени t_3 открываются и разрывают цепь электродов лампы. Резкое уменьшение тока, протекающего через дроссель, вызывает в нем ЭДС самоиндукции, превосходящую пониженное за счет разогрева электродов напряжение зажигания лампы. Лампа загорается, по ней течет ток горения $I_{г.л.}$, на ее электродах устанавливается напряжение горения $U_{г.л.}$, равное приблизительно половине напряжения сети. После зажигания люминесцентной лампы контакты стартера остаются разомкнутыми, так как напряжение на зажимах лампы недостаточно для возникновения в нем тлеющего разряда. Напряжение зажигания стартера ниже номинального напряжения сети, но выше напряжения на лампе в рабочем режиме:

$$U_c > U_{з.ст} > U_{л.}$$

Стартер служит для автоматического замыкания на определенное время цепи электродов лампы и для мгновенного разрыва цепи после их разогрева. Наряду с описанным типом стартера тлеющего разряда применяются

(значительно реже) и другие устройства (в том числе полупроводниковые), которые описаны в главе 8.

В хронологической последовательности в процессе зажигания люминесцентной лампы дроссель в стартерных схемах выполняет следующие функции:

1) обеспечивает достаточный и безопасный для лампы ток в цепи электродов для быстрого их разогрева при зажигании;

2) создает импульс повышенного напряжения, обеспечивающий возникновение разряда в люминесцентной лампе;

3) стабилизирует разряд при номинальном для данной лампы токе;

4) обеспечивает устойчивую работу люминесцентной лампы при отклонениях напряжения в питающей сети.

Однако следует помнить, что важнейшей функцией дросселя является стабилизация тока в процессе дугового разряда в лампе.

В рабочем режиме при питании лампы от сети переменного тока каждый электрод ее работает попеременно в качестве анода и в качестве катода. Основную роль в электрическом разряде в каждый полупериод играет катод, так как он обеспечивает необходимый уровень эмиссии. Разогрев электродов лампы происходит за счет кинетической энергии попадающих на них заряженных частиц («самокалящиеся» электроды). На катоде образуется наиболее разогретая точка — катодное пятно, являющееся основным источником эмиссии электронов. В процессе эксплуатации лампы оно медленно перемещается вдоль электрода от сетевого его конца к стартерному примерно на один виток биспирали за 1000 ч горения.

§ 7.3. Основные характеристики и эксплуатационные свойства люминесцентных ламп

В современных люминесцентных лампах около 20% подводимой электрической энергии превращается в излучение видимого диапазона длин волн. Световая отдача в 4...6 раз превышает соответствующий показатель ламп накаливания такой же мощности.

Выпускаемые нашей промышленностью люминесцентные лампы общего назначения различаются главным образом по единичной мощности и по распределению энер-

гии в спектре излучения (рис. 7.5 и 7.6, вклейка). Лампы мощностью 15 и 20 Вт рассчитаны на включение в сеть с номинальным напряжением 127 В. Лампы мощностью 30, 40, 80, 125, 150 Вт включаются в сеть с напряжением 220 В.

Размеры люминесцентных ламп непосредственно связаны с их мощностью, номинальным напряжением, световым потоком и световой отдачей. Длина лампы определяется ее рабочим напряжением, а диаметр при заданной мощности и длине выбирается таким, чтобы плотность тока составляла $0,03 \dots 0,063 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$. При этом тепловая нагрузка на поверхность лампы должна быть $0,025 \dots 0,05 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$, что обеспечивает нагрев трубки в номинальных условиях (при температуре неподвижного окружающего воздуха $+20^\circ\text{C}$) до $40 \dots 50^\circ\text{C}$, когда давление паров ртути в колбе достигнет требующейся величины ($1,3 \text{ Па}$) и выход ультрафиолетового излучения с длиной волны $253,7 \text{ нм}$ будет максимальным. Это, в свою очередь, обеспечит наибольшее для данной лампы значение светового потока, излучаемого люминофором. Лампы мощностью 40 Вт имеют наиболее удачное сочетание размеров с электрическими параметрами. Поэтому при прочих равных условиях они обладают наивысшей световой отдачей, что следует из таблицы 2 приложений.

На светотехнические свойства люминесцентных ламп оказывает влияние ряд весьма различных факторов. В качестве примеров можно назвать следующие: единичная мощность и состав люминофора, вид балластного сопротивления и соотношения длины и диаметра трубки лампы и др.

Световая отдача люминесцентных ламп зависит как от состава люминофора, так и от единичной мощности. Наивысшей световой отдачей обладают при равных единичных мощностях лампы оттенка ЛБ, а при одинаковой цветности излучения наибольшую световую отдачу имеет лампа мощностью 40 Вт.

Яркость люминесцентных ламп составляет $3000 \dots 10\,000 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$. В средней части трубки, на протяжении примерно $\frac{2}{3}$ ее длины, яркость наибольшая и постоянная. По мере приближения к концам трубки яркость уменьшается за счет снижения интенсивности возбуждающего ультрафиолетового излучения, затенения стенок трубки электродами и других причин. Практическое значение имеет соотношение между световым потоком и

силой света. Для отечественных ламп оно выражается зависимостью

$$F = 9,25I. \quad (7.1)$$

Соотношение между световым потоком и средней яркостью лампы в направлении, перпендикулярном ее продольной оси, имеет следующий вид:

$$B = \frac{F}{9,25dL},$$

где B — средняя яркость лампы, $\text{кд} \cdot \text{м}^{-2}$; F — световой поток лампы, лм; d — диаметр лампы, м; L — длина лампы, м.

Яркость люминесцентных ламп во много раз меньше яркости ламп накаливания, что является преимуществом при использовании первых в осветительных установках.

Выпускаются люминесцентные рефлекторные лампы, предназначенные для эксплуатации в условиях повышенной запыленности. Отличие этих ламп от обычных состоит лишь в том, что примерно на $\frac{2}{3}$ внутренней поверхности вдоль всей колбы под слоем люминофора наносится диффузно отражающий слой с высоким коэффициентом отражения. Весь световой поток лампы излучается направленно в пределах выходного окна (рис. 7.7). Сила света в направлении выходного окна превышает на 70...80% силу света обычной люминесцентной лампы. Основным преимуществом таких ламп является то, что их

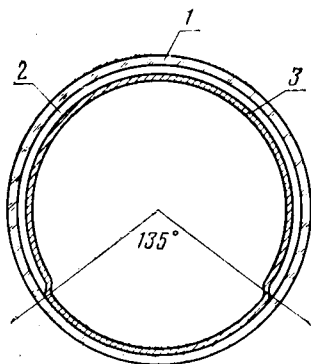


Рис. 7.7. Поперечный разрез рефлекторной люминесцентной лампы:

1 — колба лампы; 2 — рефлектор; 3 — слой люминофора.

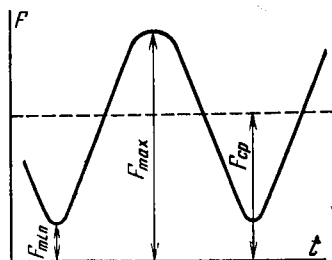


Рис. 7.8. К оценке пульсации потока излучения люминесцентной лампы.

Можно использовать в светильниках без отражателей, кроме того, резко снижается влияние запыления поверхности лампы, так как пыль, оседающая главным образом на верхней части колбы, не уменьшает ее световой поток. За счет потерь в отражающем слое световой поток лампы на 15% меньше, чем у обычной лампы такой же цветности и мощности. Однако следует иметь в виду, что потери светового потока за счет запыления в обычных лампах могут достигать 30% и более.

Пульсация светового потока свойственна любому источнику излучения, питаемому от сети переменного тока. Однако у источников, основанных на тепловом излучении, она практически неощутима благодаря большой тепловой инерции тела накала. Газоразрядные источники излучения, в которых не используется свечение люминофора, безынерционны, то есть мгновенное значение светового потока пропорционально изменяющемуся во времени значению разрядного тока. Излучение люминесцентных ламп обладает некоторой инерционностью за счет явления «послесвечения» люминофора, которое выражается в том, что световой поток при переходе мгновенного значения тока через нулевое значение уменьшается не до нуля. Явление «послесвечения» проявляется в различной степени в зависимости от состава люминофора.

Пульсация светового потока (рис. 7.8) оценивается коэффициентом пульсации

$$\alpha = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2F_{\text{ср}}} \quad (7.2)$$

Следует отметить, что глубина пульсаций светового потока зависит и от вида балластного сопротивления, так как длительность паузы тока и форма кривой его мгновенных значений определяются видом балластного сопротивления, включенного последовательно с газоразрядной лампой. Пульсация светового потока отрицательно влияет на органы зрения, снижает работоспособность. Особо необходимо подчеркнуть, что возникающее в условиях периодической пульсации светового потока явление стробоскопического эффекта, выражающегося в искажении зрительного восприятия движущихся предметов, создает опасность травматизма. Например, если наблюдаемый объект освещается люминесцентной лампой и вращается или совершает колеба-

тельное движение с частотой, равной или кратной частоте пульсации светового потока, то создается иллюзия неподвижности объекта. Поэтому при люминесцентном освещении производственных и других помещений, особенно когда в поле зрения людей находятся движущиеся предметы, необходимо принять меры, направленные на устранение стробоскопического эффекта.

Для этой цели применяются

специальные схемы включения люминесцентных ламп, позволяющие сдвинуть во времени пульсации световых потоков двух или трех ламп, освещающих одно рабочее место, так, чтобы суммарный их поток имел значительно меньшую глубину пульсаций.

Двух- и трехламповые схемы включения люминесцентных ламп позволяют существенно уменьшить глубину пульсации суммарного светового потока (см. рис. 8.2).

Средняя продолжительность работы люминесцентных ламп, установленная ГОСТом, составляет от 12 000 до 15 000 ч. Среднее значение светового потока к концу этого срока должно быть не менее 60% от номинального. Резкое снижение светового потока происходит в первые десятки часов работы лампы. Номинальным считается поток после 100 ч работы. Срок службы люминесцентных ламп существенно зависит от способа зажигания, вида балластного сопротивления и числа включений, так как при каждом зажигании расходуется оксидное покрытие электродов (особенно интенсивно при зажигании лампы без предварительного подогрева электродов).

Число срабатываний стартера может значительно превосходить число включений лампы, так как зажигание лампы может длиться в течение минуты, на протяжении которой стартер успеет многократно замкнуть свои контакты. Стартер рассчитан на 10^6 срабатываний и на 1500 включений люминесцентной лампы.

Влияние отклонений напряжения питающей сети на показатели работы люминесцентных ламп зависит от

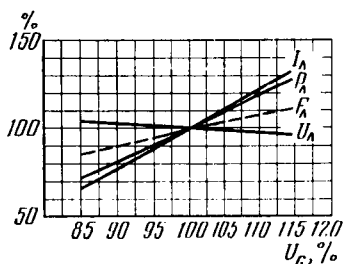


Рис. 7.9. Зависимость основных характеристик люминесцентных ламп от значения питающего напряжения.

вида балластного сопротивления, его значения, а также от схемы включения лампы.

На рисунке 7.9 приведены зависимости напряжения на лампе, мощности, тока и светового потока люминесцентной лампы от напряжения, подводимого к схеме, при стандартном балластном дросселе.

Необходимо отметить, что как повышение, так и понижение напряжения сети приводят к сокращению срока службы лампы, так как в обоих случаях увеличивается распыление оксидного покрытия электродов: при повышении напряжения — за счет перекала электродов, а при понижении — за счет возрастания числа срабатываний стартера, требующихся для зажигания лампы.

В отличие от ламп накаливания световая отдача люминесцентных ламп при снижении напряжения питающей сети увеличивается, а при повышении — уменьшается. Этот вывод следует из сопоставления хода кривых мощности и светового потока на рисунке 7.9. Снижение напряжения в сети значительно ухудшает условия зажигания лампы.

Влияние условий окружающей среды на показатели работы люминесцентных ламп весьма значительно. Как отмечалось выше, наибольший излучаемый поток при прочих равных условиях может быть получен при температуре колбы лампы, равной 40°C . Люминесцентные лампы общего назначения рассчитаны для работы при неподвижном воздухе, температура которого находится в пределах от $+15$ до $+40^{\circ}\text{C}$. Как при повышении, так и при понижении температуры световой поток снижается. При температуре воздуха ниже 10°C необходимо принимать специальные меры для обеспечения надежности зажигания (теплоизоляция лампы от внешней среды, включение по особым схемам и т. п.).

Влажность окружающего воздуха влияет главным образом на напряжение зажигания лампы. Максимальное напряжение зажигания люминесцентной лампы требуется при влажности воздуха 75 ... 80 %.

Необходимо отметить, что условия работы люминесцентных ламп в сельскохозяйственном производстве часто могут быть весьма тяжелыми, так как температура воздуха во многих производственных помещениях нередко ниже $+10^{\circ}\text{C}$, а влажность достигает 70 ... 90 %. Допустимые отклонения напряжения составляют $\pm 7,5\%$. Колебания же напряжения во время запусков электродви-

гателей и по другим причинам могут быть весьма значительными и достигать 20...30%.

Подводя итог сказанному о люминесцентных лампах, отметим их основные достоинства по сравнению с лампами накаливания:

а) более благоприятный спектральный состав излучения;

б) значительно более высокая (в 4...6 раз для ламп одинаковой мощности) световая отдача;

в) значительно меньшая яркость;

г) большой срок службы.

Недостатки люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания следующие:

а) более сложная схема включения в сеть, требующая дополнительной дорогостоящей пускорегулирующей аппаратуры;

б) зависимость показателей работы от условий окружающей среды;

в) пульсация светового потока, вызывающая явление стробоскопического эффекта;

г) сравнительно малая единичная мощность выпускаемых ламп;

д) меньшая надежность в работе.

Основные параметры люминесцентных ламп общего назначения приведены в таблице 2 приложений.

Глава 8

ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩИЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

Совокупность элементов, обеспечивающих зажигание лампы, нормальный режим ее работы при заданных отклонениях напряжения, подавление радиопомех, возникающих при зажигании и работе лампы, называется пускорегулирующим аппаратом (ПРА).

К ПРА предъявляются следующие требования: надежность, минимальные собственные потери, минимальные стоимость и эксплуатационные расходы, безопасность, долговечность.

Ряд типов ПРА обеспечивает и еще одну функцию — повышение коэффициента мощности комплекта «лампа — ПРА» до требуемого уровня (так называемые компенсированные ПРА). Другие типы ПРА, в которых используются только индуктивные или индуктивно-емкост-

ные балластные элементы, не обеспечивают должного уровня коэффициента мощности (некомпенсированные ПРА). При использовании индуктивных некомпенсированных ПРА наряду с ними в другой части ламп осветительной или облучательной установки применяют ПРА, в которых использованы балластные сопротивления преимущественно емкостного характера. В этом случае можно получить удовлетворительный коэффициент мощности установки в целом.

Пускорегулирующие аппараты подразделяются на классы, отличающиеся режимом пуска люминесцентных ламп: ПРА импульсного зажигания с предварительным подогревом электродов, ПРА горячего зажигания с постоянным подогревом электродов, ПРА холодного (мгновенного) зажигания.

§ 8.1. Пускорегулирующие аппараты импульсного зажигания с предварительным подогревом электродов

ПРА импульсного зажигания с предварительным подогревом электродов предназначен для включения люминесцентных ламп с использованием стартера.

Устройство и принцип действия такого ПРА рассмотрены ранее (§ 7.2).

ПРА для включения двух люминесцентных ламп по схеме «с расщепленной фазой» (рис. 8.1) применяется для уменьшения пульсации их суммарного светового потока и повышения коэффициента мощности схемы. Так как лампа $L1$ включена с индуктивным балластом ($Dp1$), а лампа $L2$ — с комбинированным балластом ($C2 + Dp2$), то ток $L1$ отстает от напряжения сети на угол 60° , а ток

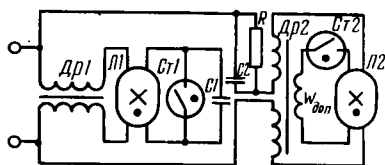


Рис. 8.1. Схема включения люминесцентных ламп по схеме «с расщепленной фазой».

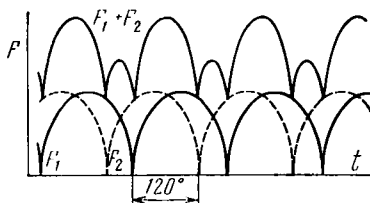


Рис. 8.2. Пульсация светового потока ламп, включенных по схеме «с расщепленной фазой».

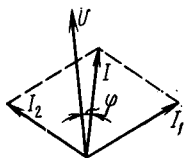


Рис. 8.3. Векторная диаграмма токов в схеме «с расщепленной фазой».

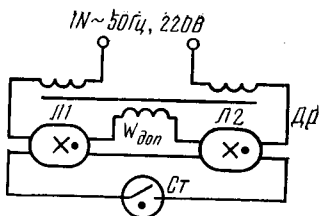


Рис. 8.4. Схема последовательного включения люминесцентных ламп.

$L2$ опережает его на 60° . В результате сдвига токов световые потоки ламп сдвинуты один относительно другого на 120° , что обуславливает уменьшение пульсации суммарного светового потока ламп (рис. 8.2).

В связи с тем, что ток одной лампы носит опережающий, а ток другой лампы — отстающий характер, коэффициент мощности схемы весьма близок к единице (рис. 8.3).

При отклонениях напряжения от номинального стабильность суммарного светового потока ламп, включенных по такой схеме, более высока, чем при одноламповых ПРА. Применение двухламповых ПРА дает выигрыш в размерах и массе устройства, в экономичности по сравнению с одноламповыми ПРА.

ПРА для последовательного включения люминесцентных ламп применяется в случае необходимости питания ламп мощностью 20 Вт и менее, рассчитанных на напряжение сети 127 В, от сети с напряжением 220 В (рис. 8.4).

Лампы $L1$ и $L2$ должны быть одинаковой мощности, дроссель Dr выбирают по суммарной мощности ламп $L1$ и $L2$, он должен иметь дополнительную обмотку

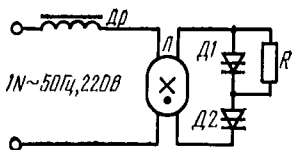


Рис. 8.5. Схема включения люминесцентной лампы с использованием диносторов вместо стартера тлеющего разряда.

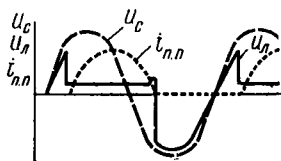


Рис. 8.6. Осциллограммы мгновенных значений напряжений и токов при зажигании люминесцентной лампы при помощи диносторов.

($\omega_{\text{доп}}$) для подогрева «средних» электродов ламп. Стартер выбирают, исходя из номинального напряжения сети. Основной недостаток схемы — наличие дополнительной обмотки дросселя, увеличивающей потери мощности в ПРА. В случае выхода из строя одной из ламп другая тоже не может работать.

Наименее надежным элементом стартерных схем включения люминесцентных ламп является стартер с его малым сроком службы, зависящим от числа включений, и нестабильностью электрических параметров. Эти недостатки стартера приводят к сокращению срока службы ламп, а зачастую к перегреву и выходу из строя всего ПРА.

Характерные особенности вольт-амперных характеристик полупроводниковых элементов позволяют использовать их вместо стартеров тлеющего разряда. Известны схемы с применением позисторов, переключающих диодов — динисторов и тринисторов. Пример схемы с использованием динисторов приведен на рисунке 8.5.

Процесс зажигания лампы виден на осциллограммах рисунка 8.6. При определенном мгновенном значении напряжения положительной полуволны синусоидального напряжения сети, определяемой значением сопротивления R , динисторы $D1$ и $D2$ открываются, по электродам лампы течет ток предварительного подогрева $i_{\text{п.п}}$, напряжение на лампе во время подогрева остается равным падению напряжения на открытых динисторах. В момент прекращения тока подогрева ($i_{\text{п.п}}=0$) к лампе прикладывается напряжение отрицательной полуволны. Если электроды лампы достаточно нагрелись и напряжение зажигания лампы стало меньше амплитудного, то лампа зажигается. Если нагрев недостаточен, то процесс повторяется с частотой сети до момента создания удовлетворительных условий для зажигания.

§ 8.2. Пускорегулирующие аппараты горячего зажигания с постоянным подогревом электродов

ПРА горячего зажигания предназначен для включения люминесцентных ламп путем подогрева электродов с целью снижения напряжения зажигания лампы до необходимого значения. Пример такой схемы, получившей наибольшее распространение, показан на рисунке 8.7, а.

В качестве балластного сопротивления используется

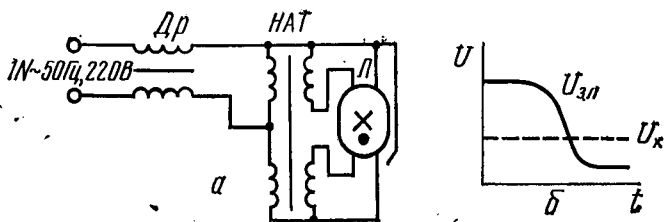


Рис. 8.7. Схема включения люминесцентной лампы с ПРА горячего (быстрого) зажигания (а) и диаграмма зажигания люминесцентной лампы в схеме с ПРА горячего зажигания (б).

симметрированный дроссель $Др$, подключаемый к первичной обмотке накального автотрансформатора $НАТ$, который создает на электродах лампы напряжение холостого хода, составляющее $(1 \dots 1,2) U_c$. Электроды лампы разогреваются током вторичных обмоток автотрансформатора, что снижает напряжение зажигания лампы. Той же цели служит металлическая полоса вдоль колбы лампы, подключенная к одному из ее электродов. Зажигание произойдет в тот момент, когда уменьшающееся в результате подогрева электродов напряжение зажигания лампы $U_{3л}$ станет меньше напряжения холостого хода U_x (рис. 8.7, б).

В режиме горения вследствие падения напряжения на дросселе от тока лампы напряжение на первичной обмотке автотрансформатора, а значит, и ток подогрева электродов уменьшаются.

Групповая стабилизация разряда люминесцентных ламп — возможный путь повышения технико-экономических показателей ПРА. Стабилизация разряда обеспечивается в этом случае групповым балластом в виде дросселя или трансформатора с рассеянием и индивидуальными балластами к каждой лампе в виде конденсатора. На рисунке 8.8, а приведена схема группового включения люминесцентных ламп, являющаяся разновидностью схемы горячего ждущего зажигания. Ждущее зажигание обеспечивает достаточный предварительный подогрев электродов и только после этого подает на лампы напряжение холостого хода ПРА (рис. 8.8, б).

При включении схемы кнопкой $П$ («Пуск») магнитный пускатель $МП1$ включает накальные трансформаторы $Тр1 \dots Трп$, а спустя 4 с, необходимых для предварительного подогрева электродов ламп, реле времени $РВ$

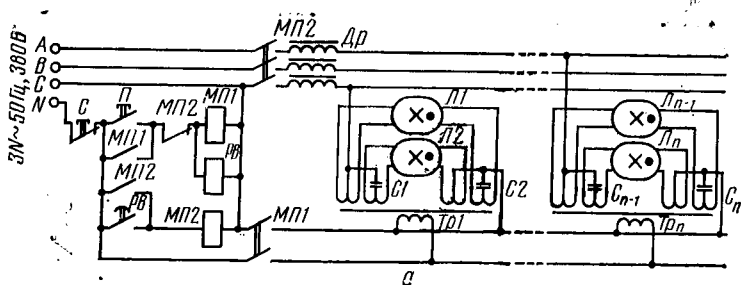


Рис. 8.8. Схема группового включения люминесцентных ламп с ждущим зажиганием (а) и диаграмма ждущего зажигания люминесцентной лампы (б).

при помощи магнитного пускателя МП2 включает лампы на фазное напряжение сети по схеме «звезда» с групповой нейтралью. При включении МП2 накальные трансформаторы отключаются. Схема предназначена для включения в трехфазную сеть 380/220 В, коэффициент мощности схемы близок 0,4 с опережающей фазой тока. Схемы с групповым ПРА находятся в стадии разработки и совершенствования и широкого применения пока не получили.

§ 8.3. Пускорегулирующие аппараты мгновенного зажигания

Бесстартерные аппараты мгновенного (холодного) зажигания предназначены для зажигания люминесцентных ламп путем увеличения напряжения холостого хода ПРА до значения, достаточного для зажигания лампы без предварительного подогрева электродов.

Необходимое для такого зажигания напряжение получают при помощи специальных автотрансформаторов с рассеянием, резонансных схем или комбинированных схем, сочетающих в себе признаки двух первых (рис. 8.9).

За счет резонанса напряжений в контуре, образованном конденсатором С и частью б — в обмотки автотрансформатора, к электродам лампы прикладывается напряжение около 400 ... 500 В, и лампа практически мгновенно зажигается. Часть б — г обмотки выполняет роль бал-

ластного сопротивления. После зажигания напряжение на лампе уменьшается до номинального. Часть δ — ε обмотки оказывается соединенной последовательно с конденсатором C и компенсирует его влияние на работу лампы.

Недостатками схемы являются большие размеры автотрансформатора и значительные потери мощности в ПРА, достигающие 30...40% мощности лампы.

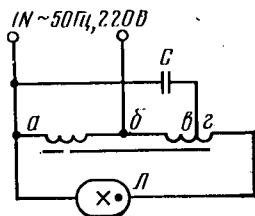


Рис. 8.9. Схема включения люминесцентной лампы с ПРА мгновенного (холодного) зажигания, содержащим резонансный контур.

§ 8.4. Конструктивно-эксплуатационные характеристики пускорегулирующих аппаратов

Конструктивно-эксплуатационные характеристики пускорегулирующих аппаратов отражены в обозначениях ПРА, регламентированных ГОСТ 16809—71. Обозначение ПРА строится по следующей схеме:

1. Число ламп, обслуживаемых ПРА.
2. Основная характеристика аппаратов: ДБ — дроссель балластный, УБ — стартерный аппарат с предварительным подогревом электродов, АБ — бесстартерный аппарат горячего зажигания, МБ — аппарат мгновенного зажигания.
3. Вид балластного сопротивления: И — индуктивное, Е — емкостное, К — компенсированный ПРА.
4. Мощность и символ лампы (при необходимости) — числитель, напряжение сети — знаменатель.
5. Наличие (буква А) или отсутствие (не обозначается) сдвига фаз между токами многолампового аппарата.
6. Исполнение: В — встроенное в светильник или кожух, Н — независимое.
7. Уровень шума: нормальный — не обозначается, П — пониженный, ПП — особо низкий.
8. Условный номер разработки.

Например, обозначение ПРА типа 2УБК-40/220-АВПП-010 (ГОСТ 16809—71) расшифровывается следующим образом: двухламповый компенсированный стартерный аппарат к лампам мощностью 40 Вт для включения в однофазную сеть 220 В, со сдвигом фаз между то-

ками ламп, встроенного исполнения, с особо низким уровнем шума, номер разработки 010.

Некоторые отличительные признаки не отражаются в обозначении ПРА.

По электрической защите ПРА делятся на три класса: защита 0 — аппараты встроенного исполнения, в которых доступные для прикосновения части изолированы от токоведущих частей только рабочей изоляцией; защита 0I — то же, что для защиты 0, но нормально нетоковедущие части соединены с заземляющим контактом: II — аппараты независимого исполнения, в которых доступные для прикосновения части изолированы от токоведущих частей усиленной изоляцией, заземляющий контакт отсутствует.

По условиям окружающей среды ПРА делятся на аппараты для закрытых отапливаемых или неотапливаемых помещений, для наружных электроустановок.

По защите от воздействия окружающей среды различают ПРА следующих исполнений: незащищенное, брызгозащищенное, пылезащищенное, для повышенных температур окружающей среды.

По уровню радиопомех, создаваемых горячей лампой, ПРА делятся на аппараты с нормальным и пониженным уровнем радиопомех. Последние предназначены для работы в административных и жилых помещениях.

Промышленность выпускает унифицированные серии ПРА к люминесцентным лампам мощностью от 4 до 150 Вт.

Наиболее широко распространены стартерные (УБ) и бесстартерные (АБ) схемы с индуктивным и емкостным балластами, а также компенсированные пускорегулирующие аппараты.

Коэффициент мощности некомпенсированных ПРА находится в пределах 0,5 ... 0,6. Компенсированные ПРА для четного числа параллельно включаемых ламп имеют $\cos \varphi \geq 0,92$, у остальных компенсированных ПРА $\cos \varphi \geq 0,85$. Светильники для люминесцентных ламп оснащаются только компенсированными ПРА или комплектом из индуктивного и емкостного балластных устройств для повышения коэффициента мощности и уменьшения пульсации светового потока светильника.

Потери мощности в ПРА стартерного зажигания составляют 20 ... 25% мощности лампы, в схемах быстрого зажигания — 30 ... 35%.

Стоимость бесстартерных ПРА в 1,5...2 раза выше стартерных, но эти недостатки окупаются за счет их большей надежности, некоторого увеличения срока службы ламп в результате создания благоприятных пусковых режимов в ПРА с постоянным подогревом электродов и как следствие меньших эксплуатационных затрат. ПРА мгновенного зажигания эксплуатационных преимуществ не имеют.

§ 8.5. Работа люминесцентных ламп при питании их током повышенной частоты

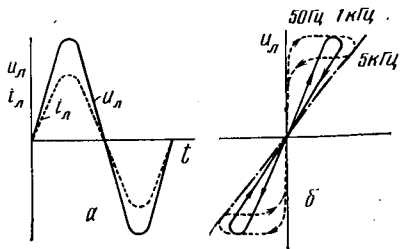
Работа люминесцентных ламп при питании их током повышенной частоты существенно отличается от работы ламп при частоте 50 Гц.

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

С ростом частоты абсолютные значения тока и напряжения горения лампы при одинаковом напряжении питающей сети перестают зависеть от вида балластного сопротивления, постепенно приближаются к одному значению и, начиная с частоты 0,8...1 кГц, имеют одинаковую форму: напряжение — близкую к треугольной, а ток — синусоидальную как при активном, так и при индуктивном и емкостном балластах (рис. 8.10, а).

Динамические вольт-амперные характеристики лампы, имевшие при низких частотах вид расширенной петли, при повышенных частотах приобретают вид прямой линии (рис. 8.10, б), что свидетельствует о динамическом равновесии процессов ионизации и деионизации в столбе разряда, о неизменной проводимости межэлект-

Рис. 8.10. Осциллограмма мгновенных значений напряжения и тока люминесцентной лампы при питании ее током повышенной частоты (а) и динамические вольт-амперные характеристики люминесцентной лампы при питании ее токами различной частоты (б).



родного промежутка на протяжении всего полупериода горения лампы.

Отмеченные особенности работы люминесцентных ламп на повышенной частоте обуславливают следующие преимущества высокочастотного питания ламп:

1. Световая отдача ламп с ростом частоты увеличивается. При частоте 10 кГц она на 15 ... 25% превышает световую отдачу при частоте 50 Гц.

2. Срок службы ламп при частоте 2,5 кГц на 20 ... 30% больше, чем при частоте 50 Гц.

3. Пульсация светового потока ламп при частотах выше 0,6 кГц пренебрежимо мала, отсутствует стробоскопический эффект.

4. В качестве балластного сопротивления при повышенных частотах можно применять индуктивный, емкостной или смешанный балласты.

При частотах более 1 кГц масса индуктивного ПРА на 30 ... 40% меньше массы балласта на промышленной частоте, потери мощности в ПРА в 3 ... 4 раза меньше. Дальнейшее увеличение частоты ведет к еще большему уменьшению массы и потерь в ПРА, что позволяет создавать малогабаритные балласты. Использование конденсаторов в качестве балласта также упрощает конструкцию и снижает стоимость ПРА.

Необходимо отметить, однако, что магнитопроводы для индуктивных ПРА при повышенной частоте тока должны быть изготовлены из пермаллоя, альсифера и им подобных ферромагнитных материалов. Использование повышенной частоты требует также применения конденсаторов с диэлектриком повышенного качества типа фторопласта.

Преимущества питания люминесцентных ламп током повышенной частоты начинают проявляться при частотах 0,4 ... 0,6 кГц, оптимальными являются частоты 3 ... 5 кГц.

Для включения люминесцентных ламп применяются бесстартерные резонансные схемы с индуктивным или емкостным балластом, а также резонансная схема с накальным трансформатором или автотрансформатором с рассеиванием (рис. 8.11).

Зажигание ламп при повышенной частоте происходит весьма надежно.

Для питания током повышенной частоты используются преобразователи частоты.

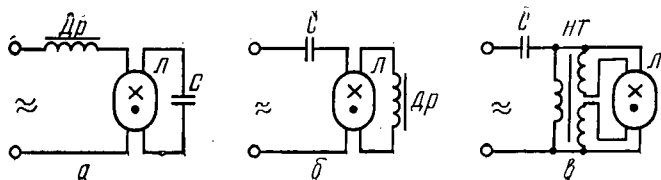


Рис. 8.11. Схемы включения люминесцентных ламп при питании их токами повышенной частоты:

а, б — резонансные схемы; *в* — схема с накальным трансформатором.

При централизованной системе питания ставят один преобразователь на всю осветительную установку. Его мощность определяется установленной мощностью всех ламп осветительной установки.

Групповая система питания предусматривает размещение вблизи группового щита освещения нескольких преобразователей, каждый из которых питает ток повышенной частоты свою группу ламп.

При индивидуальной системе питания в каждом светильнике ставят преобразователь, мощность которого соответствует установленной мощности ламп светильника.

Преобразователи частоты могут быть электромашинными, статическими (умножители частоты), полупроводниковыми.

Электромашинные преобразователи сравнительно дешевы, надежны, позволяют получить частоту до 8 кГц, однако имеют низкий к.п.д., равный 0,7, значительные массу и размеры; наличие вращающихся частей требует постоянного наблюдения за их работой.

Статические преобразователи (умножители) частоты не позволяют получить достаточно высокие частоты, громоздки, имеют ограниченную мощность и в силу указанных недостатков не получили распространения как источники питания люминесцентных ламп.

Полупроводниковые преобразователи распространены больше, чем электромашинные и статические. К.п.д. таких преобразователей достигает 0,95, они имеют приемлемую массу и размеры. Мощность полупроводниковых преобразователей определяется мощностью примененных в них тиристоров. Наиболее перспективны полупроводниковые преобразователи мощностью 5... 10 кВт с выходной

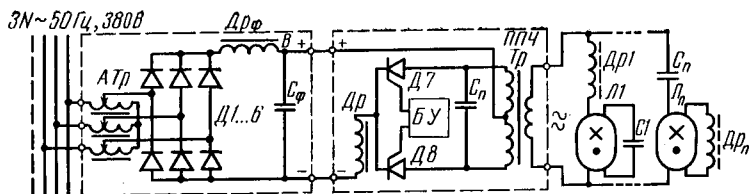


Рис. 8.12. Упрощенная принципиальная схема полупроводникового преобразователя частоты для групповой системы питания люминесцентных ламп.

частотой 2,5 ... 5 кГц в групповой системе питания ламп (рис. 8.12).

Индивидуальные преобразователи частоты в настоящее время широкого распространения не получили из-за относительно высокой стоимости.

Несмотря на преимущества питания люминесцентных ламп током повышенной частоты, рекомендовать эту систему для безоговорочного применения нельзя. При проектировании осветительной установки в каждом конкретном случае необходимо проводить технико-экономическую оценку эффективности применения системы питания люминесцентных ламп током повышенной частоты, рассматривая всю осветительную установку в комплексе.

Глава 9

ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Дуговой разряд в парах ртути при давлении до 0,3 МПа позволяет создать источники света с высокой световой отдачей и значительным сроком службы. Номинальная мощность таких источников может быть от нескольких десятков ватт до единиц киловатт. Источники компактны, надежно зажигаются и работают в сетях с напряжением 380/220 В.

Однако при несомненных достоинствах они не лишены существенного недостатка — в чисто ртутном разряде отсутствуют излучения оранжево-красной части спектра, что приводит к искажению правильной цветопередачи и ограничивает возможности использования таких источников для целей освещения.

Для устранения указанного недостатка ультрафиолетовую часть излучения дугового разряда в парах ртути

при помощи люминофоров преобразуют в видимое излучение красной части спектра, частично восполняя его недостаток, или в разрядный промежуток вводят добавки, дающие видимое излучение требуемых частей спектра и значительно повышающие к.п.д. дуговых ртутных ламп высокого давления.

§ 9.1. Ртутные лампы высокого давления (ДРЛ)

На рисунке 9.1 показано устройство лампы ДРЛ. Лампа содержит горелку 1 в виде трубки из кварцевого стекла с основными 2 и дополнительными 4 вольфрамовыми электродами в торцах. Дополнительные электроды подключены через токоограничивающие резисторы 3 к основным электродам на противоположном торце горелки. В полости горелки содержатся аргон и дозированное количество ртути. Внешняя колба 5 выполнена из термостойкого стекла и изнутри покрыта слоем люминофора 6. Форма колбы обеспечивает во время горения лампы температуру, необходимую для эффективной работы люминофора, и равномерное распределение ее по поверхности. Полость колбы заполнена углекислым газом для стабилизации свойств люминофора.

Схема включения лампы ДРЛ в сеть показана на рисунке 9.2.

Рис. 9.1. Устройство лампы ДРЛ:

1 — внутренняя кварцевая колба; 2 — основные вольфрамовые электроды; 3 — токоограничивающие резисторы; 4 — дополнительные электроды; 5 — внешняя колба; 6 — слой люминофора.

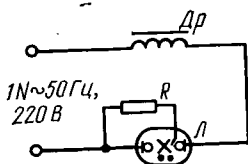
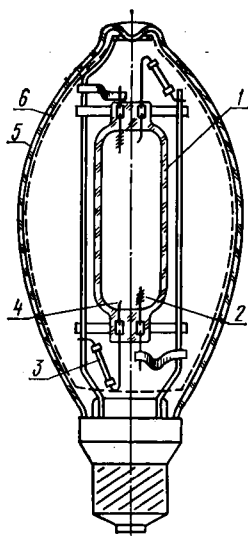


Рис. 9.2. Схема включения лампы ДРЛ.

При подаче напряжения на лампу между близко расположенными основными и вспомогательными электродами возникает разряд, ионизирующий газ в горелке и обеспечивающий зажигание разряда между основными электродами. При зажигании лампы разряд между основными и вспомогательными электродами прекращается. Балластное устройство в виде дросселя Др ограничивает ток разряда и стабилизирует его при отклонениях напряжения сети в допустимых пределах.

В момент зажигания ток лампы в 2...2,6 раза превышает номинальный, но по мере разогрева горелки он постепенно уменьшается, напряжение на лампе возрастает с 65 до 130 В, мощность лампы и ее поток излучения возрастают. Разгорание лампы длится 5...10 мин. В рабочем режиме температура внешней колбы может превышать 200 °С. Повторное зажигание лампы ДРЛ возможно лишь спустя 10...15 мин после ее погасания.

Характеристика спектральной плотности излучения ламп ДРЛ показана на рисунке 9.3 (вклейка). Кроме отдельных линий, характерных для газового разряда в парах ртути при высоком давлении, излучение лампы содержит красную составляющую в виде сплошного спектра в диапазоне волн 580...720 нм, обусловленную свечением люминофора при облучении его ультрафиолетовым излучением кварцевой горелки лампы. Излучение люминофора составляет 8...10% общего потока лампы и в некоторой степени улучшает спектральный состав излучения. Технические данные дуговых ртутных люминес-

Таблица 9.1

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Номинальный ток лампы, А	Световой поток после 100 ч горения, клм	Срок службы, ч	Размеры, мм		Цоколь
						диаметр колбы	длина лампы	
ДРЛ 80-1	80	115	0,8	3,2	10 000	81	165	Е 27
ДРЛ 125-1	125	125	1,25	5,4	10 000	91	184	
ДРЛ 250-1	250	130	2,15	12,0	12 000	91	227	Е 40
ДРЛ 400-1	400	135	3,25	22,0	15 000	122	292	
ДРЛ 700-1	700	140	5,45	37,0	12 000	152	368	
ДРЛ 1000-1	1000	145	7,5	56,0	12 000	181	410	
ДРЛ 2000	2000	270	8,0	120,0	6 000	187	445	

центных ламп высокого давления приведены в таблице 9.1.

Значительные единичные мощности ламп ДРЛ при сравнительно небольших размерах позволяют получать от одного источника во много раз больший поток излучения, чем у люминесцентных ламп.

В процессе эксплуатации значение светового потока уменьшается и к концу полезного срока службы составляет 70% от начального.

Световая отдача ламп ДРЛ составляет $40...50 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, что более чем в два раза выше световой отдачи ламп накаливания соизмеримой мощности и несколько ниже, чем у люминесцентных ламп. Лампы ДРЛ, кроме того, значительно уступают люминесцентным лампам стандартных оттенков в правильности цветопередачи.

Благодаря тому, что горелка лампы находится в газонаполненном пространстве внешней колбы и имеет во время работы весьма высокую температуру, условия окружающей среды не оказывают существенного влияния на надежность зажигания и светотехнические характеристики лампы. Лампы ДРЛ нормально работают при температурах окружающего воздуха от -40° до $+80^\circ \text{C}$.

Влияние отклонений напряжения от номинального значения на режим работы лампы показано на рисунке 9.4.

Разновидностью ламп ДРЛ являются лампы ДРВЛ (дуговые ртутно-вольфрамовые люминесцентные). Внешне они почти не отличаются от ламп ДРЛ, но в полости колбы имеют встроенное балластное устройство в виде вольфрамовой спирали, включенной последовательно с газоразрядным промежутком. Вольфрамовая спираль, ограничивая ток дугового разряда, служит в дополнение к излучению люминофора источником излучения красной части спектра. Лампы ДРВЛ могут включаться в сеть непосредственно. В сравнении с лампами ДРЛ лампы ДРВЛ имеют более благоприятный для правильной цветопередачи состав излучения, не требуют для работы

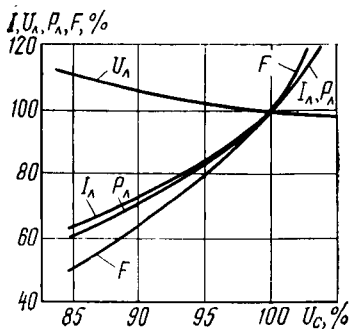


Рис. 9.4. Зависимость основных характеристик лампы ДРЛ от значения подводящего напряжения.

достаточно металлоемкого и дорогого балластного устройства, но обладают в 1,8 ... 2 раза более низкой световой отдачей, что обусловлено значительными потерями мощности во встроенном активном балластном сопротивлении.

§ 9.2. Дуговые металлогалоидные лампы высокого давления (ДРИ)

На рисунке 9.5 показано устройство лампы ДРИ (дуговая ртутная с иодидами металлов).

Лампа содержит трубчатую горелку 1 из кварцевого стекла с помещенными в ее торцы вольфрамовыми электродами 2. Полость горелки заполнена аргоном, строго дозированными компонентами в виде ртути, йодидов редкоземельных металлов (гольмия, тулия, таллия), а также натрия и цезия. Горелка помещена во внешнюю прозрачную термостойкую колбу 3 с вакуумом, обеспечивающим необходимый температурный режим горелки и устраняющим возможность электрического пробоя между токоведущими частями лампы.

Схема включения лампы ДРИ показана на рисунке 9.6. Схема содержит трансформатор *Tr2*, вторичная обмотка которого выполняет роль балластного сопротивления, стабилизирующего разряд между электродами. Первичная обмотка трансформатора *Tr2* является частью зажигающего устройства, содержащего, кроме того, трансформатор *Tr1*, конденсатор *C* и разрядник *P*.

Напряжение сети, приложенное к электродам лампы, недостаточно для возникновения разряда между ними. При включении кнопкой *КП* трансформатора *Tr1* конденсатор *C* на протяжении части полупериода сети заряжается от вторичной обмотки *Tr1* до напряжения пробоя разрядника *P*. В момент пробоя по первичной обмотке *Tr2* протекает импульс тока разряда конденсатора, а во вторичной обмотке трансформатора *Tr2* возникает импульс напряжения с амплитудой до 2 ... 3 кВ, обеспечивающий зажигание разряда в горелке лампы. В следующий полупериод сети процесс повторяется.

Зажигающее устройство обеспечивает надежное включение лампы при температуре окружающей среды до —40 °С. Светотехнические и электротехнические параметры лампы во время ее разогрева меняются так же, как и у ламп ДРЛ. Время разогревания лампы 2 ... 4 мин.

Рис. 9.5. Устройство лампы ДРИ:
1 — внутренняя кварцевая колба; 2 — электроды; 3 — внешняя колба.

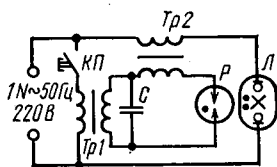
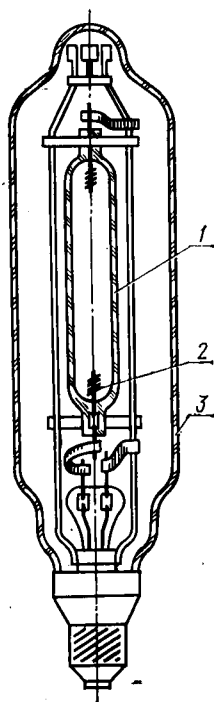


Рис. 9.6. Схема включения лампы ДРИ.

Повторное зажигание лампы ДРИ после ее погасания возможно через 5...10 мин, в зависимости от условий охлаждения.

Характеристика спектральной плотности излучения ламп ДРИ показана на рисунке 9.7 (вклейка). Каждый из компонентов наполнения горелки лампы дополняет линейчатый спектр ртутного разряда своим излучением. Йодид натрия дополняет излучение в желтой части спектра, таллия — в зеленой, индия — в голубой. Совокупность излучений всех компонентов создает впечатление непрерывного спектра, а определенный состав смеси позволяет получить цветность излучения лампы, близкую к естественному свету.

Технические данные металлогалогидных ламп приведены в таблице 9.2

По сравнению с лампами ДРЛ световой поток ламп ДРИ такой же мощности больше в 1,5...1,6 раза, а спектральный состав излучения обеспечивает правильную цветопередачу.

Таблица 9.2

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Световой поток, клм	Срок службы, ч	Диаметр колбы, мм	Длина лампы, мм	Цоколь
ДРИ 250	250	220	18,7	1000	91	227	Е 40
ДРИ 400	400	220	34,0	6000			
ДРИ 700	700	220	59,5	5000	122	300	
ДРИ 1000	1000	220	90,0	3000			
ДРИ 2000-2	2000	380	190,0	1500	100	400	

Световая отдача ламп ДРИ достигает $95 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, что ставит их в ряд наиболее эффективных источников света. Условия окружающей среды не оказывают существенного влияния на светотехнические характеристики лампы, горелка которой помещена в вакуум внешней колбы.

Лампы ДРИ при очевидных достоинствах не лишены и недостатков.

В процессе эксплуатации световой поток ламп ДРИ уменьшается в 1,3...1,5 раза быстрее по сравнению с лампами ДРЛ, этим объясняется значительно меньший срок службы первых.

Отклонения напряжения оказывают значительное влияние на световой поток и мощность ламп ДРИ: отклонения напряжения сети в пределах $\pm 10\%$ U_n вызывают в 3 раза большие отклонения светового потока и в 2,2 раза большие отклонения мощности лампы от номинальных значений.

Необходимость в зажигающем устройстве удорожает ПРА к лампам ДРИ, усложняет их эксплуатацию. Высокое напряжение на вторичной обмотке трансформатора, достигающее нескольких киловольт, требует улучшенной межвитковой изоляции, кроме того, зажигающее устройство необходимо располагать в непосредственной близости от лампы, чтобы длина проводов, по которым передается высоковольтный импульс, была минимальна.

§ 9.3. Натриевые лампы высокого давления (ДНаТ)

Устройство лампы ДНаТ показано на рисунке 9.8. Лампа содержит тонкостенную трубчатую горелку 1 из поликристаллической окиси алюминия — керамики, хорошо пропускающей световое излучение и устойчивой к

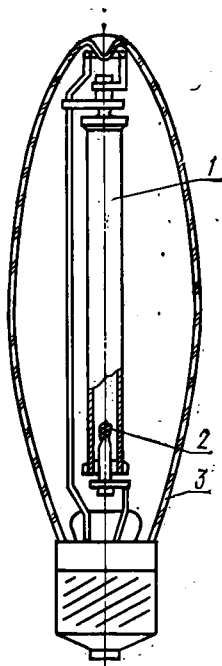
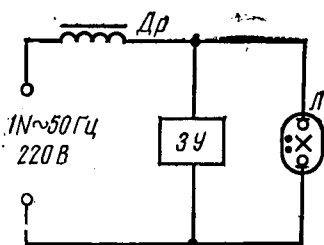


Рис. 9.8. Устройство лампы ДНаТ:

1 — внутренняя керамическая разрядная трубка; 2 — вольфрамовый электрод; 3 — внешняя колба.

Рис. 9.9. Схема включения лампы ДНаТ.



длительному воздействию насыщенных паров натрия с температурой 1570... 1670 К, содержащихся в горелке во время работы лампы. Кроме паров натрия, горелка заполнена ксеноном и парами ртути. На торцы горелки напаяны металлические колпачки с вольфрамовыми активированными электродами 2. Горелка помещена в колбу 3 из термостойкого стекла, из которой откачан воздух для теплоизоляции горелки.

Схема включения лампы ДНаТ приведена на рисунке 9.9. Для работы лампы необходимы: балластное устройство в виде дросселя, ограничивающего и стабилизирующего ток разряда, и зажигающее устройство ЗУ, представляющее собой генератор импульсов с частотой 500 Гц, образующихся в результате периодического разряда конденсатора на первичную обмотку импульсного трансформатора. При этом во вторичной обмотке импульсного трансформатора, включенной параллельно лампе, индуцируются импульсы напряжения с амплитудой около 4,5 кВ, обеспечивающие зажигание разряда в горелке. После зажигания лампы зажигающее устройство прекращает работу.

Продолжительность разгорания лампы ДНаТ — 10... 15 мин, повторное зажигание возможно через 1... 2 мин после погасания лампы.

Характеристика спектральной плотности излучения лампы ДНаТ показана на рисунке 9.10 (вклейка). Излучение паров натрия имеет световую отдачу $130 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, но до 70% его сосредоточено в диапазоне длин волн 560... 610 нм. Желто-оранжевое излучение лампы обеспечивает хорошее различие положения и формы объектов, но цветопередача может быть оценена лишь как едва удовлетворительная.

Отечественной промышленностью выпускается лампа ДНаТ 400 со световым потоком 43 клм и сроком службы 10 000 ч. К выпуску подготовлены также лампы ДНаТ 250 и ДНаТ 700 со световыми потоками соответственно 24 и 77 клм.

Лампы ДНаТ не подвержены воздействию окружающей среды, надежно зажигаются и работают в интервале температур от -60 до $+40^\circ\text{C}$. Их характеристики мало меняются в зависимости от положения в пространстве, но лампы выпускаются в двух исполнениях: для работы цоколем вверх и цоколем вниз. Перегрев ламп в светильниках недопустим. Температура колбы не должна превышать 400°C , а цоколя — 200°C .

На светотехнических характеристиках лампы сильно сказываются отклонения напряжения сети от номинального значения. Так, отклонения напряжения в пределах от $+10$ до -10% вызывают отклонения светового потока лампы на $+13... -15\%$, мощности лампы — на $+28... -20\%$.

Работа ДНаТ на переменном токе сопровождается заметной пульсацией светового потока с двойной частотой сети.

В настоящее время лампы ДНаТ применяются в тех случаях, когда к осветительной установке не предъявляются требования даже удовлетворительной цветопередачи: при освещении обширных пространств, стоянок техники, площадок складирования, улиц и автострад.

§ 9.4. Дуговые ксеноновые лампы (ДКст)

Дуговые ксеноновые трубчатые лампы относятся к группе газоразрядных ламп высокого давления, в которых стабилизация тока может осуществляться без помо-

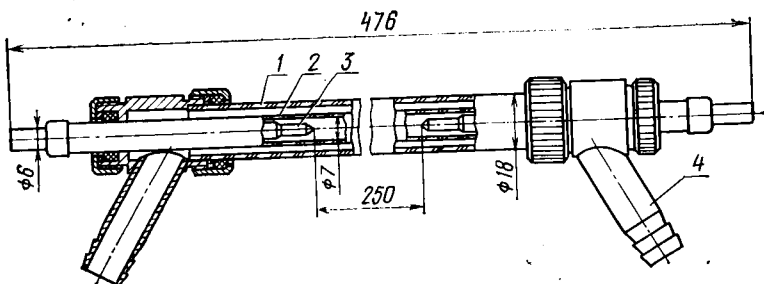


Рис. 9.11. Устройство лампы ДКСТВ 6000:

1 — внешняя стеклянная трубка; 2 — разрядная кварцевая трубка; 3 — электрод; 4 — патрубок для охлаждающей воды.

щи балластного сопротивления. Это объясняется тем, что в таких лампах разряд происходит в плазме и носит квазистационарный насыщенный характер, при котором плотность тока почти не зависит от степени ионизации газа, так как рост числа электронов приводит к пропорциональному уменьшению длины их свободного пробега. Соответствующие геометрические размеры столба плазмы и почти постоянное удельное сопротивление его обеспечивают постоянство омического сопротивления насыщенного разряда.

На рисунке 9.11 показана конструкция ксеноновой трубчатой лампы ДКСТВ 6000 с водяным охлаждением. Лампа имеет разрядную трубку 2 из кварца с двумя электродами 3 из торированного вольфрама. Вводы лампы выполнены из молибденовой фольги. Разрядная трубка заполнена ксеноном при давлении 0,05 МПа.

Разрядная трубка расположена соосно со стеклянным цилиндром 1, образующим полость для циркуляции охлаждающей воды. Вода омывает разрядную трубку винтообразно за счет смещения осей патрубков 4 относительно плоскости, проходящей через ось лампы. Расход охлаждающей воды 5 л/мин при начальной температуре 5 °С и температуре на выходе 40 °С. Для охлаждения используется дистиллированная вода в замкнутом цикле (рис. 9.12). Система охлаждения включает в себя следующие элементы: бак *Б* для охлаждающей воды, насос *Н*, обеспечивающий требуемый расход воды, фильтр *Ф*, очищающий воду от механических примесей, перепускной кран *К* для регулирования давления воды в

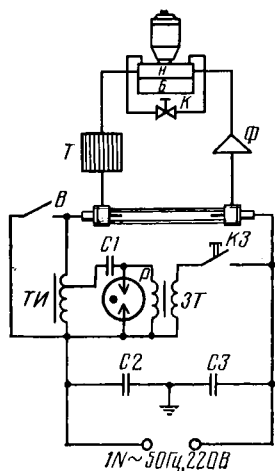


Рис. 9.12. Принципиальная упрощенная схема пускового устройства и система охлаждения лампы ДКсТВ 6000.

системе, теплообменник T для охлаждения воды, выходящей из лампы.

Для охлаждения можно применять и водопроводную воду, но это приводит к быстрому загрязнению поверхности трубок и снижает эффективность отдачу лампы. Требующиеся в этом случае частые чистки с разборкой и сборкой водоподводящих узлов ведут к преждевременному выходу лампы из строя из-за поломок ее стеклянных деталей.

Кроме ламп с водяным охлаждением, отечественная промышленность выпускает ксеноновые лампы ДКсТ с естественным воздушным охлаждением. Лампы отличаются простотой конструкции и удобством эксплуатации. Они представляют из себя кварцевую трубку определенных, за-

висящих от мощности лампы, размеров, на торцах которой смонтированы электроды — внутри трубки и электрические вводы — вне ее. Электрические вводы выполняются либо в виде контактных штырей, либо в виде гибких многопроволочных медных жгутов, оснащенных наконечником для подключения лампы к сети при помощи болтового соединения. Второй вариант ввода, как показала эксплуатация ламп, более надежен.

Ксеноновые лампы не требуют балластного сопротивления, но для их зажигания необходимо зажигающее устройство. Упрощенная схема одного из вариантов зажигающего устройства показана на рисунке 9.12.

При включении кнопки $KЗ$ зажигающего трансформатора $3Т$ конденсатор $C1$ заряжается от вторичной обмотки $3Т$ до напряжения пробоя разрядника P . При пробое конденсатор $C1$ разряжается через часть обмотки импульсного трансформатора $ТИ$, на электроды лампы подается высоковольтный импульс зажигания, вызывающий пробой и ионизацию межэлектродного пространства лампы. Дальнейшее развитие и поддержание разряда в лампе происходит за счет напряжения сети,

Таблица 9.3

Тип лампы	Охлаждение	Мощность, кВт	Напряжение, В	Ток лампы, А	Световой поток, клм	Срок службы, ч	Диаметр лам- пы, мм	Длина лампы, мм
ДКСТВ 6000	Водяное	6	220	29	220	500	18	476
ДКСТЛ 5000	Естествен- ное воз- душное	5	110	44	98	300	22	640
ДКСТЛ 10000-3		10	220	47	247	1300	36	1680
ДКСТ 20000		20	380	56	554	1300	36	2400
ДКСТ 50000		50	380	140	2230	500	42	2610

Примечание. Лампы ДКСТЛ 5000 включаются попарно последовательно в сеть 220 В.

Спустя некоторое время после зажигания лампы, обмотка импульсного трансформатора шунтируется выключателем В, а зажигающее устройство может быть отключено и использовано для зажигания очередной лампы.

Конденсаторы С2 и С3 служат для защиты сети от помех, возникающих при работе лампы.

Технические данные некоторых типов ксеноновых ламп высокого давления приведены в таблице 9.3.

Распределение спектральной плотности излучения лампы ДКСТВ 6000 показано на рисунке 9.13 (вклейка).

Излучение ксеноновых ламп в видимой части спектра весьма близко к естественному солнечному, однако нельзя не отметить избыток инфракрасного и ультрафиолетового излучений ламп. Особенно мощным ультрафиолетовым излучением отличаются лампы ДКСТ, кварцевая трубка которых прозрачна для коротковолновых излучений. Следует иметь в виду, что при освещенности более 150 лк УФ облученность, создаваемая ими, избыточна и может вызвать болезненную реакцию у длительно находящихся в этой зоне людей.

У лампы ДКСТВ роль фильтра, отсекающего УФ излучения, выполняет стекло внешней трубки, а колбы лампы ДКСТЛ выполнены из кварцевого стекла с легирующими присадками, обеспечивающими пропускание излучений лишь с длиной волны более 300 нм.

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

пространств и в облучательных установках для выращивания растений при условии коррекции спектральной плотности излучения в УФ и ИК частях спектра.

Однако ксеноновым лампам свойственны и серьезные недостатки.

Световой поток ламп пульсирует с двойной частотой сети, что вызывает ярко выраженный стробоскопический эффект.

Световая отдача ламп составляет лишь 20... 45 лм·Вт⁻¹, в зависимости от единичной мощности и вида охлаждения.

Срок службы ламп весьма ограничен, хотя при стабилизации напряжения питания ламп средний срок службы может достигать нескольких тысяч часов.

Ксеноновые лампы для зажигания требуют довольно сложного и дорогостоящего зажигающего устройства, кроме того, коммутация высоковольтного импульсного напряжения, необходимая при использовании одного зажигающего устройства на несколько ламп, представляет значительные трудности.

Глава 10

ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

§ 10.1. Газоразрядные источники УФ излучения низкого давления

Для получения излучения области УФ-С, оказывающего губительное действие на микроорганизмы, используются дуговые газоразрядные лампы низкого давления типа ДБ.

Бактерицидные лампы ДБ отличаются от люминесцентных осветительных ламп такой же мощности отсутствием люминофора и свойствами специального увиолевого стекла колбы, обладающего высоким коэффициентом пропускания для УФ излучения области С. Схемы включения ламп ДБ соответствуют схемам включения разномощных люминесцентных осветительных ламп. Спектр излучения ламп — линейчатый, причем до 80% потока излучения приходится на излучение с длиной волны 254 нм.

Таблица 10.1

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лам- пе, В	Ток лампы, А	Бактерицидный по- ток, б	Эритемная облучен- ность, мэр·м ⁻²	Срок службы, ч	Диаметр лампы, мм	Длина лампы, мм
ДБ 15	15	58	0,33	2,5	—	3000	30	452,4
ДБ 30-1	30	108	0,36	6	—	5000	30	908,8
ДБ 60	60	100	0,7	8	—	3000	30	908,8
ЛЭ 15	15	58	0,33	—	40	5000	30	452,4
ЛЭ 30-1	30	108	0,36	—	95	5000	30	908,8
ЛЭР 30	30	108	0,36	—	120	3000	30	908,8
ЛЭР 40	40	103	0,43	—	140	3000	40	1213,6

Примечание. Эритемная облученность измерена на расстоянии 1 м от лампы без арматуры.

Технические данные выпускаемых промышленностью бактерицидных ламп ДБ приведены в таблице 10.1.

Для получения излучения области УФ-В, оказывающего антирахитное и эритемное действие на сельскохозяйственных животных и человека, и излучения области УФ-А, возбуждающего свечение объектов исследования методами люминесцентного анализа, используются люминесцентные эритемные лампы типа ЛЭ.

Внешне они ничем не отличаются от люминесцентных осветительных ламп такой же мощности, но имеют колбу из увиолевого стекла, имеющего высокий коэффициент пропускания для излучений с длинами волн диапазона 280 ... 380 нм. Люминофор специального состава, нанесенный на внутреннюю поверхность колбы, позволяет получить поток излучения, распределение спектральной плотности которого показано на рисунке 10.1 (вклейка).

Излучение УФ-С в спектре эритемных ламп отсутствует, на излучения УФ-В приходится 37%, на излучения УФ-А — 33, а на долю видимого излучения — 30% энергии излучения ламп.

Технические характеристики люминесцентных ламп ЛЭ приведены в таблице 10.1.

Эритемные лампы типа ЛЭР (рефлекторные) предназначены для использования в помещениях с повышенной пыльностью и под слоем люминофора имеют отра-

жающий слой, направляющий поток излучения в сторону продольного выходного окна, составляющего треть поверхности лампы.

На протяжении срока службы за счет уменьшения свечения люминофора и потери прозрачности колбы под действием ультрафиолетового излучения поток излучения газоразрядных УФ ламп низкого давления постепенно уменьшается до 60% от начального, что необходимо учитывать при дозировании ультрафиолетового облучения.

Влияние отклонений напряжения сети и условий окружающей среды на срок службы, надежность зажигания и значение потока излучения соответствуют аналогичным зависимостям осветительных люминесцентных ламп.

§ 10.2. Газоразрядные источники УФ излучения высокого давления

Мощными источниками ультрафиолетового излучения являются ртутные трубчатые лампы высокого давления (ДРТ).

Устройство лампы ДРТ показано на рисунке 10.2. Колба 1 выполнена из тугоплавкого кварцевого стекла, обладающего высоким коэффициентом пропускания ультрафиолетового излучения. По концам в колбу вварены вольфрамовые активированные самокалящиеся электроды 2. Полость колбы заполняется аргоном и дозированным количеством ртути. Для крепления к арматуре служат металлические держатели 3, между которыми расположена лента из медной фольги, предназначенная для облегчения зажигания разряда.

Лампа включается в сеть (рис. 10.3) последовательно с дросселем Dp , предназначенным для ограничения тока и стабилизации разряда в лампе. Кнопка $KП$ и конден-

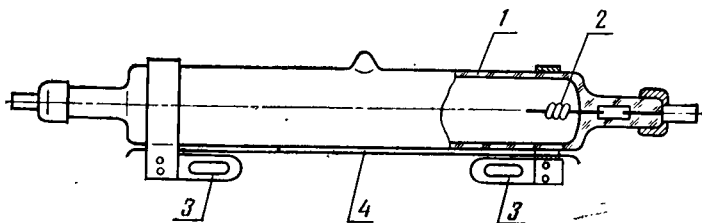


Рис. 10.2. Устройство лампы ДРТ:

1 — кварцевая трубчатая колба; 2 — электрод; 3 — держатели лампы; 4 — лента из медной фольги.

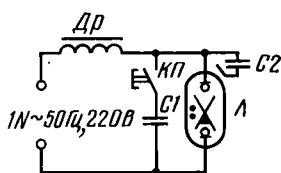
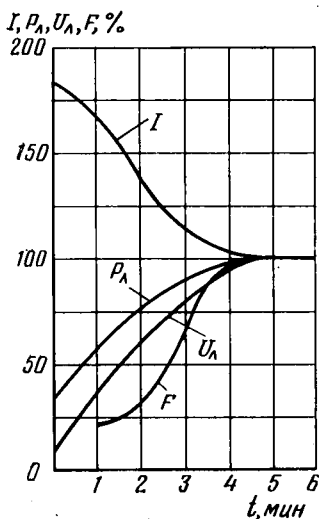


Рис. 10.3. Схема включения лампы ДРТ.

Рис. 10.4. Изменение основных параметров лампы ДРТ.



сатор $C1$, включенные параллельно лампе, служат для получения зажигающего импульса высокого напряжения за счет взаимодействия дросселя и конденсатора $C1$.

В течение первых 5...10 мин после загорания лампа разогревается. Давление в лампе увеличивается, по оси трубки образуется ярко светящийся шнур разряда с температурой 6000...8000 К, изменяются электрические и светотехнические характеристики лампы (рис. 10.4).

Повторное зажигание лампы после ее погасания возможно лишь спустя 5...10 мин, когда она достаточно остынет.

Технические данные наиболее распространенных ламп ДРТ приведены в таблице 10.2.

Таблица 10.2

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Ток, А	Световой поток, клм	Эритемный поток, мэр	Бактерицидный поток, б	Срок службы, ч	Диаметр, мм	Длина, мм
ДРТ 230	230	70	3,8	4,4	2 800	6,2	1500	20	190
ДРТ 400	400	135	3,25	7,9	4 750	10,5	2700	22	265
ДРТ 1000	1000	145	7,5	33,0	16 500	39,5	1500	32	350

Распределение спектральной плотности излучения ламп ДРТ показано на рисунке 10.5 (вклейка).

Излучение лампы ДРТ содержит линии, характерные для разряда в парах ртути и расположенные как в зоне видимого, так и в широком диапазоне ультрафиолетового излучения. Лампы ДРТ являются многоцелевыми источниками оптического излучения, но в условиях сельскохозяйственного производства используются, как правило, в подвижных облучательных установках для восполнения УФ недостаточности у животных и птицы и в установках для предпосевной обработки семенного материала в полеводстве.

На протяжении срока службы поток излучения ламп ДРТ уменьшается вследствие постепенной потери прозрачности колбы при впитывании пыли в раскаленное до 800 °С стекло, вследствие потемнения стекла от оседающего на него материала распыляющихся электродов и по другим причинам. К концу срока службы поток излучения ламп уменьшается вдвое.

Значительное влияние на светотехнические и электрические параметры ламп оказывают отклонения напряжения, причем поток излучения изменяется не только количественно, но и качественно.

При эксплуатации УФ облучательных установок с лампами ДРТ весьма важно иметь в виду, что при отклонении напряжения питания от номинального значения лишь на 1% их эритемный поток изменяется на 4% за счет изменения значения и спектрального состава потока ламп.

§ 10.3. Газоразрядные источники излучения, используемые в растениеводстве

Наиболее энергоемким процессом, протекающим в растении под действием оптического излучения, является процесс фотосинтеза. Для роста и активного плодоношения растений требуются весьма высокие уровни облученности, которые в искусственных условиях могут быть обеспечены лишь при помощи электрических источников излучения.

Основная часть электроэнергии, потребляемой растениеводством в защищенном грунте, приходится на облучение растений, что обуславливает необходимость исполь-

зования наиболее экономичных источников излучения с высокой фитоотдачей.

В настоящее время ведутся работы по созданию и исследованию фитоламп, специально предназначенных для использования в растениеводстве закрытого грунта.

К фитолампам предъявляется целый ряд специфических требований:

- 1) высокая фитоотдача;
- 2) отсутствие в потоке излучения ламп излучений, угнетающе действующих на растения;
- 3) определенная характеристика распределения излучения в пространстве для создания совместно с соответствующей арматурой или без нее требуемых уровней и распределения облученности по облучаемой поверхности;
- 4) надежность зажигания и безотказность работы ламп в условиях высоких температур и влажности воздуха, характерных для растениеводческих помещений. Колбы ламп не должны разрушаться при попадании на них капель воды;
- 5) приемлемая стоимость источников излучения;
- 6) удобство и безопасность эксплуатации ламп.

Создание высокоэффективного источника излучения, отвечающего перечисленным требованиям, — чрезвычайно сложная задача, ждущая своего решения.

Относительно высокая эффективность фитоламп обусловлена спектральным составом их излучения, согласованным со спектральной чувствительностью приемника — «среднего листа» зеленого растения.

Распределение спектральной плотности излучения фитоламп низкого давления типа ЛФ 40-2 показано на рисунке 10.6 (вклейка). Отличительная особенность излучения этих ламп — высокая спектральная плотность излучения в диапазонах длин волн от 400 до 450 нм и от 600 до 700 нм, на которые приходятся максимумы спектральной чувствительности растения.

Требуемый спектральный состав излучения ламп ЛФ 40-2 обусловлен подбором компонентов люминофора. Других конструктивных отличий от осветительных ламп низкого давления фитоламп не имеют. Технические данные фитоламп низкого давления в сравнении с данными осветительной лампы приведены в таблице 10.3.

Несмотря на достаточно высокую эффективность, фитоламп низкого давления не находят широкого приме-

Таблица 10.3

Тип источника	Мощность, Вт	Фитопоток, фт	Фитоотдача, мфт·Вт ⁻¹	Световой поток, лм
ЛФ 40-1	40	4,2	105	1880
ЛФ 40-2	40	4,45	111	1720
ЛБ 40	40	3,74	93,2	3000

нения в тепличном овощеводстве ввиду их малой единичной мощности, создающей значительные трудности в монтаже над облучаемой поверхностью большого количества ламп и ПРА к ним.

От указанного недостатка в значительной мере свободны фитолампы высокого давления типов ДРЛФ 400-1, ДРВ 750, ДРФ 1000.

Фитолампы ДРЛФ 400 конструктивно сходны с лампами ДРЛ соответствующей мощности. Их отличие состоит в составе люминофора, нанесенного на внешнюю колбу, и наличии под слоем люминофора отражающего покрытия из напыленного алюминия, обеспечивающего требуемое распределение потока излучения ламп в пространстве. Лампы широко используются в тепличном овощеводстве совместно с облучателями ОТ 400 (§ 11.2).

Растениеводческие лампы ДРВ 750 имеют встроенный балласт в виде вольфрамовой спирали, размещенной внутри колбы лампы. Использование газоразрядных ламп со встроенным балластом позволяет сократить капитальные затраты на облучательную установку в 5...6 раз, однако эффективность таких ламп снижена в 1,5...2 раза по сравнению с лампами, работающими совместно со стандартным индуктивным балластом.

Устройство фитолампы ДРФ 1000 показано на рисунке 10.7. Кварцевая горелка 1 заполнена аргоном

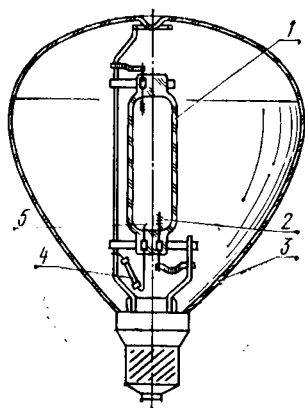


Рис. 10.7. Устройство лампы ДРФ-1000:

1 — внутренняя кварцевая колба; 2 — основные электроды; 3 — внешняя колба; 4 — токоограничивающий резистор; 5 — дополнительный электрод.

Таблица 10.4

Тип источника излучения	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Ток лампы, А	Фитопоток, мфт	Световой поток, кли	Срок службы, ч	Размеры, мм	
							диаметр	длина
ДРЛФ 400-1	400	135	3,25	17 600	12,8	7000	152	368
ДРВ 750	750	220	3,4	20 000	—	2000	152	368
ДРФ 1000	1000	130	9,0	90 000	—	2000	208	342

и парами ртути с добавками йодидов лития и индия. Колба 3 выполнена из термостойкого стекла, устойчивого против растрескивания при попадании на его поверхность капель воды. На внутреннюю поверхность колбы нанесен диффузно-направленно отражающий слой из алюминия и его окислов.

Основные электроды 2 выполнены из вольфрама, активированного окислами тория. Зажигающий вольфрамовый электрод 5 включен через ограничительный резистор 4 сопротивлением 10...15 кОм. Принцип действия лампы ДРФ 1000 аналогичен принципу действия осветительных металлогалогенных ламп.

Введение в полость горелки йодидов металлов позволило получить фитопоток, равный 90 фт, при фитоотдаче 90 мфт·Вт⁻¹.

Распределение спектральной плотности излучения лампы ДРФ 1000 показано на рисунке 10.8 (вклейка).

Лампа включается в сеть при помощи балластного устройства ДБ 1000-2/220, пусковой ток лампы — 13 А.

Технические характеристики рассмотренных ламп приведены в таблице 10.4.

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

Раздел третий

ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ И ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ



Глава 11

СВЕТОВЫЕ ПРИБОРЫ И ОБЛУЧАТЕЛИ

§ 11.1. Общие сведения. Классификация, основные характеристики светильников

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

Эти причины заставляют использовать световые приборы, представляющие собой совокупность источника света и устройства, предназначенного для его крепления, включения в сеть, перераспределения светового потока, ограничения слепящего действия, защиты от механических повреждений и воздействия окружающей среды.

Световой прибор, предназначенный для освещения объектов, находящихся от него на сравнительно небольших расстояниях (менее 20-кратных размеров светового прибора), называется светильником, а для более дальнего действия — прожектором.

Светильники классифицируются по следующим признакам: по характеру светораспределения, по назначению, по исполнению и по способу установки.

По назначению светильники могут быть для освещения закрытых помещений, открытых пространств, судовые, железнодорожные и др.

По исполнению светильники классифицируются в зависимости от степени их защиты от вредных факторов ок-

ружающей среды, например от пыли, на три класса: пыленезащищенные, пылезащищенные и пыленепроницаемые; от влаги на восемь классов: водонезащищенные, каплезащищенные, брызгозащищенные, герметичные и др.

Исполнение светильников зависит и от степени обеспечения пожарной безопасности. Оно определяется степенью возгораемости опорных поверхностей, на которые устанавливаются светильники.

В зависимости от степени взрывозащиты светильники подразделяются на повышенной надежности против взрыва, взрывобезопасные, особо взрывобезопасные.

Светильники классифицируются и по степени защиты от поражения электрическим током обслуживающего персонала. Существует пять классов исполнения по этому признаку.

По способу установки светильники делятся на подвесные, потолочные, встроенные, настенные, настольные и др.

Основные характеристики каждого светильника:

- 1) светораспределение;
- 2) защитный угол;
- 3) коэффициент полезного действия.

Светораспределение светильников общего освещения описывается продольной кривой силы света (рис. 11.1, а).

Наиболее часто встречаются светильники, световой поток которых в пространстве распределяется симметрично относительно оси симметрии светильника, то есть во всех направлениях, образующих угол α с вертикалью, сила света одинакова (в пределах допустимых погрешностей). Для таких светильников достаточно указать распределение светового потока в какой-нибудь плоскости, проходящей через ось симметрии.

ГОСТ 13828—74 установлены типовые кривые силы света светильников, показанные на рисунке 11.1, б.

Светильники местного освещения характеризуются в зависимости от распределения создаваемой ими освещенности на освещаемой поверхности. В зависимости от того, какая часть светового потока излучается в нижнюю и верхнюю полусферу, светильники классифицируются следующим образом:

светильники прямого света — в нижнюю полусферу излучается не менее 80% всего потока излучения;

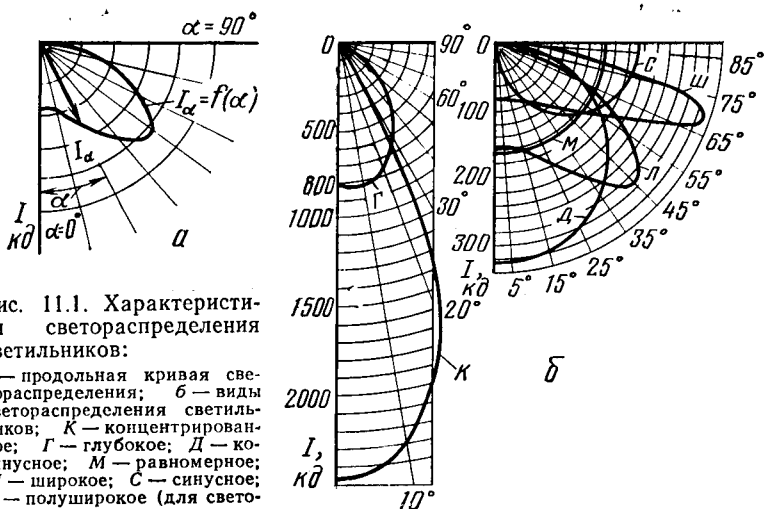


Рис. 11.1. Характеристики светораспределения светильников:

a — продольная кривая светораспределения; *б* — виды светораспределения светильников; *K* — концентрированное; *Г* — глубокое; *Д* — косинусное; *М* — равномерное; *Ш* — широкое; *С* — синусное; *Л* — полуширокое (для светового потока источника 1000 лм).

светильники преимущественно прямого света — в нижнюю полусферу излучается от 60 до 80% всего потока излучения; светильники рассеянного света — в каждую полусферу излучается от 40 до 60% всего потока излучения; светильники преимущественно отраженного света — в верхнюю полусферу излучается более 80% всего потока излучения; светильники отраженного света — в верхнюю полусферу излучается не менее 80% всего потока излучения.

Справочные кривые светораспределения различных типов светильников даются для условной лампы со световым потоком 1000 лм в предположении, что при лампах с иным световым потоком сила света может быть определена по той же кривой путем пересчета. При этом делается допущение о наличии пропорциональной зависимости между световым потоком и силой света светильника с лампами различной мощности. Сила света (кд) под углом α светильника с принятой лампой может быть определена по выражению

$$I_{\alpha} = I_{\alpha_0} \frac{F}{1000}, \quad (11.1)$$

где I_{α_0} — сила света (кд) светильника с условной лампой, световой поток которой равен 1000 лм; F — световой поток лампы, фактически используемой в светильнике, лм.

Защитный угол, то есть угол между горизонталью и линией, соединяющей крайнюю точку тела накала с противоположным краем отражателя, характеризует светильник с точки зрения защиты глаз от слепящего действия источника света. Значение защитного угла зависит от конструкции светильника и может быть определено в соответствии с рисунком 11.2 по выражению

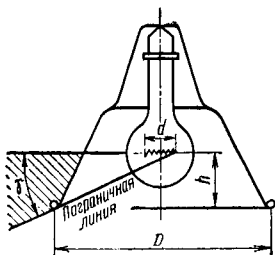


Рис. 11.2. Защитный угол светильника.

$$\gamma = \arctg \frac{2h}{D+d}. \quad (11.2)$$

Защитный угол применяемых светильников обычно составляет от 12 до 40°. Понятие защитного угла также применимо, хотя и условно, к отражателям из просвечивающих материалов.

Коэффициент полезного действия светильника — это отношение светового потока светильника к световому потоку источника света:

$$\eta = \frac{F_{св}}{F_{л}}. \quad (11.3)$$

Значение к.п.д. светильника характеризует его экономичность и зависит от материала осветительной арматуры и конструкции светильника в целом. Применяемые в практике светильники имеют к.п.д. от 0,45 до 0,9. Необходимо отметить, что в эксплуатации при неудовлетворительном уходе к.п.д. светильника может значительно (в два раза и более) снижаться.

Примеры светильников для люминесцентных ламп и ламп накаливания, широко используемых в сельскохозяйственном производстве, показаны на рисунках 11.3... 11.5.

§ 11.2. Облучатели сельскохозяйственного назначения

Отечественной промышленностью налажен выпуск ряда конструкций облучателей, предназначенных для использования в различных процессах сельскохозяйственного производства.

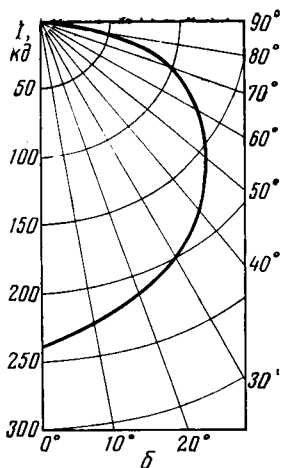
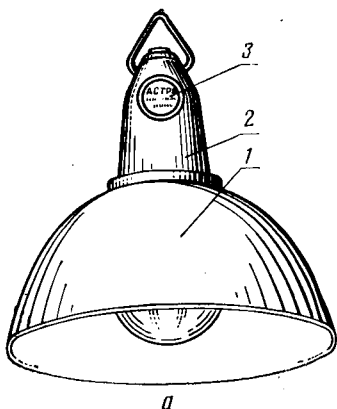


Рис. 11.3. Светильник типа «Астра-1(11,12)»:

a — общий вид; *б* — характеристика светораспределения; 1 — стальной эмалированный отражатель; 2 — пластмассовый корпус; 3 — заглушка полости контактных зажимов светильника.

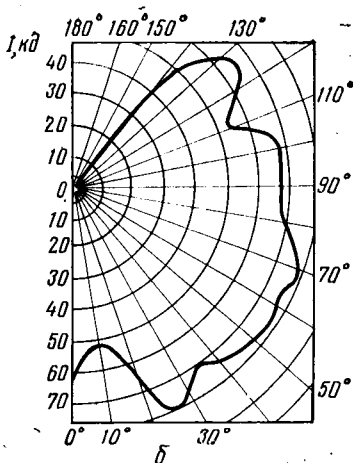
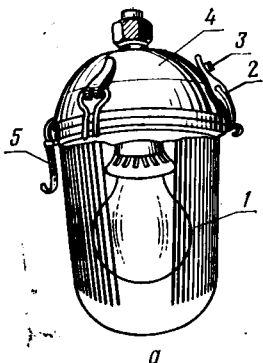
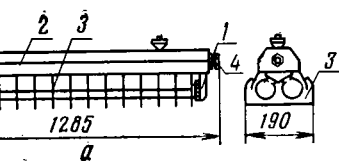


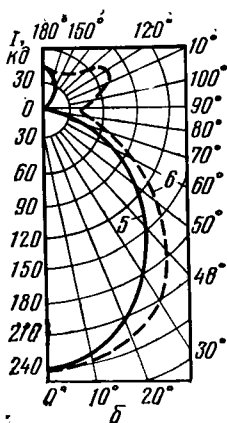
Рис. 11.4. Светильник НСП-01-100:

a — общий вид; *б* — характеристика светораспределения; 1 — защитный колпак из рифленого стекла с уплотнением; 2 — пружинные замки колпака; 3 — предохранительный болт; 4 — металлический корпус; 5 — предохранительный крюк.



Светильник ПВЛМ 2×40:

вид; б — характеристики света; 1 — патроны ламп с уплотне-
орпус; 3 — затеняющая решетка;
альника ввода проводов; 5 — све-
нение в продольной плоскости; 6 —
деление в поперечной плоскости.



выращивании растений в искусствен-
ных предназначен облучатель ОТ 400: облуча-
тельный для ламп ДРЛФ 400 (рис. 11.6, а). Кор-
пусом размещается балластное устройство для
одной лампы, снабжен фарфоровым патроном 3
нием из термостойкой силиконовой резины, уз-
са 1 в виде стальной скобы и двумя отрезками
кабеля 4, один из которых оснащен трех-
вилок, а другой — трехгнездовой розеткой.
розетки, попарно образующие герметизирован-
мы, позволяют объединять в группу с последо-
м питанием и заземлением корпусов до пяти
ей.

атели подключают к сети с напряжением 220 В.
тся облучатели двух модификаций: ОТ 400И —
вным балластным устройством, ОТ 400Е — с
о-емкостным балластным устройством. Обе
ции имеют коэффициент мощности около 0,5,
й ток отстает от напряжения, а в другой — опе-
о, что позволяет при одновременном использо-
их модификаций получить cos φ облучательной
близким к единице. Масса облучателя
— 5 кг, масса ОТ 400Е — 7 кг. Пространствен-
деление потока излучения облучателя ОТ 400
на рисунке 11.6, б. Для растениеводческих
Ф 1000 выпускаются облучатели ОТ 1000.

таких источников излучения, используемых в
одстве, как лампы ЛФ, ДКСТ и др., облучатели

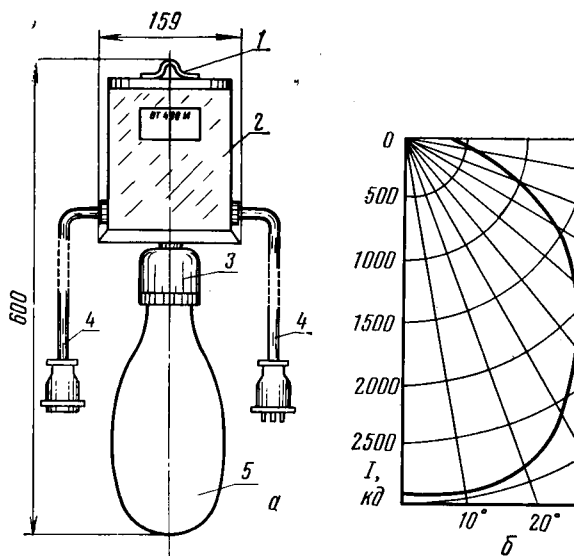


Рис. 11.6. Тепличный облучатель ОТ-400:

a — общий вид; *b* — характеристика распределения пространственного излучения; 1 — узел подвеса; 2 — ПРА источника излучения; 3 — патрон с уплотнением; 4 — кабель питания облучателя; 5 — лампа

лишь разрабатываются, и промышленность и выпускает.

Для ультрафиолетового облучения стационарных условиях используют облучатели с лампами ЛЭ 30-1.

Отражатель облучателя выполнен из листов, покрыт антикоррозийной краской с высоким коэффициентом отражения УФ излучения. Пространственное распределение потока излучения облучателя показано на рисунке 11.7.

На корпусе облучателя закреплены патрон лампы и ее пускорегулирующая аппаратура. Для включения лампы используется стандартная стартерная лампа с симметрированным индуктивным балластом.

Ртутно-кварцевые облучатели ОРК-2 и облучатели с лампами ДРТ 400 служат для профилактического облучения животных, птицы и предынкубационной обработки яиц.

Облучатели состоят из отражателя с лампой и пускорегулирующего устройства, соединенных между собой.

гибким кабелем. Отражатель с лампой облучателя ОРКШ располагается на специальной стойке, а у облучателя ОРК-2 крепится при помощи зажимов на технологических или строительных конструкциях помещения.

Облучатели УФО 1×400, УФОЗ 1×400 для ламп ДРТ 400 используются в УФ облучательных установках УО-4 и УОК-1, описанных в § 15.4.

Для освещения помещений и УФ облучения предназначен светильник-облучатель ОЭСП 02-2×40. Конструктивно он сходен со светильником ПВЛМ 2×40, но оснащается люминесцентной лампой ЛБР 40 и эритемной лампой ЛЭР 40. Электрическая схема светильника-облучателя позволяет включать осветительную и эритемную лампы раздельно. Светильник-облучатель можно устанавливать индивидуально на крюках или тросе, его корпус защищен от попадания внутрь пыли и влаги. Провода можно вводить в корпус сверху или с торца через имеющиеся сальники. Светильник-облучатель оснащен экранирующей решеткой с защитным углом 15°. Масса светильника-облучателя 9,5 кг.

Для обеззараживания воздуха помещений применяют бактерицидные облучатели ОБУ 1×15 с лампой ДБ 15 и ОБУ 1×30 с лампой ДБ 30. Облучатели имеют уплотненный корпус, в котором установлены патроны брызгозащищенного исполнения, ПРА и стартер для лампы. Облучатели предназначены для установки на стене помещения с таким расчетом, чтобы поток излучения лампы был направлен вверх. Масса облучателя 5 кг.

Для инфракрасного облучения применяют облучатели, предназначенные для «светлых» и «темных» источников ИК излучения.

Облучатель ССП 01-250 рассчитан на работу с лампой ИКЗК 220-250. Конструктивно он сходен со светиль-

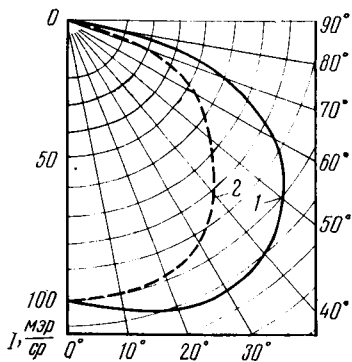


Рис. 11.7. Относительное распределение пространственной плотности излучения УФ облучателя ЭО 1-30:

1 — в поперечной плоскости; 2 — в продольной плоскости.

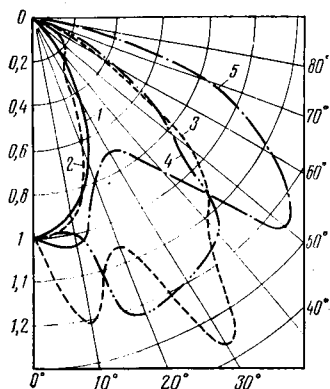


Рис. 11.8. Относительное распределение пространственной плотности излучения ламп:

1 — ИКЗК 220-250; 2 — ИКЗК 220-500; 3 — ПС-70/Е 11010-375; 4 — ИКЗ 220-500; 5 — ИКЗС 220-250-1.

ником «Астра-12», снабжен фарфоровым патроном Е-27 и закрыт снизу защитной сеткой.

Защитный угол облучателя 15°, масса 2,4 кг.

Облучатель ОРИ-1 предназначен для совместной работы с лампой ИКЗ 220-500, представляет собой конусообразную стальную конструкцию с защитной сеткой, предохраняющей лампу от механических повреждений. Облучатель снабжен фарфоровым патроном Е-40. Масса облучателя 2 кг.

Пространственное распределение потока излучения некоторых ИК облучателей с зеркальными лампами накаливания показано на рисунке 11.8.

Серийно выпускаемый облучатель «ЛатвИКО» предназначен для установки в нем инфракрасной кварцевой галогенной лампы накаливания КГ 220-1000-1. Облучатель представляет собой коробчатую конструкцию из листового стали с отражателем и специальными патронами для подключения лампы. Снизу облучатель закрыт защитной сеткой. Масса облучателя 2,5 кг.

Для «темных» источников инфракрасного излучения предназначен облучатель ОКБ-1376 А, представляющий собой стальной кожух с тремя ТЭНами, закрепленными в его верхней части. Стенки кожуха двойные, пространство между ними заполнено теплоизоляционной массой. Мощность каждого ТЭНа 0,4 кВт, причем все они имеют индивидуальные выключатели, дающие возможность регулировать мощность облучателя трехступенчато: 0,4; 0,8; 1,2 кВт. Облучатель снабжен защитной сеткой.

Для совместного ультрафиолетового облучения и инфракрасного обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы используются облучатели установок ИКУФ-1 и «Луч», описанных в § 16.2.

2.1. Правила и нормы электрического освещения

етительная установка должна обеспечивать тре-
еся условия видения с наименьшими затратами
ых средств и электроэнергии.

ажение «требующиеся условия видения» нуж-
в некоторых пояснениях. Действительно, чем ха-
зуются условия видения и как они нормируют-
словия видения определяются уровнем и распре-
ем яркостей в поле зрения, так как именно яр-
как было показано выше, непосредственно вос-
ается нашими органами зрения. Расчет и изме-
ркости в практических условиях сопряжены со
льными трудностями. Поэтому нормируется уро-
вщенности на рабочей поверхности при соот-
щей регламентации ее коэффициента отраже-
ш повседневный опыт показывает, что одну и
работу можно выполнить при существенно раз-
уровнях освещенности.

показывают исследования, отношение верхнего
освещенности к нижнему может иметь поря-
Однако условия работы органов зрения при
остаются одинаковыми. Например, читать мож-
освещенности всего 0,1 лк, однако это приводит
ому утомлению глаз, наносит им непоправи-
ед. Повышая освещенность, можно заметить,
ная с некоторого ее уровня, например с 50 лк,
мость при чтении резко снижается и оказыва-
пределах допускаемой. Такой уровень освещен-
ринимается за гигиенический минимум. Для вы-
я любой производственной операции можно
аивыгоднейшую освещенность, то есть такую,
при прочих равных условиях обеспечит на-
ю себестоимость производимой продукции.

олжая повышать освещенность, можно достичь
ваемого зрительного комфорта, то есть такого
освещенности, который субъективно оценивает-
полне достаточный для выполнения любой опе-
Освещенность, требующаяся для обеспечения

зрительного комфорта, существенно зависит от спектрального состава излучения используемых источников света.

Газоразрядные лампы типа люминесцентных ламп ДРЛ, ДРИ имеют спектр излучения в диапазоне более коротких длин волн видимого участка спектра. Это приводит при объективно одинаковой освещенности, обеспечиваемой указанными лампами и лампами накаливания, к ощущению так называемого эффекта сумеречности в случае использования газоразрядных ламп. Это объясняется тем, что газоразрядные лампы излучения не обеспечивают уровней освещенности, соизмеримых с естественной освещенностью. Практически одинаковом спектральном составе излучения субъективно воспринимается как отсутствие зрительного комфорта.

Для компенсации эффекта сумеречности при работе при низких уровнях нормированной освещенности и при использовании газоразрядных источников света необходимо создавать значительно более высокие уровни освещенности, что и отражено в соответствующих нормах искусственного освещения.

Нормы освещенности, установленные в настоящее время, являются обязательными для всех организаций и ведомств. Они обеспечивают надлежащие условия труда при допустимом с народнохозяйственной точки зрения расходе электроэнергии, материалов и оборудования. Значения освещенности, устанавливаемые нормами, определяются рядом факторов, основные из которых следующие:

1) коэффициент отражения рабочей поверхности, лежащей на фоне, на котором рассматриваются детали. Чем больше коэффициент отражения фона, тем меньше требуется освещенность рабочей поверхности требуется при прочих равных условиях;

2) наименьший угловой размер различаемых (отношение минимального размера детали к расстоянию от нее до глаз);

3) контраст между деталью и фоном, под которым понимается отношение разности яркостей объекта и фона B_{ϕ} к яркости фона;

4) относительная длительность зрительного наблюдения;

5) наличие в поле зрения поверхностей с яркостью, резко отличающейся от яркости окружающего фона;

6) степень опасности травматизма в рабочем процессе.

Нормы устанавливают минимальную освещенность на рабочей поверхности, то есть освещенность, свойственную точке с наихудшими условиями освещения. Следовательно, на остальной части рабочей поверхности освещенность неизбежно будет несколько превышать норму.

Основным нормативным документом при выборе освещенности являются Строительные нормы и правила (СНиП).

Для облегчения работы проектировщиков и эксплуатационников служат отраслевые нормы освещенности, составленные на основе общих норм с учетом специфических условий производства, свойственных той или иной отрасли народного хозяйства. Отраслевые нормы содержат более подробные и конкретные указания и призваны обеспечивать единообразие решений, принимаемых в практике проектирования.

Нормы освещенности, установленные применительно к некоторым специфическим условиям сельскохозяйственного производства, содержатся в Отраслевых нормах освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений (издание 1980 г.) и приведены в таблице 3 приложений.

Качество освещения определяется не только уровнем освещенности, оно складывается из следующих основных условий.

Равномерность распределения освещенности по рабочей поверхности. Несмотря на то, что в действующих нормах отсутствуют количественные требования к равномерности освещения, необходимо стремиться к уменьшению разницы между минимальной и максимальной освещенностью в пределах рабочей поверхности по следующим причинам. Во-первых, значительная неравномерность освещенности (яркости) вынуждает органы зрения к более или менее частой переадаптации, что нежелательно. Во-вторых, поскольку минимальная освещенность должна быть не ниже нормированной, на большей части рабочей поверхности освещенность будет неизбежно

превышать норму, что приведет к перерасходу электроэнергии.

Отсутствие теней на рабочей поверхности. Тени на рабочей поверхности могут затруднить или сделать невозможной работу. Устранение теней осуществляется различными путями: правильным выбором направления светового потока, использованием светильников рассеянного или отраженного светораспределения.

Постоянство освещенности во времени. Изменение освещенности на рабочей поверхности—это, как правило, результат колебаний напряжений в осветительной сети. Глаз различает мгновенное изменение яркости, если оно превосходит 3...5% ее уровня.

Нормами установлено, что при колебаниях напряжения в пределах 1,5...4% частота их не должна превышать десяти колебаний в час. Если колебания напряжения превосходят 4%, то частота их не должна превышать одного колебания в час.

Отсутствие в поле зрения слепящих яркостей. Источниками слепящей яркости являются чаще всего светильники. Уровень их слепящего действия определяется яркостью, силой света в направлении глаз, высотой расположения над линией зрения и яркостью фона. Ограничение слепящего действия светильников предусмотрено в СНиП путем установления минимально допустимой высоты их установки в зависимости от значения защитного угла, характера светораспределения, типа и светового потока используемого источника света (прил., табл. 4).

Спектральный состав излучения определяет собой физиологический и психологический эффект освещения, цветопередачу, может влиять на контраст между деталью и фоном.

§ 12.2. Виды и системы освещения

Рабочее освещение является основным видом освещения. Оно предназначено для создания нормальных условий видения в данном помещении. Рабочее освещение, как правило, выполняют при помощи светильников общего освещения или общего и местного. В производственных условиях часто возникает потребность в переносных светильниках для ремонта, профилактичес-

ких осмотров технологического оборудования и других целей. Для этого обычно используют переносные светильники. Поскольку при выполнении ремонтных работ персонал соприкасается с большими металлическими массами, часто находясь внутри самого технологического оборудования, к переносному освещению предъявляется ряд специфических требований.

Сельскохозяйственные производственные помещения в соответствии с классификацией ПУЭ в подавляющем большинстве относятся к категориям помещений с повышенной и особой опасностью поражения электрическим током. Поэтому при проектировании переносного освещения особое внимание должно быть обращено на обеспечение безопасности.

Аварийное освещение предназначается для продолжения работы или эвакуации людей при погасании рабочего освещения. Необходимость в освещении для продолжения работы есть на производствах, где даже непродолжительный перерыв в рабочем процессе может привести к длительному нарушению технологического цикла и серьезным последствиям: аварии, травматизму работающих людей, большому материальному ущербу и т. п.

Аварийное освещение для продолжения работы должно обеспечивать на рабочих местах, требующих обязательного обслуживания, освещенность не менее 5% установленной для нормальных условий. Для такого аварийного освещения используется часть светильников рабочего освещения, подключаемых к резервному источнику электроснабжения. Питание аварийного освещения от независимого внутреннего источника электрической энергии (аккумуляторная батарея и т. п.) обеспечивает полную надежность работы.

Для аварийного освещения наиболее надежными источниками света являются лампы накаливания, могут использоваться и люминесцентные лампы при условии, что резервное питание осуществляется от сети переменного тока, напряжение которой даже в послеаварийном режиме составляет не менее $0,9 U_n$, а температура воздуха в помещении — не ниже $+10^{\circ}\text{C}$.

Аварийное освещение для эвакуации устраивают в производственных помещениях с числом работающих более 50 человек и в непроизводственных помещениях, где одновременно может находиться более 100 человек.

На дверях помещений ставят световые указатели. Детские сады, ясли, жилые дома с числом этажей более пяти также оборудуют аварийным освещением для эвакуации.

В систему аварийного освещения входят световые указатели, отмечающие места установки пожарных гидрантов, различные извещатели и т. п.

Освещенность, создаваемая аварийным освещением для эвакуации людей, должна быть не менее 0,5 лк на полу по оси основных проходов и на ступеньках лестниц, а в наружных установках 0,2 лк.

Светильники аварийного освещения для удобства их обслуживания должны отличаться от светильников рабочего освещения.

Существуют системы общего, местного и комбинированного освещения.

Общее освещение предназначено для создания надлежащих условий видения на всей освещаемой площади, включая и рабочие поверхности. Оно может быть равномерным или локализованным.

Общее равномерное освещение обеспечивает равномерное распределение освещенности заданного уровня по всей площади помещения и выполняется обычно светильниками одного типа и мощности, располагаемыми на одинаковой высоте.

Общее локализованное освещение создает неодинаковую освещенность на различных участках освещаемой площади. Тип, расположение и мощность выбирают индивидуально для каждого светильника или группы их в соответствии с расположением и особенностями рабочих мест. Система общего локализованного освещения позволяет лучше, чем при равномерном освещении, осветить рабочие поверхности благодаря устранению теней от оборудования или от самого рабочего, обеспечить нужное направление светового потока. При этом потребная мощность установки, как правило, меньше, чем при общем равномерном освещении.

Местное освещение служит для обеспечения надлежащего уровня освещенности только в пределах рабочей поверхности. Светильники местного освещения (стационарные или переносные) устанавливают обычно в непосредственной близости от рабочей поверхности.

В производственных условиях запрещается приме-

нять только одно местное освещение. Его обязательно нужно дополнять общим освещением всего помещения.

Комбинированное освещение создает надлежащие условия видения в пределах рабочих поверхностей совместным действием общего и местного освещения, а по всей остальной площади — только общим, как правило, равномерным освещением.

Установленные нормы для комбинированного освещения выше, чем для одного общего. Однако комбинированное требует, как правило, меньшей мощности, чем общее. Системы общего и комбинированного освещения имеют свои достоинства и недостатки. Система общего равномерного освещения, например, обеспечивает равномерность распределения яркостей в поле зрения, не загромождает рабочие места, конструктивно не связана с технологическим оборудованием и, следовательно, не требует изменения при перестановке рабочих мест. Достоинства комбинированной системы: возможность получения весьма высоких освещенностей на рабочих поверхностях, возможность обеспечения определенного и, если требуется, переменного направления светового потока, возможность освещения внутренних полостей предметов. Недостатком системы комбинированного освещения является потребность в более высоких, чем при системе общего освещения, капитальных затратах.

Систему общего освещения целесообразно применять:

а) в помещениях, где выполняются относительно грубые работы;

б) в помещениях, в которых рабочие поверхности расположены с большой плотностью или работа ведется по всей площади;

в) в помещениях общественного назначения, учебных, конторских и др.

Общее освещение предпочтительно выполнять локализованным в случаях больших размеров освещаемых поверхностей или размещения их сосредоточенными группами или рядами.

Предпосылки к применению системы комбинированного освещения:

а) высокий уровень требующейся освещенности;

б) неплотное и фиксированное расположение рабочих мест;

в) потребность в определенном или переменном направлении светового потока;

г) недоступность рабочих поверхностей для общего освещения вследствие затенения их частями оборудования.

Систему комбинированного освещения целесообразно применять при высокой точности выполняемых работ, особых требованиях к качеству освещения, ограниченности рабочей поверхности, возможности перестановки рабочих мест.

При противоположных обстоятельствах следует применять систему общего освещения.

§ 12.3. Выбор типа источника света и светильника

Разумный выбор типа источника света и светильника для каждого конкретного случая в значительной мере предопределяет техническую и экономическую эффективность проектируемой осветительной установки, ее долговечность и надежность работы. Делая выбор между лампами накаливания и газоразрядными лампами, нужно руководствоваться следующими соображениями.

1. Нормативные документы для компенсации эффекта сумеречности регламентируют для одинаковых условий значительно более высокие нормы освещенности при использовании газоразрядных ламп, чем при использовании ламп накаливания. Это приводит к тому, что в энергетическом отношении осветительные установки с газоразрядными лампами могут и не иметь преимуществ перед установками с лампами накаливания при сравнительно низких уровнях нормированной освещенности.

2. Благоприятный спектральный состав излучения люминесцентных ламп позволяет получать при достаточных уровнях освещенности более правильную цветопередачу, чем при лампах накаливания.

3. Капитальные затраты на осуществление осветительных установок с люминесцентными лампами могут в несколько раз превосходить соответствующие затраты при использовании ламп накаливания.

4. Надежная работа люминесцентных ламп и стабильность их светотехнических характеристик, как об

этом говорилось выше, обеспечиваются лишь при определенных параметрах внешней среды.

В соответствии с изложенным применение люминесцентного освещения можно рекомендовать в первую очередь:

а) в помещениях, где выполняются работы, требующие распознавания цветовых оттенков;

б) в помещениях, где выполняются работы, связанные с большим и длительным зрительным напряжением;

в) в помещениях без естественного света, если в них люди находятся длительно;

г) в животноводческих помещениях, если это обеспечивает благотворное влияние на состояние животных и птицы и увеличивает продуктивность.

Лампы типа ДРЛ целесообразно применять при освещении высоких производственных помещений и открытых пространств, проезжих частей поселков и улиц.

От выбора типа светильника при проектировании осветительной установки зависят надежность, эффективность и экономичность осветительной установки.

При выборе светильника необходимо учитывать следующее:

1) условия окружающей среды;

2) требования к характеру светораспределения;

3) экономическую целесообразность.

В зависимости от характера окружающей среды, в которой будет эксплуатироваться светильник, может произойти следующее:

а) коррозия металлических частей светильника и преждевременный выход его из строя;

б) повреждение изоляции проводов и замыкание их между собой или на корпус;

в) запыление или порча отражающих или пропускающих световой поток поверхностей;

г) воспламенение или взрыв паров, газов, пыли.

При проектировании осветительных установок в сельскохозяйственном производстве приходится встречаться с самыми различными условиями эксплуатации светильников: от работы их в сухих отапливаемых помещениях до работы во взрывоопасных помещениях.

Наиболее экономичны светильники прямого светораспределения. Прямое светораспределение дает воз-

можность хорошо различать мелкие дефекты поверхностей, которые остаются незамеченными при рассеянном светораспределении. Однако в целом качество освещения при отраженном светораспределении несомненно выше, чем при прямом, так как при отраженном светораспределении:

- 1) обеспечивается высокая равномерность освещения;
- 2) хорошо освещаются как горизонтальные, так и вертикальные поверхности;
- 3) максимально ослабляется прямая блескость;
- 4) ослабляются, почти исчезая, тени от рук и тела рабочего.

Если стены и потолки помещения светлые, а высота невелика, то светильники отраженного света почти не уступают по экономичности светильникам прямого светораспределения. Светильники отраженного или смешанного светораспределения рекомендуются для помещений с напряженной зрительной работой (чертежные, больницы и др.).

§ 12.4. Расположение светильников в помещении

Задача должного освещения поверхности обычно имеет множество решений, отличающихся расположением светильников, мощностью и типом используемых источников света. При проектировании из возможных решений выбирается наивыгоднейшее, при котором для обеспечения заданной освещенности и необходимого качества освещения требуется наименьший суммарный световой поток, то есть наименьшая установленная мощность. Распределение освещенности по освещаемой поверхности определяется характером кривой силы света светильников и относительным расстоянием между ними. Относительное расстояние между светильниками λ представляет собой отношение расстояния между ними к высоте подвеса над рабочей поверхностью L/h . Для каждой кривой силы света существует наивыгоднейшее относительное расстояние между светильниками, обеспечивающее наибольшую равномерность распределения освещенности. Наиболее широко пользуются при равномерном освещении расположением светильников по вершинам квадрата и по вершинам ромба (рис. 12.1).

Наивыгоднейшее относительное расстояние между светильниками не всегда гарантирует минимальную установленную мощность. Это в первую очередь относится к светильникам с лампами накаливания, световая отдача которых растет с увеличением единичной мощности. Для получения минимальной установленной мощности при лампах накаливания относительное расстояние должно несколько превышать наивыгоднейшую по условиям равномерности освещения величину.

При размещении светильников в конкретном помещении не всегда удастся расположить их по вершинам квадратов. Переходя к прямоугольным полям (поле — площадь, ограниченная четырьмя ближайшими светильниками), желательно, чтобы отношение большей стороны к меньшей не превышало 1,5.

Размещение светильников в шахматном порядке существенных преимуществ не имеет и применяется, например, в случае, когда возможное расстояние между соседними рядами светильников значительно меньше расстояния между соседними светильниками в ряду.

В таблице 12.1 приведены оптимальные относительные расстояния для наиболее распространенных типов светильников.

При наличии вблизи стен рабочих поверхностей расстояние от крайних рядов до стен принимается рав-

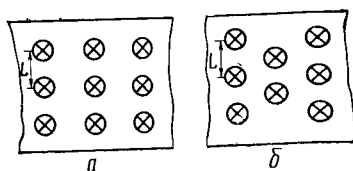


Рис. 12.1. Варианты размещения светильников при общем равномерном освещении:
а — прямоугольное; б — шахматное.

Таблица 12.1

Характер светораспределения	Относительное расстояние между светильниками λ	
	люминесцентные лампы	лампы накаливания
Концентрированное	0,6	0,6
Глубокое	0,9	1,0
Косинусное	1,4	1,6
Равномерное	2,0	2,6
Полуширокое	1,6	1,8

ным (0,25...0,3) L . В остальных случаях оно обычно составляет (0,3...0,5) L .

При расположении в помещении светильников отраженного и рассеянного светораспределения необходимо соблюдать определенное расстояние от светильника до потолка, чтобы обеспечить равномерность распределения яркости по потолку. Обычно оно должно составлять 0,2...0,25 высоты потолка над расчетной плоскостью. Светильники с люминесцентными лампами в производственных помещениях целесообразно располагать рядами параллельно длинной стороне помещения или стене с окнами.

В наружных установках для освещения проходов и проездов, если ширина их не превышает 4...8 м, применяют обычно однорядное расположение светильников по одной из сторон.

§ 12.5. Общие положения светотехнического расчета

Задача светотехнического расчета осветительной установки — определить требуемую мощность источников света для обеспечения заданных условий видения.

К началу собственно светотехнического расчета должны быть выбраны следующие параметры осветительной установки: нормированные освещенности, виды и система освещения, источник света, тип светильников и размещение их.

В результате расчета определяют требующийся световой поток светильников, по которому в справочных таблицах находят мощность ближайшей стандартной лампы требующегося типа. Полученное расчетное значение светового потока только случайно может совпасть со значением потока одной из выпускаемых стандартных ламп. Как правило, приходится принимать лампу со световым потоком, отличающимся от расчетного. Считается допустимым, если световой поток принимаемой стандартной лампы отличается от расчетного не более чем на -10 или $+20\%$. Когда получается большее расхождение, следует несколько изменить число светильников в ту или иную сторону, не слишком отклоняясь от наивыгоднейшего их расположения, чтобы добиться большего совпадения расчетного потока с потоком принимаемой стандартной лампы,

Иногда возникает необходимость выполнить поверочный расчет, то есть определить освещенность на рабочих поверхностях при известном расположении светильников и их мощности.

В настоящее время светотехнические расчеты в значительной мере унифицированы и обеспечены большим объемом справочных материалов, значительно облегчающих сами расчеты.

В практике светотехнических расчетов наиболее часто применяются метод коэффициента использования светового потока и точечный метод.

Каждый из двух названных методов расчета имеет свою область применения. Причем, как правило, в случаях, где неприемлем один метод, в полной мере пригоден второй. В некоторых простейших случаях пользуются методом удельной мощности.

§ 12.6. Точечный метод расчета

Точечный метод расчета дает возможность определить световой поток ламп, необходимый для создания заданной освещенности в любой точке произвольно расположенной плоскости при любом расположении светильников, если отраженный от стен и потолка световой поток не имеет большого значения.

Метод применяется при расчете:

- 1) общего локализованного освещения;
- 2) местного освещения;
- 3) освещенности негоризонтальных плоскостей;
- 4) наружного освещения.

Метод пригоден как для прямого, так и для поверочного расчета.

Сущность метода состоит в том, что потребный световой поток осветительной установки определяют, исходя из условий, что в любой точке освещаемой поверхности освещенность не должна быть меньше нормированной. На плане помещения, на котором указано расположение светильников, намечают контрольные точки, освещенность в которых может оказаться наименьшей. В каждой из этих точек вычисляют освещенность.

Ввиду того что световой поток светильников еще не известен, вычисляют не истинную освещенность, а условную, то есть освещенность, которая была бы созда-

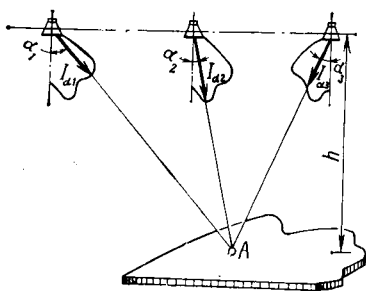


Рис. 12.2. К расчету освещенности, создаваемой в точке несколькими светильниками.

на в этих точках, если бы в светильниках выбранного типа находились лампы с условным световым потоком в 1000 лм. Ту из точек, в которой освещенность окажется наименьшей, принимают в качестве расчетной. Задачей дальнейшего расчета является определение светового потока светильников, при котором освещенность в расчетной точке будет не ниже нормированной.

Если точка освещается одновременно несколькими светильниками, то ее освещенность равна сумме освещенностей, создаваемых каждым из них в отдельности. Справочные кривые силы света светильников строят обычно для условной лампы со световым потоком 1000 лм. Освещенность, вычисленная при помощи этих кривых, называется условной. Для случая, соответствующего рисунку 12.2, суммарная условная освещенность

$$\Sigma e = \frac{I_{\alpha_1} \cos^3 \alpha_1}{h^2} + \frac{I_{\alpha_2} \cos^3 \alpha_2}{h^2} + \frac{I_{\alpha_3} \cos^3 \alpha_3}{h^2}, \quad (12.1)$$

где I_{α} — сила света светильника в направлении освещаемой точки, определяемая по кривой силы света данного светильника, кд; α — угол между осью светильника и линией, соединяющей световой центр светильника с освещаемой точкой; h — расчетная высота подвеса светильника, м.

Для вычисления истинной освещенности следует условную освещенность умножить на коэффициент, учитывающий отличие истинного значения светового потока принятой лампы от условного. При этом допускается, что между силой света светильника в данном направлении и световым потоком лампы существует пропорциональность. Следовательно, истинная освещенность в интересующей нас точке

$$E_A = \frac{F \Sigma e}{1000},$$

где F — фактический световой поток принятой лампы, лм.

Практически при вычислении освещенности в конкретной точке учитывают лишь ближайшие к ней светильники. Однако и более удаленные могут участвовать в создании освещенности в данной точке. Мера участия их определяется характером светораспределения. Действие удаленных светильников учитывает коэффициент добавочной освещенности μ . Обычно его принимают равным 1,05...1,1. Правильно спроектированная и выполненная осветительная установка может спустя некоторое время после начала эксплуатации перестать удовлетворять предъявляемым к ней требованиям, что объясняется, например, следующими факторами:

1) «старением» источников света (снижением их светового потока в процессе эксплуатации);

2) снижением отражательных свойств поверхностей светильников в результате воздействия агрессивных компонентов окружающей среды;

3) практически всегда имеющимся в той или иной степени запылением светильников.

Все эти факторы неизбежно приводят к значительному снижению светового потока светильников и, следовательно, уменьшению освещенности на рабочих поверхностях.

С целью снизить отрицательное влияние указанных факторов приходится уже на стадии проектирования вводить в расчетную формулу для определения потребного светового потока источников коэффициент запаса K , зависящий от типа источника, условий окружающей среды, числа чисток светильников в год (табл. 12.2). Окончательно формула для поверочного расчета имеет вид:

$$E = \frac{F_{\mu} \Sigma e}{1000K},$$

где μ — коэффициент добавочной освещенности; K — коэффициент запаса (табл. 12.2).

При прямом расчете точечным методом пользуются формулой

$$F = \frac{1000 E_{\min} K}{\mu \Sigma e}, \quad (12.2)$$

где $E_{\min}$ — нормированная освещенность, лк.

Таблица 12.2

Характеристика объекта	Коэффициент запаса		Расчетная частота чистки светильников
	при лампах накаливания	при люминесцентных лампах	
Помещения с большим выделением пыли, дыма, копоти (мельницы, кузницы и т. п.)	1,7	2,0	4 раза в месяц
Помещения со средним выделением пыли, дыма или копоти (древообделочные мастерские и т. п.)	1,5	1,8	3 раза в месяц
Помещения с малым выделением пыли, дыма или копоти (механические цеха, общественно-бытовые и т. п.)	1,3	1,5	2 раза в месяц
Наружное освещение светильниками	1,3	1,5	3 раза в год

Расчет осветительной установки точечным методом ведут в такой последовательности.

1. На плане помещения с нанесенными на него светильниками выбирают контрольные точки.

2. В каждой из контрольных точек вычисляют условную освещенность.

Для этой цели можно воспользоваться кривой пространственного светораспределения и выражением (12.1).

В настоящее время вычисление условной освещенности ведут более рациональным способом, используя справочные кривые пространственных изолукс, имеющиеся практически для каждого типа светильника. График пространственных изолукс (рис. 12.3) представляет собой семейство кривых, являющихся геометрическим местом точек, имеющих равную горизонтальную освещенность. Такие графики для светильников с условной лампой со световым потоком 1000 лм строятся в осях $d-h$, где d — расстояние в плане от проекции светильника до точки, в которой определяется освещенность, h — расчетная высота подвеса светильника. Для определения условной освещенности в точке находят ее положение на графике по известным координатам d и h . Если точка не попадает на одну из изо-

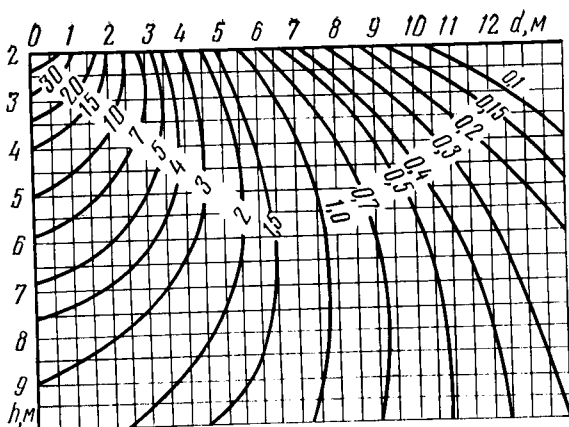


Рис. 12.3. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности для светильников У, УПМ-15, УП-24, «Астра-1,11,12».

люкс, то освещенность в ней определяют путем интерполирования по линии, соединяющей точку с началом координат. Освещенность в точке, координаты которой выходят за пределы графика, можно определить, имея в виду, что если обе координаты уменьшить в n раз, то освещенность увеличится в n^2 раз.

3. Из контрольных точек выбирают точку с наименьшей условной освещенностью — расчетную.

4. Выбирают коэффициент запаса K и коэффициент добавочной освещенности μ .

5. По расчетной формуле (12.2) вычисляют значение требуемого светового потока лампы для светильника.

6. По найденному световому потоку, пользуясь справочной таблицей, определяют мощность лампы.

7. Подсчитывают мощность осветительной установки.

Если необходимо рассчитать освещение наклонной плоскости, через расчетную точку, лежащую на этой плоскости, проводят вспомогательную горизонтальную плоскость. Связь между горизонтальной освещенностью в расчетной точке и освещенностью на-

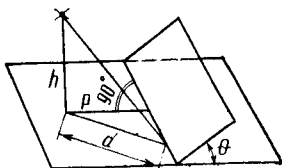


Рис. 12.4. К расчету освещенности наклонной плоскости.

клонной плоскости в той же точке выражается соотношением

$$E_n = \psi E_r, \quad (12.3)$$

где E_n — освещенность наклонной плоскости, лк.

$$\psi = \cos \theta \pm \frac{P}{h} \sin \theta. \quad (12.4)$$

Величины, входящие в выражение (12.4), показаны на рисунке 12.4. Для вычисления ψ существует справочный график. Если расчетная плоскость вертикальна, $\psi = \frac{P}{h}$ или в частном случае, когда вертикальная плоскость перпендикулярна проекции луча на горизонтальную плоскость, $\psi = \frac{d}{h}$. Общие случаи расчета освещенности произвольно наклонной плоскости встречаются весьма редко.

§ 12.7. Метод коэффициента использования светового потока

Этот метод целесообразно применять при расчете общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей с учетом отраженных от стен и потолка световых потоков. Метод нельзя применять при расчете:

- а) локализованного освещения;
- б) освещения наклонных плоскостей;
- в) местного освещения.

Метод коэффициента использования светового потока основывается на известном простейшем соотношении:

$$E = \frac{F}{S}$$

где E — средняя освещенность, лк; F — световой поток, падающий на освещаемую поверхность, лм; S — площадь освещаемой поверхности, м².

Очевидно, что световой поток, достигающий освещаемой поверхности, значительно меньше суммарного потока ламп данной осветительной установки за счет различных потерь. Сущность метода состоит в том, что при известном числе и типе светильников, равномерно рас-

положенных в помещении, характеризуемом известными коэффициентами отражения стен, потолка и рабочей поверхности, определяют коэффициент использования светового потока:

$$I = \frac{F_{\text{р.п.}}}{F_{\text{ист}}}, \quad (12.5)$$

где $F_{\text{р.п.}}$ — световой поток, достигающий расчетной поверхности, лм;
 $F_{\text{ист}}$ — суммарный световой поток источников света осветительной установки, лм.

Коэффициент использования светового потока прямо пропорционален к.п.д. светильника и зависит от следующих факторов:

а) окраски стен и потолка, рабочей поверхности;
 б) характера светораспределения светильника: обычно чем уже кривая светораспределения, тем выше I ;

в) расчетной высоты h , с уменьшением которой I увеличивается;

г) площади помещения, с возрастанием которой I увеличивается;

д) формы помещения: чем меньше помещение отличается от квадрата, тем выше I .

Среднее значение освещенности с учетом коэффициента запаса может быть определено по выражению

$$E_{\text{ср}} = \frac{FNI}{SK},$$

где F — световой поток источников одного светильника, лм; N — число светильников; I — коэффициент использования светового потока; S — площадь освещаемого помещения, м²; K — коэффициент запаса.

Обычно расчет ведется не по средней, а по минимальной нормированной освещенности с учетом коэффициента минимальной освещенности:

$$Z = \frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{min}}} \geq 1.$$

Для светильников при расположении их, близком к наивыгоднейшему, коэффициент Z принимается равным 1,1...1,2.

Расчетная формула метода коэффициента использования светового потока имеет вид:

$$F = \frac{E_{\text{min}}KSZ}{NI}. \quad (12.6)$$

Таблица 12.3

Характер отражающей поверхности	Коэффициент отражения стен и потолка, %
Побеленный потолок; побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Побеленные стены при незавешенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях; чистый бетонный и светлый деревянный потолок	50
Бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонные стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями	30
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный кирпич неоштукатуренный; стены с темными обоями	10

В выражении (12.6) неизвестной величиной, кроме искомого светового потока, является коэффициент I , который определяется по справочным таблицам в зависимости от всех перечисленных выше факторов.

Влияние формы помещения на значение I учитывается в таблице индексом помещения i , определяемым по выражению

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

где h — расчетная высота, м; A и B — длина сторон помещения, м.

Коэффициенты отражения стен и потолка определяются по таблице 12.3.

В таблицах для определения I используют наиболее часто встречающиеся сочетания коэффициентов отражения стен ρ_c , потолка ρ_n , а также рабочей поверхности ρ_p .

Порядок расчета.

1. Проверяют применимость метода.
2. Выбирают тип источника света и тип светильников, определяют их расположение и число.
3. Определяют уровень нормированной освещенности.
4. Определяют коэффициент отражения потолка и стен.
5. Определяют индекс помещения,

6. Определяют по справочной таблице коэффициент использования светового потока I .

7. Определяют коэффициенты запаса и минимальной освещенности Z .

8. Вычисляют по расчетной формуле (12.6) требуемый световой поток источника света в светильнике.

9. Подбирают по таблице выпускаемых промышленностью ламп выбранного типа ближайшую по световому потоку.

Если ближайшие стандартные лампы имеют световой поток, отличающийся от расчетного более чем на $-10...+20\%$, то выбирают лампу с большим световым потоком, подставляют его значение в расчетную формулу и решают ее относительно числа светильников N . Таким образом, первоначальный вариант числа и расположения светильников может в процессе расчета несколько измениться.

10. Определяют суммарную мощность светильников осветительной установки.

§ 12.8. Расчет осветительных установок с люминесцентными лампами

В зависимости от конкретных условий для расчета люминесцентного освещения может быть применен один из методов: точечный, коэффициента использования светового потока, удельной мощности. Эти методы, применяемые при расчете люминесцентного освещения, когда оно выполняется посредством отдельных светильников, соотношение размеров которых и расстояний до рабочей поверхности позволяет считать их точечными, принципиально не отличаются от изложенных. Реализация их в практике обеспечивается соответствующими справочными материалами.

Практика вычисления освещенности в точке от светящей линии в значительной мере рационализирована благодаря наличию для большинства светильников с люминесцентными лампами справочных кривых линейных изолюкс.

При заданных характери-

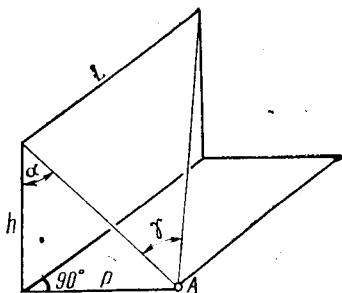


Рис. 12.5. К расчету освещенности, создаваемой в точке светящей линией.

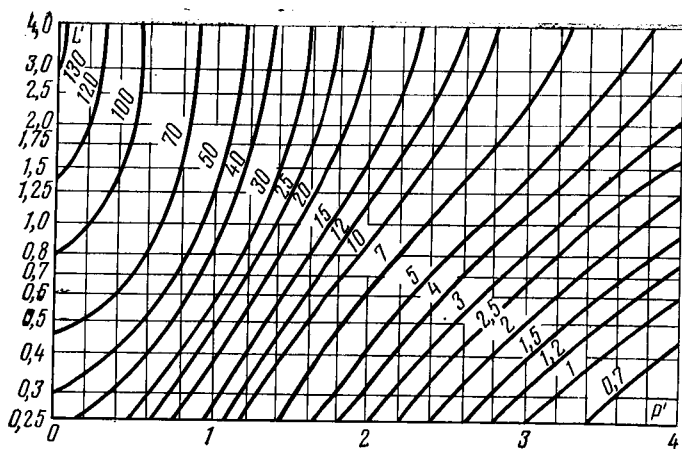


Рис. 12.6. Линейные изолуксы для светильников ПВЛМ с двумя лампами ЛБР.

стиках светящей линии освещенность точки зависит от трех параметров: h , L и p (рис. 12.5).

График линейных изолукс (рис. 12.6) строится в прямоугольной системе координат. При этом по осям откладывают приведенные к единичной высоте величины

$L' = \frac{L}{h}$ и $p' = \frac{p}{h}$. Высота расположения светящей линии над освещаемой плоскостью принимается равной 1 м, а световой поток 1 м линии — приведенный световой поток — принимается равным $F' = 1000$ лм/м. График линейных изолукс дает возможность определять относительную освещенность, создаваемую светящей линией в точке, расположенной против конца линии, при различных сочетаниях h , L и p .

Когда точка, в которой определяется освещенность, не лежит против конца линии, поступают следующим образом.

Если точка расположена в пределах светящей линии так, как показано на рисунке 12.7, а, то линию условно разбивают на две части — L_1 и L_2 . Точка оказывается расположенной против концов обеих частей, и освещенность в ней равна сумме освещенностей, создаваемых каждой частью линии. Эти частичные освещенности определяются по графику линейных изолукс,

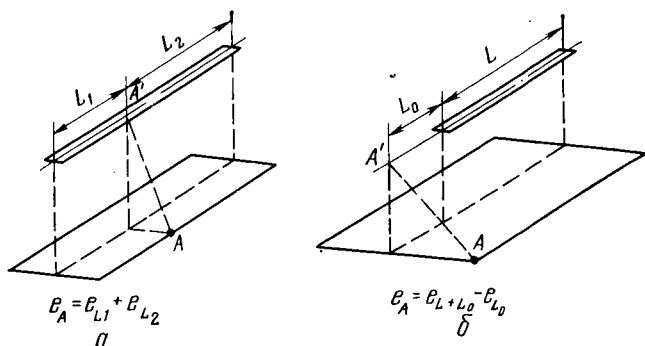


Рис. 12.7. К определению освещенности в точках, не лежащих против концов светящих линий.

Если точка расположена за пределами светящей линии (рис. 12.7, б), линию условно продлевают настолько, чтобы точка оказалась против ее конца.

Относительную освещенность точки вычисляют как разность освещенностей, создаваемой в точке всей линией, включая условную часть, и создаваемой условной частью линии.

Ряды светильников могут быть непрерывными и с разрывами. Если расстояния в ряду между соседними светильниками ряда не превышают половины расчетной высоты, то ряд можно рассматривать как непрерывный, и поток F' определяется без учета разрывов. При больших разрывах освещенность в контрольных точках определяется от каждого непрерывного элемента в отдельности. Расчетная формула для вычисления приведенного значения требуемого светового потока линии имеет вид

$$F' = \frac{1000 E_{\min} K h}{\mu \Sigma e}. \quad (12.7)$$

Полный световой поток светящей линии, требующийся для обеспечения нормированной освещенности $E_{\min}$ в контрольной точке, $F = F' L$.

Число люминесцентных ламп в светящей линии

$$n = \frac{F}{F_{\lambda}},$$

где F_{λ} — световой поток (лм) одной лампы принятого в расчете типа.

Требующееся число светильников в линии определяют, исходя из конструктивных соображений, путем сопоставления длины линии, габаритов принятого типа светильников и числа ламп в линии.

Компоновку ряда светильников выполняют следующим образом. Разделив полученную величину на поток ламп в выбранном типе светильника, получают число светильников N в ряду. Далее сопоставляют суммарную длину всех светильников в ряду с длиной самого ряда. Если длина светильника l , то полная их длина Nl .

При $Nl=L$ (что случается крайне редко) светильники располагают в сплошной ряд. При $Nl < L$ светильники можно расположить в ряд с небольшими разрывами. Однако если эти разрывы весьма малы, то целесообразно расположить светильники в сплошной ряд, несмотря на то, что для этого потребуется несколько дополнительных светильников. Если суммарная длина светильников $Nl > L$, то возможны следующие варианты: а) переход к лампам большей единичной мощности; б) сближение рядов и, следовательно, увеличение их числа; в) размещение в каждом ряду светильников с большим числом ламп; 2) образование каждого ряда из двух и более линий светильников.

Если осветительная установка выполняется посредством рядов люминесцентных светильников и для расчета применяется метод коэффициента использования светового потока, необходимо иметь в виду следующие рекомендации.

Намечают число рядов светильников, которое подставляют в формулу (12.6) вместо N . В той же формуле под F понимают суммарный световой поток ламп ряда. При выбранном типе светильника и ламп поток ламп в каждом светильнике обозначают F_1 . Тогда число светильников в ряду $N = F/F_1$.

Суммарную длину светильников в ряду сопоставляют с длиной помещения и окончательную компоновку рядов выполняют, как было указано выше.

§ 12.9. Метод удельной мощности

Метод удельной мощности является упрощенной формой расчета методом коэффициента использования светового потока.

Удельная мощность осветительной установки представляет собой частное от деления общей установленной мощности светильников на площадь освещаемого помещения $P_{уд} = P_{уст}/S$. Значение потребной удельной мощности для обеспечения заданного уровня освещенности зависит от типа и мощности ламп, типа светильников, от характеристики освещаемого помещения, коэффициента запаса. На основе анализа влияния этих факторов на величину $P_{уд}$ составлены таблицы значений $P_{уд}$ осветительных установок, выполненных на базе стандартных светильников с различными источниками света.

В этих таблицах значения требующейся $P_{уд}$ даны в зависимости от уровня нормированной освещенности, площади освещаемой поверхности и расчетной высоты подвеса светильников при наиболее вероятном сочетании коэффициентов отражения потолка, стен и рабочей поверхности и определенном коэффициенте запаса. Относительное расстояние L/h между светильниками принимается близким к оптимальному.

При составлении таблиц принято, что напряжение сети 220 В. При иных, чем указано в таблицах, напряжении и коэффициентах запаса значения потребной $P_{уд}$ должны быть пропорционально пересчитаны.

В таблицах для люминесцентных ламп и ламп типа ДРЛ $P_{уд}$ даются в зависимости от указанных выше факторов, но лишь для освещенности 100 лк. При иных освещенностях потребную $P_{уд}$ определяют путем пропорционального пересчета. Таблицы составлены исходя из соотношения длины и ширины помещения $A : B \leq 2,5$. Для удлиненных помещений значения $P_{уд}$ вычисляют для условной площади $2B^2$, и они распространяются на все помещение.

Прежде чем обратиться к таблицам удельной мощности, необходимо принять основные решения (см. порядок расчета методом коэффициента использования светового потока, пп. 2, 3, 4, 7).

Затем по соответствующей таблице выбирают требующуюся $P_{уд}$, определяют единичную мощность источника (для ламп накаливания и ДРЛ) по формуле $P = P_{уд}S/N$. Выбирают ближайшую по мощности лампу из ряда стандартных.

При использовании люминесцентных ламп также прежде принимают все основные решения, затем по

таблице находят $P_{уд}$ для ламп выбранной мощности, определяют необходимое число светильников в ряду делением установленной мощности на мощность одного светильника ($P_{уд}S/P_{св}$) и выполняют компоновку рядов.

Значение удельной мощности — важный энергетический показатель осветительной установки, он используется для оценки экономичности принятых решений. Таблицами удельной мощности наиболее часто пользуются при ориентировочных расчетах с целью учесть осветительную нагрузку, например при выборе мощности трансформаторной подстанции, а также для оценки результатов выполненных светотехнических расчетов по одному из рассмотренных выше основных методов расчета.

Глава 13

ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

§ 13.1. Роль светового режима в технологических процессах животноводства и птицеводства

Большинство технологических процессов сельскохозяйственного производства связано с жизнедеятельностью живых организмов, эволюционировавших в естественных природных условиях, где сильнейшее воздействие на их развитие оказывало излучение Солнца.

При содержании животных и птицы в искусственных условиях световое излучение также играет важнейшую роль в их развитии и жизнедеятельности.

Световой фактор воздействует на биологические ритмы животных и при оптимальных условиях положительно влияет на рост и развитие молодняка, нормализует белковый, минерально-витаминный и углеводный обмены, что, в свою очередь, приводит к повышению продуктивности и воспроизводительной функции сельскохозяйственных животных.

Основными параметрами видимого излучения, действующими на животных, являются периодичность освещения, уровень освещенности и спектральный состав.

Периодичность освещения влияет на половое созревание животных и птицы: короткий световой день его задерживает, а длинный — ускоряет. В зависимости от

освещенности изменяются физиолого-клиническое состояние, продуктивность животных и качество приплода. Исследованиями выявлено влияние спектрального состава видимого излучения на продуктивность птицы. Так, например, облучение кур монохроматическими излучениями оранжевого и красного цвета увеличивает их живую массу и яйценоскость на 5...12%.

С 1979 г. введены в действие Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений, утвержденные МСХ СССР и регламентирующие требования, предъявляемые к осветительным установкам сельскохозяйственных производственных помещений для обеспечения надлежащих условий труда и техники безопасности обслуживающего персонала и создания оптимального светового климата для животных.

§ 13.2. Осветительные установки в животноводстве

В животноводческих помещениях нормированная освещенность должна быть обеспечена на протяжении светового дня длительностью 10...16 ч, при которой наблюдается наибольшая продуктивность животных.

Естественное освещение обеспечивает лишь 70% требуемой продолжительности освещения в весенне-летний и лишь 20% в осенне-зимний периоды. Для обеспечения оптимальной продолжительности светового дня необходимо использовать искусственное освещение. Допустимо и совмещенное освещение, при котором в светлое время суток одновременно используется естественный и искусственный свет. При этом недостаточное по условиям зрительной работы естественное освещение дополняется искусственным.

В животноводческих помещениях предусматривается два вида освещения: технологическое и дежурное. Технологическое освещение обеспечивает необходимый световой климат для животных, с одной стороны, и надлежащие условия видения для обслуживающего персонала — с другой, дежурное — служит для наблюдения за животными в ночное время. Ввиду того что освещенность для выполнения людьми технологических операций должна быть, как правило, выше освещенности, необходимой для жизнедеятельности живот-

ных, технологическое освещение может быть двухрежимным, создающим повышенную освещенность при дойке, кормлении, уборке помещений, приеме приплода и т. д.

Дежурное освещение обеспечивается 10% светильников общего освещения в помещениях содержания животных и 15% светильников в родильном отделении. Светильники дежурного освещения должны быть равномерно распределены по помещению над животными и проходами. К сети дежурного освещения подключают и светильники, освещающие территорию перед входами в здание.

Технологическое освещение помещений для содержания животных по нормам рекомендуется выполнять, как правило, люминесцентными лампами. Наиболее благоприятный спектральный состав имеют люминесцентные лампы типов ЛБ, ЛХБ, ЛД и др. Для уменьшения влияния запыленности на световой поток ламп рекомендуется использовать рефлекторные лампы типа ЛБР.

Лампы накаливания следует применять лишь в помещениях подсобного назначения. Использование ламп накаливания в основных производственных помещениях должно быть экономически оправдано.

Для освещения животноводческих помещений принципиально применимы газоразрядные лампы высокого давления типов ДРЛ, ДРВЛ или ДРИ, однако рекомендации по их использованию и влиянию на продуктивность животных пока отсутствуют.

Выбор типов светильников определяется их светораспределением, конструктивными особенностями освещаемых помещений и характеристиками среды, в которой предстоит работать светильникам (повышенная влажность, высокая концентрация агрессивных газов — аммиака и сероводорода).

Для освещения животноводческих помещений могут использоваться светильники типов ПВЛ, ПВЛМ, ПВЛП 2×40 с люминесцентными лампами, НСП 01, НСП 03, ППД 200, ППР 100, ППР 200, «Астра-11» и «Астра-12» с лампами накаливания. Два последних светильника могут оснащаться лампами ДРЛ и ДРВЛ.

Светильники в животноводческих помещениях располагают рядами параллельно стенам со световыми проемами таким образом, чтобы освещаемые поверх-

ности не затенялись строительными конструкциями или технологическим оборудованием и чтобы в контрольных точках помещения была обеспечена нормированная освещенность.

При двухрежимном технологическом освещении светильники каждого ряда через один объединяют в две группы, включаемые раздельно. Одна группа обеспечивает биологически необходимую освещенность в течение 16 ч (например, с 5 до 21 ч), обе группы светильников на время выполнения технологических операций включает персонал. Для экономии электроэнергии в светлое время суток группы биологически необходимого освещения ближних к окнам рядов не работают, а включаются лишь тогда, когда уровень естественной освещенности уменьшится до заданного значения. В ночное время работают только светильники дежурного освещения.

Осветительная установка управляется программным реле времени и фотореле, контролирующим освещенность вблизи окон помещения. Схема управления позволяет включать и выключать установку вручную.

§ 13.3. Осветительные установки в птицеводстве

Световой режим в промышленном птицеводстве играет важнейшую роль. Современные птичники для молодняка и взрослой птицы делаются без окон, и освещенность, регламентируемая нормами, обеспечивается только благодаря искусственному освещению.

При бесклеточном содержании птицы газоразрядные источники света должны создавать на полу птичника освещенность, равную 75 лк. Светильники с люминесцентными лампами типа ЛБР или ЛДЦ располагают равномерно по потолку помещения рядами или в шахматном порядке. В отдельных экономически обоснованных случаях осветительная установка может быть выполнена на базе ламп накаливания, которые должны обеспечить на полу нормированную освещенность, равную 30 лк и равномерно распределенную по зоне содержания птицы.

При клеточном содержании птицы нормируется освещенность на кормушках клеток. При люминесцентных лампах она должна составлять 75 лк, при лампах накаливания — 30 лк на всех ярусах клеток. Если пти-

та содержится в одноярусных или широкогабаритных двухъярусных клеточных батареях, то светильники размещают рядами непосредственно над клетками. Если клеточные батареи многоярусные, то светильники располагают над проходами между батареями.

При использовании многоярусных батарей возникают серьезные трудности в обеспечении равномерного распределения освещенности по всем ярусам клеток. По исследованиям Тамбовского филиала ВИЭСХ, освещенность кормушек нижнего яруса клеточной батареи КБН составляет 20...30 лк, в то время как освещенность кормушек верхнего яруса — 110...140 лк. Освещенность внутри клеток разнится еще больше — 5...125 лк соответственно.

Низкая освещенность угнетает птицу, ведет к снижению ее продуктивности. Чрезмерная освещенность в клетках верхнего яруса, вблизи которого размещены светильники, возбуждает птицу, вызывает расклевы, что увеличивает выбраковку птицы и наносит ощутимый экономический ущерб. Наибольшая продуктивность птицы наблюдается в клетках средних ярусов при 60...80 лк.

Светильники для освещения птицеводческих помещений выбирают по светораспределению и защите от воздействия агрессивной окружающей среды. Чаще других в птичниках используют светильники типов СХЛ и ПВЛМ с рефлекторными лампами ЛБР.

Весьма важную роль в жизнедеятельности птицы играет продолжительность светового дня. В период выращивания молодняка несушек продолжительность светового дня T (рис. 13.1) постепенно на 2...3 мин в сутки сокращают вплоть до начала яйцекладки.

При таком режиме задерживается половое развитие молодок, они лучше растут (G ; рис. 13.1) и вступают в яйцекладку физически развитыми, что благоприятно сказывается на их продуктивности (Q , рис. 13.1) и качестве яйца.

После начала яйцекладки продолжительность светового дня постепенно увеличивают, что стимулирует яйцекладку и обеспечивает поддержание высокого уровня яйценоскости на весь период использования несушек.

Наращение освещенности в птичнике утром и уменьшение ее вечером оговорено нормами и должно происходить постепенно в течение 15...20 мин по закону из-

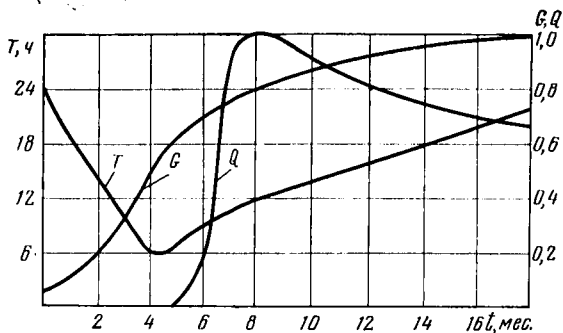


Рис. 13.1. Изменения продолжительности светового дня T , относительной живой массы G и яйценоскости Q кур-несушек на протяжении периода использования птицы.

менения освещенности в естественных условиях. Включение осветительной установки сразу на полную мощность вызывает стрессовые явления у птицы, так же действует на птицу мгновенный переход от полной освещенности к темноте. На отсутствие в световом дне режимов рассвета и сумерек птица отвечает снижением яйценоскости на 4...5%.

Совсем иное воздействие оказывает на кур периодическое (4...5 раз в течение ночи) включение осветительной установки на 20...30 с. Увеличение яйценоскости под действием импульсного «шокового» освещения отмечалось многими исследователями, однако четкие рекомендации по воздействию на птиц импульсным освещением пока отсутствуют.

Световой режим в мясном птицеводстве призван обеспечить быстрый рост живой массы птицы, поэтому освещение помещений для выращивания птицы на мясо осуществляется по особой программе.

§ 13.4. Осветительные установки жилых и вспомогательных помещений

Для жилых и подсобных помещений установлены следующие уровни горизонтальной освещенности на высоте 0,8 м от пола при лампах накаливания и люминесцентных лампах (в скобках): жилые комнаты — 30 лк (75 лк), гостиные комнаты — 50 лк (100 лк), кухни —

30 лк (100 лк), на полу коридоров, лестниц, санузлов, кладовых — 10 лк (50 лк).

Общее освещение жилых помещений обеспечивается люстрами и бра различных типов, местное освещение — настольными лампами, торшерами и ночниками, влажные подсобные помещения освещаются потолочными и настенными уплотненными светильниками типов ПУН, БУН и др. с лампами накаливания.

Люстры для жилых помещений чаще всего имеют 3...5 источников света мощностью до 100 Вт каждый и включаются по схеме, позволяющей управлять ими отдельно с целью регулирования освещенности помещений. Бра, торшеры, ночники с лампами накаливания могут иметь встроенные полупроводниковые регуляторы света или подключаться к электрической сети через удлинитель с переносным светорегулятором типа «Электроника-200» (СРП-02-1).

Осветительные установки бытовых помещений эксплуатируются, как правило, людьми, не обладающими достаточными электротехническими знаниями, в связи с чем особое внимание следует обращать на соответствие исполнения светильников, коммутационной аппаратуры и распределительной сети условиям окружающей среды для обеспечения максимальной электробезопасности осветительной установки.

Распределительная электрическая сеть жилых помещений в сельской местности выполняется чаще всего проводом АППР, рекомендованным для выполнения открытых и скрытых проводок по горючему основанию. Спуски к подвесным светильникам и люстрам нужно выполнять многопроволочным гибким проводом сечением не менее 0,5 мм² по соображениям механической прочности. Провода спуска с проводами сети следует соединять при помощи механических винтовых зажимов в потолочной розетке светильника.

Электрическую сеть надворных построек нужно выполнять проводом АПВ на роликах или в стальных трубах. В электрической сети следует предусмотреть достаточное число розеток соответствующего исполнения для включения светильников местного освещения, радио- и телевизионных приемников, бытовых электроприборов.

Аппаратура управления осветительными установками подсобных помещений должна иметь брызгозащи-

щенное исполнение или размещаться в смежном сухом помещении.

Осветительные установки приусадебного участка и надворных построек нужно подключать к электрической сети жилого здания через аппаратуру, обеспечивающую защиту сети от действия токов короткого замыкания.

§ 13.5. Установки для освещения улиц и открытых пространств

Для освещения улиц сельских населенных пунктов применяются подвесные светильники СПО-200, СЗП-500М с лампами накаливания и подвесные СППР-125, СЗПР-250М или консольные СКЗР-2×250, РКУ-1×400 с лампами ДРЛ. Консольные и подвесные светильники СКЗЛ и СПЗЛ с люминесцентными лампами находят применение в основном в южных районах страны в связи с затрудненным зажиганием газоразрядных ламп низкого давления при пониженных температурах. Так как нормы освещенности улиц не зависят от типа источника света, предпочтение следует отдавать газоразрядным лампам с высокой световой отдачей (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ).

Светильники размещают на опорах линий 0,4 кВ, установленных вдоль улицы, если ширина проезжей части не превышает 12 м. При ширине проезжей части более 12 м светильники располагают над осевой линией улицы на тросах, натянутых поперек проезжей части. Если ширина улицы превышает 18 м, то светильники размещают в два ряда по обе стороны проезжей части в шахматном порядке.

Светильники с лампами мощностью до 150 Вт устанавливают на высоте около 6 м, при большей мощности — на высоте 8...10 м.

При освещении открытых пространств, прилегающих к животноводческим помещениям, должна быть достигнута горизонтальная освещенность не менее 2 лк на уровне земли у входов в помещения, на выгульных площадках и под навесами для хранения сена и подстилки. На кормовых площадках должна быть достигнута освещенность 5 лк на уровне кормушек или на уровне земли под навесами для содержания птицы.

Охранное освещение должно обеспечивать освещенность не менее 0,5 лк.

Указанные освещенности могут быть созданы светильниками, устанавливаемыми на опорах, или прожекторами на зданиях и специальных мачтах. Для освещения территорий, где возможно повреждение опор и воздушных сетей сельскохозяйственной техникой и транспортом (комбайнами, автокранами и т. п.), следует отдавать предпочтение прожекторному освещению.

В прожекторах можно применять лампы накаливания, лампы КГ и ДРЛ. Для охранного освещения лампы ДРЛ не применяют.

В соответствии с Инструкцией по проектированию наружного освещения городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов (ВСН 22—75) управление установками наружного освещения должно осуществляться централизованно — телемеханически или дистанционно с центрального диспетчерского пункта.

§ 13.6. Способы и средства управления осветительными установками

Управление электрическим освещением должно обеспечивать световой режим, необходимый для протекания соответствующего технологического процесса, способствовать экономии электрической энергии без ухудшения условий труда людей и не в ущерб основному технологическому процессу, удовлетворять требованиям электробезопасности и быть надежным в работе.

Способы управления освещением подразделяются на способы местного управления, которые могут быть индивидуальными (например, для светильников подсобных помещений, светильников местного освещения) и централизованными, когда из одного центра управления включается одна или несколько осветительных установок с большим числом источников света.

Средства управления осветительными установками могут быть неавтоматическими — для управления вручную и автоматическими — для управления осветительными установками в зависимости от естественной освещенности или по заранее составленной временной программе.

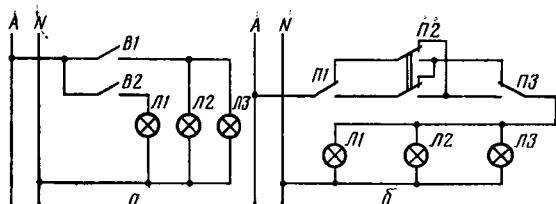


Рис. 13.2. Схемы местного управления освещением:

а — схема включения бытового светильника с тремя источниками света; *б* — схема управления осветительной установкой с трех мест («коридорная схема»),

Для регулирования потока излучения источников света служат светорегуляторы, которыми можно управлять вручную или автоматически.

Высокоорганизованные системы управления могут выполнять функции всех перечисленных средств управления осветительными установками.

На рисунке 13.2, *а*, *б* показаны простейшие широко распространенные схемы местного управления освещением при помощи неавтоматических коммутационных средств — выключателей и переключателей.

Для автоматического управления осветительными установками в функции освещенности применяют фотореле.

Примером централизованной автоматической системы управления освещением может служить схема управления уличным освещением населенного пункта с применением фотореле ФР-2 (рис. 13.3), устанавливаемого на комплектных трансформаторных подстанциях напряжением 10/0,4 кВ.

В сумерках, когда сопротивление фоторезистора *R1* велико и ток базы транзистора *T1* мал, оба транзистора закрыты. Реле *РП* питается от сети через однополупериодный выпрямитель на диоде *Д* с гасящим резистором *R8* и сглаживающим пульсацию напряжения конденсатором *С*. Контакты *РП* в цепи катушки магнитного пускателя *МП* закрыты, и осветительная установка включена контактами магнитного пускателя *МП*.

При увеличении освещенности сопротивление фоторезистора *R1* уменьшается, ток базы транзистора *T1* возрастает, увеличивается ток эмиттера *T1*, возрастает потенциал на базе транзистора *T2*, и он, открываясь,

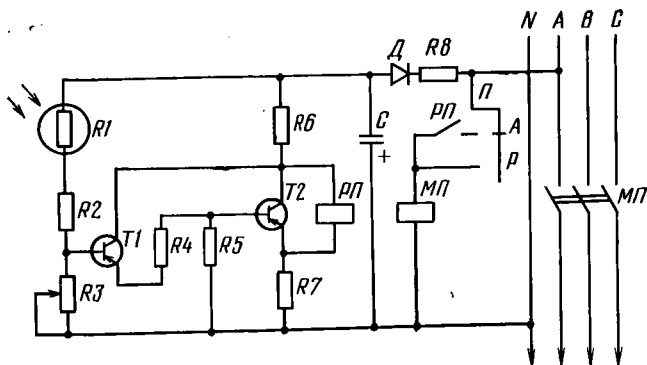


Рис. 13.3. Принципиальная электрическая схема фотореле ФР-2.

шунтирует катушку реле РП. Ток через катушку реле прекращается, РП открывает свой контакт и разрывает цепь катушки магнитного пускателя МП, который, в свою очередь, выключает освещение улиц.

Включение фотореле происходит при освещенности около 5 лк, выключение — при 10 лк. Для настройки реле служит переменный резистор R3. Для управления освещением вручную контакт переключателя П следует перевести в положение Р.

Для автоматического управления осветительной установкой по заданной программе применяют программный многоцепной аппарат МКП 2-12, двухпрограммное реле времени 2РВМ и др.

Аппарат МКП 2-12 управляет двенадцатью цепями при помощи кулачков вращающегося программного барабана, воздействующих на микровыключатели. Барабан прибора вращается с частотой 1 об/сут при помощи электродвигателя РД-09. Выполнение программы сверяется с ходом встроенного часового механизма, отсчитывающего истинное время с точностью ± 2 мин. В случае потери питания программный барабан останавливается, но часовой механизм продолжает работать, и после восстановления питания барабан, ускоренно провернувшись, продолжит выполнение программы с истинного момента времени, соответствующего показаниям часового механизма.

Наибольшее распространение среди программных механизмов получили моторное двухпрограммное реле времени 2РВМ и прибор программного управления светом ПРУС-1.

При использовании реле 2РВМ в птицеводстве приходится раз в несколько дней вручную переставлять штифты на программном диске, постепенно увеличивая или сокращая световой день в птичнике.

От этого недостатка свободно программное устройство ПРУС-1. Оно специально предназначено для изменения продолжительности светового дня по заранее заданному графику. Устройство служит для управления двумя цепями, включаемыми поочередно и отключаемыми в обратной последовательности с разрывом 2...5 мин. Программа ПРУС-1 рассчитана на полный цикл содержания цыплят (150 дней) и кур-несушек (400 дней). Устройство позволяет, кроме того, поддерживать любую неизменную продолжительность светового дня в пределах от 6 до 24 ч.

Устройство выполнено на базе реле 2РВМ. Часовой механизм приводит во вращение программный барабан с фасонным вырезом, профиль которого определяет программу работы осветительной установки на весь период использования птицы.

Принципиальная электрическая схема устройства ПРУС-1 приведена на рисунке 13.4.

Централизованные автоматизированные системы управления (ЦАСУ) осветительными установками цехов птицефабрик весьма эффективны, так как исключают ручной труд и связанные с ним ошибки в управлении световым режимом, пагубно влияющие на значительную численность поголовья птицы, сокращают эксплуатационные затраты на обслуживание цеховых программных аппаратов управления.

Известны ЦАСУ световым режимом с проводной передачей кодированных команд с единого диспетчерского пункта на цеховые исполнительные устройства, регулирующие освещенность и продолжительность светового дня в птичниках.

На птицефабриках широко используется установка централизованного управления «Свет», имеющая 15 каналов передачи информации.

Необходимость регулирования освещенности возникает чаще всего применительно к освети-

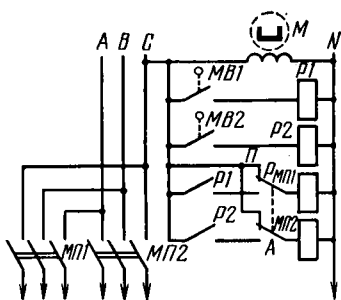


Рис. 13.4. Принципиальная электрическая схема программного устройства ПРУС-1 управления светом.

тельным установкам птицеводческого назначения.

Простейший и наиболее распространенный способ регулирования освещенности заключается в погрупповом включении светильников, равномерно размещенных над освещаемой поверхностью. Многоцепные программные аппараты могут быть приспособлены для поочередного включения нескольких групп в течение 15... 20 мин имитации «рассвета». Необходимо отметить,

однако, что при погрупповом включении светильников (обычно не более трех групп) для большей части поголовья птицы, особенно на верхних ярусах клеток, вблизи включаемых первыми источников света, переход от темноты к полной освещенности остается мгновенным, что отрицательно сказывается на продуктивности птицы.

Другой способ регулирования освещенности состоит в ступенчатом или плавном изменении светового потока светильников путем изменения напряжения питания источников света.

Регулирование может быть осуществлено при помощи аппаратуры, меняющей амплитудное значение напряжения питания источников.

В групповую сеть светильников могут быть включены постоянные резисторы, за счет падения напряжения на которых уменьшено напряжение, подводимое к лампам. Для получения полной освещенности резисторы шунтируют контактами магнитных пускателей.

Регулирование напряжения можно выполнять и при помощи автотрансформаторов, трансформаторов с насыщением, магнитных усилителей или управляемых реакторов.

Основными недостатками указанной аппаратуры регулирования напряжения являются существенные потери энергии, тепловыделение у резисторов и реостатов, большие металлоемкость и масса, значительные размеры.

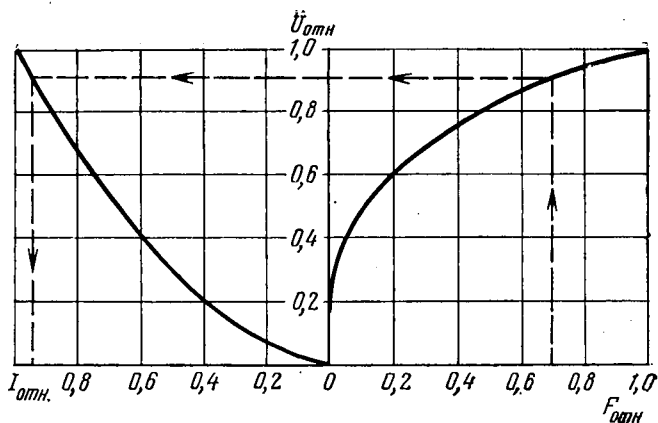


Рис. 13.5. Номограмма для определения относительных значений напряжения U и тока I для получения требуемого светового потока F ламп накаливания.

Полупроводниковые приборы свободны от перечисленных недостатков. Полупроводниковые диоды, триоды и симисторы, работающие в ключевом режиме, позволяют регулировать действующее значение напряжения путем подключения нагрузки к источнику переменного тока лишь на определенное время в пределах полупериода синусоидального напряжения.

Наиболее полно реализуются возможности полупроводниковых приборов при фазо-импульсном методе управления триодами и симисторами, заключающемся в подаче на управляющий электрод прибора импульса напряжения, после чего тот открывается на время от момента подачи импульса до конца полупериода. В следующий полупериод триод остается закрытым, а симистор может быть открыт очередным импульсом управления.

Мощные полупроводниковые регуляторы напряжения выпускаются промышленностью для управления технологическим оборудованием промышленных предприятий, например РНТО-190/63, и могут быть использованы при отсутствии воздействия на них агрессивной среды в птицеводческих помещениях.

На рисунке 13.5 приведена номограмма, построенная на основании зависимостей тока и светового потока ламп накаливания от напряжения. Задавшись отно-

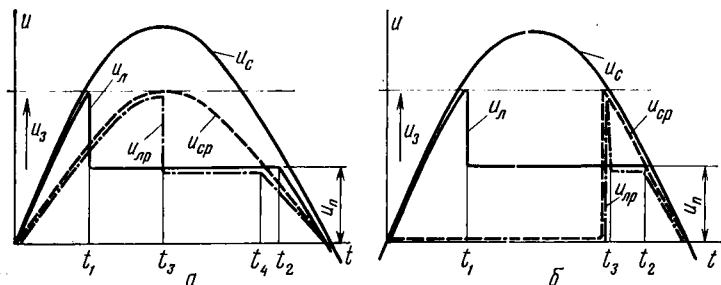


Рис. 13.6. К определению кратностей регулирования светового потока люминесцентных ламп:

а — при амплитудном регулировании напряжения; б — при регулировании напряжения тринисторным (симисторным) регулятором с фазо-импульсным методом управления.

сительным значением светового потока, по номограмме можно определить относительные значения требуемого напряжения на лампах накаливания и их тока.

Регулирование потока излучения люминесцентных ламп, рекомендованных Нормами освещения для животноводческих помещений, реализуется более сложно, чем ламп накаливания, вследствие особенностей процессов, протекающих в газоразрядных лампах.

Процесс изменения режима горения люминесцентной лампы при амплитудном регулировании напряжения показан на рисунке 13.6, а.

Для упрощения рассуждения ведутся в пределах длительности одного полупериода применительно к люминесцентной лампе с активным балластом.

Горение лампы при номинальном напряжении сети u_c длится с момента t_1 зажигания при напряжении u_3 до момента t_2 погасания лампы при напряжении u_n . При уменьшении амплитуды напряжения за счет регулирования до значения u_{cp} лампа горит с момента t_3 до момента t_4 . Дальнейшее понижение напряжения не имеет смысла, так как его амплитудное значение становится меньше напряжения зажигания, и лампа не зажжется. Кратность регулирования светового потока в этом случае определяется отношением длительностей периода $t_1...t_2$ и периода $t_3...t_4$, не превышающим двух. В действительности она еще меньше, так как за счет увеличения темновых пауз и усиленных поэтому процессов деионизации газоразрядного промежутка на-

пряжение перезажигания лампы увеличивается, что ведет к уменьшению кратности регулирования.

Процесс изменения режима горения люминесцентной лампы при тринисторном и симисторном регулировании с фазо-импульсным методом управления показан на рисунке 13.6, б.

Большинство полупроводниковых регуляторов света не предназначено для работы с газоразрядными лампами и требует на выходе, кроме люминесцентных ламп, постоянно включенных ламп накаливания мощностью не менее 40 Вт, установленных вблизи регулятора. Следует иметь в виду, кроме того, что при использовании регулятора увеличиваются пульсации светового потока ламп и радиопомехи, для борьбы с которыми в случае необходимости следует применять соответствующие фильтры.

В настоящее время отсутствуют рекомендации по использованию для освещения птицеводческих помещений газоразрядных ламп высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ), но в случае положительного решения этого вопроса имитация «рассвета» может быть обеспечена за счет естественного разгорания ламп, длящегося 10...15 мин.

Глава 14

ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАСТЕНИЙ В ИСКУССТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

§ 14.1. Общие сведения

Удовлетворение потребностей населения в свежих ценных овощах в течение всего года — одна из важнейших задач сельского хозяйства нашей страны. Выращивание таких высокоценных овощей, как помидоры и огурцы, в осенне-зимне-весенний период, когда в них ощущается особая потребность, возможно только в условиях теплиц или специальных культивационных сооружений.

В осенне-зимний период, когда уровень естественной облученности в теплицах совершенно недостаточен для нормального развития растений, используют облучательные установки, которые применяются для выполнения следующих задач:

- 1) выгонки ранней рассады овощей весной;
- 2) продления светового дня при выращивании овощей с использованием солнечного излучения;
- 3) выращивания зеленой подкормки для животных;
- 4) выгонки овощных растений для получения большой зеленой массы в стебле (луковичные);
- 5) выращивания овощей при полном отсутствии солнечного излучения;
- 6) выращивания цветочных культур и управления сроками их цветения в осенне-зимне-весенний период года.

Облучательные установки используются и для других целей, например в селекционной работе.

В последнее десятилетие широкое применение в научных целях получили сооружения и устройства для проведения исследований в области селекции, физиологии, генетики, испытания сортов растений в экстремальных условиях микроклимата и т. п.

Подобные устройства позволяют в несколько раз ускорить экспериментальные работы в области растениеводства, особенно в селекции, и, следовательно, значительно сократить сроки внедрения результатов в широкую практику.

§ 14.2. Анализ спектральных характеристик источников оптического излучения, используемых для облучения растений

В справочной литературе по электрическим источникам оптического излучения их светотехнические характеристики даются в системе световых величин, которые, как показано выше, непосредственно для расчета тепличных облучательных установок использованы быть не могут.

Один из основных параметров источника излучения — фитопоток — можно вычислить следующим образом.

График относительной спектральной интенсивности источника излучения (рис. 14.1, кривая 1) дается обычно в относительных единицах. Для определения его масштаба ординаты кривой 1 умножают на соответствующие им коэффициенты относительной спектральной чувствительности глаза человека $K_{\lambda c}$ (рис. 14.1, кривая $K(\lambda)_c$) и получают кривую 2. Площадь,

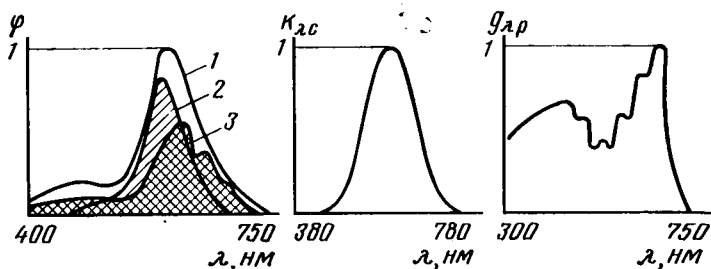


Рис. 14.1. К анализу спектральной характеристики источника излучения.

ограниченная кривой 2 и осью абсцисс, в некотором масштабе m представляет собой значение светового потока источника, выраженного в ваттах:

$$F = \int_{380}^{760} \varphi(\lambda) K(\lambda)_c d\lambda.$$

Значение светового потока источника в люменах по формуле (3.12)

$$F = 680 \int_{380}^{760} \varphi(\lambda) K(\lambda)_c d\lambda.$$

Масштаб площади, заключенной между кривой 2 и осью абсцисс,

$$m = \frac{F}{680S_2}.$$

Величину F , выраженную в люменах, берут из каталога, а площадь S_2 получают планиметрированием площади, ограниченной кривой 2 и осью абсцисс. Чтобы получить величину фитопотока F_ϕ данного источника излучения, достаточно умножить ординаты кривой 1 на соответствующие им коэффициенты относительной спектральной чувствительности листа растения $g_{\lambda p}$ (кривая $g(\lambda)_p$ на рисунке 14.1) и спланиметрировать площадь, образованную полученной кривой 3 и осями координат. В известном масштабе эта площадь представляет собой искомую величину F_ϕ в ваттах или в соответствии с определением единицы фитопотока —

в фитах. К.п.д. ($\text{фт} \cdot \text{Вт}^{-1}$) полного излучения источника в данном случае определится в соответствии с выражением (5.1):

$$\eta_{\Phi} = \frac{\int_{380}^{760} \varphi(\lambda) g(\lambda)_p d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) d\lambda}.$$

Численное значение величины η_{Φ} определяется частным S_3/S_1 , где S_3 — площадь, ограниченная кривой 3 и осями координат; S_1 — площадь, ограниченная кривой 1 и осью абсцисс.

Для перехода от величин световой системы к эффективным величинам можно пользоваться коэффициентом

$$K_{\Phi} = \frac{F_{\Phi}}{F}, \quad (14.1)$$

где F_{Φ} — фитопоток, выраженный в соответствующих единицах, например в фитах; F — световой поток в люменах.

Эффективность источника излучения с точки зрения энергетических затрат достаточно полно характеризуется в соответствии с выражением (5.2) его фитоотдачей ($\text{фт} \cdot \text{Вт}^{-1}$)

$$H_{\Phi} = \frac{F_{\Phi}}{P},$$

где P — мощность источника излучения, включая потери в пуско-регулирующем устройстве.

На рисунках 10.6 и 10.8 показаны спектральные характеристики источников излучения, применяемых в теплицах, анализ которых показывает, что даже для конструктивно идентичных облучательных установок, выполненных на базе, например, люминесцентных ламп, при равной удельной мощности и равных прочих условиях только за счет их различной единичной мощности и спектрального состава разница в уровне фитооблученности растений может достигать 50...80%. Влияние многих других факторов, например расстояния от источников излучения до растений, может приводить к разнице в уровне фитооблученности растений в три и более раза при одинаковой удельной мощности. Это означает, что расход электрической энергии

для обеспечения заданных условий облучения растений в действующих и проектируемых установках может во столько же раз превосходить минимально необходимый.

Необходимо отметить, что весьма важные показатели источников излучения ($\eta_{\text{ф}}$ и $H_{\text{ф}}$) не являются исчерпывающими при сравнительной оценке и окончательном выборе типа источника излучения. Следует учитывать полезный срок службы, стоимость источника, эксплуатационные расходы и другие показатели, которые рассматриваются в § 18.1.

При выборе типа источника излучения для облучательной установки следует обращать серьезное внимание на эксплуатационные характеристики источников, имея в виду специфические условия работы их в теплицах: высокую влажность и температуру, возможные значительные отклонения напряжения от номинального значения, возможность попадания влаги на колбы при поливе растений, особо опасные условия с точки зрения поражения электрическим током обслуживающего персонала.

§ 14.3. Конструкции тепличных облучательных установок и требования, предъявляемые к ним

Уровень облученности, требующийся для нормального развития и формирования растений, выращиваемых в искусственных условиях, если его условно выразить в единицах световой системы величин, должен составлять не менее 6...8 тыс. лк. Это в десятки и более раз выше нормированных освещенностей в обычных осветительных установках.

Для создания столь высоких уровней облученности требуется весьма значительная удельная установленная мощность источников излучения, достигающая $400 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ и более. Такие высокие установленные мощности не встречаются в осветительных установках. К этому надо добавить специфические требования к облучательным установкам и конструктивные особенности их, чтобы стало ясно, что разработанные справочные материалы, сложившиеся методы расчета и конструирования осветительных установок непригодны для проектирования тепличных облучательных установок.

Применяемые в настоящее время конструкции облучательных установок разнообразны по конструктив-

ному исполнению и типу используемых источников излучения.

Принципиально в облучательных установках можно использовать любой из типов источников, излучение которых находится в пределах от 300 до 750 нм. Однако эффективность их, как это было показано, будет различной. Кроме этого, их эксплуатационные свойства применительно к специфическим условиям окружающей среды в теплицах могут по-разному влиять на срок службы и надежность работы. Промышленность выпускает ряд источников оптического излучения, предназначенных для облучения растений, выращиваемых в искусственных условиях, о них шла речь выше.

Облучательные установки, используемые в практическом овощеводстве тепличных хозяйств и комбинатов, по конструктивным признакам можно разделить на стационарные, передвижные и подвижные. Как правило, в стационарных установках используются газоразрядные источники излучения сравнительно большой единичной мощности. Такие установки требуют наименьших затрат на их обслуживание, и поэтому технический персонал предпочтение отдает им. Однако такие установки требуют значительно больших установленных мощностей, чем при использовании передвижных установок. Стационарные установки, выполненные на базе специальных растениеводческих газоразрядных ламп низкого давления, более эффективны, но надо учитывать и тот факт, что вместо одной лампы, например, мощностью 1000 Вт придется устанавливать 20...30 ламп низкого давления, что затрудняет эксплуатацию установок.

Передвижные установки позволяют при прочих равных условиях не менее чем в два раза уменьшить установленную мощность для облучения растений на одинаковой площади при том же расходе электроэнергии, потому что одна установка поочередно может работать на двух и более участках, облучая растения в разные периоды суток. Конструкция таких установок несколько сложнее стационарных, поскольку требует устройств для передвижения облучательной установки с одного участка на другой.

В такого рода установках при выращивании рассады можно использовать газоразрядные лампы как низкого, так и высокого давления.

При использовании подвижных облучательных установок удастся значительно улучшить условия облучения растений за счет более равномерного распределения облученности по поверхности растений. Наряду с установками, движущимися возвратно-поступательно, разработаны установки, движущиеся по окружности (карусельные) и питающиеся от сети повышенной частоты. Повышение частоты, как было показано выше, существенно облегчает балластные устройства для газоразрядных ламп как низкого, так и высокого давления, повышает эффективную отдачу источников оптического излучения.

Работы по использованию повышенной частоты для облучательных установок интенсивно ведутся в Научно-исследовательской лаборатории Горского сельскохозяйственного института (г. Орджоникидзе).

Назначение облучательных установок и особенности их работы в условиях теплиц обуславливают ряд специальных требований к облучательным установкам. Важнейшие из них следующие.

1. Спектральный состав энергии излучения должен быть благоприятным для осуществления процесса фотосинтеза и не содержать излучений, угнетающе действующих на развитие растений.

2. Облученность должна равномерно распределяться по поверхности растений и быть достаточной для протекания основных процессов в развитии растений и формировании урожая.

3. Установка не должна перегревать растения и мешать уходу за ними.

4. Применение облучательной установки должно быть рентабельным.

5. Устройство и эксплуатация облучательной установки должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к электрическим устройствам, работающим в помещениях с особой опасностью поражения электрическим током обслуживающего персонала.

§ 14.4. Основные положения расчета тепличных облучательных установок

В практике проектирования облучательных установок в растениеводстве в настоящее время пользуются весьма простым, но неудовлетворительным методом, в

основу которого положены нормативы удельной электрической мощности источников излучения в ваттах на квадратный метр облучаемой поверхности. Существенные погрешности этого метода объясняются тем, что норматив удельной мощности источников излучения, принимаемый в качестве единственного критерия, не может определять собой степень эффективности воздействия облучательной установки на растения, так как при данной удельной мощности эффективность установки зависит от следующих факторов:

- а) спектрального состава излучения используемых источников;
- б) эффективной отдачи источников;
- в) расстояния между источниками излучения и растениями;
- г) конструктивного исполнения облучательной установки.

При расчете тепличных облучательных установок необходимо учитывать следующие положения.

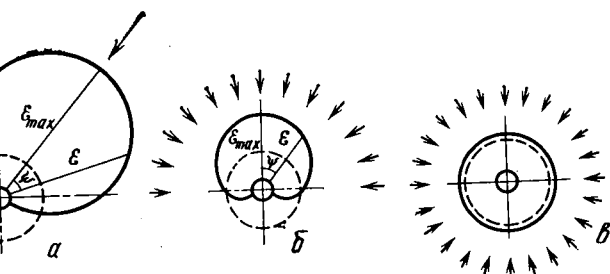
1. Резкое различие кривых относительной спектральной чувствительности растений и глаза человека исключает возможность использования в расчетах световых величин и единиц их измерения.

2. Существующая система эффективных величин применительно к таким приемникам оптического излучения, как зеленые растения, не является общепринятой.

3. Существенное различие спектральных характеристик используемых источников излучения не позволяет судить о степени эффективности того или иного из них по каталожным данным; требуется специальный анализ их спектральных характеристик.

4. Растения являются объемными объектами со сложным рельефом поверхности, поэтому уровень облученности более правильно характеризовать значением средней сферической облученности.

Средняя сферическая облученность численно равна средней плотности потока излучения, падающего на поверхность сферы исчезающе малого радиуса с центром в исследуемой точке. Распределение облученности по поверхности сферы можно показать графически. Очевидно, что характер распределения облученности будет определяться геометрическими свойствами излучателя.



14.2. К определению сферической облученности при различных видах излучателей.

точечном источнике (рис. 14.2, а) сферическая облученность в данной точке сферы

$$\epsilon_{\text{сф}} = \epsilon_{\perp} \cos \psi, \quad (14.2)$$

угол между нормалью в данной точке сферы и прямой, соединяющей центр сферы с источником; $\epsilon_{\perp}$ — облученность участка, обращенного к излучателю, $\text{фт} \cdot \text{м}^{-2}$.

Переместив центр сферы с началом полярных координат вдоль радиусов в принятом масштабе облученностей, определяемых по выражению (14.2), соединив концы отложенных отрезков плавной кривой, получим, как это следует из выражения (14.2), среднюю облученность (сплошная линия на рисунке 14.2, а).

Важно знать среднее значение сферической облученности. При точечном излучателе соотношение между максимальной и средней сферической облученностью на поверхности сферы исчезающе мало. В общем случае среднее значение сферической облученности имеет вид:

$$\epsilon_{\text{сф.ср}} = \frac{\epsilon_{\text{max}}}{4}. \quad (14.3)$$

Если излучателем является равномерно излучающая полусфера (рис. 14.2, б), то сферическая облученность определяется по выражению

$$\epsilon_{\text{сф}} = \epsilon_{\perp} \cos^2 \frac{\psi}{2},$$

угол между вертикалью и нормалью в данной точке

характер распределения облученности по поверхности сферы для данного случая показан сплошной линией.

нией. Подобное распределение облученности в естественных условиях при равномерной плотности. При этом соотношение между средней фотосинтетической облученностью и максимальной имеет

$$E_{\text{сф.ср}} = \frac{E_{\text{max}}}{2}.$$

Если излучателем является равномерно освещенная сфера (рис. 14.2, в), сферическая облученность будет одинаковой во всех направлениях. Кривые распределения сферической и средней сферической облученности совпадут и будут представлять собой окружности с центром, совпадающим с центром сферы. Для этого случая

$$E_{\text{сф.ср}} = E_{\text{max}}.$$

В настоящее время вопросы нормирования фотосинтетической облученности недостаточно разработаны. Поэтому в подавляющем большинстве случаев пользуются понятием горизонтальной облученности.

Расчет облучательной установки должен вестись с учетом интенсивности основных реакций фотосинтеза на оптическое излучение.

В качестве такой зависимости основных фотосинтетических процессов от спектрального состава падающего излучения может быть принята, например, спектральная чувствительность среднего листа (рис. 2.1, б).

Необходимо отметить, что степень достоверности этой кривой так же, как и других подобных кривых, полученных различными авторами, может быть большей или меньшей. Дальнейшие исследования позволяют установить истинную эталонную кривую основных фотосинтетических процессов растения на оптическое излучение, но это в настоящее время не изменит основных положений изложенного метода расчета тепличных облучательных установок.

Несмотря на то, что, как отмечалось выше, из предложенных различными авторами систем сравнительных величин применительно к таким приемам выращивания растений, пока не вошла в ГОСТ, мы пользуемся одной из них, вошедшей в ГОСТ 1027—74, построенной на основе кривой спектральной чувствительности среднего листа (§ 2.4).

§ 14.5. Расчет облучательных установок с точечными источниками излучения

При конструировании облучательных установок, в которых используются точечные излучатели и стандартные облучатели с симметричным распределением потока излучения в пространстве, практически трудно обеспечить равномерное распределение облученности по облучаемой поверхности. Вместе с тем представляется возможным конструировать установки с заданной минимальной облученностью при заданной степени неравномерности.

Расположение облучателей определяется характером пространственного распределения их потока излучения и основными размерами облучаемой площади.

Высота подвеса h облучателей над растениями зависит от типа источника излучения и выбирается так, чтобы обеспечить заданный уровень облученности и вместе с тем не перегреть растения (обычно для стационарных установок с точечными излучателями $h > 0,5$ м).

Расчет целесообразно вести по минимальной облученности, причем коэффициент минимальной облученности $Z = \frac{E_{\phi, \min}}{E_{\phi, \max}}$ не следует принимать менее 0,8.

На рисунке 14.3, а h и r имеют одинаковый масштаб. Пользуясь кривой пространственного распределения потока излучения (рис. 14.3, а, кривая 1) принятого типа облучателя, строят кривую распределения создаваемой им облученности как функции расстояния r при $h = \text{const}$ (кривая 2, рис. 14.3, а). Ординаты искомой кривой для различных значений r вычисляют по следующим выражениям:

для горизонтальной облученности на основании выражений (3.15) и (14.1)

$$E_{\phi} = I_{\alpha} \cos \alpha (l_{\alpha} m_i)^{-2} K_{\phi}, \quad (14.6)$$

где I_{α} — сила света под углом α , определяемая по кривой пространственного распределения потока излучения принятого облучателя, кд; l_{α} — расстояние на чертеже от светового центра облучателя до точки, в которой вычисляется облученность; m_i — масштаб l_{ϕ} ;

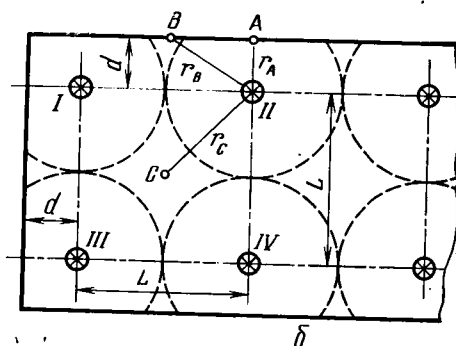
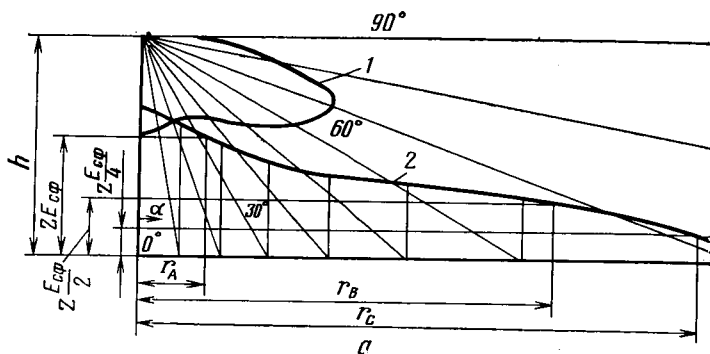


Рис. 14.3. К расчету облучательной установки с точечными излучателями: а — построение характеристики распределения облученности по стеллажу; б — расположение облучателей на плане стеллажа и определение наименьших допустимых расстояний между ними.

для сферической облученности на основании выражений (14.5) и (14.1)

$$E_{\text{ф.сф}} = I_{\alpha} 0,25 (l_{\alpha} m_l)^{-2} K_{\text{ф}}. \quad (14.7)$$

Расчет по сферической облученности выполняют следующим образом.

Расположив на плане стеллажа облучатели, находят характерные точки, в которых облученность может оказаться минимальной. На рисунке 14.3, б в качестве примера показано расположение облучателей по вершинам квадратов. Допустим, что наихудшими по условиям облученности являются точки А, В и С. Чтобы обеспечить в этих точках выполнение условия $E_{\text{сф}} \geq E_{\text{сф.макс}} Z$, необходимо определить максимально допустимые расстояния на плане от облучателя II до точек А, В, С (r_A , r_B , r_C). Для этого по кривой $E_{\text{сф}} = f(r)$ (рис. 14.3, а, кривая 2) находят r_A , при котором

$E_{\text{асф}} \geq E_{\text{сф.мак}} Z$. Влияние дополнительной облученности в точке A от облучателей I и III можно учесть при окончательном размещении облучателей на плане стеллажа.

Максимальное расстояние L между облучателями выбирают так, чтобы обеспечить в характерных точках B и C выполнение условия $E_{\text{сф}} \geq E_{\text{сф.мак}} Z$. Для этого по кривой 2 определяют r_B при $E_{\text{сф.В}} = \frac{E_{\text{сф.мак}}}{2} Z$ и $r_{C \text{ п.н}}$

$E_{\text{сф.С}} = \frac{E_{\text{сф.мак}}}{4} Z$. Искомое расстояние $L = 2\sqrt{r_B^2 - d^2}$,

в то же время $L = r_C \sqrt[4]{2}$. Меньшее из двух полученных значений L принимается как максимальное допустимое расстояние между облучателями при расположении их по вершинам квадратов. Таким образом можно провести расчет и при ином расположении облучателей.

§ 14.6. Расчет облучательных установок с линейными источниками излучения

В облучательных установках, как передвижных, так и стационарных, наиболее часто применяются люминесцентные лампы, располагаемые в большом числе горизонтально над облучаемой поверхностью на небольшой высоте (0,05...0,25 м).

Расчет облученности, создаваемой подобными конструкциями в любой точке облучаемой поверхности, весьма громоздок и не имеет практического смысла. При проектировании более важен расчет средней облученности в пределах, например, площадки шириной 1 м и длиной, равной длине люминесцентных ламп, используемых в данной установке. Поток, падающий от ряда (блока) люминесцентных ламп на облучаемую поверхность, не равен суммарному потоку ламп из-за его потерь в окружающее пространство и поглощения смежными лампами.

Горизонтальную облученность под блоком люминесцентных ламп (рис. 14.4) можно вычислить по выражению

$$E_{\text{ф}} = \frac{F_{\text{л}} K_{\text{ф}}}{Ll} (n-1) \eta_{\text{бл}}, \quad (14.8)$$

где $F_{\text{л}}$ — световой поток одной лампы принятых в расчете типа и мощности, лм; L — длина люминесцентной лампы, м; l — ширина

блока ламп, равная 1 м; n — число ламп в блоке ($n > 1$); $\eta_{\text{бл}}$ — коэффициент полезного действия блока ламп, зависящий от значения потерь потока излучения за счет поглощения его смежными лампами и потерь в окружающее пространство.

В выражении (14.8) дробь правой части является для данного типа люминесцентных ламп величиной постоянной и может быть обозначена через μ . Запишем выражение (14.8) иначе:

$$E_{\phi} = \mu e_{\phi}, \quad (14.9)$$

где $\mu = \frac{F_{\text{л}} K_{\phi}}{L l}$ — постоянная величина, зависящая от каталожных данных источника излучения и ширины облучаемой площадки; $e_{\phi} = (n - 1) \eta_{\text{бл}}$ — относительная облученность, зависящая от высоты h , числа ламп в блоке при данной его ширине и не зависящая от светотехнических свойств люминесцентных ламп.

Пользуясь выражением (14.9) и справочным графиком $e_{\phi} = f(n)$ (рис. 14.5), можно определить удельное число люминесцентных ламп в блоке шириной 1 м, требующееся для обеспечения необходимой облученности. Для этого, выбрав тип и мощность люминесцентных ламп, вычисляют значение μ . Исходя из требуемой облученности, подсчитывают $e_{\phi} = \frac{E_{\phi, \text{г}}}{\mu}$. По графику зависимости относительной облученности от удельного числа ламп в блоке и высоте его расположе-

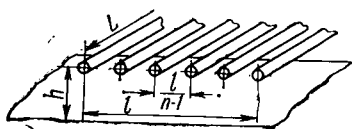


Рис. 14.4. К расчету облученности, создаваемой на стеллаже блоком люминесцентных ламп.

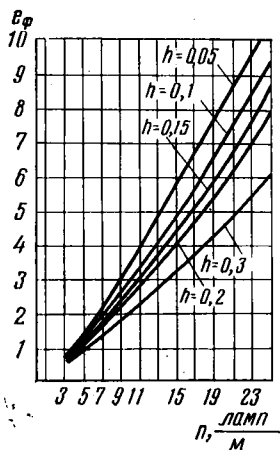


Рис. 14.5. Зависимость относительной облученности от числа люминесцентных ламп в блоке и высоты их расположения над облучаемой поверхностью.

ния над облучаемой поверхностью (рис. 14.5) определяют искомое число люминесцентных ламп.

Если расчет ведется по средней сферической облученности, то для больших площадей облучения при расположении излучателей в горизонтальной плоскости можно пользоваться соотношением

$$E_{\text{ф.сф}} = (0,57 \dots 0,67) E_{\text{ф.г.}}$$

Глава 15

УСТАНОВКИ ДЛЯ УФ ОБЛУЧЕНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

§ 15.1. Биологическое действие УФ излучения

УФ излучение — один из важных факторов внешней среды, оказывающих большое влияние на жизнедеятельность живых организмов.

Биологическое действие УФ излучения на организм сельскохозяйственных животных проявляется через фотохимические реакции в кожных покровах, слизистых оболочках и органах зрения, а также через воздействие озона, окислов азота, аэроионов, возникающих при УФ облучении.

Под действием УФ излучения в коже животных происходит реакция образования из пассивного провитамина активно действующего витамина *D*, играющего важную роль в регулировании обмена веществ. При недостатке витамина *D* нарушается минеральный, белковый и углеводно-жировой обмен. Следствием этого являются такие заболевания, как ацидоз, остеомалация, рахит и др. При этом задерживаются рост и развитие молодняка, учащаются заболевания, снижается продуктивность взрослых животных и птицы.

Кроме витамина *D*, в коже образуются и другие биологически активные вещества, которые током крови распространяются по всему организму и оказывают благотворное влияние на большинство протекающих в нем процессов.

Под влиянием УФ излучения улучшается усвояемость кормов, увеличивается на 7...12% молочная, мясная, яичная и шерстяная продуктивность, усиливается воспроизводительная функция, приплод появляется на

свет более жизнеспособным и устойчивым к заболеваниям.

Поздней осенью и зимой в средней и северной зонах нашей страны количество естественного УФ излучения, достигающего поверхности земли, сокращается в десятки раз по сравнению с весенне-летним периодом. Естественное УФ излучение в помещениях вовсе отсутствует, поэтому животные и птица, содержащиеся в них, испытывают острую УФ недостаточность.

Существуют различные способы восполнения недостатка витамина D у животных и птицы:

1) добавление в кормовой рацион витаминных подкормок — способ широко распространенный, но весьма дорогостоящий;

2) УФ облучение кормов с целью обогащения их витамином D;

3) УФ облучение непосредственно животных и птицы, испытывающих ультрафиолетовую недостаточность.

Экономическая целесообразность и эффективность искусственного УФ облучения животных и птицы доказаны многочисленными исследованиями и подтверждены практическим опытом передовых сельскохозяйственных предприятий.

УФ облучение крупного рогатого скота улучшает его иммунобиологические свойства, повышает надой молока на 5...13%, привесы молодняка на 7...13%, излечивает рахит и грибковые заболевания животных.

УФ облучение цыплят, утят, индеек и кур заменяет кормовые источники витамина D и часто оказывается даже более эффективным благодаря лучшей сохранности птицы, увеличению на 10...15% яичной продуктивности кур-несушек, повышению на 4...11% приростов цыплят-бройлеров и мясных утят. Облучение яиц перед инкубацией повышает выводимость на 5...10%.

Известно множество примеров эффективного использования УФ излучения в овцеводстве, кролиководстве, звероводстве и т. д.

На результатах исследований и опыте применения УФ излучения в технологических процессах животноводства и птицеводства основаны рекомендации МСХ СССР о широком использовании УФ облучения в проектируемых, строящихся и реконструируемых животноводческих помещениях всех зон страны.

Таблица 15.1

Вид и возрастная группа животных	Доза облучения в сутки, мэр·ч·м ⁻²
Телята до 6 месяцев	120...140
Телята старше 6 месяцев	160...180
Телки и нетели	180...210
Коровы и быки	270...290
Поросята-сосуны	20...25
Поросята-отъемыши	60...80
Поросята на откорме и свиноматки	80...90
Овцематки	245...260
Ягнята с трехдневного возраста до отбивки	220...240
Цыплята при содержании на полу	15...20
Цыплята при содержании в клетках с решетчатыми передними стенками (с учетом затеняющего действия клеток)	20...25
То же, со штампованными передними стенками	40...50
Куры-несушки при содержании на полу	20...25
Куры-несушки при содержании в клетках (с учетом затеняющего действия решетчатых стенок клеток)	40...50

УФ облучение сельскохозяйственных животных нужно проводить на фоне удовлетворительных условий содержания и кормления при неукоснительном соблюдении рекомендуемых доз.

Рекомендуемые суточные дозы УФ облучения, определенные экспериментально при использовании ламп ДРТ и ЛЭ, приведены в таблице 15.1.

Доза облучения есть рекомендованное на основании биологических исследований количество облучения, воздействие которого на объект вызывает требуемый эффект.

Количество эритемного облучения A_3 равно произведению эритемной облученности E_3 на продолжительность облучения t :

$$A_3 = E_3 t. \quad (15.1)$$

Как видно из выражения, одну и ту же дозу облучения можно получить при множестве сочетаний облученности с продолжительностью облучения. При облучении живых организмов с целью повышения их продуктивности более предпочтительно сочетать малую облученность с большой продолжительностью времени облучения, не превышающей, однако, продолжительность светового дня.

§ 15.2. Стационарные установки для УФ облучения животных и птицы

В стационарных установках используют эритемные облучатели ЭО1-30М, ОЭ1 и ОЭ2 с люминесцентными эритемными лампами ЛЭ 30-1, реже дуговые ртутно-кварцевые лампы ДРТ 400 в арматуре ЛРК-2М, иногда дуговые ртутно-вольфрамовые эритемные лампы ДРВЭД 220-160 в арматуре «Астра-12», УПМ-15 и других светильников пылезащищенного исполнения для ламп мощностью до 200 Вт.

Для расчета таких установок принципиально могут быть применены методы, используемые в расчетах осветительных установок (гл. 12) с учетом некоторых специфических условий.

Дозирование УФ излучения при стационарной установке ведется по времени ее работы при известном значении облученности на расчетной поверхности. За расчетную принимается точка с наилучшими условиями облучения, что объясняется необходимостью избежать переоблучения животных.

Лишь при достаточной равномерности распределения облученности можно ожидать, что каждое животное или птица получит требуемую дозу облучения, поэтому коэффициент минимальной облученности

$$Z_{\varepsilon} = \frac{E_{\varepsilon, \min}}{E_{\varepsilon, \max}} \geq 0,8, \quad (15.2)$$

где $E_{\varepsilon, \min}$ и $E_{\varepsilon, \max}$ — соответственно минимальная и максимальная эритемные облученности на расчетной поверхности.

Расчет стационарных облучательных установок точным методом выполняют в следующем порядке.

1. Определяют дозу облучения в соответствии с «Рекомендациями по применению ультрафиолетового излучения в животноводстве и птицеводстве».

2. Выбирают типы источника излучения и облучателя.

3. Располагают облучатели на плане помещения, руководствуясь теми же принципами, что и при расчете осветительной установки.

4. Выявляют контрольные точки на расчетной поверхности с наихудшими и наилучшими условиями облучения и определяют значения облученности в них.

Облученность $E_э$ (мэр·м⁻²) в точке на расчетной поверхности, создаваемую действием одного или нескольких ближайших облучателей, вычисляют по выражению

$$E_э = \frac{\mu}{h^2 k} \Sigma I_{э\alpha} \cos^2 \alpha \cos \beta, \quad (15.3)$$

где h — расчетная высота подвеса облучателей; k — коэффициент запаса, принимаемый обычно в пределах от 1,8 до 2,2; μ — коэффициент добавочной облученности, создаваемой неучтенными облучателями и за счет отражения излучения от стен и потолка, принимаемый в пределах от 1,1 до 1,3; $I_{э\alpha}$ — пространственная плотность эритемного потока облучателя под углом α к оси облучателя, определяемая по характеристике пространственного распределения потока излучения облучателя, мэр·ср⁻¹; β — угол падения потока излучения на расчетную плоскость.

В частном случае, если ось облучателя перпендикулярна расчетной плоскости, то углы α и β равны.

Если характеристика пространственного распределения потока излучения облучателя, устанавливаемого на высоте 3...5 м, неизвестна или используются светильники, предназначенные для осветительных люминесцентных ламп и покрытые белой эмалью, почти не отражающей эритемных излучений, то с некоторой степенью приближения для расчета облученности $E_э$ можно воспользоваться выражением

$$E_э = \frac{I_{э,0}}{100} \frac{e}{h^2}, \quad (15.4)$$

где $I_{э,0}$ — пространственная плотность эритемного потока лампы в плоскости, перпендикулярной ее оси, мэр·ср⁻¹; e — относительная эритемная облученность при $I_{э,0} = 100$ мэр·ср⁻¹ и $h = 1$ м; h — высота размещения облучателя над расчетной плоскостью, м.

Значения относительной эритемной облученности в зависимости от координат расчетной точки можно определить по кривым равных облученностей (рис. 15.1).

Если вычисление облученности в контрольных точках обнаружит меньший заданного коэффициент минимальной облученности, то следует, изменяя расположение облучателей и их число, добиться должной равномерности распределения облученности.

5. Определяют требующуюся продолжительность работы установки по выражению

$$t = \frac{A_э}{E_{э, \max}}, \quad (15.5)$$

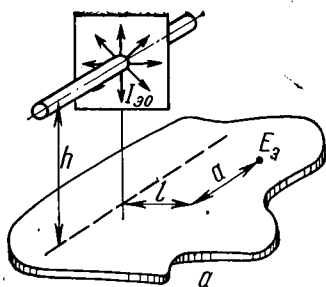
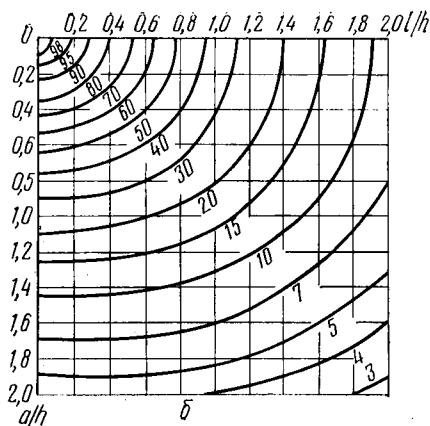


Рис. 15.1. К расчету стационарных облучательных установок:

a — определение координат расчетной точки; *b* — кривые равной облученности на плоскости под линейным источником излучения.



где A_2 — заданная доза эритемного облучения, мэр·ч·м⁻²; $E_{2, \max}$ — максимальная эритемная облученность на расчетной плоскости, мэр·м⁻²; t — продолжительность работы установки, ч.

Для расчета стационарных облучательных установок может быть применен метод, сходный с известным методом расчета осветительных установок по коэффициенту использования светового потока (ЧИМЭСХ, В. А. Козинский). Метод предназначен для расчета облученности, создаваемой облучателями с косинусным распределением пространственной плотности потока излучения и равномерно распределенной по горизонтальной поверхности.

Расчет выполняют в следующем порядке.

1. Определяют рекомендуемую дозу облучения.
2. Выбирают типы источника излучения и облучателя.
3. Располагают облучатели на плане помещения в соответствии с рекомендованным для облучателей с косинусным распределением пространственной плотности излучения относительным расстоянием $\lambda = 1,59$.

Требуемое число облучателей N определяют, исходя из площади облучаемой поверхности S , рекомендованного λ и расчетной высоты размещения облучателей h по выражению $N = \frac{S}{(\lambda h)^2}$.

4. Определяют коэффициент использования потока излучения источников I_3 по приближенной формуле

$$I_3 = \frac{0,5 (\eta_{\text{св}} + \rho_a) I}{\eta_{\text{св}}},$$

где $\eta_{\text{св}}$ — к.п.д. светильника; ρ_a — коэффициент отражения арматурой светильника потока УФ излучения; I — коэффициент использования светового потока, зависящий от типа светильника и индекса помещения при коэффициентах отражения, равных нулю.

5. Определяют коэффициент запаса k , учитывающий уменьшение потока излучения источников на протяжении срока их службы:

$$k = \frac{F_{\text{л.н}}}{F_{\text{л}}},$$

где $F_{\text{л.н}}$ и $F_{\text{л}}$ — эффективные потоки излучения ламп соответственно номинальный и по истечении определенного срока горения.

Коэффициент запаса применительно к ультрафиолетовым газоразрядным лампам приведен в таблице 15.2.

Т а б л и ц а 15.2

Продолжительность горения ламп, ч	Коэффициент запаса k	Продолжительность горения ламп, ч	Коэффициент запаса k
0	1,0	600	1,82
100	1,25	1000	2,0
200	1,45	1500	2,2
400	1,67	2000	2,26

6. Определяют среднюю облученность горизонтальной поверхности

$$E_{\text{ср}} = \frac{F_{\text{л}} N I_3}{S k}, \quad (15.6)$$

где $F_{\text{л}}$ — эффективный поток излучения источника, мэр; N — число облучателей; I_3 — коэффициент использования потока излучения; S — площадь облучаемой поверхности, м²; k — коэффициент запаса.

7. Определяют требующуюся продолжительность работы установки:

$$t = \frac{A_3}{E_{\text{ср}}}.$$

Ввиду того что поток излучения ламп на протяжении их срока службы уменьшается, необходимо при

эксплуатации корректировать продолжительность работы установки, основываясь на значении коэффициента запаса, соответствующего времени наработки ламп.

Показанным методом можно рассчитывать установки как с эритемными, так и с бактерицидными газоразрядными лампами низкого давления.

Необходимо отметить, однако, что этот метод приближенный и более целесообразно для расчетов стационарных облучательных установок применять точечный метод, позволяющий определить минимальное и максимальное значения облученности при низких коэффициентах отражения УФ излучения потолком и стенами производственных помещений сельскохозяйственного назначения.

§ 15.3. Установки для одновременного УФ облучения животных и освещения помещений

«Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий, сооружений» предписывают обеспечивать в животноводческих и птицеводческих помещениях определенную биологически необходимую и экономически обоснованную освещенность с учетом «Рекомендаций по применению ультрафиолетового облучения в животноводстве и птицеводстве».

Совместное действие на объект облучения видимого и УФ излучений вызывает эффект, превосходящий сумму эффектов от их раздельного воздействия. Благоприятное действие комбинированного излучения отмечается многими исследователями.

Осуществить комбинированное облучение сельскохозяйственных животных и птицы можно при помощи различных средств облучения.

1. Облучение животных и освещение помещений можно выполнять при помощи отдельных облучательной и осветительной установок. Облучательная установка в этом случае может быть стационарной с эритемными люминесцентными лампами или подвижной с дуговыми ртутно-кварцевыми лампами. Могут применяться и переносные облучатели типа ОРК или ОРКШ с лампами ДРТ 400. Наряду с облучательной установкой в помещении должна быть смонтирована и осветительная установка на базе люминесцентных ламп.

Обе установки должны иметь отдельные сети питания и управления, отдельные облучатели и светильники, а также конструкции для их крепления. Над таким бесспорным преимуществом, как безотказность работы ламп ДРТ в условиях животноводческих помещений, превалируют такие недостатки, как высокая металлоемкость отдельных конструкций установок, повышенные стоимость и сложность эксплуатации из-за большого числа источников излучения и большой протяженности сетей. Кроме того, облучательные установки с мощными лампами ДРТ создают высокую облученность, а значит, работают весьма малое время, что отрицательно сказывается на экономичности их использования.

2. Облучение животных и освещение помещений можно выполнять при помощи осветительно-облучательной установки на базе двухламповых светильников-облучателей, в которых установлены эритемная и осветительная люминесцентные лампы. Примером такого облучателя может служить выпускаемый промышленностью облучатель ОЭСПО2 с лампами ЛБР 40 и ЛЭР 40. Лампы подключают к разным группам электрической сети, и ими можно управлять независимо одной от другой. Такая осветительно-облучательная установка менее металлоемка, во многих случаях ее использование экономически оправдано, но затраты на монтаж все же высоки из-за значительной протяженности электрической сети.

3. Осветительно-облучательная установка может быть создана на базе эритемно-осветительных ламп, излучение которых содержит как видимое, так и УФ излучения с длиной волны более 280 нм. Таковы лампы ЛЭО 15, ЛЭО 15П и ДРВЭД 220-160. Указанные лампы обеспечивают на протяжении работы установки УФ облучение животных и освещение помещения. Установки отличаются лаконичностью и пониженной в 2...3 раза металлоемкостью конструкции, уменьшенными расходами на эксплуатацию, на монтаж облучателей и проводки. Недостатки установки обусловлены невысокой надежностью зажигания и работы газоразрядных ламп низкого давления при пониженных температурах, повышенной влажности и в условиях агрессивной окружающей среды. Дуговые ртутно-вольфрамовые лампы свободны от этих недостатков, но малый срок службы и высокая стоимость препятствуют их широко-

му использованию в облучательных установках сельскохозяйственного назначения.

Эритемно-осветительные лампы имеют фиксированное соотношение видимого и ультрафиолетового потоков излучения, которое зависит от количественного соотношения соответствующих люминофоров у ламп ЛЭО 15 или от соотношения ширины прозрачной и покрытой люминофором полос на внутренней поверхности колбы ламп ЛЭО 15П.

Фиксированное соотношение излучений ламп ЛЭО однозначно определяет возможность их использования лишь для обеспечения конкретной дозы эритемного облучения при заданной продолжительности светового дня в животноводческом помещении.

Для обеспечения регламентированной дозы эритемного облучения при уменьшении ультрафиолетового потока во время эксплуатации ламп возникает необходимость увеличивать время их ежедневной работы, что связано с увеличением расхода электроэнергии и удлинением светового дня сверх оптимальной продолжительности. В противном случае, сохраняя неизменной продолжительность светового дня, приходится мириться с уменьшением количества облучения относительно регламентированной дозы, что также отрицательно сказывается на экономической эффективности осветительно-облучательной установки.

Следует отметить, что установки с осветителями-облучателями ОЭСПО2 и отдельным управлением ламп свободны от этого существенного недостатка.

Расчет осветительно-облучательных установок имеет характерную особенность, состоящую в том, что его следует выполнять в два этапа отдельно по эритемной облученности и по освещенности, причем определяющим является расчет по облученности из-за опасности переоблучения животных. Расчеты можно выполнять точечным методом, исходя из оптико-технических характеристик источников излучения и светильников-облучателей.

Расчет осветительно-облучательной установки с отдельным управлением осветительными и эритемными лампами выполняют в такой последовательности.

1. Определяют продолжительность работы осветительной части установки, исходя из оптимального светового режима содержания животных или птицы.

2. Вычисляют ориентировочное значение требуемой эритемной облученности $E_э$, основываясь на регламентированной дозе облучения $A_э$ и продолжительности работы $t_э$ облучательной части установки, сокращенной на 25...30% относительно продолжительности работы t_c осветительной части:

$$E_э = \frac{A_э}{0,7t_c}.$$

Сокращать вначале продолжительность работы эритемной части относительно осветительной части установки необходимо потому, что УФ поток излучения ламп в процессе их работы уменьшается и его придется компенсировать увеличением продолжительности работы эритемной части установки. При этом нужно соблюдать условие $t_э \leq t_c$, то есть продолжительность облучения не должна превосходить продолжительности освещения.

3. Размещают светильники-облучатели на плане помещения, руководствуясь рекомендуемым при косинусном распределении пространственной плотности потока излучения относительным расстоянием между их рядами $\lambda = 1,59$.

4. Точечным методом выполняют расчет требуемого эритемного потока облучающих линий, исходя из ориентировочного значения эритемной облученности, и komponуют линии из светильников-облучателей.

5. Определяют минимальную и максимальную эритемные облученности на расчетной поверхности и проверяют соответствие коэффициента минимальной облученности допустимому значению.

6. Уточняют продолжительность работы облучательной части установки, основываясь на регламентированной дозе облучения $A_э$ и полученной в результате расчета максимальной облученности $E_{э.маx}$.

7. Определяют освещенности на расчетных поверхностях и в контрольных точках животноводческого помещения, проверяя соответствие полученных значений освещенности ее нормированным значениям. Если освещенность меньше нормированной, то линии светильников-облучателей дополняют соответствующими светильниками и вновь проверяют соответствие освещенности в контрольных точках нормированным значениям.

§ 15.4. Подвижные установки для УФ облучения животных и птицы

Облучательная механизированная установка УО-4 предназначена для УФ облучения сельскохозяйственных животных при их содержании в стойлах или станках. Конструкция установки показана на рисунке 15.2.

Принципиальная электрическая схема облучательной установки УО-4 показана на рисунке 15.3, техническая характеристика приведена в таблице 15.3.

Самоходная установка для облучения кур УОК-1 предназначена для ультрафиолетового облучения птицы при многоярусном клеточном

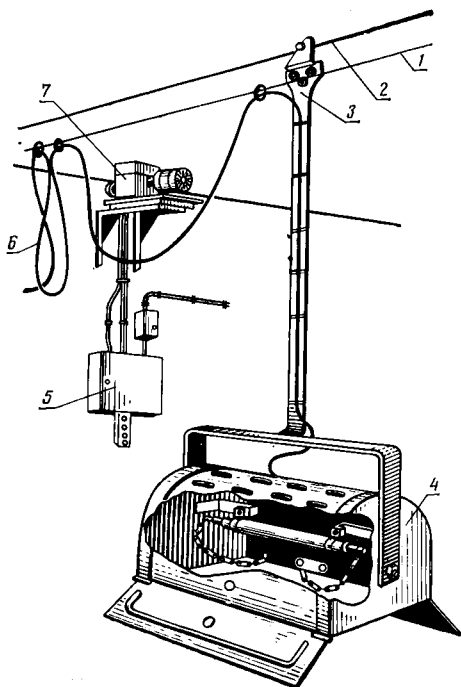


Рис. 15.2. Облучательная установка УО-4:

1 — несущая проволока; 2 — ведущий трос; 3 — роликовая каретка; 4 — облучатель с лампой ДРТ 400; 5 — шкаф управления; 6 — кабель питания облучателей; 7 — приводная станция.

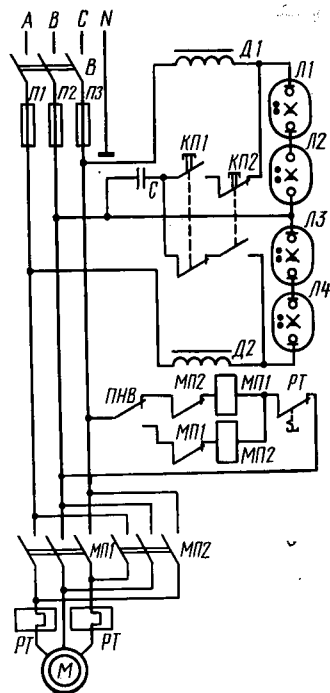


Рис. 15.3. Принципиальная электрическая схема установки УО-4.

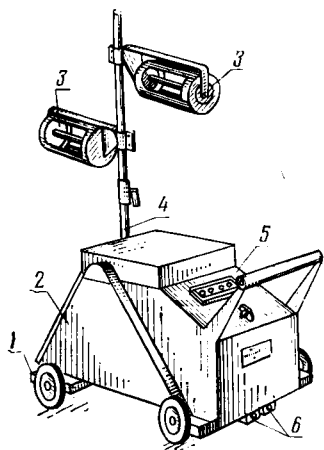


Рис. 15.4. Установка для облучения кур УОК-1:

1 — самоходное шасси; 2 — привод от электродвигателя к ведущим колесам и устройству укладки кабеля; 3 — облучатели с лампами ДРТ 400; 4 — штанга; 5 — панель управления; 6 — конечные выключатели.

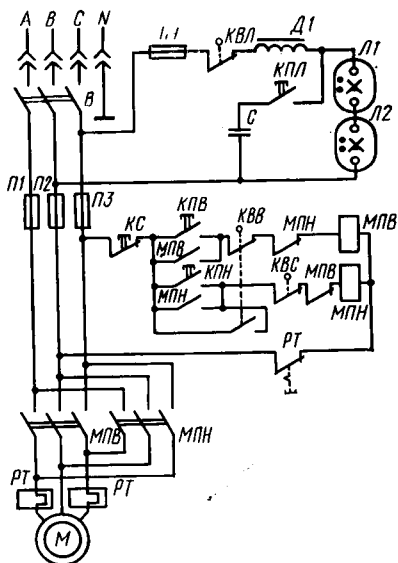


Рис. 15.5. Принципиальная электрическая схема установки УОК-1.

содержании. Установка (рис. 15.4) представляет собой шасси, приводимое в движение асинхронным электродвигателем мощностью 0,27 кВт. Электродвигатель через редуктор с передаточным отношением 1 : 841 и цепную передачу приводит во вращение колеса шасси, которые катятся по колее кормораздатчика между рядами клеточных батарей.

Установка получает питание по гибкому четырехжильному кабелю, который помещается в бункере на шасси и разматывается или укладывается в него механизмом, приводимым в действие тем же электродвигателем. На шасси установлена вертикальная штанга, на которой крепятся два облучателя с лампами ДРТ400. Высоту их расположения на штанге можно регулировать. Аппаратура управления лампами и электродвигателем смонтирована в корпусе установки.

Перемещаясь между клеточными батареями, установка облучает птицу, находящуюся в клетках по обе стороны прохода. Электрическая схема установки УОК-1 показана на рисунке 15.5.

Аппаратура управления электродвигателем и облучателями смонтирована на шасси и включает в себя выключатель питания установки В, предохранители П1...П4, магнитные пускатели МПВ и МПН, управляемые кнопками КПВ и КПН для ручного включения установки на прямой или обратный ход, дроссель Д, конденсатор С и кнопку КПЛ включения ламп. В передней части шасси установлен конечный выключатель КВВ, переключающий электродвигатель на обратный ход, а в задней части — конечные выключатели КВС и КВЛ для остановки шасси и выключения ламп в конце рабочего хода установки.

Техническая характеристика облучательной установки УОК-1 приведена в таблице 15.3.

Т а б л и ц а 15.3

Тип установки	Технические характеристики подвижных облучательных установок					
	напряжение сети, В	номинальная мощность, кВт	тип источника излучения	число источников излучения	скорость перемещения облучателей, м/ч	максимальная длина обслуживаемого помещения, м
УО-4	380/220	2,0	ДРТ 400	4	18,0	90
УОК-1	380/220	1,5	ДРТ 400	2	43,8	—

Расчет подвижных облучательных установок имеет свои особенности. При движении облучателя облученность тела животного постоянно изменяется в зависимости от пространственного распределения излучения облучателя, формы тела и его расположения относительно траектории движения облучателя, высоты перемещения облучателя над облучаемым объектом. Количество облучения, получаемого объектом, определяется не только его облученностью, но и скоростью движения облучателя.

Выявим зависимость количества облучения от перечисленных факторов.

Пространственное распределение силы излучения большинства облучателей подвижных установок с лампами ДРТ 400 достаточно полно описывается косинусной зависимостью:

$$I_{\alpha} = I_{\alpha,0} \cos \alpha, \quad (15.7)$$

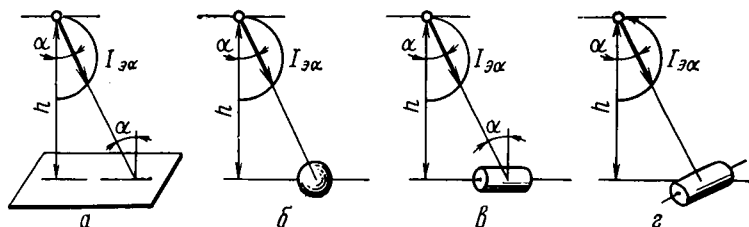


Рис. 15.6. К расчету облученности на горизонтальной плоскости (а), на поверхности сферы (б) и на поверхности цилиндра, ось которого горизонтальна и находится в одной плоскости с источником излучения (в) или перпендикулярна вектору силы излучения (г).

где $I_{0.0}$ и $I_{0\alpha}$ — сила излучения облучателя по его оптической оси и под углом α к последней.

Облученность тела в каждый отдельный момент зависит от формы тела, силы излучения $I_{0\alpha}$, падающего на него, и от высоты h размещения облучателя над телом (рис. 15.6). Формы тела облучаемых объектов можно с достаточной степенью точности представить в виде плоскости, сферы или цилиндра. Основываясь на том, что в общем случае облученность E тела определяется как

$$E = \frac{I\omega}{S},$$

где I — сила излучения, падающего на тело; ω — телесный угол, в который заключено тело; S — поверхность облучаемого тела,

можно определить облученности:

$$\text{плоскости (рис. 15.6, а) } E = \frac{I_{0\alpha} \cos^3 \alpha}{h^2}; \quad (15.8)$$

$$\text{сферы (рис. 15.6, б) } E = 0,5 \frac{I_{0\alpha} \cos^2 \alpha}{h^2}; \quad (15.9)$$

$$\text{цилиндра (рис. 15.6, в) } E = 0,64 \frac{I_{0\alpha} \cos^3 \alpha}{h^2}; \quad (15.10)$$

$$\text{цилиндра (рис. 15.6, г) } E = 0,64 \frac{I_{0\alpha} \cos^2 \alpha}{h^2}, \quad (15.11)$$

При определении облученностей цилиндров поверхности оснований в расчет не принимались.

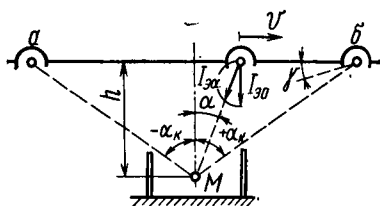


Рис. 15.7. К расчету количества облучения при подвижных облучательных установках.

На рисунке 15.7 схематически показаны разрез одного из станков животноводческого помещения и облучатель с косинусной характеристикой силы излучения, равномерно перемещающийся со скоростью v на высоте h над точкой M . Облучение объекта, разме-

щенного в точке M , будет происходить при движении облучателя с заданной скоростью от точки a до точки b , в которых сказывается затеняющее действие стенки станка или защитного угла облучателя (угол γ).

Количество облучения тела в точке M за время t , движения облучателя от a до b можно определить по выражению

$$H_э = \int_0^{t_1} E_{э,i} dt. \quad (15.12)$$

В формулу (15.12) следует подставить соответствующее выражение для облученности (15.8...15.11), введя в него косинусную характеристику облучателя (15.7).

Время движения облучателя над объектом определяется как

$$t = \frac{2h}{v} \operatorname{tg} \alpha, \text{ а значит, } dt = \frac{2h}{v} \frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha}.$$

Приведя в соответствие пределы интегрирования (при $t=0$ $\alpha = -\alpha_k$, при $t=t_1$ $\alpha = +\alpha_k$), получим:

$$\begin{aligned} \text{для плоскости } H_э &= \int_{-\alpha_k}^{+\alpha_k} \frac{I_{э,0} \cos \alpha \cos^3 \alpha}{h^2} 2 \frac{h d\alpha}{v \cos^2 \alpha} = \\ &= \frac{2I_{э,0}}{hv} \int_{-\alpha_k}^{+\alpha_k} \cos^2 \alpha d\alpha = 0,5 \frac{I_{э,0}}{hv} \left(\frac{\alpha_k \pi}{90} + \sin 2\alpha_k \right); \end{aligned} \quad (15.13)$$

$$\text{для сферы } H_э = \frac{I_{э,0} \sin \alpha_k}{hv}; \quad (15.14)$$

для цилиндра (рис. 15.6, в) $H_3 = 0,28 \frac{I_{3,0}}{h\nu} \left(\frac{\alpha_k \pi}{90} + \sin 2\alpha_k \right);$ (15.15)

для цилиндра (рис. 15.6, г) $H_3 = 1,28 \frac{I_{3,0} \sin \alpha_k}{h\nu}. \quad (15.16)$

В паспортных данных ультрафиолетовых источников излучения обычно указывается облученность на плоскости, перпендикулярной вектору силы излучения и удаленной на расстояние $l=1$ м от лампы без отражателя. Исходя из указанных условий, можно определить силу излучения I_0 при ее равномерном распределении в пространстве по формуле (3.15).

Ввиду того что источник излучения в облучательной установке помещен в отражатель, сила излучения по оси облучателя увеличена относительно силы излучения лампы без отражателя в соответствии с коэффициентом усиления арматуры $k_a = 1,1 \dots 1,3$

$$I_{3,0} = k_a I_0.$$

На протяжении срока службы поток излучения ламп уменьшается, поэтому при расчете следует учитывать коэффициент запаса k , значения которого приведены в таблице 15.2.

Необходимо учесть также то число проходов n , которое облучатель делает за время сеанса облучения. Обычно число проходов принимают кратным двум, чтобы по окончании сеанса облучения облучатели оказались в исходном положении.

В промышленных облучательных установках для изменения количества УФ облучения можно менять лишь высоту прохода облучателя над объектом, так как скорость движения определяется механической частью установки и неизменна, число проходов облучателя ограничено, между тем заданное количество облучения — доза A_0 — регламентирована соответствующими рекомендациями.

На основании вышеизложенного высоту h (м) прохода облучателей над объектом облучения можно, исходя из формул (15.13...15.16), окончательно определить применительно к объектам облучения в виде:

$$\text{плоскости } h = \left[0,5 I_{3,0} k \left(\frac{\alpha_k \pi}{90} + \sin 2\alpha_k \right) \right] \frac{n}{A_0 \nu};$$

$$\text{сферы } h = [I_{3,0} k \sin \alpha_k] \frac{n}{A_3 v};$$

$$\begin{aligned} &\text{цилиндра (рис. 15.6, в) } h = \\ &= \left[0,28 I_{3,0} k \left(\frac{\alpha_{к\pi}}{90} + \sin 2\alpha_k \right) \right] \frac{n}{A_3 v}; \end{aligned}$$

$$\text{цилиндра (рис. 15.6, з) } h = [1,28 I_{3,0} k \sin \alpha_k] \frac{n}{A_3 v}.$$

Легко заметить, что значение первого сомножителя зависит от конструктивных параметров облучательной установки и формы облучаемого объекта, а второго — от задаваемых величин: дозы облучения A_3 (мэр·ч·м⁻²), скорости движения облучателя v (м·ч⁻¹), числа проходов n .

Если защитный угол облучателя γ больше угла α_k , то в выражения следует подставлять угол $\alpha = 90^\circ - \gamma$.

Облучательная установка УОК-1 имеет весьма ограниченные возможности для регулирования дозы облучения. Скорость ее движения неизменна, расстояние от облучателей до фронта клеток равно половине ширины прохода между клеточными батареями. Изменить дозу облучения можно лишь, изменив число проходов установки вдоль фронта клеток.

Для обеспечения равномерного облучения птицы на всех ярусах клеточной батареи весьма важно установить облучатели установки на штанге таким образом, чтобы коэффициент минимальной облученности по ярусам был не меньше 0,8.

Сделав допущение, что распределение пространственной плотности излучения облучателей установки УОК-1 подчиняется косинусному закону, выявим зависимость высот размещения облучателей от ширины прохода между клеточными батареями. На рисунке 15.8 схематически показаны облучатели O_1 и O_2 на расстоянии h от фронта клеточной батареи. Высоты размещения облучателей над кормушкой нижне-

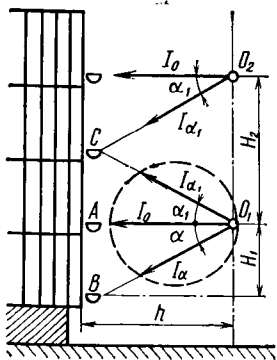


Рис. 15.8. К расчету высоты размещения облучателей УОК-1.

го яруса и один над другим соответственно H_1 и H_2 .

Максимальная облученность $E_{\max}$ от облучателя O_1 наблюдается в точке A , расположенной на минимальном расстоянии h от него, и равна $E_{\max} = \frac{I_0}{h^2}$, где I_0 — пространственная плотность излучения по оси облучателя. Облученность в точке B можно определить как $E_B = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h^2}$. Ввиду сделанного допущения пространственную плотность излучения I_α в направлении точки B под углом α к оси облучателя можно выразить как $I_\alpha = I_0 \cos \alpha$, тогда $E_B = \frac{I_0 \cos^4 \alpha}{h^2}$. Так как условие равномерности распределения облученности по фронту клеток $E_B \geq 0,8 E_{\max}$, то

$$\frac{I_0 \cos^4 \alpha}{h^2} = 0,8 \frac{I_0}{h^2}. \quad (15.17)$$

В результате упрощения формулы (15.17) и выражения $\cos \alpha$ через высоту H_1 и расстояние h , равное половине ширины прохода между клетками, получится $H_1 = 0,35 h$.

Определим относительное расстояние между облучателями с тем условием, чтобы в точке C , расположенной на одинаковом расстоянии от облучателей, облученность E_C была не меньше $0,8 E_{\max}$. Каждый из облучателей создает в точке C половину требуемой облученности, поэтому облученность от одного облучателя можно определить как

$$E_C = 0,4 E_{\max}.$$

Выполнив расчет относительно точки C , получим:

$$H_2 = 1,54 h,$$

где H_2 — расстояние между облучателями; h — половина ширины прохода между клеточными батареями.

На основании расчетов можно сделать вывод, что для получения удовлетворительной равномерности распределения облученности по высоте клеток от облучателей с косинусным распределением излучения необходимо нижний облучатель разместить над кормушками нижнего яруса клеток на высоте, равной $0,175$ ши-

рины прохода между клеточными батареями, а верхний — на высоте, равной 0,77 ширины прохода над нижним облучателем.

Выпускаемые промышленностью подвижные облучательные установки несовершенны, обладают рядом недостатков и не вполне отвечают требованиям сельскохозяйственного производства.

Установки весьма металлоемки, ненадежна подвеска кабеля в установках УО-4, быстро вытягиваются и провисают несущие проволоки, ненадежна система реверса электродвигателя, дозирование ультрафиолетового излучения при использовании установки УОК-1 затруднено, управление установками не автоматизировано.

На совершенствование конструкций и эксплуатационных характеристик промышленных ультрафиолетовых облучательных установок направлены исследования и разработки ученых ХИМЭСХ (П. А. Осетров, И. Н. Земляной и др.).

Предложены более совершенные схемы включения ламп ДРТ 400. Особый интерес представляет схема включения ламп в звезду без соединения средней точки с нулевым проводом. Лампы надежно загораются и устойчиво работают при отклонениях напряжения до 15% от номинального.

Как известно, газоразрядные лампы высокого давления в течение 10...15 мин после включения разгораются, и лишь после этого подвижные облучательные установки могут начать движение для облучения животных и птицы. Для автоматического включения облучательных установок рекомендуется снабжать их температурным реле, которое включает электродвигатели лишь после полного разгорания ламп.

Для повышения качества ультрафиолетового облучения птицы предложено крепление облучателей УОК-1 сделать подвижным, чтобы во время движения установки они перемещались вверх и вниз по штанге, равномерно облучая птицу, находящуюся на всех ярусах клеточных батарей.

Разработана конструкция шарнирного крепления облучателей установки УО-4. Шарнирное крепление позволяет посредством рычажного устройства, связанного с ведущим тросом, отклонять облучатель в одну или другую сторону для облучения животных в стойлах,

находящихся справа и слева от несущего троса, что расширяет зону облучения и повышает эффективность установки.

Сравнительная оценка технико-экономических показателей ультрафиолетовых установок, выполненная учеными ХИМЭСХ, позволила определить экономически обоснованные области применения стационарных и подвижных установок различных конструкций. Так, при длине свиноводческих помещений более 70 м экономически оправдано применение установки УО-4, при длине от 60 до 30 м — стационарной установки с лампами ДРТ 400, при длине менее 30 м — стационарной установки с лампами ЛЭ 30.

§ 15.5. Дозирование УФ облучения

Строгое дозирование излучения — необходимое условие оптимальности режима технологического процесса с использованием энергии оптического излучения.

Действие ультрафиолетового излучения на живые организмы в зависимости от его качества и количества может быть благотворным, угнетающим или губительным. Количество облучения меньше рекомендованной дозы экономически не эффективно, переоблучение животных также наносит ущерб, так как снижает продуктивность.

УФ излучение — мощный фактор, воздействующий на самые тонкие процессы жизнедеятельности живых организмов, поэтому дозы облучения, оговоренные «Рекомендациями по применению ультрафиолетового излучения в животноводстве и птицеводстве», нужно обязательно выдерживать.

При дозировании УФ излучения нельзя слепо следовать указанным в Рекомендациях продолжительностям облучения, являющимся лишь ориентировочными, рассчитанными на определенные технические средства и условия облучения.

Продолжительность облучения подлежит расчету на основании конкретных исходных данных: типов источника излучения и облучателя, расстояния от облучателя до объекта облучения, потока излучения источника или результатов измерений облученности на расчетной поверхности.

Следует иметь в виду, что на источник излучения воздействуют отклонения напряжения питающей сети

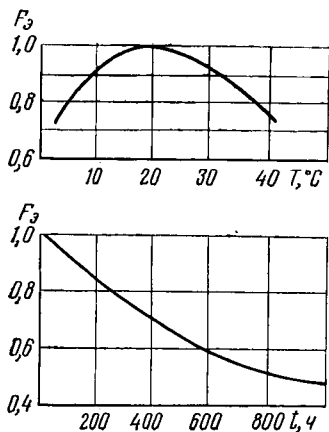


Рис. 15.10. Зависимость потока излучения эритемных ламп от продолжительности их горения.

← Рис. 15.9. Зависимость потока излучения ламп ЛЭ-30 от температуры окружающего воздуха.

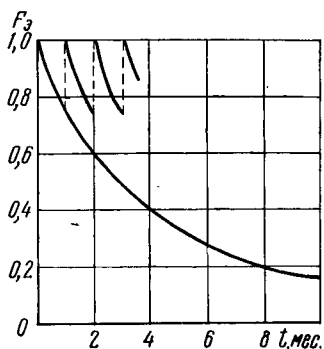


Рис. 15.11. Зависимость потока излучения эритемных ламп от продолжительности их работы без очистки от пыли.

и множество факторов окружающей среды. Существенное влияние на поток излучения газоразрядных ламп низкого давления оказывает температура окружающего воздуха (рис. 15.9). Наибольший поток этих ламп наблюдается при температуре воздуха около 20°C . При повышении температуры до 35° или понижении до 7°C поток излучения уменьшается на 13...15%.

Отрицательное воздействие на поток излучения облучателей оказывает запыленность помещения. Агрозоотехнические требования предписывают очищать источник и облучатели от пыли не реже одного раза в месяц; однако и в этом случае поток излучения периодически снижается за счет запыления на 25...30% (рис. 15.11).

Снижение потока излучения на протяжении срока службы источников характерно для газоразрядных ламп как низкого, так и высокого давления (рис. 15.10). Лампы ЛЭ 30 и ДРТ 400 за 1000 ч горения снижают поток излучения до 50% от начального (табл. 15.2).

При отклонениях напряжения поток излучения источников также меняется, причем не только количественно, но и качественно. В связи с этим при снижении

напряжения сети на 10% продолжительность облучения животных и птицы следует увеличивать на 20... 40%.

При совместном действии указанных факторов поток излучения источников может уменьшаться до 30% от первоначального, а количество облучения, полученное объектом при соблюдении времени облучения, указанного в Рекомендациях, может составить лишь треть от предписанной дозы облучения. В этом случае продуктивность облучаемых животных или птицы не только не достигнет ожидаемых значений, но и уменьшится.

Учесть отклонения напряжения и каждого фактора окружающей среды в отдельности невозможно, так как для этого необходимо в животноводческих помещениях установить комплект измерительных приборов для контроля температуры воздуха, запыленности и т. д. Существенное усложнение методики определения продолжительности облучения само по себе может послужить источником дополнительных ошибок в дозировании облучения.

Вышеизложенное доказывает, что использовать оптическое излучение в технологических процессах животноводства и птицеводства невозможно без ультрафиолетовых измерительных приборов: эрметров, эрдозиметров, бактметров и др. Только планомерные измерения облученности в зонах содержания облучаемых организмов могут позволить достоверно оценить условия облучения и поддерживать технологический процесс на оптимальном уровне с целью достижения ожидаемых результатов.

Применительно к стационарным установкам следует выполнять измерения эритемной облученности в контрольных точках и по мере ее снижения увеличивать продолжительность работы установки для сохранения неизменной дозы облучения.

При эксплуатации установки УО-4 следует в зависимости от изменений облученности под облучателем с лампой ДРТ 400, характеризующих изменения потока ее излучения, корректировать высоту подвеса облучателей над животными.

Установка УОК-1 в производимом промышленностью виде не позволяет дозировать излучения вследствие ее конструктивных особенностей, однако некоторые

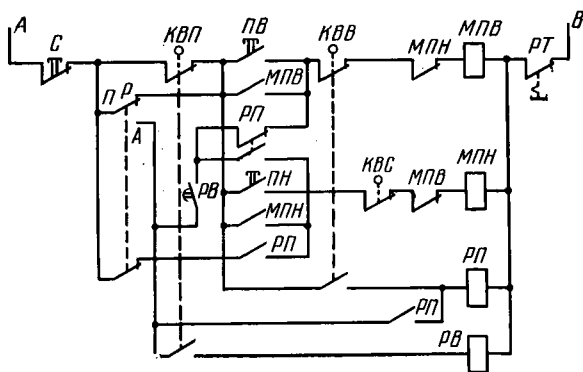


Рис. 15.12. Принципиальная электрическая схема управления УОК-1, предназначенная для подвижно-позиционного режима облучения.

изменения, внесенные в ее электрическую схему, обеспечивают возможность дозирования ультрафиолетового излучения. Цель вносимых изменений состоит в обеспечении подвижно-позиционного режима работы установки, при котором она ускоренно перемещается от одной позиции облучения до другой и остается неподвижной на позиции столько времени, сколько необходимо для обеспечения требуемого количества облучения. Продолжительность работы установки на позиции задается оператором индивидуально для каждого сеанса облучения на основании измерений облученности при подготовке установки к работе.

Схема управления модернизированной установки УОК-1 показана на рисунке 15.12. Схема управления стандартной установкой дополняется промежуточным реле РП, реле времени РВ с регулируемой выдержкой от 0 до 5 мин, конечным выключателем КВП и переключателем П.

При работе в автоматическом режиме установка движется вперед до наезда конечным выключателем КВП на упор, определяющий позицию облучения. Конечный выключатель останавливает двигатель установки, разрывая цепь катушек магнитных пускателей МПВ или МПН, и своим замыкающим контактом включает реле времени РВ. По прошествии заданного промежутка времени реле РВ через контакты промежуточ-

ного реле *РП* посредством магнитного пускателя *МПВ* или *МПН* включает двигатель установки, цикл работы установки повторяется. При движении установки вперед *РП* не имеет питания, и поэтому реле времени всякий раз включает магнитный пускатель *МПВ*.

После срабатывания штатного конечного выключателя возврата установки *КВВ* реле *РП* получает питание, и реле времени после очередной остановки включает магнитный пускатель *МПН* для хода установки в сторону исходной позиции.

В верхнем положении контактов переключателя режимов работы *П* установка работает в режиме непрерывного движения, в нижнем — в подвижно-позиционном режиме.

Наибольшая точность дозирования ультрафиолетового излучения достижима при использовании облучательных установок с автоматическими системами управления (АСУ). Функциональная схема такой АСУ показана на рисунке 15.13. Облучательная установка *ОУ* включается коммутирующим устройством *КУ* по команде пропрограммированного реле времени *ПРВ*. Количество облучения измеряется счетчиком излучения *СИ* при помощи измерительного приемника *П* и усилителя-преобразователя *УП*. Сравнивающее устройство (компаратор) *К* постоянно сравнивает показания счетчика с сигналом задатчика *З* дозы облучения. При совпадении количества облучения с наперед заданной дозой компаратор подает на коммутирующее устройство команду о выключении облучательной установки.

Поскольку измерительная часть АСУ определяет реально полученное объектом количество облучения, отклонения потока излучения источников от ожидаемого значения компенсируются соответствующим изменением продолжительности облучения объекта.

Представленная схема АСУ достаточно просто реализуется на базе современной микроэлектронной техники, однако подобные устройства управления облучательными установками промышленностью пока не выпускаются.

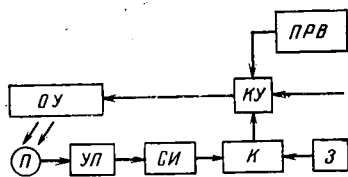


Рис. 15.13. Функциональная схема АСУ дозированием ультрафиолетового облучения.

§ 15.6. Использование УФ излучения в различных технологических процессах сельскохозяйственного производства

Кроме рассмотренных случаев использования УФ излучения в животноводстве и птицеводстве, УФ облучение используется как технологический прием еще более чем в 20 процессах современного сельскохозяйственного производства.

Водоснабжение сельских населенных пунктов и ферм часто выполняют на базе открытых водоемов (реки, водохранилища), колодцев шахтного и артезианского типа. В соответствии с ГОСТ 17.1.3.03—77 1 л воды источников питьевого водоснабжения может содержать до 10^3 микробных тел. Поэтому перед поступлением в распределительные водопроводы вода должна пройти очистку и быть обеззаражена.

Чистая вода, в которой отсутствуют взвешенные частицы и коллоидные вещества, хорошо пропускает коротковолновое УФ излучение, обладающее сильным бактерицидным действием. Свойство излучений с длиной волны менее 280 нм губительно действовать на бактерии положено в основу способа обеззараживания воды УФ излучением.

УФ обеззараживание воды обладает следующими преимуществами перед широко распространенным обеззараживанием воды методом хлорирования: природный состав, вкусовые качества и химические свойства воды не меняются, излучение губительно действует на все виды бактерий вплоть до спорообразующих, эксплуатация УФ установок проще и удобнее, чем установок хлорирования, стоимость обработки воды излучением в 2...3 раза ниже, чем хлорированием. Расход электрической энергии на обработку воды из подземных источников равен $10...15 \text{ Вт} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-3}$, из открытых источников после осветления фильтрами — $30 \text{ Вт} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-3}$. В обеззараживающих установках применяют бактерицидные лампы типа ДБ и ртутно-кварцевые лампы высокого давления ДРТ 1000.

Известны два вида установок УФ обеззараживания воды — с непогруженными и погруженными источниками излучения, разработанных Академией коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова (В. Ф. Соколов).

Установка с непогруженными источниками излуче-

ния представляет собой несколько лотков, над которыми в параболических отражателях расположены бактерицидные лампы типа ДБ 60. Вода в лоток поступает самотеком через перфорированную перегородку, проходя через отверстия которой она завихряется и перемешивается. Протекая по лотку, вода подвергается облучению и обеззараживанию. Поперек лотка установлена перегородка, над которой перетекающая через нее тонким слоем вода проходит зону наибольшей облученности. Миновав один лоток, вода поступает в следующий, и процесс ее обеззараживания повторяется вновь. Подобные установки имеют небольшую мощность, рассчитаны на малые расходы воды и предназначены для работы без водяного напора.

Большее распространение получили установки с погруженными источниками излучения. В них обеззараживаемая вода непрерывным потоком по спирали омывает цилиндрические кварцевые чехлы, внутри которых размещены бактерицидные лампы ДБ 60, ДРТ 1000 или специальные ртутно-кварцевые лампы РКС2,5 мощностью 2,5 кВт. Некоторые установки для очистки кварцевых чехлов от осадка снабжены щеточным механизмом со спиральными турбинками (рис. 15.14), приводимым во вращение потоком воды (установка ОВУ-6П АКХ—ВИЭСХ). Подобные установки включаются непосредственно в сеть водопровода.

Обеззараживание животноводческих стоков перед использованием их в качестве удобрения — весьма важная и сложная проблема, связанная с охраной окружающей среды от запыления и предохранением людей и животных от гельминтового заражения.

В ВИЭСХе (А. А. Некрасов, В. М. Шрамков) проведены лабораторные экспериментальные исследования по выявлению эффективности обеззараживания животноводческих стоков УФ излучением. Исследования показали, что при облучении свободно стекающего по поверхности бактерицидной лампы слоя жидкости толщиной 1,5 мм уже через 3...4 с гибнут яйца фасциол и 20...30% яиц свиной аскариды.

Пастеризация молока УФ излучением с длиной волны 254 нм в 6...8 раз дешевле тепловой обработки. Исследованиями ЦНИПТИМЭЖ Южной зоны СССР и ВИЭСХ (В. А. Чумаченко и др., В. Г. Ги-

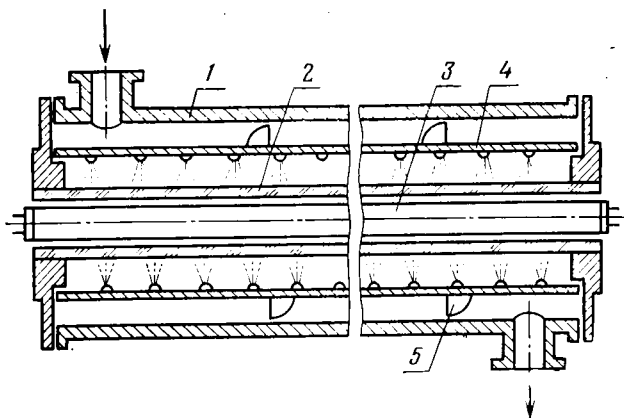


Рис. 15.14. Разрез секции установки ОВУ-6П для обеззараживания воды УФ излучением:

1 — цилиндрический корпус; 2 — кварцевый чехол; 3 — дуговая бактерицидная лампа; 4 — щеточное устройство; 5 — лопасти турбинок привода щеточного устройства.

затуллин и др.) установлены режимы и эффективные дозы обеззараживания молока УФ излучением. Дозированное облучение молока при температуре $10...24^{\circ}\text{C}$ уменьшает содержание в нем микроорганизмов на 93...99,7%, повышает содержание витамина *D*, не изменяя натуральных свойств молока.

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

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

Для обеззараживания воздуха, стен помещений и находящихся в них предметов используют бактерицидные лампы типа ДБ 30, ДБ 60 в соответствующих облучателях, исходя из удельной мощности $0,3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-3}$ в больших помещениях и до $2,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-3}$ в малых. Если обеззараживание проводится в присутствии людей, то во избежание воспаления слизистых оболочек глаз и дыхательных путей бактерицидная облученность не должна превышать $0,5 \cdot 10^4 \text{ мкб} \cdot \text{м}^{-2}$ при восьмичасовом пребывании людей в облучаемом помещении и $0,1 \cdot 10^4 \text{ мкб} \cdot \text{м}^{-2}$ при круглосуточном. Облучатели с бакте-

рицидными лампами следует размещать на высоте 1,8...2 м от пола, попадание прямого излучения ламп в глаза человека должно быть исключено.

Известны положительные результаты использования бактерицидных ламп ДБ 30, установленных в птицеводческих помещениях из расчета: одна лампа на 50 м³ воздуха (А. К. Данилова, И. Г. Костин и др.). Под действием излучения ламп, включаемых три раза в сутки на 1 ч, микрофлора сокращается на 50...70%, повышается биологическая активность воздуха за счет его ионизации и обеззараживания, яйценоскость кур увеличивается на 5...7%.

Весьма перспективным представляется обеззараживание воздуха УФ излучением в вентиляционных каналах. Опыт использования такой установки (В. С. Ярных и др.) показал, что установка в начале вентиляционного канала двух диффузоров с 30 лампами ДБ 30 каждый снизила бактериальную загрязненность в птичнике на 80...95%, улучшила его ионный состав, снизила концентрацию содержания сероводорода и углекислого газа, оказала дезодорирующее действие за счет окисления озонотом газовых составляющих, обладающих дурным запахом. Воздух, подвергающийся обработке УФ излучением, должен быть свободен от пыли, которая резко снижает эффективность облучателей и требует их частой периодической чистки.

Значительный эффект дает применение бактерицидных ламп для обеззараживания воздуха в помещениях, где хранятся скоропортящиеся продукты. Удельная мощность установки должна составлять не менее 0,6 Вт·м⁻³, продолжительность облучения — более 9 ч. При УФ облучении в камерах холодильников, рефрижераторов и в продуктовых камерах кораблей температура хранения может быть повышена на 4...5° по сравнению со стандартной при относительной влажности воздуха 95...98% и не менее чем пятикратной его замене в час.

Стерилизация посуды и тары — хорошо известная у нас в стране и за рубежом область применения ультрафиолетового излучения. Продолжительность облучения определяется применяемым источником излучения и характеристиками облучаемой поверхности. Известные установки для обработки транспортных молочных емкостей (разработка ВНИИЖ,

Р. С. Абросимова и др.) с двумя лампами ДБ 30 снижают бактериальную зараженность на 84...97% за 40 мин облучения; установка с лампой ДРТ 400 позволяет достигнуть 100% стерилизации за 24 мин, а с лампой ДРТ 1000—за 3...6 мин. Облучение лампой ДБ 15 оцинкованного железа или деревянной поверхности с расстояния 0,2 м за первые 30 с уничтожает 90...95 % неспорообразующих микроорганизмов. Для уничтожения спор длительность облучения необходимо увеличить до 5...15 мин. Загрязненность и шероховатость поверхности значительно снижают эффект облучения.

Обработка семенного материала УФ излучением в оптимальных дозах оказывает благотворное действие на его качества (всхожесть, энергия прорастания) и в итоге на сроки созревания и урожайность. При облучении семян сахарной свеклы урожайность возрастает на 7...9%, содержание сахара увеличивается на 15...19%. Увеличиваются урожаи кормовой моркови, выращенной из семян, обработанных УФ излучением. Семенное зерно после облучения имеет на 3...5% более высокую всхожесть и на 10...15% большую энергию прорастания. Облученные семена дают более ранние и дружные всходы, срок созревания урожая сокращается на 2...3 дня.

Для обработки семенного материала применяют облучательную установку УОЗ-2 (рис. 15.15). Зерно из бункера 2 перемещается по вибрирующему лотку 5 в течение 55...60 с под девятью лампами ДРТ 1000 1. Лоток длиной 6 м и шириной 0,9 м приводится в движение электродвигателем 6 мощностью 0,6 кВт. Под первой секцией лотка размещается пылеотсос 3 с воздухопроводом и вентилятором 4, приводимым во вращение

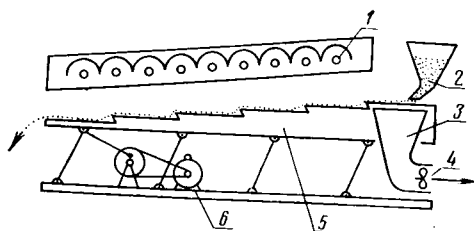


Рис. 15.15. Схема установки УОЗ-2 для предпосевной обработки зерна УФ излучением:

1 — лампы ДРТ 1000 в кожухе-отражателе; 2 — бункер подачи зерна; 3 — воздухопровод пылеотсоса; 4 — вентилятор пылеотсоса; 5 — вибрирующий транспортер; 6 — электродвигатель привода транспортера.

электродвигателем мощностью 0,25 кВт. Дуговые ртутно-кварцевые лампы установки размещены на высоте 0,65 м над транспортером в коробчатом кожухе-отражателе и включены через регулируемые активные балластные сопротивления. Мощность установки 16 кВт, производительность 1...1,5 т зерна в час.

Привлечение и уничтожение насекомых при помощи оптических ловушек позволяют прогнозировать массовый вывод и лет насекомых-вредителей. Химический способ борьбы с насекомыми-вредителями, широко используемый в настоящее время, наносит непоправимый вред живым организмам в обработанной зоне. Гибнут животные и птицы, отмечены случаи отравления людей, ядохимикаты накапливаются в почве и длительное время оказывают отрицательное действие на флору и фауну. В то же время насекомые-вредители обретают иммунитет к ядохимикатам, и нередко после временного спада количества вредителей наступает период их бурного размножения.

Ультрафиолетовое излучение в ночное время привлекает насекомых к ловушкам, где они уничтожаются. Привлеченные насекомые засасываются вентилятором, вблизи которого установлены УФ источники излучения, или поражаются электрическими разрядами при касании металлических сеток, на которые подано напряжение 1,5...10 кВ со вторичной обмотки трансформатора ловушки.

В качестве источников УФ излучения в оптических ловушках используются лампы типов ЛЭ, ДБ или ДРТ.

Для борьбы с насекомыми на больших площадях потребовалось бы большое число ловушек и весьма разветвленные и протяженные электрические сети. В этом случае экономически оправдано использование мобильных агрегатов для электрофизической борьбы с насекомыми-вредителями сельскохозяйственных растений. Один из таких агрегатов в виде тракторного навесного оборудования разработан в ВИММЕССе (НРБ, В. Б. Пенчев) (рис. 15.16).

Мобильный агрегат представляет собой трактор «Беларусь» с навешенным на него осевым вентилятором 1, приводимым во вращение валом отбора мощности трактора. Всасывающее отверстие вентилятора снабжено диффузором 2 специальной формы, обеспечи-

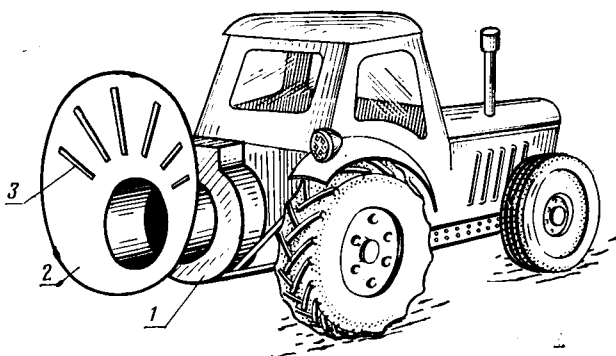


Рис. 15.16. Мобильный агрегат для борьбы с насекомыми-вредителями:

1 — вентилятор для уничтожения насекомых; 2 — диффузор вентилятора; 3 — привлекающие насекомых эритемные люминесцентные лампы ЛЭ 15.

вающей захват потоком воздуха привлекаемых насекомых. Насекомые привлекаются лампами 3 ЛЭ 15, размещенными на поверхности диффузора и получающими питание от синхронного генератора переменного тока мощностью 3,6 кВт, установленного на тракторе.

Эксплуатация таких агрегатов в яблоневых садах НРБ снижает затраты на борьбу с насекомыми-вредителями на 30 % по сравнению с химическими методами борьбы и уменьшает остаточные количества ядохимикатов в плодах в 3,3 раза.

Глава 16

УСТАНОВКИ ДЛЯ ИК ОБЛУЧЕНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

ИК излучение, так же как видимое и УФ, позволяет передавать энергию при отсутствии непосредственного контакта между источником и приемником.

Передача энергии излучением имеет ряд преимуществ перед передачей конвекций или теплопроводностью. Поток ИК излучения имеет направленное распространение и может быть сконцентрирован на приемнике излучения. Применяя различные типы источников и формы отражателей ИК излучения, можно создавать локализованное облучение или обеспечивать требуемую равномерность распределения облученности по облучаемой поверхности.

ИК излучение многими веществами поглощается избирательно, воздухом оно почти не поглощается, коэффициент поглощения ИК излучения водой весьма высок.

Электрические источники ИК излучения обладают высоким коэффициентом полезного действия, малыми инерционностью, металлоемкостью и массой при значительных единичных мощностях, легко поддаются регулированию и управлению при помощи средств автоматизации.

ИК излучение используется в сельскохозяйственном производстве для обогрева молодняка животных и птицы, сушки овощей и фруктов, для предпосевной обработки семенного материала зерновых и овощных культур, дезинсекции и во многих других процессах сельскохозяйственного производства.

§ 16.1. Биологическое действие ИК излучения

На большей части территории нашей страны холодный осенне-зимний период, длящийся 5...8 месяцев, характеризуется пониженными температурами и является наиболее трудным для содержания сельскохозяйственных животных.

Молодняк животных и птицы в первые дни после рождения имеет весьма несовершенный механизм терморегулирования организма.

Низкая температура, высокая влажность воздуха отрицательно сказываются на развитии и росте молодняка, ведут к нарушению обмена веществ, простудным заболеваниям, расстройству пищеварения и к гибели животных.

Требуемый тепловой режим в животноводческих помещениях может быть обеспечен системой общего обогрева или комбинированной системой общего и локального обогрева.

Система обогрева, предназначенная для поддержания необходимых температур во всем животноводческом помещении, требует значительных затрат энергии. Более целесообразна комбинированная система, при которой температура воздуха повышается лишь в ограниченной зоне содержания молодняка животных.

Для обеспечения локального обогрева используют электрообогреваемые поля, электронагревательные

коврики, маты, панели и другие нагревательные установки. Широкое распространение в практике сельскохозяйственного производства получил ИК обогрев молодняка.

Поток ИК излучения, достигая тела животного, частично отражается, но остальная его часть поглощается кожей и подкожной тканью, создавая тепловой эффект.

В облучаемых участках кожи количество крови увеличивается в 10...15 раз, через 1...2 мин появляется тепловая эритема.

Поглощение ИК излучения живым организмом—весьма сложный биологический процесс, в котором участвует весь организм животного. Действуя на нервную систему организма через тепловые рецепторы кожи, излучение улучшает функции желез, кроветворных органов и кровоснабжение тканей тела.

Необходимо отметить, однако, что длительное непрерывное термическое раздражение и чрезмерная эритема кожи оказывают отрицательное воздействие на организм животного. Прерывистый же режим облучения, чередование воздействия высоких и низких температур подвергают нервную и сосудистую системы своеобразному тренингу, способствующему закаливанию организма.

Таким образом, ИК излучение в отличие от других средств местного обогрева не только оказывает на животных согревающее действие, но и усиливает биологические процессы в их организме, способствует повышению тонуса и резистентности, а следовательно, улучшению состояния, развития, прироста и сохранности животных.

ИК излучение используется и в лечебных целях.

Весьма перспективно совместное использование ИК и УФ излучений. По исследованиям ВИЭСХа (Д. Н. Быстрицкий, А. К. Лямцов и др.), совместное применение излучений увеличивает массу поросят при отъеме на 13%, что в 3 раза превосходит эффект применения ИК и в 1,8 раза — УФ облучений при их раздельном использовании.

Наиболее благоприятные условия для содержания молодняка животных позволяет создавать сочетание безынерционных ИК облучательных установок с аккумуляющими тепло обогреваемыми полами, электро-

нагревательными ковриками, матами, панелями, препятствующими потерям тепла телом животного через пол и позволяющими сохранить тепло в зоне обогрева молодняка при перерывах в электроснабжении.

Основные положения, связанные с использованием ИК облучателей и установок в животноводстве, указания по их монтажу и эксплуатации изложены в «Рекомендациях по инфракрасному обогреву молодняка сельскохозяйственных животных и птицы» МСХ СССР.

§ 16.2. Установки для ИК облучения животных и птицы

В облучательных установках используют ИК облучатели ССПО1-250, ОРИ-1, ОРИ-2, ОВИ-1, «ЛатВИКО», размещаемые над станками с животными. Облучатели укрепляют при помощи подвесок на трубах или тросах, предназначенных для прокладки проводов электрической сети установки.

Электробрудер БП-1 предназначен для обогрева 500...600 цыплят при содержании их на полу.

Брудер (рис. 16.1) представляет собой конструкцию в виде полый шестиперанной усеченной металлической пирамиды 7, снабженной упорами 8 переменной высоты для установки на полу и тросовой подвеской 4 для крепления брудера к потолку помещения. Под зонтом брудера смонтированы четыре «темных» излучателя — ТЭНа 3 мощностью 250 Вт каждый. Электрическая принципиальная схема брудера БП-1 показана на рисунке 16.2. Излучатели $R1...R4$ собраны в схему равноплечего моста, в диагональ которого включена сигнальная лампа $L2$, зажигающаяся при перегорании одного из ТЭНов.

Температура под зонтом брудера поддерживается на заданном уровне с точностью до $2...3^{\circ}$ температурным реле на базе сильфона с легкоиспаряющейся жидкостью. При повышении температуры жидкость в сильфоне испаряется, объем сильфона увеличивается, и последний, воздействуя на микровыключатель MB , выключает излучатели. При снижении температуры происходит обратный процесс, в результате которого включаются излучатели. Под зонтом брудера установлена лампа освещения $L1$, которая во время установки температурного режима может включаться переключателем.

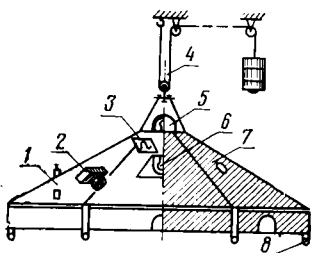


Рис. 16.1. Устройство брудера БП-1:

1 — контрольный термометр; 2 — терморегулятор; 3 — ИК излучатель; 4 — грусовая подвеска с противовесом; 5 — сигнальная лампа перегорания ТЭНов; 6 — лампа освещения; 7 — корпус; 8 — упоры.

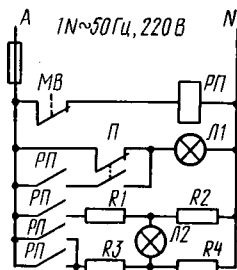


Рис. 16.2. Принципиальная электрическая схема брудера БП-1.

телем Π параллельно ТЭНам и использоваться как лампа сигнализации включения и отключения ИК излучателей.

Опорожнение брудера снабжено окнами для вентиляции подзонтного пространства. Мощность брудера БП-1 1 кВт.

Автоматизированные установки ИКУФ-1, -1, ИКУФ-1М, «Луч» предназначены для одновременного ИК обогрева и УФ облучения молодняка сельскохозяйственных животных и птицы.

В состав одной установки входят 40 облучателей и пульт управления. Каждый облучатель (рис. 16.3) содержит две ИК лампы ИКЗК 220-250 1 и одну эритемную лампу ЛЭ 15 2 (или эритемно-осветительную ЛЭО 15) с пускорегулирующим устройством 3. Принципиальная электрическая схема облучателя установки ИКУФ показана на рисунке 16.4. ИК лампам каждого облучателя может быть задан при помощи переключателей $\Pi 1$, $\Pi 2$ один из режимов работы: включена только $\Pi 1$, включена только $\Pi 2$, включены $\Pi 1$ и $\Pi 2$ на полное напряжение сети, $\Pi 1$ и $\Pi 2$ включены последовательно и каждая из ламп включена на половину напряжения сети. Переключатель $\Pi 3$ служит для управления работой эритемной лампы, включенной по стартерной схеме импульсного зажигания с предварительным подогревом электродов.

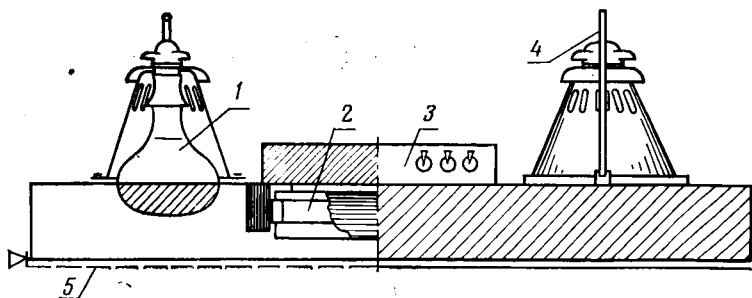


Рис. 16.3. Конструкция облучателя установки ИКУФ-1:

1 — ИК лампа; 2 — эритемная лампа; 3 — кожух ПРА с переключателями; 4 — подвеска; 5 — защитная решетка.

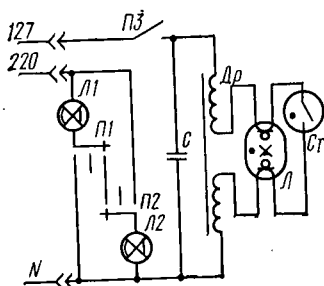


Рис. 16.4. Электрическая принципиальная схема облучателя ИКУФ-1.

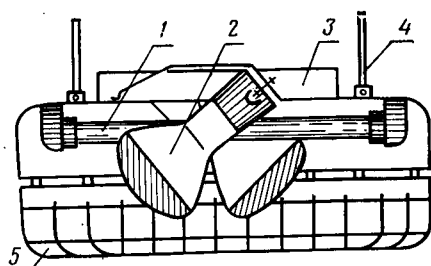


Рис. 16.5. Конструкция облучателя установки «Луч»:

1 — эритемная лампа; 2 — ИК лампа; 3 — кожух ПРА; 4 — подвеска; 5 — защитная решетка.

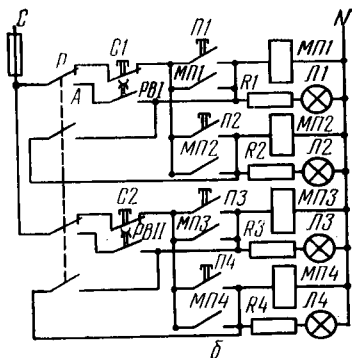
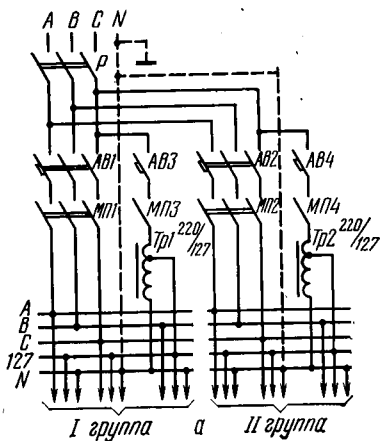


Рис. 16.6. Электрическая принципиальная схема облучательной установки ИКУФ-1:

а — схема силовой части установки; б — схема управления.

Облучатель установки ИКУФ-1М сходен по конструкции с облучателем ИКУФ-1, но имеет герметичное исполнение и не содержит переключателей для управления ИК и УФ лампами.

Облучатель установки «Луч» (рис. 16.5) имеет уплотненное исполнение патронов эритемной лампы 1, а патроны инфракрасных ламп 2 могут быть установлены под различными углами к вертикали для получения требуемого распределения ИК облученности по облучаемой поверхности.

Мощность каждого облучателя автоматизированных установок 520 Вт. Принципиальная электрическая схема установки ИКУФ-1 показана на рисунке 16.6.

Силовая часть схемы (рис. 16.6, а) содержит рубильник включения установки P , автоматические выключатели $AB1$, $AB2$ и магнитные пускатели $МП1$, $МП2$ включения инфракрасных ламп двух групп облучателей, автоматические выключатели $AB3$, $AB4$ и магнитные пускатели $МП3$, $МП4$ включения автотрансформаторов $Tr1$, $Tr2$ питания эритемных ламп двух групп облучателей. В ручном режиме работы группы облучателей управляются вручную кнопками $C1$, $C2$, $П1...П4$, в автоматическом — двухпрограммным реле времени $PВ$ (рис. 16.6, б). Одна программа используется для управления ИК источниками, другая — УФ. При помощи автоматических выключателей любая группа источников ИК или УФ излучения может быть исключена из работы.

Схема управления установкой «Луч» содержит, кроме перечисленной аппаратуры, регулятор для изменения напряжения питания инфракрасных источников излучения.

Шафы управления установок снабжены уплотнениями, обеспечивающими защиту аппаратуры от пыли и влаги.

Расчет ИК облучательных установок основан на следующих теоретических предпосылках (по Н. Ф. Кожевниковой, ВИЭСХ).

Облучательная установка — один из элементов системы обеспечения микроклимата животноводческого помещения, она предназначена для восполнения «дефицита» теплоты в зоне расположения молодняка.

Количество дополнительной тепловой энергии $Q_{\text{доп}}$ необходимой животному, определяется из уравнения

теплового баланса:

$$Q_{\text{ж}} + Q_{\text{ИК}} = Q_{\text{к}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{и}} + Q_{\text{т}}, \quad (16.1)$$

где $Q_{\text{ж}}$ — тепловая энергия, вырабатываемая в организме животного за счет потребляемого корма; $Q_{\text{ИК}}$ — тепловая энергия, потребляемая телом животного в виде ИК излучения средств местного обогрева; $Q_{\text{к}}$, $Q_{\text{л}}$, $Q_{\text{т}}$, $Q_{\text{и}}$ — потери энергии организма животного в окружающую среду конвекцией, излучением, теплопроводностью через пол и за счет испарения влаги с тела.

Поток ИК излучения $F_{\text{к}}$ (Вт), воспринимаемый телом от источников, может быть выражен:

$$F_{\text{ИК}} = kES_{\text{т}}, \quad (16.2)$$

где $S_{\text{т}}$ — площадь поверхности тела животного, участвующая в поглощении ИК излучения, м^2 ; E — облученность, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; k — безразмерный коэффициент, оценивающий долю потока ИК излучения, ощущаемую животным как нагрев.

Как видно, важнейшей характеристикой, определяющей выбор параметров технических средств для ИК обогрева молодняка, является величина kE , однако нахождение ее значения при практических расчетах представляет определенные трудности.

1. Отсутствуют достаточно обоснованные требования к ИК облученности при локальном обогреве молодняка животных и птицы.

2. Расчет искомой величины kE по уравнению теплового баланса не дает однозначного результата, поскольку члены уравнения зависят от физиологического состояния животных и могут изменяться в широких пределах.

3. Неизвестны значения коэффициента k для различных видов молодняка, а ответная реакция организма на ИК облучение, оцениваемая этим коэффициентом, зависит от множества факторов: физических и химических свойств кожно-шерстного покрова, состояния системы терморегуляции организма, скорости движения и температуры воздуха в помещении и т. д.

Применительно к расчетам ИК обогрева жилых и производственных помещений известно понятие «ощущаемая» температура, оцениваемая по совместному действию на организм человека ИК излучения и воздуха с определенной температурой. Величины, характеризующие эти воздействия, связаны уравнением Скунка:

$$t_o = t_v + k_1 E,$$

где t_o — ощущаемая температура, °C; t_b — средняя температура окружающего воздуха, °C; E — инфракрасная облученность на высоте 1,5 м от пола, Вт·м⁻²; k_1 — коэффициент, связывающий ИК облученность на поверхности тела человека с ощущаемой при этом температурой.

Для человека $k_1 = 0,0714 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С} \cdot \text{Вт}^{-1}$, то есть ИК облученность в $14 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ эквивалентна по реакции тепловых рецепторов человека одному градусу температуры окружающего воздуха.

Значения коэффициентов k_1 применительно к животным и птице неизвестны, однако естественно предположить, что ощущаемая температура и в этом случае зависит также от температуры воздуха и уровня ИК облученности. Сделанное допущение позволяет связать уравнением ощущаемую животным температуру $t_{o.ж}$, уровень ИК облученности E и температуру воздуха в помещении t_b через коэффициент k_2 , оценивающий ощущение тепла животным при ИК облучении:

$$t_{o.ж} = t_b + k_2 E. \quad (16.3)$$

Зооветеринарными требованиями регламентируется температура воздуха в зоне выращивания молодняка при конвективном обогреве без ИК обогрева. В этом случае ощущаемая животным температура должна быть равна температуре окружающего воздуха. Действительно, по выражению (16.3) при $E = 0$ $t_{o.ж} = t_b$.

Тогда, зная температуру воздуха t_b в помещении и требуемую для данного вида и возраста животных температуру $t_{o.ж}$, можно найти:

$$k_2 E = t_{o.ж} - t_b. \quad (16.4)$$

Коэффициент k_2 зависит от оптических свойств кожного-шерстного покрова, вида и возраста животного, состояния систем терморегуляции организма и других параметров, раздельный учет которых представляет значительные трудности. Экспериментальные исследования процесса ИК облучения животных и птицы позволили определить его ориентировочное значение:

$$k_2 = 0,04 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С} \cdot \text{Вт}^{-1}.$$

Известно, что при конвективном обогреве теплоотдача с поверхности тела животного зависит не только от температуры воздуха t_b , но и от средней температуры τ поверхности ограждений, обращенных в зону обо-

грева, а также от скорости потоков воздуха, омывающих тело животного. В связи с этим тепловой режим в помещениях следует характеризовать значением температуры помещения $t_{\text{п}}$:

$$t_{\text{п}} = m\tau + (1 - m)t_{\text{в}}, \quad (16.5)$$

где m — коэффициент, зависящий от вида помещения и скорости потоков воздуха в нем ($m=0,5$ для жилых зданий; $m=0,42$ для свиноводческих помещений; $m=0,3$ для помещений для крупного рогатого скота).

Заметная разница между $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{в}}$ возникает при ИК или конвективном обогреве и при сильно развитых холодных поверхностях наружных ограждений животноводческих помещений, в то время как зооветеринарные требования и действующие строительные нормы и правила регламентируют только температуру воздуха $t_{\text{в}}$ в животноводческом помещении.

При расчете ИК облучательных установок температуру помещений следует принимать как нормируемую внутреннюю температуру.

Для упрощения выбора параметров и режимов обогрева для различных источников ИК излучения могут быть построены номограммы, позволяющие найти высоту подвеса облучателей и необходимое напряжение их питания. На рисунке 16.7 (вклейка) приведена номограмма для ламп ИКЗК 220-250.

Для определения высоты подвеса и напряжения на лампах для обогрева телят в помещении с $t_{\text{в}}=13^{\circ}\text{C}$ (точка A) и средней температурой ограждений $\tau=10^{\circ}\text{C}$ (точка B) необходимо по правой верхней части номограммы определить температуру помещения (точка D) $t_{\text{п}}=12^{\circ}\text{C}$, затем продолжить прямую BD до пересечения с прямой, соответствующей $t_{\text{о.ж}}=18^{\circ}\text{C}$ (требуемая температура для телят первого возраста). Из точки пересечения опустить перпендикуляр, который на горизонтальной оси отсечет значение произведения k_2E , а в нижней части номограммы позволит избрать одно из рекомендуемых сочетаний высоты подвеса облучателя с напряжением питания лампы ИКЗК 220-250.

Эффективность использования инфракрасного излучения в значительной степени зависит от режима ИК облучения.

Для облучения поросят необходимо в свинарниках-маточниках создавать два отдельных температур-

ных режима: один для подсосных маток, другой — для поросят-сосунов.

Поросят в подсосный период следует обогревать в зоне их отдыха при помощи облучателей ОРИ-2, ССПО 1-250. Облучатели установок ИКУФ, «Луч», облучатели ОРИ-1, «ЛатВИКО» используют, как правило, для обогрева двух смежных станков, размещая их над перегородкой. Если в помещении отсутствует система общего обогрева, то облучатели установок ИКУФ, «Луч» размещают по одному на каждое станко-место.

При температуре воздуха в помещении более 16°C ИК лампы облучателей ИКУФ следует переключить на последовательное соединение.

Для обогрева телят наиболее целесообразно применять облучательные установки ИКУФ, «Луч». При содержании телят в клетках один облучатель используют для облучения двух животных в смежных клетках. При групповом содержании телят оборудуют обогреваемую площадку из расчета один облучатель на 4 м^2 площади. Режим облучения телят — прерывистый с выключением на 30 мин через каждые 1...1,5 ч работы установки. В первые два-три дня жизни, когда телята много лежат, высота подвеса облучателей может составлять 0,5...0,6 м, потом ее следует увеличить до 1,2 м.

Для обсушивания и обогрева телят в первые часы жизни следует использовать переносной облучатель с лампой ИКЗК 220-250, закрепляемый на ограждении клетки.

Для обогрева молодняка птицы используют ИК лампы только с окрашенной колбой. Одной лампой мощностью 250 Вт можно обогреть 100...120 цыплят, 60...80 индюшат, гусят или утят первого возраста. Наиболее эффективны автоматизированные установки ИКУФ, «Луч». Облучатели установки ИКУФ или «Луч», попарно укрепленные на прямоугольной несущей раме, могут использоваться вместо брудера БП-1. ИК обогрев птицы применим и при одноярусных клеточных батареях. В этом случае облучатели располагают стационарно на высоте 0,6...0,7 м от пола клетки.

Молодняк птицы обогревают до 20...30-дневного возраста. Режим обогрева, как правило, непрерывный.

При эксплуатации облучательных установок следует строго соблюдать режимы ИК и УФ облучения, ука-

занные в «Рекомендациях по инфракрасному обогреву молодняка сельскохозяйственных животных и птицы».

Недопустимо использовать термометры, термографы и другие приборы для измерения температуры воздуха с целью контроля теплового режима под ИК облучателями. Вследствие специфических особенностей ИК облучения эти приборы не позволяют получить объективные данные о тепловом режиме в зоне облучения. В случае необходимости следует пользоваться приборами, предназначенными для измерения ИК излучения (см. гл. 4).

Регулировать ИК облученность под облучателями можно высотой подвеса облучателей, переключением ИК ламп облучателей ИКУФ-1 с параллельного соединения на последовательное или регуляторами напряжения. Облученность регулируют вручную (ступенчато) или автоматически (плавно, в зависимости от возраста и развития животных или птицы и от температуры воздуха в помещении для их содержания). Закон регулирования напряжения или изменения высоты подвеса облучателей можно легко установить, воспользовавшись номограммой (рис. 16.7).

§ 16.3. Использование видимого и ИК излучений в технологических процессах сельскохозяйственного производства

Дозированное воздействие ИК излучением на семена сельскохозяйственных культур оказывает благотворное влияние на их посевные качества. При облучении семян яровой пшеницы ИК излучением ТЭНов (М. А. Никитенко) температура их поверхности за 10...30 с повышается до 25...45 °С, что не только не снижает качества зерна, но и увеличивает урожай.

Волгоградским СХИ (А. А. Климов) разработана установка ЭМПОС-2, предназначенная для облучения семян сельскохозяйственных культур ИК и видимым излучениями. Обрабатываемые семена перемещаются по вибрирующему лотку под лампами накаливания, включенными попарно-последовательно на напряжение 380 В. За 40...60 с пребывания зерна в машине оно нагревается до 48...55 °С. Обработкой зерна в машине достигают несколько целей: зерно подсушивается, подвергается дезинсекции, проходит предпосевную обработку,

повышающую всхожесть, качество растений и урожай. Дезинсектирующее действие ИК излучения основано на селективном воздействии его на живые организмы в зависимости от содержания в них влаги, обладающей высоким коэффициентом поглощения ИК излучения. Насекомые, находящиеся в зерне, за время обработки нагреваются до температур, действующих на них губительно.

Мощность установки 16 кВт, производительность 500 кг/ч, удельный расход электроэнергии 25... 40 кВт·ч·т⁻¹.

Для дезинсекции мешкотары создан передвижной дезинсектор. Установка состоит из двух плоских вертикальных ИК излучателей, между которыми бесконечной цепью с крюками перемещаются мешки, подвергаемые обработке. В течение 70 с ткань нагревается до 100 °С, и находящиеся на ней насекомые гибнут. Мощность установки 12,6 кВт, производительность 600 мешков за час, удельный расход энергии 1 кВт·ч на 5 мешков.

Сортировка плодов и овощей. Большинство зрелых плодов, овощей и ягод отличается от незрелых своей окраской, поврежденные плоды — окраской и формой.

Известны системы фотосортировальных машин, принцип действия которых основан на оценке оптических свойств исследуемого продукта: отражения, пропускания и поглощения им ИК и видимых излучений различных длин волн.

У нас в стране под руководством И. Ф. Бородин (МИИСП) разработана серия машин для сортировки томатов по степени зрелости (В. П. Богун), для отделения яблок с механическими повреждениями, непригодных к длительному хранению (А. С. Гордеев), для отделения картофеля от пораженных заболеваниями клубней, комков земли и камней (Н. И. Кирилин). Действие фотосортировальных машин основано на оценке коэффициентов отражения от исследуемого объекта оптических излучений различных длин волн. Так, машина для сортировки томатов определяет степень их зрелости на основании сопоставления коэффициентов отражения от их поверхности излучений с длинами волн 550, 640 и 660 нм. Машина разделяет томаты на 5 фракций в момент движения их через фото-

метрическое устройство со скоростью $0,12 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. По команде электронного устройства толкатели сбрасывают плоды в одну из пяти приемных емкостей.

Пастеризация молока ИК излучением обладает существенными преимуществами перед традиционным способом обработки молока в теплообменных аппаратах. При воздействии ИК излучения за 3...4 с уничтожается 99,8...99,9% бактерий, после чего молоко может храниться при температуре $+5^\circ\text{C}$ в течение 8...10 суток. Исследователи (В. Г. Гизатуллин, А. Э. Мянд и др.) отмечают сохранение естественного вкуса, быстроту обработки, сокращение удельных затрат энергии на пастеризацию молока в 1,5...2 раза.

В качестве источника ИК излучения предлагается использовать кварцевые галогенные лампы накаливания КГ 220-1000-1.

Сушка лакокрасочных покрытий при ремонте сельскохозяйственной техники и электродвигателей — одно из перспективных направлений в использовании ИК излучения. ИК лампы рекомендуется располагать на расстоянии 0,2...0,5 м от окрашенной поверхности и друг от друга, чтобы обеспечить равномерное распределение ИК облученности по обогреваемой поверхности. ИК лампы могут быть вмонтированы в стены сушильных камер или тоннелей, по которым перемещаются просушиваемые материалы или изделия.

Весьма удобно использовать инфракрасные лампы, имеющие малые размеры при относительно большой единичной мощности, для сушки обмоток статоров электродвигателей без демонтажа последних с фундамента.

Глава 17

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ И ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

§ 17.1. Системы напряжения, классификация электрических сетей

Сельскохозяйственные потребители, как правило, питаются от трехфазных понизительных трансформаторов подстанций напряжением 10/0,4 кВ, размещаемых в

населенных пунктах или вблизи предприятий сельскохозяйственного производства.

Правила устройства электроустановок (ПУЭ-76, VI-1-7) предписывают для питания светильников общего освещения использовать напряжение не выше 380/220 В переменного тока при заземленной нейтрали.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных помещениях светильники нужно размещать на высоте не менее 2,5 м от пола. Если же светильники общего освещения с лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ или ДНаТ расположены на высоте менее 2,5 м от пола или площадки обслуживания, то они должны иметь конструкцию, исключающую возможность доступа к лампе без применения инструмента (отвертка, плоскогубцы, ключи и др.). Ввод проводов в такие светильники должен быть выполнен в металлической трубе, металлорукаве, защищенном от механических повреждений проводом или кабелем с защитной оболочкой. Если невозможно соблюсти указанные условия, освещение нужно выполнять лампами накаливания на напряжение не более 42 В.

Указанное требование не распространяется на светильники электропомещений, светильники, обслуживаемые с кранов или площадок, посещаемых только квалифицированным персоналом.

Светильники с люминесцентными лампами на напряжение 127...220 В допускается устанавливать на высоте менее 2,5 м от пола лишь при условии, что их токоведущие части недоступны для случайных прикосновений.

Для питания отдельных ламп, как правило, применяется напряжение не выше 220 В. В помещениях без повышенной опасности это напряжение допускается для всех стационарных светильников независимо от высоты их установки.

Для питания специальных ламп, рассчитанных на напряжение 380 В, и ПРА для включения газоразрядных ламп по специальным схемам (например, трехфазные с последовательным соединением ламп) допускается использовать напряжение до 380 В, если обеспечено одновременное отключение всех фазных проводов, вводимых в светильник (если только светильник не установлен в помещении без повышенной опасности), и если на светильники, установленные в помещениях с

повышенной опасностью и особой опасностью, нанесены хорошо различимые отличительные знаки с указанием применяемого напряжения.

Для питания светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания в помещениях без повышенной опасности нужно использовать напряжение не более 220 В, а в помещениях с повышенной и особой опасностью — не более 42 В.

Светильники с люминесцентными лампами можно применять для местного освещения, если их токоведущие части недоступны для случайных прикосновений. В сырых, особо сырых, жарких помещениях, в помещениях с химически активной средой люминесцентные лампы для местного освещения необходимо помещать в арматуру специальной конструкции.

Для питания ручных светильников в помещениях с повышенной или особой опасностью следует использовать напряжение не более 42 В, а при особо неблагоприятных условиях — не более 12 В.

Электрическую сеть от потребительского трансформатора до электроприемников принято делить на питающую — от источника до группового щитка и групповую — от группового щитка до электроприемников. Светильники и облучатели разделяют на группы, питание к которым подается от групповых щитков по линиям различных видов: двухпроводной (фазный и нулевой провода), трехпроводной (два фазных провода и нулевой или три фазных провода без нулевого) и четырехпроводной (три фазных провода и нулевой).

Для управления сетями осветительных и облучательных установок и защиты их от токов коротких замыканий и перегрузок в распределительных пунктах на групповых щитках и панелях управления устанавливаются соответствующую коммутационную и защитную аппаратуру.

§ 17.2. Компонировка осветительной сети

При компоновке осветительной сети светильников и облучателей их разделяют на группы, намечают на плане помещения места установки распределительных пунктов и групповых щитков, наносят на план помещения трассы питающей и групповой сетей. Общую нагрузку осветительной или облучательной установки

стремятся равномерно распределить между фазами питающей сети.

ПУЭ ограничивают число ламп и штепсельных розеток, подсоединяемых к каждой фазе групповой линии, 20 лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, розетками или 50 люминесцентными лампами. К однофазным группам освещения лестниц, коридоров, холлов, технических подвалов и чердаков жилых и общественных зданий допускается присоединять до 60 ламп накаливания с единичной мощностью до 60 Вт. К каждой групповой линии, питающей лампы с единичной мощностью 10 кВт и более, допускается присоединять не более одной лампы.

Рациональное размещение групповых щитков обеспечивает удобство эксплуатации установки и позволяет сократить протяженность внутренних сетей.

Групповые щитки располагают по возможности в центре питаемых ими электрических нагрузок в местах, удобных для обслуживания. Щитки, предназначенные для управления освещением, нужно устанавливать на такой высоте, чтобы расстояние от пола до верхней части щитка было не более 2 м, причем таким образом, чтобы от него были видны управляемые светильники. Щитки, не используемые для управления, располагают на высоте до 2,5...3 м.

Групповые линии сетей внутреннего освещения нужно защищать предохранителем или автоматическим выключателем на ток не более 25 А. Групповые линии, питающие газоразрядные лампы единичной мощностью 125 Вт и более или лампы накаливания единичной мощностью 500 Вт и более, допускается защищать плавкими вставками предохранителей или расцепителями автоматов на рабочий ток до 63 А.

Ток аппаратов защиты групп, питающих лампы мощностью 10 кВт и более, должен соответствовать току этих ламп.

Однофазные групповые линии целесообразно использовать в помещениях небольшой площади или в административных, бытовых и вспомогательных помещениях, освещаемых лампами накаливания мощностью до 200 Вт или одиночными светильниками с люминесцентными лампами. В прочих случаях следует применять трехфазные групповые линии.

Групповая сеть квартир и домов должна быть рас-

считана на длительную нагрузку током 15 А при включенных освещении и бытовых электроприборах мощностью до 2 кВт. В домах с плитами на твердом топливе штепсельные розетки на ток до 10 А, установленные в кухне и коридоре, нужно объединять в отдельную группу. Необходимо предусмотреть отдельную группу на ток до 25 А для питания бытовых электрических машин мощностью до 4 кВт. Лампы общего освещения и прочие розетки также объединяют в отдельную группу.

В квартирах и домах с электроплитами предусматривают специальную групповую линию на ток 30 А при мощности плиты 5,5 кВт или на ток 40 А при мощности плиты до 8 кВт.

При выборе трассы осветительной сети принимают во внимание конструктивные особенности избранного типа проводки, требования максимального сокращения протяженности линий и стоимости проводки, удобство эксплуатации осветительной установки, архитектурно-строительные особенности здания.

В жилых, административных и общественных помещениях применяют преимущественно скрытые проводки, трассы которых выбирают в зависимости от конструкции и расположения строительных элементов. В производственных помещениях широко используются открытые проводки проводов в трубах, на тросах, в лотках и коробах. Все большее распространение получают осветительные проводки на базе шинопроводов, устанавливаемых на стенах помещений или подвешиваемых на тросах.

Протяженность линий осветительной проводки и ее стоимость в значительной мере зависят от оптимального размещения в помещении групповых и распределительных щитков.

Удобство эксплуатации проводки заключается в возможности свободного доступа к различным участкам трассы для ее осмотра и выполнения ремонтных работ. Схема электрической сети должна давать возможность гибко управлять работой осветительной установки в зависимости от естественной освещенности в помещении и требований технологии производства.

Учет архитектурно-строительных особенностей здания предусматривает выбор рациональных трасс проводки, не ухудшающих вида помещения.

§ 17.3. Защита осветительных сетей

Провода электрических сетей в зависимости от их типа, способа прокладки и условий работы рассчитаны на протекание вполне определенных длительно допустимых токов нагрузки. Протекание по проводам токов, превышающих допустимые, вызывает их чрезмерный нагрев, ведущий к ускоренному старению изоляции и выходу проводки из строя, который в зависимости от окружающей среды может сопровождаться возникновением пожара или взрыва. Такими аномальными токами являются токи короткого замыкания и токи перегрузок.

Электрические сети во всех случаях должны быть защищены от токов короткого замыкания. Защита должна в кратчайшее время отключить поврежденный участок линии при возникновении токов одно- и многофазных коротких замыканий в сетях с заземленной нейтралью.

Для зданий и помещений, где необходимо создать особо надежную и безопасную работу осветительных сетей или где отсутствует квалифицированное обслуживание, помимо защиты от токов короткого замыкания, требуется защита и от токов перегрузок.

Защита от перегрузок необходима для сетей, выполненных открыто проложенными незащищенными проводами с горючей изоляцией (АПР, ПРД и др.), и для сетей жилых и общественных зданий, служебно-бытовых и торговых помещений, пожароопасных помещений и взрывоопасных установок, включая и наружные класса В-1 г.

Аппараты защиты устанавливают группами в доступных и безопасных для обслуживания местах на линиях, отходящих от щитов, щитков и других распределительных устройств; в местах, где происходит уменьшение сечения проводов линии; в точках секционирования сетей для селективного действия защитных аппаратов; со стороны высшего и низшего напряжения понизительных трансформаторов для питания светильников на 42 В и ниже.

Аппараты защиты следует устанавливать непосредственно в местах присоединения защищаемых проводов к питающей линии. Допускается относить их на расстояние не более 3 м от места присоединения, а при от-

ветвлениях в труднодоступных местах — до 30 м, но такие незащищенные участки должны быть выполнены кабелями с негорючей оболочкой или проводами в стальных трубах. При длине более 3 м они должны иметь пропускную способность не менее 10% пропускной способности магистрали, от которой выполнено ответвление. В любом случае сечение проводов незащищенного участка ответвления не может быть меньше сечения проводов за защитным аппаратом.

Ответвления к светильникам от групповых линий, защищенных аппаратами с номинальным током до 50 А, разрешается не защищать, если их длина не превышает 3 м при любом типе проводки. Если же провода ответвления проложены в стальных трубах, то длина такого ответвления не ограничивается.

В местах уменьшения сечения проводов линий защитные аппараты допускается не устанавливать, если участок со сниженным сечением проводов входит в зону защиты соседнего со стороны источника энергии защитного аппарата, а также если незащищенные участки линии или ответвления выполнены проводами, сечение которых не меньше половины сечения проводов защищенных участков сети.

Если понизительные трансформаторы питаются отдельной групповой линией и к ней подключено не более трех трансформаторов, то защищать с высшей стороны каждый трансформатор необязательно.

В нулевых рабочих проводах запрещено устанавливать предохранители, автоматические выключатели и выключатели. Исключение составляют лишь сети взрывоопасных помещений класса В-1, в которых автоматические выключатели устанавливают в фазном и нулевом проводах, а для заземления металлических нормально нетоковедущих частей осветительной установки прокладывают специальный провод.

Технические характеристики предохранителей с плавкими вставками и автоматических выключателей приведены в таблицах 6, 7 и 8 приложений.

Номинальные токи плавких вставок и уставки расцепителей автоматических выключателей выбирают, исходя из следующих условий:

а) номинальные токи аппаратов защиты должны быть не менее расчетных токов защищаемых участков и по возможности близкими к ним;

б) при выборе токов аппаратов защиты нужно учитывать пусковые токи мощных ламп накаливания и ламп типов ДРЛ, ДРИ, ДНаТ для исключения срабатывания аппаратуры защиты при протекании по ней пусковых токов указанных ламп;

в) отключение отдельных участков сети при аварийных режимах должно осуществляться селективно, то есть время срабатывания ближайшего к месту повреждения защитного аппарата должно быть наименьшим. Время срабатывания каждого из последующих защитных аппаратов, расположенных на пути к источнику электроэнергии, должно быть большим, чем у предыдущего.

При одновременном включении ламп ток в осветительной сети в течение некоторого времени может значительно превосходить номинальное значение. Пусковой ток ламп накаливания мощностью 500 Вт и выше может превышать номинальный ток в 10...14 раз в течение 0,02...0,05 с. В связи с этим при использовании автоматов с электромагнитными или комбинированными расцепителями следует уставки защитных аппаратов избирать таким образом, чтобы они не срабатывали при включении установки. Пусковой ток газоразрядных ламп высокого давления на протяжении 60...90 с в 2...3 раза превосходит их номинальный ток. Пусковой ток люминесцентных ламп можно не учитывать вследствие значительной разновременности включения отдельных ламп.

Во избежание ложных срабатываний защитных аппаратов из-за пусковых токов осветительных и облучательных установок при выборе номинальных токов плавких вставок $I_{п.в}$ или уставок тепловых I_T и комбинированных I_K расцепителей автоматических выключателей следует руководствоваться рабочим током линии и следующими соотношениями:

для ламп накаливания

$$I_{п.в} \geq I_p; \quad I_T \geq I_p; \quad I_K \geq 1,4I_p; \quad (17.1)$$

для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ

$$I_{п.в} \geq 1,2I_p; \quad \text{при } I_p \leq 50 \text{ А} \quad \begin{aligned} I_T &\geq 1,4I_p, \\ I_K &\geq 1,4I_p; \end{aligned}$$

$$\text{при } I_p > 50 \text{ А} \quad \begin{aligned} I_T &\geq I_p, \\ I_K &\geq I_p. \end{aligned}$$

$$(17.2)$$

В целях обеспечения селективности срабатывания защит номинальный ток каждого последующего в направлении к источнику питания защитного аппарата следует принимать не менее чем на две ступени большим, чем у предыдущего аппарата, если только это не ведет к завышению площади поперечного сечения проводов сети.

В установках с глухим заземлением нейтрали проводники должны быть выбраны таким образом, чтобы при коротком замыкании возникал ток, превышающий не менее чем в три раза номинальный ток плавкой вставки предохранителя, теплового или комбинированного расцепителя автоматического выключателя. Во взрывоопасных помещениях это соотношение должно быть не менее 4 при предохранителях и 6 при автоматах.

При защите автоматами, имеющими только электромагнитный расцепитель, ток короткого замыкания должен быть в 1,4 раза больше тока срабатывания расцепителя автоматов до 100 А и в 1,25 раза больше для автоматов на ток более 100 А.

Соответствие указанным значениям отношений токов короткого замыкания к номинальным токам и уставкам защитных аппаратов проверяют по результатам расчетов наименьших токов короткого замыкания (чаще всего однофазных в наиболее удаленных точках сети) после выбора сечений проводов.

Если же соотношение между длительно допустимым током проводника и номинальным током защитного аппарата соответствует значению, приведенному в таблице 17.1, то указанную выше проверку допускается не выполнять.

Если сечения, определяемые условиями защиты, оказываются большими, чем необходимые по расчетному току, то могут быть приняты ближайшие меньшие сечения (но не меньше необходимых для расчетного тока).

Проверку автоматических выключателей на термическую и динамическую устойчивость выполняют по результатам расчетов наибольших токов короткого замыкания (чаще всего однофазных в непосредственной близости от автомата).

Заземление и зануление осветительных и облучательных установок выполняется в соответствии с ПУЭ.

Проводники	Вид защиты сетей	Характеристика помещений, где требуется защита проводников	Нормируемое соотношение $I_{\text{д}}/I_3^*$ для аппаратов защиты			
			Плавкие предохранители	Автоматические выключатели с тепловым или комбинированным расцепителем		Автоматические выключатели только с электромагнитным расцепителем
				Нерегулируемый расцепитель	Регулируемый расцепитель	
Проводники всех типов	От токов короткого замыкания	Все помещения	$\geq 0,33$	$\geq 1,0$	$\geq 0,66$	$\geq 0,22$
	От токов перегрузки	Производственные невзрывоопасные помещения Все прочие помещения Производственные пожароопасные помещения Помещения: торговые, служебно-бытовые, промышленных предприятий, общественные и жилые здания, взрывоопасные установки Помещения: пожароопасные, торговые, служебно-бытовые, промышленных предприятий, общественные и жилые здания, взрывоопасные установки	$\geq 1,25$	$\geq 1,0$ $\geq 1,0$	$\geq 1,0$ $\geq 1,0$	$\geq 1,25$ $\geq 1,25$
Кабели с бумажной изоляцией			$\geq 1,0$	$\geq 1,0$	$\geq 0,8$	$\geq 1,0$

* I — длительно допустимый ток проводников; I_3 — номинальный ток аппарата защиты.

§ 17.4. Аппаратура управления сетями осветительных и облучательных установок

Для ручного управления установками используют пакетные и автоматические выключатели, для дистанционного управления — магнитные пускатели.

Защитные и коммутационные аппараты устанавливают в групповых и магистральных щитках, шкафах и распределительных пунктах.

Щитки, шкафы и распределительные пункты в основном оснащаются автоматическими выключателями. Вследствие дефицитности автоматических выключателей предполагается сократить их использование в осветительных сетях за счет более широкого использования щитков с пакетными выключателями и предохранителями с плавкими вставками.

Технические данные шкафов, щитков, станций управления и некоторого другого электротехнического оборудования сетей осветительных и облучательных установок приведены в таблицах 5...8 приложений.

Для регулирования и стабилизации напряжения в осветительных сетях применяются тиристорные стабилизаторы-ограничители напряжения ТОН-3-220-63 и ТОН-3-220-100. Мощность ограничителей соответственно 63 и 100 кВ·А, они предназначены для работы в сетях 380/220 В совместно с любыми лампами.

Применение тиристорных ограничителей предотвращает ускоренный выход из строя источников света из-за повышенного напряжения в сети. ТОН — трехфазный аппарат с независимой работой фаз, каждая из которых может быть запружена в разной степени почти от холостого хода до номинального значения. Коэффициент полезного действия ограничителя близок к единице.

ТОН не повышает напряжения, но стабилизирует его с точностью $\pm 1,5\%$ в соответствии с уставкой в пределах 90...105% при условии, что напряжение сети превышает значение уставки ограничителя. Если напряжение сети оказывается меньше значения уставки, то на выходе ограничителя будет то же напряжение, что и на его входе.

При использовании ТОН следует иметь в виду, что он снижает на 10...15% коэффициент мощности сети и может стать источником радиопомех.

Тиристорный ограничитель напряжения устойчиво работает совместно с лампами накаливания.

В сетях с люминесцентными лампами ТОН применим, если число ламп, питаемых отстающим током, составляет не менее 50% от их общего числа. Надежность зажигания люминесцентных ламп, питаемых через ограничитель напряжения, повышается, если на выход каждой из фаз ТОН, кроме люминесцентных ламп, включена лампа накаливания мощностью 40...60 Вт.

В сетях с газоразрядными лампами высокого давления (типа ДРЛ, ДРИ и др.) ограничитель напряжения может работать лишь при отсутствии компенсирующих устройств. Если компенсация необходима, то конденсаторы могут быть подключены к сети лишь перед ограничителем напряжения со стороны источника электроснабжения.

§ 17.5. Компенсация реактивной мощности

При использовании в осветительных и облучательных установках газоразрядных источников излучения возникает необходимость компенсации реактивной мощности, так как естественный $\cos \varphi$ таких источников составляет 0,5...0,6. Компенсация может быть индивидуальной, когда компенсирующие конденсаторы устанавливаются у каждой лампы, и групповой, когда конденсаторы устанавливают на групповых линиях, в питающей сети или на шинах подстанции.

В соответствии с требованием ПУЭ люминесцентные лампы следует применять с пускорегулирующими аппаратами, обеспечивающими коэффициент мощности не ниже 0,9. Все выпускаемые промышленностью светильники для люминесцентных ламп снабжены компенсирующими конденсаторами.

Для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ применима как групповая, так и индивидуальная компенсация реактивной мощности. Целесообразность того или иного вида компенсации определяется технико-экономическим расчетом.

В облучательных установках значительной мощности на базе газоразрядных ламп высокого или низкого давления (например, в теплицах) предпочтительна групповая компенсация, несмотря на повышение зат-

рат на групповую сеть, которую рассчитывают по току, соответствующему полной мощности установки. Использование группового компенсирующего устройства в этом случае позволяет уменьшить массу облучательной установки, снизить ее стоимость и повысить надежность за счет размещения конденсаторной батареи вне помещения для выращивания растений с весьма неблагоприятными для электрооборудования условиями.

Мощность компенсирующей установки (квар) определяется по формуле

$$Q = P_{\text{расч}} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2), \quad (17.3)$$

где $P_{\text{расч}}$ — расчетная суммарная мощность установки, кВт; φ_1 , φ_2 — углы сдвига фаз соответственно до и после компенсации.

Обычно конденсаторы при групповой компенсации включают по схеме «треугольник», что позволяет уменьшить суммарную емкость батареи конденсаторов. Требуемая для компенсации реактивной мощности емкость (мкФ) определяется по выражению

$$C = \frac{Q 10^3}{2\pi f U^2}, \quad (17.4)$$

где f — частота сети, Гц; U — напряжение сети, кВ.

Для устранения опасного напряжения на зажимах батареи после отключения применяются разрядные резисторы, включаемые параллельно батарее. Нередко в качестве разрядных резисторов используют лампы накаливания. Разрядный резистор выбирают так, чтобы потери в нем не превышали 1 Вт на 1 квар мощности батареи, а напряжение на нем через 30 с после отключения батареи не превышало 65 В.

Сопротивление (Ом) разрядного резистора определяют по формуле

$$R_{\text{разр}} \leq 15 \cdot 10^6 \frac{U^2}{Q}, \quad (17.5)$$

где U — напряжение сети, кВ; Q — мощность конденсаторов, квар.

Промышленность выпускает комплектные конденсаторные установки, предназначенные для компенсации реактивной мощности в осветительных установках с газоразрядными лампами при напряжении 380/220 В и частоте 50 Гц. В комплектных установках использу-

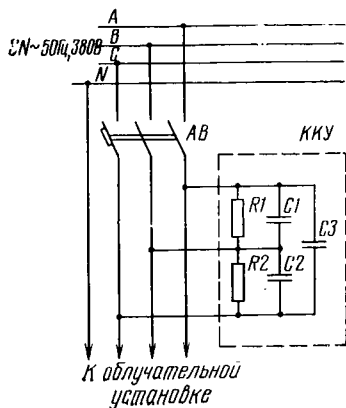


Рис. 17.1. Схема включения комплектной конденсаторной установки.

ются трехфазные конденсаторы КС мощностью 18 и 36 квар с синтетическим диэлектриком.

Схема включения комплектной конденсаторной установки (ККУ) показана на рисунке 17.1.

Установка содержит статические конденсаторы $C1...C3$ и разрядные резисторы $R1$ и $R2$, включенные параллельно конденсаторам.

Установку подключают к сети проводами или кабелем в металлорукаве или стальных трубах через верхнюю или нижнюю часть кожуха.

Площадь поперечного сечения проводников принимают не менее 16 мм^2 для конденсаторов 36 квар и 6 мм^2 для конденсаторов 18 квар.

ПУЭ рекомендуют при использовании групповой компенсации обеспечить отключение компенсирующих устройств одновременно с отключением компенсируемых ими установок, поэтому проводники компенсирующей установки присоединяют к проводам групповой сети питания ламп внутри щитка на расстоянии 60...70 мм от выходных клемм автоматического выключателя АВ. Соединения выполняют при помощи ответвительных сжимов без разрезания проводов групповой сети.

§ 17.6. Расчет площади поперечного сечения проводов сети осветительных и облучательных установок

Площадь поперечного сечения токопроводящих жил проводов и кабелей определяют, исходя из двух основных условий: допустимого нагрева проводов током нагрузки и допустимого отклонения напряжения у потребителя. Расчет обычно выполняют по одному из условий, а по другому — проверяют.

Короткие линии со значительной нагрузкой рассчитывают по допустимому нагреву, а по отклонению напряжения проверяют.

Протяженные линии с малой плотностью нагрузки, характерные для сельскохозяйственного производства, рассчитывают по отклонению напряжения, затем полученные в результате расчета площади поперечного сечения проводов проверяют по условию допустимого нагрева.

Кроме того, площади поперечных сечений проводов должны удовлетворять условиям механической прочности и согласования их с уставками защитных аппаратов.

Электрические сети сельскохозяйственного назначения следует рассчитывать на минимум расхода металла. При их расчете исходят из допустимых отклонений напряжения у потребителя от номинального значения: $-7,5\%$ у наиболее удаленного электроприемника при 100% нагрузки и $+7,5\%$ у ближайшего к источнику энергии электроприемника при 25% нагрузки. На животноводческих и птицеводческих комплексах допустимы отклонения напряжения $-5\% \dots +5\%$.

Отклонение напряжения представляет собой алгебраическую разность между напряжением в данной точке сети при данном режиме и номинальным напряжением. Расчет площади поперечного сечения проводов основывается на значении допустимой потери напряжения на данном участке сети, под которой понимается алгебраическая разность между отклонениями напряжения в начале и в конце участка. Допустимая потеря напряжения в сетях $0,4$ кВ распределяется между линиями электропередач напряжением $0,4$ кВ и внутренними проводками сельскохозяйственных объектов, на потери в которых приходится $2,5\% U_n$. Выбор сечения проводов осветительной сети следует проводить, руководствуясь справочной литературой [9, 11].

При определении рабочих токов участков сети с газоразрядными лампами и устройствами групповой компенсации необходимо иметь в виду, что от источника энергии до точки включения конденсаторных батарей сеть имеет коэффициент мощности не ниже $0,9$, а от указанной точки до источников излучения — около $0,6$. Учет указанного обстоятельства особенно необходим применительно к мощным облучательным установкам типа тепличных с газоразрядными лампами.

Вопросы согласования длительно допустимого тока выбранных проводов, определяемого типом провода,

площадью поперечного сечения его жил и способом прокладки, с уставками защитных аппаратов изложены в § 17.3.

При выборе площади поперечного сечения нулевого провода необходимо иметь в виду следующие соображения:

а) в четырехпроводных трехфазных сетях, питающих установки с лампами накаливания, площадь поперечного сечения нулевого провода следует принимать равной половине площади сечения фазного провода;

б) в однофазных и двухфазных линиях площадь поперечного сечения нулевого провода должна быть равна площади поперечного сечения фазных проводов;

в) в линиях, где предусмотрена возможность пофазного отключения, площадь поперечного сечения нулевого провода должна соответствовать току наиболее нагруженной фазы;

г) площадь поперечного сечения нулевого провода трехфазной линии, питающей газоразрядные лампы, выбирают равной площади сечения фазного провода.

Последнее обстоятельство объясняется тем, что вследствие несинусоидальности кривой тока в цепи газоразрядных ламп в нулевом проводе трехфазной линии даже при симметричной нагрузке протекает ток третьей и кратных ей гармонических составляющих, значение которого может достигать 85% фазного тока.

Глава 18

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ И ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

§ 18.1. Проектирование осветительных и облучательных установок

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

1. Ознакомление с планом и разрезами строительного и технологического (если он имеется) проектов с целью выяснения характера помещений по условиям среды и степени опасности поражения электрическим

током. При этом обращают внимание на характер работ в помещении с точки зрения установления требуемой освещенности. Уровни освещенности должны соответствовать значениям, указанным в таблице 3 приложения.

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

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

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

5. Выбор системы групповой сети и способа управления светильниками.

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

7. Разделение светильников на группы, размещение групповых щитков, нанесение на план помещения групповой сети, обмер ее и подсчет нагрузки по группам.

8. Нанесение на план питающей сети, совместный расчет питающей и групповой сети, выбор защитных аппаратов. Полученные результаты наносят на расчетную схему (см. стр. 248).

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

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

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

Номер щитка по плану	$P_{уст}$, кВт Потеря напря- жения до щитка, %	Тип щитка	Номер груп- пы	Сис- тема груп- пы	Защитный аппарат		
					Тип	Номи- нальный ток, А	Устав- ка, А
1 $\frac{6}{2,5}$ ОПМ-1			1	A+N	A3161	50	15
			2	B+N	A3161	50	15
			3	C+N	A3161	50	15

Продолжение

Протя- женность, м	Тип провода, число и площадь сечения жил; способ прокладки	Установ- ленная мощность, кВт	Потеря напряже- ния, %	Наименование нагрузки
25	АНРГ 2×2,5 СК	2,0	2,4	Освещение
25	АНРГ 2×2,5 СК	2,0	2,4	Освещение
25	2АПВ 2,5 Т20	2,0	2,4	Освещение

Для определения предпочтительного варианта из двух конкурирующих можно воспользоваться соотношением

$$\frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} \leq T_n, \quad (18.1)$$

где K_1 и K_2 — капитальные затраты по первому и второму вариантам, р.; C_1 и C_2 — эксплуатационные затраты в тех же вариантах, р.·год⁻¹; T_n — нормативный срок окупаемости, год.

Выражение (18.1) имеет смысл лишь при $K_2 > K_1$ и $C_1 > C_2$. Оно показывает, во сколько лет большие капитальные затраты второго варианта окупятся меньшими эксплуатационными расходами. При $K_1 < K_2$, $C_1 < C_2$ первый вариант установки безусловно экономичнее второго.

При сравнении более двух вариантов наиболее выгодный из них определяют по соотношению

$$C + \frac{K}{T_n} = \min. \quad (18.2)$$

Здесь K — сметная стоимость осветительной установки, р.; C — годовые эксплуатационные расходы (р.·год⁻¹), вычисляемые по выражению

$$C = C_3 + C_a + C_{\text{л}} + C_4, \quad (18.3)$$

где C_3 — стоимость электроэнергии (включая потери в сетях) за год, р.·год⁻¹; C_a — амортизационные отчисления, р.·год⁻¹; $C_{\text{л}}$ — стоимость сменяемых в течение года ламп, р.·год⁻¹; C_4 — стоимость чистки светильников, р.·год⁻¹.

В выражение (18.3) слагаемые, остающиеся одинаковыми в сравниваемых вариантах, могут не включаться. Вместе с тем можно добавлять слагаемые, характерные для какого-либо из сравниваемых вариантов.

Стоимость электроэнергии, израсходованной за год, определяется по выражению

$$C_3 = P k_c (1 + 0,01 \Delta U \%) T q,$$

где P — установленная мощность осветительной установки, включая потери в ПРА, кВт; k_c — коэффициент спроса; ΔU — потери напряжения в сети до средних ламп, %; T — годовое число часов использования осветительной установки, ч; q — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, р.·кВт⁻¹·ч⁻¹.

Амортизационные отчисления делают с целью накопления средств для замены основного оборудования, выходящего из строя по истечении срока службы. Сумма этих отчислений, следовательно, определяется сроком службы отдельных элементов установки:

$$C_a = \sum K_i \frac{a_i}{100},$$

где K_i — составляющие капитальных затрат с одинаковым процентом амортизационных отчислений, р.·год⁻¹; a_i — процент амортизационных отчислений для основных элементов осветительной установки, %.

В качестве примера приведем значения a_i для некоторых элементов установки: светильники без стеклянных рассеивателей — 10%; светильники со стеклянными рассеивателями — 15; ПРА для газоразрядных ламп — 12,5; скрытые проводки — 8; открытые внутренние проводки — 10%.

Условия окружающей среды оказывают большое влияние на срок службы установки и, следовательно, на сумму амортизационных отчислений. В условиях сельскохозяйственного производства наиболее часто встречающимися отрицательными факторами являются химически активная среда и сырость.

Стоимость оменяемых за год ламп можно определить по выражению

$$C_{\text{л}} = \frac{nq_{\text{л}}T}{T_{\text{л}}},$$

где n — число установленных ламп; $q_{\text{л}}$ — стоимость одной лампы, р.; $T_{\text{л}}$ — срок службы лампы, ч.

Стоимость чистки светильников определяется по формуле

$$C_{\text{ч}} = Nmq_{\text{ч}},$$

где N — число светильников; m — число чисток в год; $q_{\text{ч}}$ — стоимость одной чистки, р.

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

Пояснительная записка может быть составлена по следующей примерной схеме.

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

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

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

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

В пояснительной записке промежуточные светотех-

нические и электротехнические расчеты приводить не обязательно.

Светотехническую ведомость составляют по результатам светотехнического расчета в виде следующей таблицы.

№ по плану	Наименование помещений и рабочих мест	Площадь помещения, м ²	Система освещения	Вид освещения	Наименьшая освещенность, лк

Продолжение

Коэффициент запаса k	Число и тип светильников	Мощность ламп, Вт	Общая мощность установки, Вт	Удельная мощность установки, Вт·м ⁻²	Число штепсельных розеток

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

Смету на электромонтажные работы составляют в соответствии с действующими специальными инструкциями.

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

Строительную часть здания наносят тонкими линиями, упрощенно без элементов, не имеющих прямого отношения к осветительной установке. На плане тонкими линиями указывают лишь то технологическое оборудование, которое требует локализованного или местного освещения. Светильники и штепсельные розетки изображают в соответствии с условными обозначениями. Мощность источников света и высоту подвеса светильников указывают в виде дроби. Светильники, устанавливаемые на кронштейнах, помечают буквой «К» с соответствующей цифровой характеристикой или бук-

венным обозначением кронштейна. Нормированные освещенности указывают на плане помещения.

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

При проектировании простейших осветительных установок некоторые из рассмотренных проектных материалов, например пояснительная записка, светотехническая ведомость и другие, могут отсутствовать.

Пример использования условных обозначений в проектах осветительных и облучательных установок приведен на рисунке 18.1 (вклейка).

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

Проектирование облучательных установок сельскохозяйственного назначения ведется в такой последовательности.

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

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

3. Светотехнический расчет на основе заданных уровней облученности и разработка конструкции установки применительно к конкретным условиям и задаче. Далее, как было указано выше, начиная с пункта 5.

§ 18.2. Эксплуатация осветительных и облучательных установок

Несоблюдение правил технической эксплуатации электроустановок, в том числе осветительных и облучательных, снижает эффективность их работы, созда-

ет опасность поражения электрическим током людей и животных. Тепловые явления, возникающие при аварийных режимах в электрических установках, могут вызвать опасный перегрев отдельных ее частей и привести к пожару или взрыву.

При приемке осветительной или облучательной установки в эксплуатацию проверяют:

а) фактическую освещенность или облученность, обеспечиваемую установкой;

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

в) схемы соединения проводов и распределение нагрузки по фазам;

г) соответствие проекту защитных элементов;

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

е) соответствие нормам сопротивления изоляции проводки.

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

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

Состояние изоляции следует проверять не реже одного раза в два года для помещений с нормальной средой и не реже одного раза в год для помещений с тяжелыми условиями среды. Сопротивление изоляции проводов измеряют на участке между двумя смежными предохранителями или за последним предохранителем при включенных выключателях, вынутых плавких

вставках и вывернутых лампах. Значение сопротивления изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

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

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

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

ПРИЛОЖЕНИЯ

Т а б л и ц а 1. Лампы накаливания электрические общего назначения

Тип лампы	Расчетное на- пряжение, В	Мощность, Вт	Световой по- ток, лм
Б 125-135-40 БК 125-135-40	130	40	485 520
Б 215-225-40 БК 215-225-40	220		415 460
Б 220-230-40 БК 220-230-40	225		415 460
Б 230-240-40 БК 230-240-40	235		410 450
Б 125-135-60 БК 125-135-60	130	60	810 875
Б 215-225-60 БК 215-225-60	220		715 790
Б 220-230-60 БК 220-230-60	225		715 790
Б 230-240-60 БК 230-240-60	235		705 775
Б 235-245-60	240		700
Б 215-225-75 БК 215-225-75	220	75	950 1 020
Б 220-230-75	225		950
Б 230-240-75	235		935
Б 125-135-100 БК 125-135-100	130	100	1 540 1 630
Б 215-225-100 БК 215-225-100	220		1 350 1 450
Б 220-230-100 БК 220-230-100	225		1 350 1 450
Б 230-240-100 БК 230-240-100	235		1 335 1 430
Б 235-245-100	240		1 330

Тип лампы	Расчетное на- пряжение, В	Мощность, Вт	Световой по- ток, лм
Г 125-135-150-1 Г 125-135-150	130	150	2 280
Б 215-225-150-1 Б 215-225-150	220		2 100
Г 215-225-150-1 Г 215-225-150	220		2 090
Г 220-230-150	225	200	2 090
Г 230-240-150	235		2 065
Г 235-245-150	240		2 060
Г 125-135-200	130	200	3 200
Б 215-225-200 Г 215-225-200	220		2 920
Г 220-230-200	225		2 920
Г 230-240-200	235	300	2 890
Г 125-135-300-1 Г 125-135-300	130		4 900
Г 215-225-300-1 Г 215-225-300	220		4 610
Г 220-230-300-1 Г 220-230-300	225	300	4 610
Г 230-240-300-1 Г 230-240-300	235		4 560
Г 125-135-500	130	500	8 700
Г 215-225-500	220		8 300
Г 220-230-500	225		8 300
Г 230-240-500	235	750	8 225
Г 215-225-750	220		13 001
Г 220-230-750	225		13 100
Г 125-135-1000	130	1000	19 100
Г 215-225-1000	220		18 600
Г 220-230-1000	225		18 600
Г 230-240-1000	235		18 450

Примечание. Световой поток ламп указан при расчетном напряжении.

Таблица 2. Технические характеристики люминесцентных ламп низкого давления

Тип лампы	Мощность лампы, Вт	Напряжение на лампе, В	Ток лампы, А	Номинальный световой поток после 100 ч горения, лм	Длина лампы, со штырьками, мм	Диаметр лампы, мм	Срок службы, ч
ЛДЦ 20-4	20	57	0,37	820	604,0	40	12 000
ЛД 20-4				920			
ЛХБ 20-4				950			
ЛТБ 20-4				975			
ЛБ 20-4				1180			
ЛДЦ 30-4	30	104	0,36	1450	909	27	12 000
ЛД 30-4				1640			
ЛХБ 30-4				1940			
ЛТБ 30-4				1880			
ЛБ 30-4				2100			
ЛДЦ 40-4	40	103	0,43	2100	1214	40	12 000
ЛД 40-4				2340			
ЛХБ 40-4				2780			
ЛТБ 40-4				2780			
ЛБ 40-4				3000			
ЛХБЦ 40-1				2400			
ЛДЦ 65-4	65	110	0,67	3050	1514	40	12 000
ЛД 65-4				3570			
ЛХБ 65-4				4100			
ЛТБ 65-4				4200			
ЛБ 65-4				4550			
ЛДЦ 80-4	80	102	0,865	3740	1514	40	12 000
ЛД 80-4				4070			
ЛХБ 80-4				4600			
ЛТБ 80-4				4720			
ЛБ 80-4				5220			
ЛХБ 150	150	90	1,9	8000	1524	40	4 000
ЛБР 40-1	40	103	0,43	2250	1214	40	10 000
ЛХБР 40				2080			
ЛБР 80-1	80	102	0,865	4160	1514	40	10 000
ЛХБР 80				3460			

Таблица 3. Нормы освещенности (по «Отраслевым нормам освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий, сооружений», изд. 1980 г.)

Помещение, участок, оборудование	Рабочая поверхность, для которой нормируется освещенность	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Освещенность, лк		Дополнительные указания		
			при газоразрядных лампах	при лампах накаливания			
А. Животноводческие здания и сооружения							
а) Для крупного рогатого скота молочного направления							
1. Помещение для содержания коров и ремонтного молодняка:	зона кормления	Пол, зона расположения кормушек	Горизонтальная	75	30	Во время доения освещенность на вымени коровы должна быть не менее 150 лк	
	стойла, секции, боксы			Пол			
	Помещение для отела коров			»			50 20
	Телятники			»			150 100
		»		100 50			
б) Для крупного рогатого скота мясного направления							
4. Денники и секции для коров-кормилиц с телятами	Пол	Горизонтальная		75	30		
5. Помещения для дорашивания молодняка	»				50 20		

6. Помещения для санитарной обработки, сушки и взвешивания молодняка	Шкала приборов	Плоскость расположения шкалы	100	50
в) Для свиней				
7. Помещения для содержания хряков-производителей, свиноматок, поросят	Пол	Горизонтальная	75	30
8. Помещения для содержания откормочного поголовья	»	»	50	20
Б. Птицеводческие здания и сооружения				
9. Помещения для напольного содержания кур промышленного стада	Пол	Горизонтальная	75	30
10. Помещения для клеточного содержания кур	Кормушки*	»	75	30
11. Помещение для сортировки и обработки цыплят	Стол	»	300	200
12. Инкубаторий (инкубаторный зал)	Пол	»	75	30
В. Здания и сооружения для зверей и кроликов				
13. Помещение закрытого типа для содержания кроликов	0,8 м от пола	Горизонтальная	75	50
14. Шеды всех видов	То же	»	75	50
15. Вольер для молодняка	Пол	»	10	10

* На всех ярусах при клеточном содержании.

Помещение, участок, оборудование	Рабочая поверхность, для которой нормируется освещенность	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Освещенность, лк		Дополнительные указания
			при газозарядных лампах	при лампах накаливания	
Г. Здания, сооружения и помещения общие для животноводческих, птицеводческих и звероводческих предприятий					
а) Здания и помещения для доения, обработки и хранения молока					
16. Преддольные и последольные площадки	Пол	Горизонтальная	50	20	
17. Доильные залы и площадки	Зона работы дояра	»	200	150	При комбинированном освещении нормируемая освещенность 400 лк, в том числе от общего: при газоразрядных лампах 150 лк, при лампах накаливания 50 лк
18. Помещения для приема, хранения и первичной обработки молока, закусочная, разливочная	Шкалы приборов и механизмов Молочный танк	»	150	100	
19. Холодильные камеры	0,8 м от пола	»	—	30	

б) Здания для приготовления кормов

	Пол	Горизонтальная	—	20
20. Помещение для приема и хранения кормов				
21. Участок для обработки и смешивания кормов	Поверхность бункера и смесителя	»	150	100
22. Варочное отделение	0,8 м от пола	»	100	50
23. Площадка для приема кормов	Земля	»	5	5

В зоне механизмов повысить освещенность до 10 лк

в) Сооружения для обработки навоза

	Пол	Горизонтальная	—	20
24. Отделение аэрации и обезвоживания навоза, приемно-распределительная камера				
25. Отделение хлорации	Зона работы	»	75	30

Т а б л и ц а 4. Наименьшая высота установки светильников в зависимости от их светораспределения, типа и светового потока ламп

Светораспределение светильников	Наибольший световой поток ламп в светильниках, установленных на одной опоре, лм	Наименьшая высота установки светильников, м	
		при лампах накаливания	при газоразрядных лампах
Полуширокое	Менее 5000	6,5	7,0
	От 5000 до 10 000	7,0	7,5
	Свыше 10 000 до 20 000	7,5	8,0
	Свыше 20 000 до 30 000	—	9,0
	Свыше 30 000 до 40 000	—	10,0
	Свыше 40 000	—	11,5
Широкое	Менее 5000	7,0	7,5
	От 5000 до 10 000	8,0	8,5
	Свыше 10 000 до 20 000	9,0	9,5
	Свыше 20 000 до 30 000	—	10,5
	Свыше 30 000 до 40 000	—	11,5
	Свыше 40 000	—	13,0

Примечание. Высота установки светильников с защитным углом менее 15° не должна быть меньше указанной в таблице, высота установки светильников с защитным углом 15° и более не должна быть меньше 3,5 м при любых источниках света.

Допускается не ограничивать высоту подвеса светильников с защитным углом 15° и более (или с рассеивателями из молочного стекла без отражателей) на площадках для прохода людей и у входов в здания.

Т а б л и ц а 5. Технические данные щитков ОП, ОПМ, ОЩВ, УОЩВ, ЩО, распределительных пунктов ПР-41, силовых шкафов СП, СПУ

Тип аппарата	Аппараты защиты и управления					Характерные особенности
	на вводе	на группах			Число	
		Тип	Число	Тип		
ОП-6 (ОП-12)	—	АБ 25	6 (12)	—	—	Защищенное исполнение, для открытой установки. Тепловые расцепители на 15 и 20 А
ОЩВ-6 (ОЩ-6) ОЩВ-12 (ОЩ-12)	А 3114/7 (—) А 3114/7 (—)	А 3161 А 3161	6 12	— —	— —	Защищенное исполнение, для открытой установки. Тепловые расцепители групповых автоматов на 15, 20 и 25 А
УОЩВ-6 (УОЩВ-12)	А 3114/7	А 3161	6 (12)	—	—	Защищенное исполнение, установка в нишах. Тепловые расцепители групповых автоматов на 15, 20 и 25 А
ЩО31-21 (ЩО32-21) ЩО31-32 (ЩО32-32)	А 3114 (А 3114/7)	} АЕ 1031-11	6 12	— —	— —	Защищенное исполнение, установка в нишах. Комбинированные расцепители автоматов А 3114 на 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100 А, АЕ 1031-11 на 6, 10, 16, 25 А

Тип аппарата	Аппараты защиты и управления						Характерные особенности
	на вводе	на группах				Число	
		Тип	Число	Тип	Число		
ОПМ-1	Пакетный выключатель на ток 100 А	А 3161	3	—	—	—	Пыленепроницаемого исполнения. Тепловые расцепители автоматов на 15, 20, 25, 30, 40 и 50 А
ОПМ-3		А 3161	9	—	—	—	
		А 3162	3	А 3163	3	3	
ЩО 41-5102	—	АЕ 2041	6	АЕ 2043	2	2	Тепловые расцепители автоматов АЕ 2041 и АЕ 2043 на 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63 А
ЩО 41-5204		АЕ 2041	6	АЕ 2043	4	4	
ЩО 41-5206		АЕ 2041	12	АЕ 2043	4	4	
ПР 41-4301	А 3728 Н	—	—	АЕ 2043	4	4	Автомат А 3728 Н комплектуется приводом дистанционного управления. Щитки ПР-41 предназначены для установок с лампами ДРЛ. Щиток ПР-41-4301 оснащен компенсирующим устройством из четырех трехфазных конденсаторов КС мощностью 18 квар каждый
ПР 41-4303		АЕ 2041	3	АЕ 2043	5	5	
ПР 41-4305		АЕ 2041	3	АЕ 2043	9	9	
СП-62	Рубильник с предохранителями РПБ-400	ПН-2	До 6	НПН-60	До 4	До 4	Шкаф силовой для установки на полу исполнения СП—ПР30, СПУ—ПР53
СПУ-62		ПН-2	До 8	—	—	—	
		—	—	НПН-60	До 8	До 8	

Примечание. В таблицу вошли лишь некоторые типы щитков, используемых в осветительных и облучательных установках. Более подробные сведения содержатся в справочной литературе [7].

Т а б л и ц а 6. Технические характеристики предохранителей до 500 В переменного и постоянного тока

Тип предохра- нителя	Номиналь- ный ток предохра- нителя, А	Номинальное на- пряжение, В	Номинальные токи плавких вставок, А	Патрон
ПР-2	15	220 (I габарит)	6, 10, 15	Разборный без наполнителя
	60		15, 20, 25, 35, 45, 60	
	100		60, 80, 100	
	200	500 (II габарит)	100, 125, 160, 200	
ПТ-10	10		0,5, 1, 2, 4, 6, 10	Разборный с наполнителем
ПН-2-100	100	500	30, 40, 50, 60, 80, 100	
ПН-2-250	250		80, 100, 120, 150, 200, 250	
ПР-1М	10		2, 4, 6, 10	
НПН-15	15	500	6, 10, 15	Неразборный с наполнителем
НПН-60М	60		20, 25, 35, 45, 60	

Т а б л и ц а 7. Технические характеристики автоматических выключателей серий АБ 25, АЕ 1000 и А 3100 без регулирования тока уставки расцепителей

Тип выключателя	Параметры выключателя			Ток расцепителя, А		
	Число полюсов	Напряжение, В	Ток, А	теплого	электромагнитного	комбинированного
АБ 25 (АЕ 1000)	1	220	25	15, (16), 20, 25	—	—
А 3160	1, 2, 3 } 2 (3)	220, 380	50	15, 20, 25, 30, 40, 50 Неавтоматический выключатель без расцепителей	—	—
А 3160/7						
А 3113/1 (А 3114/1)						
А 3113/5 (А 3114/5)	2 (3)	500	100	—	—	15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100
А 3113/7 (А 3114/7)				—	15, 20, 25, 40, 60, 80, 100	—
А 3123 (А 3124)	2 (3)	500	100	Неавтоматический выключатель без расцепителей	—	—
А 3133 (А 3134)	2 (3)	500	200	—	30, 100	15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100
А 3133/7 (А 3134/7)				Неавтоматический выключатель без расцепителей	200	120, 150, 200

Таблица 8. Технические данные автоматических выключателей серии А 3700

Тип выключателя	Параметры выключателя		Ток полупроводникового или теплового расцепителя, А	Уставки времени срабатывания полупроводникового расцепителя при 6/н с	Пределы регулирования тока и времени срабатывания полупроводникового расцепителя при токах к. з.		Электромагнитный расцепитель, установка тока трогания, А
	Число полюсов	Номинальный ток, А			ток трогания, А	время, с	
Исполнение токоограничивающее с полупроводниковым и электромагнитным расцепителями							
A 3713 Б	2 } 3 }	40 80 160	20, 25, 32, 40 40, 50, 63, 80 80, 100, 125, 160	4, 8, 16	(3, 5, 7, 10) I _н	—	1600
A 3714 Б							
A 3723 Б	2 } 3 }	250	160, 200, 250	4, 8, 16	(3, 5, 7, 10) I _н	—	2500
A 3724 Б							
Исполнение токоограничивающее с электромагнитными расцепителями							
A 3711 Б	2 } 3 }	160	—	—	—	—	400, 630, 1000, 1600
A 3712 Б							
A 3721 Б	2 } 3 }	250	—	—	—	—	1600, 2000, 2500
A 3722 Б							
Исполнение селективное с полупроводниковыми расцепителями							
A 3733 С	2 } 3 }	250 250 400	160, 200, 250 160, 200, 250 250, 320, 400	4, 8, 16	(3, 5, 7, 10) I _н	{ 0,1, 0,25 0,4	—
A 3737 С				—	(3, 5, 7, 10) I _н	{ 0,16; 0,25; 0,4	—
Исполнение с тепловыми и электромагнитными расцепителями							
A 3715 Б	2 } 3 }	160	16, 20, 25, 32, 40, 50 63, 80, 100, 125, 160	—	—	—	630, 1600
A 3716 Б							
A 3725 Б	2 } 3 }	250	160, 200, 250	—	—	—	2500
A 3726 Б							

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенберг Ю. Б. Световые приборы. — М.: Энергия, 1980.
2. Жилинский Ю. М., Свентицкий И. И. Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве. — М.: Колос, 1968.
3. Карпов Ф. Ф., Козлов В. Н. Справочник по расчету проводов и кабелей. — М.: Энергия, 1969.
4. Леман М. В. Курс светокультуры растений. — М.: Высшая школа, 1976.
5. Международный светотехнический словарь. — М.: Русский язык, 1979.
6. Мешков В. В. Основы светотехники. — М.: Энергия, 1979.
7. Мешков В. В., Епанешников М. М. Осветительные установки. — М.: Энергия, 1972.
8. Правила устройства электроустановок. — М.: Атомиздат, 1976.
9. Райцельский Л. А. Справочник по осветительным сетям. — М.: Энергия, 1977.
10. Скобелев В. М., Афанасьева Е. И. Источники света и пускорегулирующая аппаратура. — М.: Энергия, 1973.
11. Справочная книга для проектирования электрического освещения. /Под ред. Г. М. Кнорринга. — Л.: Энергия, 1976.
12. Фугенфиров М. М. Электрические схемы с газоразрядными лампами. — М.: Энергия, 1974.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Введение</i>	3
РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ	
ФИЗИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРО- ИЗВОДСТВЕ	7
Глава 1. Оптическое излучение и его преобразование в дру- гие виды энергии	7
§ 1.1. Основные понятия и определения	7
§ 1.2. Распределение энергии оптического излучения по спектру	8
§ 1.3. Преобразование оптического излучения в другие виды энергии	9
Глава 2. Фотобиологическое действие оптического излучения	11
§ 2.1. Виды фотобиологического воздействия	11
§ 2.2. Воздействие оптического излучения на человека . . .	12
§ 2.3. Воздействие оптического излучения на животных и птицу	14
§ 2.4. Воздействие оптического излучения на растения. Спектр действия фотосинтеза	16
Глава 3. Величины оптического излучения и единицы их из- мерения	19
§ 3.1. Основные энергетические величины и единицы их из- мерения	19
§ 3.2. Общие принципы построения систем эффективных ве- личин	21
§ 3.3. Основные световые величины и единицы их измерения	25
§ 3.4. Основные величины ультрафиолетового излучения и единицы их измерения	29
§ 3.5. Основные величины оптического излучения, используе- мого в растениеводстве, и единицы их измерения	31
Глава 4. Измерение оптического излучения	34
§ 4.1. Оптические свойства тел	34
§ 4.2. Измерительные приемники оптического излучения . . .	37
§ 4.3. Основные характеристики измерительных приемников оптического излучения	43
§ 4.4. Люксметр	48
§ 4.5. Приборы для измерения излучения при выращивании растений	49
§ 4.6. Приборы для измерения УФ излучения	51
§ 4.7. Приборы для измерения ИК излучения	54

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ	
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	57
Глава 5. Источники, основанные на тепловом излучении	59
§ 5.1. Основные законы теплового излучения	59
§ 5.2. Устройство и работа ламп накаливания	63
§ 5.3. Основные характеристики ламп накаливания	65
§ 5.4. Влияние отклонений напряжения в свете на основные показатели работы ламп накаливания	66
§ 5.5. Галогенные лампы накаливания	68
§ 5.6. Источники инфракрасного (ИК) излучения, используемые в сельскохозяйственном производстве	70
Глава 6. Основные закономерности электрического разряда в газах и парах металлов	71
§ 6.1. Общие сведения	71
§ 6.2. Электрический разряд в газах и парах металлов	72
§ 6.3. Условия зажигания и стабилизации дугового разряда в газах и парах металлов	74
§ 6.4. Влияние вида балластного сопротивления на работу газоразрядных ламп	78
Глава 7. Люминесцентные газоразрядные лампы низкого давления	82
§ 7.1. Устройство и принцип действия люминесцентной лампы	82
§ 7.2. Работа стартерной схемы включения люминесцентной лампы	84
§ 7.3. Основные характеристики и эксплуатационные свойства люминесцентных ламп	87
Глава 8. Пускорегулирующие аппараты для люминесцентных ламп	93
§ 8.1. Пускорегулирующие аппараты импульсного зажигания с предварительным подогревом электродов	94
§ 8.2. Пускорегулирующие аппараты горячего зажигания с постоянным подогревом электродов	96
§ 8.3. Пускорегулирующие аппараты мгновенного зажигания	98
§ 8.4. Конструктивно-эксплуатационные характеристики пускорегулирующих аппаратов	99
§ 8.5. Работа люминесцентных ламп при питании их током повышенной частоты	101
Глава 9. Газоразрядные лампы высокого давления	104
§ 9.1. Ртутные лампы высокого давления (ДРЛ)	105
§ 9.2. Дуговые металлогалогенные лампы высокого давления (ДРИ)	108
§ 9.3. Натриевые лампы высокого давления (ДНаТ)	110
§ 9.4. Дуговые ксеноновые лампы (ДКсТ)	112
Глава 10. Газоразрядные источники излучения, используемые в сельскохозяйственном производстве	116
§ 10.1. Газоразрядные источники УФ излучения низкого давления	116
§ 10.2. Газоразрядные источники УФ излучения высокого давления	118
§ 10.3. Газоразрядные источники излучения, используемые в растениеводстве	120

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ И ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ СЕЛЬСКОХО- ЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Глава 11. Световые приборы и облучатели	124
§ 11.1. Общие сведения. Классификация, основные характеристики светильников	124
§ 11.2. Облучатели сельскохозяйственного назначения	127
Глава 12. Расчет электрического освещения	133
§ 12.1. Правила и нормы электрического освещения	133
§ 12.2. Виды и системы освещения	136
§ 12.3. Выбор типа источника света и светильника	140
§ 12.4. Расположение светильников в помещении	142
§ 12.5. Общие положения светотехнического расчета	144
§ 12.6. Точечный метод расчета	145
§ 12.7. Метод коэффициента использования светового потока	150
§ 12.8. Расчет осветительных установок с люминесцентными лампами	153
§ 12.9. Метод удельной мощности	156
Глава 13. Осветительные установки сельскохозяйственного назначения	158
§ 13.1. Роль светового режима в технологических процессах животноводства и птицеводства	158
§ 13.2. Осветительные установки в животноводстве	159
§ 13.3. Осветительные установки в птицеводстве	161
§ 13.4. Осветительные установки жилых и вспомогательных помещений	163
§ 13.5. Установки для освещения улиц и открытых пространств	165
§ 13.6. Способы и средства управления осветительными установками	166
Глава 14. Облучательные установки, используемые при выращивании растений в искусственных условиях	173
§ 14.1. Общие сведения	173
§ 14.2. Анализ спектральных характеристик источников оптического излучения, используемых для облучения растений	174
§ 14.3. Конструкции тепличных облучательных установок и требования, предъявляемые к ним	177
§ 14.4. Основные положения расчета тепличных облучательных установок	179
§ 14.5. Расчет облучательных установок с точечными источниками излучения	183
§ 14.6. Расчет облучательных установок с линейными источниками излучения	185
Глава 15. Установки для УФ облучения в сельскохозяйственном производстве	187
§ 15.1. Биологическое действие УФ излучения	187
§ 15.2. Стационарные установки для УФ облучения животных и птицы	190
§ 15.3. Установки для одновременного УФ облучения животных и освещения помещений	194
§ 15.4. Подвижные установки для УФ облучения животных и птицы	198
§ 15.5. Дозирование УФ облучения	207
§ 15.6. Использование УФ излучения в различных технологических процессах сельскохозяйственного производства	212

Глава 16. Установки для ИК облучения в сельскохозяйственном производстве	218
§ 16.1. Биологическое действие ИК излучения	219
§ 16.2. Установки для ИК облучения животных и птицы	221
§ 16.3. Использование видимого и ИК излучений в технологических процессах сельскохозяйственного производства	229
Глава 17. Электрическая часть осветительных и облучательных установок	231
§ 17.1. Системы напряжения, классификация электрических сетей	231
§ 17.2. Компоновка осветительной сети	233
§ 17.3. Защита осветительных сетей	236
§ 17.4. Аппаратура управления сетями осветительных и облучательных установок	241
§ 17.5. Компенсация реактивной мощности	242
§ 17.6. Расчет площади поперечного сечения проводов сети осветительных и облучательных установок	244
Глава 18. Проектирование и эксплуатация сельскохозяйственных осветительных и облучательных установок	246
§ 18.1. Проектирование осветительных и облучательных установок	246
§ 18.2. Эксплуатация осветительных и облучательных установок	252
Приложения	255
Указатель литературы	266