



А.В.ВОЛГИН

Электрооборудование Светотехника



УДК
ББК

Рецензенты:

Светотехника и электротехнология: краткий курс лекций для студентов 4 курса направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»/ А.В.Волгин //ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ».– Саратов, 2015.–137с.

ISBN

Краткий курс лекций по дисциплине «Светотехника и электротехнология» составлен в соответствии с программой дисциплины и предназначен для студентов 4 года обучения направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия. Курс лекций раскрывает общие закономерности преобразования электрической энергии в тепловую, а также методы расчёта, выбора и применения электротермического оборудования, используемого в сельскохозяйственном производстве.

УДК
ББК

ISBN

© Волгин А.В., 2015
© ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2015

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с учебным планом по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия, профиль подготовки Электрооборудование и электротехнологии, дисциплина «Светотехника и электротехнология» относится к вариативной части цикла профессиональных дисциплин.

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- физические основы получения и характеристики оптического излучения;
- способы и технические средства измерения оптических величин;
- закономерности взаимодействия энергии оптического излучения с различными приемниками;
- методы использования оптического излучения в технологических процессах;
- устройство, работу и характеристики современных источников оптического излучения;
- энергетические основы электротехнологии, физические основы и закономерности преобразования электроэнергии в тепловую и другие виды энергии;
- устройство и принцип действия современного электротехнологического оборудования;
- методы расчета составляющих элементов и особенности проектирования энергосберегающих электротехнологических устройств и установок.

Уметь:

- выбирать источники оптического излучения, световые и облучательные приборы, рассчитывать их размещение, выбирать и определять их потребную мощность, производить расчет режимов работы осветительных и облучательных установок;
- выбирать коммутационную и защитную аппаратуру;
- формулировать и решать инженерные задачи в области разработки и применения электротехнологических установок и средств в агроинженерии;
- выполнять сравнительный анализ и технико-экономическую оценку предлагаемых технических и технологических решений.

Владеть:

- методами выбора типа и расчета мощности осветительных и облучательных установок;
- современными способами и средствами монтажа и практическими навыками наладки и эксплуатации светотехнического оборудования;
- практическими навыками использования основных электротехнологических операций и технологий;
- методами решения профессиональных, инженерных задач с применением современных энергосберегающих технологий;
- навыками работы с системами автоматизированного проектирования.

Лекция 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Основные понятия и определения

Излучение — перенос энергии от излучающего тела к поглощающему. Понятие излучения можно определить как материю формы, имеющую массу покоя, равную нулю, и движущуюся в пространстве с постоянной скоростью.

Энергия излучения — количественная мера движения материи, представляет собой одну из качественных разновидностей энергии.

Свойства электромагнитных излучений от γ -излучений до 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 названы оптическим излучением. Они объединены общим названием «оптическое излучение», потому что принципы возбуждения оптического излучения, его распространение в пространстве и преобразования в другие виды энергии общие. В данный диапазон входят инфракрасное, видимое и ультрафиолетовое излучения. [Напомним, что 1 нм (нанометр) = 10^{-9} м.]

В таблице 1.1 приведена общая характеристика спектра излучений от инфракрасных до рентгеновских [3].

Спектр излучений в интервале от инфракрасных до рентгеновских

Таблица 1.1

Общее название излучения	Отдельный участок излучения	Длина волны, нм
Инфракрасное	Декамикронное	$(100...10)10^3$
	Микронное	10000...760
Видимое	Красное	760...620
	Оранжевое	620...590
	Желтое	590...560
	Зеленое	560...500
	Голубое	500...480
	Синее	480...450
	Фиолетовое	450...380
Ультрафиолетовое	УФЛ области А	380...320
	УФЛ области В	320...275
	УФЛ области С	275...200
	Вакуумное	200...10
Рентгеновское	Мягкое, жесткое	$10...10^{-5}$

Инфракрасное излучение (ИК) — излучение с длиной волны от 760 до 10^5 нм. Проникая в поверхностные слои тканей живого организма или растения, оно большую часть своей энергии расходует на образование теплоты. Глубина проникновения инфракрасного излучения в тело животного доходит до 2,5 мм, в зерно — до 1...2 мм, в сырой картофель — до 6 мм, в хлеб при выпечке — до 7 мм.

В сельском хозяйстве инфракрасные излучения используют для обогрева молодняка животных и птиц, сушки и дезинсекции сельскохозяйственных продуктов (зерно, фрукты, чай, хмель, табак и др.), пастеризации молока, сушки лакокрасочных покрытий и пропитанных изделий и т. д.

Видимое излучение (ВИ) — излучение, которое может вызвать непосредственно зрительное ощущение. Как видно из таблицы 1.1, границы диапазона видимого излучения следующие: нижняя — 380 нм, верхняя — 760 нм. Излучение с длиной волны 550 нм, наилучшим образом воспринимаемое глазом человека, принято за единицу.

Излучение этого диапазона используют в сельском хозяйстве для создания рационального освещения в производственных и других сельскохозяйственных помещениях. Применяя электрическое освещение, обеспечивают необходимую производительность труда, требуемое качество продукции и безопасность работы обслуживающего персонала. В ряде производств оно важнейший производственный фактор: в птичниках — для увеличения светового дня, в теплицах — для дополнительного освещения растений и т. п.

Правильно выполненное освещение уменьшает зрительное и общее утомление работника, способствует поддержанию чистоты и порядка в производственных и жилых помещениях.

Видимое излучение представляет собой сочетание излучений семи основных цветов: красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового. Перед красными лучами в спектре находятся тепловые (инфракрасные) излучения, а за фиолетовыми — ультрафиолетовые.

Ультрафиолетовое излучение (УФ) — излучение с длинами волн 380... 10 нм. Свойства ультрафиолетового излучения зависят от длины волны. Поэтому весь ультрафиолетовый диапазон подразделяют на три условных поддиапазона: область А — 320...380 нм, область В — 275...320 нм и область С — 200...275 нм.

Длинноволновое УФ-излучение (*область А*) способно вызывать свечение некоторых веществ, поэтому его используют в основном для люминесцентного анализа химического состава и биологического состояния продуктов.

Средневолновое УФ-излучение (*область В*) оказывает сильное биологическое действие на живые организмы. Оно способно вызывать эритему (покраснение кожи) и загар, превращать в организме животных необходимый для роста и развития витамин D в усвояемую форму и обладает мощным антирахитным действием.

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

Энергия излучений носит название «лучистой энергии». Считают, что лучистая энергия передается в пространстве электромагнитными волнами, частота которых определяется энергией фотона, Дж:

$$\varepsilon = hf \quad (1.1)$$

где h — постоянная Планка, равная $6,624 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, f — частота электромагнитных колебаний, с⁻¹.

Длина волны излучения λ , нм, и частота электромагнитных колебаний f связаны между собой зависимостью

$$\lambda = c/f \quad (1.2)$$

где c — скорость света, равная $3 \cdot 10^8$ м/с.

Передаваемая лучистая энергия Q от тела излучающего к телу поглощающему зависит от количества фотонов. Единица лучистой энергии — *джоуль* (Дж). Джоуль равен энергии излучения, эквивалентной работе 1 Дж.

В практических расчетах чаще необходимо знать не всю лучистую энергию, а лучистый поток Φ , который характеризует количество энергии, излучаемой источником в единицу времени τ .

Поток излучения, Вт (Дж/с),

$$\Phi = dQ/d\tau \quad (1.3)$$

Единица потока излучения — *ватт* (Вт). Ватт равен потоку излучения, при котором за время 1 с излучается энергия 1 Дж: 1 Вт = 1 Дж/с.

Спектральная плотность потока излучения $\Phi(\lambda)$, Вт/нм, отражает распределение энергии всего излучения по спектру в соответствии с каждой монохроматической однородной составляющей:

$$\Phi(\lambda) = d\Phi(\lambda)/d\lambda \quad (1.4)$$

Единица спектральной плотности потока излучения — *ватт на нанометр* (Вт/нм).

Поток излучения связан со спектральной плотностью интегралом

$$\Phi = \int_0^\infty \Phi(\lambda) d\lambda \quad (1.5)$$

Поток излучения, поглощенный приемником и преобразованный в нем в полезную мощность другого вида энергии, принято называть *эффективным потоком* $\Phi_{эф}$.

Различают следующие формы преобразования поглощенной энергии излучения: фотоэффект — изменение электрического состояния поглощающего тела; фотолюминесценция — излучение энергии молекулами, возбужденными излучением; фотохимическое действие — изменение химического состояния тела, поглощающего излучение; фотобиологическое действие — изменение биологического состояния живого организма, подвергающегося излучению (облучению).

Эффективный поток $\Phi_{эф}$ составляет лишь долю всего падающего на приемник потока Φ :

$$\Phi_{эф} = c\alpha\eta\Phi \quad (1.6)$$

где c — коэффициент пропорциональности; α — коэффициент поглощения излучения; η_e — энергетический КПД преобразования излучения приемником.

Чувствительность приемника того или иного излучения — это мера «реакции» приемника, отнесенная к мощности падающего на него излучения,

$$g = \frac{\Phi_{эф}}{\Phi} = \frac{c\alpha\eta_e\Phi}{\Phi} = c\alpha\eta_e \quad (1.7)$$

Для определения эффективных потоков по уровню реакции того или иного образцового приемника построены системы эффективных величин и единиц, облегчающие количественную оценку процессов преобразования энергии излучений и упрощающие расчеты, связанные с ее использованием.

В принятых системах эффективных величин (табл. 1.2) приемники излучения имеют избирательность и существенно отличаются спектральными характеристиками. Например, глаз человека и зеленый лист растения воспринимают излучения в почти одинаковом спектральном интервале. Однако то монохроматическое излучение, которое глаз воспринимает лучше всего (550 нм), для зеленого растения менее эффективно. Это говорит о том, что единицы и величины одной системы не могут быть использованы взамен единиц и величин другой, если неизвестны соотношения между ними. Соотношения эти существенно зависят от спектрального состава излучения.

Системы принятых эффективных величин

Таблица 1.2

Система эффективных величин	Стандартизированный приемник излучения	Область спектральной чувствительности, положение максимума, нм	Максимальная спектральная эффективность
Световых	Глаз среднего человека	380...760,	50 683 лм/Вт
Фотосинтезных	Зеленый лист среднего растения	300...800, 680	1 фт/Вт
Витальных	Кожа среднего человека	280...390,	297 1 вит/Вт
Бактерицидных	Бактерии	220...315, 254	1 бк/Вт

Обозначения и единицы светотехнических величин

Таблица 1.3

Величина	Обозначение	Единица
<i>Система световых величин</i>		
Световой поток	Φ_V	лм
Сила света	I_V	кд
Светимость	M_V	лм/м ²
Яркость	L_V	кд/м ²
Освещенность	E_V	лк
Световая экспозиция	H_V	лк·ч
<i>Система фотосинтезных величин</i>		
Фотосинтезный поток	Φ_ϕ	фт
Сила фотосинтезного излучения	I_ϕ	фт/ср
Фотосинтезная излучательность	M_ϕ	фт/м ²
Фотосинтезная экспозиция	H_ϕ	фт·ч/м ²
<i>Система витальных величин</i>		
Витальный поток	Φ_v	вит
Сила витального излучения	I_v	вит/ср
Витальная излучательность	M_v	вит/м ²
Витальная облученность	E_v	вит/м ²
Витальная экспозиция	H_v	вит·ч/м ²
Бактерицидный поток	Φ_b	бк
Сила бактерицидного излучения	I_b	бк/ср
Бактерицидная излучательность	M_b	бк/м ²
Бактерицидная облученность	E_b	бк/м ²
Бактерицидная экспозиция	H_b	бк·ч/м ²

Для отличия величин, обозначаемых одинаковыми буквами, в светотехнике применяют индексы: е — для лучистой величины, V — для световой, ф — для фотосинтезной, в — для витальной; б — для бактерицидной.

В системе световых величин за единицу эффективного светового потока Φ_v , воздействующего на глаз человека, принят люмен (лм). При однородном излучении с длиной волны, равной 550 нм, 1 лм = 1/683 Вт. При другой длине волны 1 лм не будет равновелик мощности 1/683 Вт.

Существует и другое определение: *люмен* — это поток, излучаемый абсолютно черным телом площадью 0,5305 мм² при температуре затвердевания платины (2042 К). Упрощенно абсолютно черным считают тело, которое испускает излучения равномерно и в одном направлении, все же приходящие излучения оно поглощает, то есть не обладает отражательной способностью.

Некоторое представление о значении люмена могут дать следующие примеры. Световой поток Φ_v , падающий на 1 м² поверхности земли летом при ясном небе, достигает 100 000 лм; световой поток лампы накаливания мощностью 100 Вт, напряжением 220 В составляет 1000 лм; световой поток лампы карманного фонаря равен примерно 6 лм.

О световом потоке Φ_v можно также сказать, что это производная от силы света I_v по телесному (пространственному) углу ω :

$$d\Phi_v = I_v d\omega \quad (1.8)$$

где $d\Phi_v$ — элементарный световой поток, лм; I_v — сила света, кд (кандела); $d\omega$ — элементарный пространственный угол, ср (стерадиан).

Сила света I_v — пространственная плотность светового потока, то есть отношение светового потока Φ_v к значению телесного угла ω , в котором он равномерно распределяется

$$I_v = \Phi_v / \omega \quad (1.9)$$

Единица силы видимых излучений - *кандела*; 1 кд = 1 лм/1 ср.

Стерадиан (ср) — это телесный угол, который имеет вершину в центре сферы (шара) и опирается на участок сферы с площадью, равной квадрату радиуса сферы. Другое определение, используемое в расчетах: кандела — это 1/60 силы света, испускаемого с 1 м² абсолютно черного тела при температуре затвердевания платины.

Светимость M_v — поверхностная плотность светового потока, испускаемого поверхностью, равная отношению светового потока Φ_v к площади светящейся поверхности S_n ,

$$M_v = \Phi_v / S_n \quad (1.10)$$

Единица светимости — *люмен на квадратный метр* (лм/м²).

Яркость L_v — поверхностная плотность силы света в заданном направлении, равная отношению силы света I_v к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к тому же направлению:

$$L_v = I_v / (S_n \cos \alpha) \quad (1.11)$$

где α — угол между светящейся поверхностью и заданным направлением.

Единица яркости — *кандела на квадратный метр* (кд/м²).

Освещенность E_v — поверхностная плотность светового потока, то есть отношение светового потока Φ_v к площади S_0 , на которую он равномерно падает

$$E_v = \Phi_v / S_0 \quad (1.12)$$

Единица освещенности — *люкс* (лк); 1 лк = 1 лм/м².

Светимость и яркость зависят от коэффициентов отражения освещаемых поверхностей. Освещенность не зависит от коэффициента отражения. Яркость связана с определенным направлением, а освещенность и светимость не связаны с направлением.

Физические представления о значениях некоторых величин могут дать следующие примеры: освещенность в хирургической операционной должна быть равна 3000 лк, при чтении книги — 50 лк; светимость чистого снега в солнечный полдень достигает 80 000 лм/м²; светимость вольфрамовой нити лампы накаливания мощностью 100 Вт, напряжением 220 В, при температуре нити $T = 2700\text{K}$ равна $17 \cdot 10^6$ лм/м²; яркость Солнца, находящегося в зените, составляет $150 \cdot 10^7$ кд/м², яркость белой бумаги при освещенности в 50 лк равна 0,05 кд/м².

В отличие от общей энергии излучения, измеряемой в джоулях, световую энергию лучше представить как произведение светового потока Φ_V на продолжительность его действий τ , в люмен-секундах (лм·с):

$$Q_V = \Phi_V \tau \quad (1.13)$$

Световая отдача — это отношение светового потока источника света к мощности, потребляемой источником

$$\eta_V = \Phi_V / P \quad (1.14)$$

Единица световой отдачи — люмен на ватт (лм/Вт). Существует также понятие о световой экспозиции H_V , определяющей продолжительность действия определенной освещенности E_V , лк, за установленное время, ч, то есть люкс-часы (лк·ч):

$$H_V = E_V \tau \quad (1.15)$$

Приведем некоторые сведения о световых свойствах материалов.

Световой поток, который падает в общем случае на любую поверхность, частично отражается, частично пропускается и частично поглощается. Если на поверхность падает световой поток Φ_V , то в зависимости от свойства материала поверхности он разделяется на три составляющие: отраженный поток $\Phi_p = \rho \Phi_V$, пропущенный поток $\Phi_{\tau} = \tau' \Phi_V$ и поглощенный поток $\Phi_a = \alpha \Phi_V$. Так что в сумме

$$\Phi_V = \rho \Phi_V + \tau' \Phi_V + \alpha \Phi_V. \quad (1.16)$$

Из выражения (1.16) следует, что сумма коэффициентов отражения ρ , пропускания τ' и поглощения α равна 1:

$$1 = \rho + \tau' + \alpha \quad (1.17)$$

Проходя через тело или отражаясь от него, световой поток в той или иной мере рассеивается. При отсутствии рассеивания отражение или пропускание потока называют направленным (например, зеркало или оконное стекло). Отражение или пропускание, при котором свет рассеивается настолько, что поверхность приобретает яркость, одинаковую по всем направлениям, называют диффузным (например, мел, гипс, «молочное» стекло). Матовые поверхности дерева, бумаги, ткани близки к диффузным. Лучшей отражающей способностью обладает серноокислый барий (до 95 % падающего на него потока). Свинцовые белила отражают до 90 % падающего потока. Поэтому указанными материалами покрывают киноэкраны для получения более яркого изображения. Зеркало отражает 85% падающего потока, снег — 80...98 %, трава — 7 %, черная кожа — 1,5 %.

В системе фотосинтезных величин за единицу эффективного фотосинтезного потока $\Phi_{\text{ф}}$, оцененного по реакции на облучение зеленого растения, принят один *фит* (фт) — поток излучения в 1 Вт при длине волны 680 нм.

В системе витальных величин за единицу эффективного потока, названного витальным $\Phi_{\text{в}}$, принят один *вит* (вит) — поток излучения в 1 Вт при длине волны 297 нм.

В системе бактерицидных величин за единицу эффективного (бактерицидного) потока $\Phi_{\text{б}}$ принят один *бакт* (бк) — поток излучения в 1 Вт при длине волны 254 нм.

Остальные производные величины и их единицы для трех указанных систем приведены в таблице 1.3 [3].

Преобразование оптического излучения происходит в приемниках оптического излучения, под которыми понимают любые объекты независимо от их происхождения и агрегатного состояния, в которых энергия оптического излучения превращается в другие виды энергии. Первичный процесс преобразования — это поглощение приемником фотонов падающего на него излучения. Количественно этот процесс оценивают коэффициентом поглощения α , представляющим собой отношение поглощенной приемником энергии оптического излучения к упавшей на него [4].

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

$$Q_{\alpha} = \alpha \int_{\tau_0}^{\tau} \Phi(\tau) d\tau = Q_{\text{э}} + Q_{\text{п}} \quad (1.18)$$

где Q_{α} — энергия оптического излучения, поглощенная за промежуток времени $d\tau$, Дж; α — коэффициент поглощения излучения приемником; $\Phi(\tau)$ — поток излучения, упавший на приемник, в функции времени, Вт; $Q_{\text{э}}$ — эффективная энергия, Дж; $Q_{\text{п}}$ — энергия потерь, Дж.

Величины $Q_{\text{э}}$ и $Q_{\text{п}}$ требуют разъяснения. Энергия оптического излучения принципиально может преобразовываться в любой другой вид энергии: тепловую, электрическую, энергию химических связей и т. п.

Установки, в которых используют оптическое излучение, предназначены для воздействия оптического излучения на приемник, в качестве которого может быть человек, животное, растение, сельскохозяйственные продукты, фотоэлемент, фоторезистор и т. п.

При решении таких задач предусматривают превращение в приемнике энергии оптического излучения в определенный другой вид энергии, что позволяет 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 $Q_{\text{э}}$ 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 $Q_{\text{п}}$.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие основные вопросы изучают в дисциплине «Светотехника в сельском хозяйстве»?
2. Какой спектр излучений рассматривают в светотехнике?
3. Каковы системы принятых эффективных величин в светотехнике?
4. Что характеризуют коэффициенты отражения, пропускания и поглощения?
5. Как происходит преобразование излучения в другие виды энергии?
6. Что называют приемником оптического излучения?
7. Дайте определение закона сохранения энергии.
8. Назовите основные световые величины и единицы их измерения.
9. Назовите основные витальные (эритемные) величины и единицы их измерения.
10. Назовите основные бактерицидные величины и единицы их измерения.
11. Назовите основные фотосинтезные величины и единицы их измерения.
12. Охарактеризуйте диапазоны спектра оптических величин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз. – ISBN 978-5-9532-0710-2

2. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учебное пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз. – ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учебное пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». -Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз. – ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 2

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

2.1. Фотобиологическое действие оптических излучений

Солнце посылает к Земле огромное количество энергии мощностью более $1,4 \cdot 10^{14}$ кВт. В летнее время облученность на поверхности, перпендикулярной лучам Солнца, превосходит 1000 Вт/м^2 . Поглощенная (около 60 %) часть этой энергии вызывает круговорот воды в природе (30 %), аккумулируется в нагретых телах поверхности земли и практически в течение суток вновь возвращается в мировое пространство.

На длительный срок оседает на Земле в основном энергия, захваченная растительным миром, составляющая в общем балансе поступления энергии примерно 0,003 %. Этим относительно малым количеством энергии растения на Земле восстанавливают в год 175 млрд. т углерода из углекислоты воздуха, создавая необходимые условия жизнеобитания по кислороду и продуктам питания. Вся жизнь на Земле тесно связана с лучистой энергией Солнца. Можно сказать, что биологическая жизнь на Земле — это прежде всего преобразованная энергия оптических излучений во всех ее видах и качествах в богатые энергией биохимические связи. Огромные кладовые энергии природы фактически еще не открыты. Если по всему земному шару коэффициент использования солнечной энергии флорой поднять до 0,1 %, то прокормить, одеть и обуть можно 1 триллион 200 млрд. человек. А пока из более чем 5 млрд. жителей Земли ежедневно, по данным ЮНЕСКО, умирают от голода более 7 тыс. человек.

Человек научился воспроизводить отдельные участки спектра солнечного излучения с помощью искусственных источников. Это открыло новые пути в использовании энергии на благо человечества. КПД фотосинтеза в лабораторных установках достигает 2 %. Искусственный ультрафиолет стимулирует жизнь человека и животных, помогает избавиться от многих заболеваний, дезинфицирует воздух и воду. Кванты инфракрасного излучения — непременное условие всех биохимических реакций. Спектр солнечного излучения содержит весь оптический диапазон электромагнитных колебаний (рис. 1.1).

В природе оптические излучения (ОИ) действуют на живые организмы комплексно и служат не только энергетической базой строительства клетки, но и регулируют жизненно важные процессы роста и развития. Раскрытие и использование всех законов взаимосвязи живых организмов и оптических излучений — насущная задача человечества. 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».

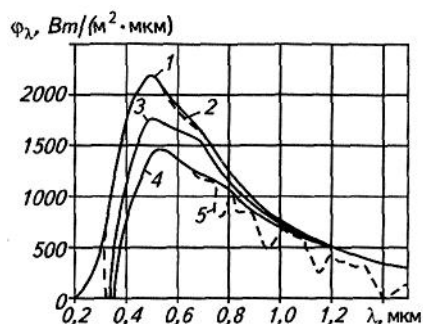


Рис. 1.1. Спектр солнечного излучения:

1—вне атмосферы; 2— после поглощения слоем озона на высоте 20...30км; 3— после молекулярного рассеяния, 4— после поглощения и рассеяния аэрозолем; 5— после поглощения водяным паром и кислородом (нижняя кривая соответствует

спектральному распределению прямой солнечной радиации на поверхности земли)

2.2 Общие закономерности воздействия оптических излучений на биологические объекты

Энергия излучения, генерируемая в сельскохозяйственных осветительных и облучательных установках, в большинстве случаев непосредственно воздействует на живые организмы. Воздействия излучения на человека, животных, растения и микроорганизмы называют фотобиологическими. В настоящее время известны следующие виды фотобиологического воздействия излучения.

Световое действие. Оно заключается в том, что видимое излучение, воздействуя на глаз человека или животного, вызывает зрительное ощущение. Благодаря световому действию оптического излучения человек и животные обладают способностью видеть.

Фотосинтетическое действие. Растения, поглощая видимое и длинноволновое ультрафиолетовое излучения, способны за счет их энергии синтезировать органические вещества из минеральных.

Фотопериодическое действие (фотопериодизм). Облучение (освещение) при различном чередовании периодов света и темноты и при различном спектральном составе может оказывать большое и разнообразное влияние на рост и развитие растений, а также на физиологическое состояние, поведение и развитие животных.

Терапевтическое действие (витальное, антирахитное, тонизирующее). Облучение людей и животных ультрафиолетовым, видимым и инфракрасным излучениями улучшает обмен веществ в организме, повышает жизненный тонус, а также повышает сопротивляемость организма заболеваниям.

Бактерицидное действие, или летальное (разрушающее). Облучение ультрафиолетовым, а при больших дозах видимым и инфракрасным излучениями вызывает гибель бактерий, растений и мелких животных.

Мутагенное действие. Длительное воздействие на животных и растения ультрафиолетовым излучением (а при больших облученностях и видимым) может приводить к наследственным изменениям. Мутагенное действие может использоваться для выведения высокопродуктивных растений и других организмов.

Фотохимические реакции. Общее для всех процессов фотобиологического действия излучения — это фотохимические реакции, которые протекают в веществах живых клеток в результате поглощения ими излучения. Молекулы активно поглощающего вещества при поглощении фотона переходят в возбужденное состояние и после этого способны вступать в те или иные химические реакции, что приводит к определенным биологическим изменениям. Протекание реакции в обратном направлении исключается большим энергетическим барьером обратной реакции.

Согласно закону квантовой эквивалентности Эйнштейна значение квантового выхода фотохимического процесса не может быть больше единицы. Но в практике это правило часто не соблюдается. Кажущееся нарушение закона квантовой эквивалентности происходит из-за возникновения вторичных реакций.

Количественная зависимость фотохимического действия излучения от условий облучения реагирующего вещества, называемого законом взаимозаменяемости, определяет связь между выходом фотохимической реакции и количеством облучения реагирующего вещества:

$$M_p = \alpha Q_\alpha = \alpha \Phi_\alpha \tau = \alpha (1 - e^{-kl}) \Phi_e \tau \quad (2.1)$$

где M_p — число молекул исходного вещества, вступившего в реакцию за время облучения t ; α — постоянная скорости фотохимической реакции; Q_α — поглощенная энергия оптического излучения; Φ_α и Φ_e — потоки излучения, поглощенного веществом и упавшего на него; e — основание натуральных логарифмов, равное $\approx 2,7$; k — показатель поглощения излучения веществом; l — длина пути излучения в веществе.

Для единицы объема облучаемого вещества это выражение будет иметь следующий вид:

$$m_p = \alpha(1 - e^{-k})Et \quad (2.2)$$

где m_p — то же, что и M_p , но для единицы объема облучаемого вещества; E — плотность облучения реагирующего вещества (облученность).

Из этого выражения видно, что фотохимическое действие излучения определяется не его интенсивностью, а полной эффективной дозой, то есть произведением облученности на время действия.

Обычно при большинстве фотобиологических реакций за первым фотохимическим этапом следует целый ряд промежуточных, вторичных. Некоторые из них могут зависеть от времени и других факторов, что приводит к значительным отступлениям от закона взаимозаменяемости.

Скорость фотохимических реакций зависит от количества поглощаемой энергии излучения, концентрации реагирующих веществ, температуры и некоторых других факторов. Для простейших фотохимических реакций она пропорциональна поглощенному потоку излучения Φ_α :

$$\frac{dM_p}{dt} = \alpha\Phi_\alpha \quad (2.3)$$

где Φ_α — поток однородного излучения, упавшего на реагирующее вещество.

Принимая во внимание равенство между поглощенным потоком и скоростью поглощения веществом излучения, уравнение (2.3) можно записать так

$$\frac{dM_p}{dt} = \alpha \frac{dQ_\alpha}{dt} \quad (2.4)$$

Скорость фотохимической реакции зависит от плотности облучения, концентрации исходных продуктов и постоянных, характеризующих протекание первичной и вторичной реакций.

Известны обратимые фотохимические реакции, в которых конечные продукты вновь преобразуются в исходные вещества. Характерный пример такой реакции — фотораспад светочувствительного вещества в сетчатке глаза.

Для фотохимических реакций, протекающих в живых биологических объектах, характерно то, что они могут протекать при организованном, направленном перемещении исходных продуктов. Различные этапы фотобиологической реакции могут осуществляться в разных специализированных центрах. Завершающий этап таких реакций может происходить далеко от места поглощения энергии излучения. В связи с этим скорость фотобиологических реакций зависит от условий передвижения исходных продуктов к центрам и оттока конечных от мест реакций.

Эффективность фотобиологического действия излучения. Эффективность может значительно уменьшаться в результате поглощения излучения поверхностными реактивными слоями организма или за счет отражения им излучения. Одноклеточные организмы (бактерии, простейшие и др.) особенно чувствительны к излучению, так как они имеют малую толщину и фотоны могут достигать жизненно важных центров. У человека и крупных животных излучение может проникать только в поверхностные участки тела.

Для каждого фотобиологического процесса можно построить зависимость интенсивности процесса от длины волны излучения. Такую графическую зависимость называют спектром действия процесса. Знание спектра действия имеет очень важное значение при создании наиболее экономичных источников излучения и установок.

В ряде случаев на результирующую эффективность фотобиологических процессов может оказывать большое влияние явление фотореактивации, которое заключается в следующем. Если облучать объект активным в отношении данного процесса излучением и одновременно воздействовать на него излучением неактивным в отношении этого процесса, то последнее может повышать или понижать эффективность облучения. Например, при сопровождении ультрафиолетового облучения животных интенсивным освещением эффективность ультрафиолетового облучения будет значительно меньше, чем одного облучения без сопровождающего интенсивного освещения.

2.3 Воздействие излучения на человека

Воздействие на человека наиболее биологически активного *ультрафиолетового излучения* зависит от энергии квантов излучения, облученности и времени действия. Известно благотворное действие на человека ультрафиолетового солнечного излучения. Кванты ультрафиолетового излучения, поглощенные белковыми коллоидами протоплазмы клеток кожи, расщепляют молекулы белка. Это сопровождается образованием новых биологически активных веществ (витамина D, гистамина и др.). Распространяясь по организму диффузией или по путям циркуляции жидкостей, эти вещества обуславливают общефизиологические сдвиги терапевтического и тонизирующего характера. В результате фотохимических процессов в коже возникает ультрафиолетовая эритема и пигментация. В отличие от тепловой эритемы, возникающей сразу после нагревания, ультрафиолетовая эритема (покраснение кожи) появляется спустя несколько часов после облучения (от 2 до 6 ч). Минимальное количество облучения, при котором впервые возникает эритема, называют *пороговой дозой (биодоза)*. При недостатке естественного ультрафиолетового излучения зимой в средней полосе и особенно в северных районах используют искусственные источники УФ-излучения для облучения людей.

Инфракрасное излучение, имея небольшую энергию квантов, оказывает в основном тепловое действие на человека. Благодаря хорошей проникающей способности инфракрасное излучение способно нагревать глубинные слои тканей.

Энергия квантов *видимого излучения* меньше, чем энергия квантов ультрафиолетового, поэтому многие полезные фотохимические реакции не могут происходить под действием видимого излучения. Это ограничивает применение видимого излучения для терапевтических целей.

Видимое излучение, воспринимаемое глазом человека, вызывает зрительное ощущение. Световое действие излучения изучено только применительно к органам зрения человека.

Глаз и зрение. Если рассматривать глаз как оптическую систему (рис. 1.2), то нетрудно заметить сходство его с устройством фотоаппарата.

Поток излучения, отраженный от наблюдаемого объекта и падающий на поверхность глаза, проходит через прозрачную роговую оболочку 1, которая расположена перед зрачком. Она имеет высокий показатель преломления и малый радиус кривизны. После преломления в роговой оболочке излучение проходит через

зрачок 2 и попадает в хрусталик 3. Хрусталик состоит из прозрачного эластичного вещества и имеет средний показатель преломления 1,4. Оптическая сила его может изменяться. После преломления излучения на внутренней сетчатой оболочке 4 глаза создается изображение предмета, от которого отражено излучение. Возможность изменения оптической силы хрусталика позволяет получать четкое изображение предметов, расположенных на различном расстоянии от глаза. Приспособляемость глаза к четкому различию разноудаленных предметов (фокусировка оптической системы глаза) называют *аккомодацией*. Сложное строение сетчатой оболочки глаза, несмотря на сильное уменьшение изображения, позволяет получить его достаточно четким.

В сетчатой оболочке глаза содержится два вида светочувствительных элементов — *колбочки* и *палочки*. Первые активны при дневном зрении и обеспечивают различие деталей изображения и восприятие цвета, вторые активны при ночном зрении и обеспечивают только ощущение света и темноты. Светочувствительное вещество, содержащееся в палочках, называют зрительным *пурпуром* или *родопсином*. При поглощении света молекулы родопсина диссоциируют на протеин и ретинен. Эта фотохимическая реакция обратима.

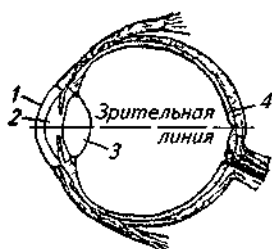


Рис. 1.2. Оптическая схема глаза

В колбочках также содержится светочувствительное вещество, которое называют *иодопсином*. Это вещество, так же как и родопсин, способно вступать в обратимую фотохимическую реакцию. Концентрация молекул родопсина и иодопсина в сетчатой оболочке глаза зависит от плотности ее облучения.

Глаз человека способен воспринимать минимальную освещенность 0,1 лк (лунный свет).

Максимальная освещенность, к которой может приспособиться глаз, достигает 100 000 лк. При низкой освещенности глаз работает в режиме ночного зрения за счет функционирования палочковых элементов. При высокой освещенности глаз работает в режиме дневного зрения за счет колбочковых элементов. При переходе от освещенности, соответствующей ночному зрению, к освещенности, соответствующей дневному зрению, глаз может работать в режиме

так называемого *сумеречного зрения*. В этом случае одновременно работают и колбочковый и палочковый аппараты сетчатой оболочки глаза. Сумеречный режим — самый неблагоприятный для зрения.

Освещенность предметов, которые приходится рассматривать одновременно или последовательно при небольших интервалах времени, часто бывает различной. Когда переводят глаза с одного предмета на другой, они приспособляются к новому уровню освещенности. Приспособление глаза к различным уровням освещенности называют *адаптацией*. Глаз человека — избирательный приемник излучения. Одна и та же мощность излучений различных длин волн вызывает разные уровни светового ощущения.

На рисунке 1.3 кривая 1 — относительная спектральная чувствительность глаза человека ($K_{\lambda c}$), которую часто называют кривой относительной видимости излучения; кривая 2 — относительная спектральная чувствительность глаза при ночном зрении. Она

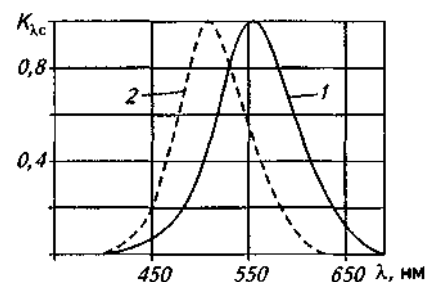


Рис. 1.3. Спектральная чувствительность глаза человека

близка по форме к кривой видимости для дневного зрения, но смещена в сторону коротких длин волн примерно на 45 нм. Международной комиссией по освещению в 1924 г. за основную функцию спектральной чувствительности глаза принята относительная видимость в условиях дневного зрения. Максимум спектральной чувствительности глаза приходится на 555 нм. Функция спектральной чувствительности глаза человека положена в основу построения системы световых величин и единиц.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные виды фотобиологического воздействия.
2. Поясните, как оптические излучения воздействуют на человека.
3. Охарактеризуйте фотопериодическое и мутагенное воздействия оптических излучений.
4. Охарактеризуйте воздействие излучения УФ – спектра на биологические объекты.
5. Охарактеризуйте воздействие видимых излучений на биологические объекты.
6. Охарактеризуйте воздействие ИК- излучений на биологические объекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз. – ISBN 978-5-9532-0710-2
2. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учебное пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз. – ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учебное пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». -Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз. – ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 3

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

3.1 Воздействие излучения на животных и птиц

Проявления воздействия оптического излучения на животных и птиц разнообразно и зависит от спектрального состава излучения. Видимое излучение на животных влияет не только через органы зрения, но и путем восприятия его другими органами. Физиологические ритмы (спаривание, размножение, смена волосяного и перового покровов и др.) у большинства животных и птиц зависят от световых условий. От условий освещения в значительной мере зависит и продуктивность животных и птиц (табл. 3.1).

Технологический эффект от облучения животных и птиц

Таблица 3.1

Объект облучения	Показатель	Технологический эффект, %, при излучении		
		видимом, 380...760нм	инфракрасном, 760 нм	ультрафиолетовом, 280...320 нм
Коровы	Жирность	0,2	—	3
	молока, удой	7...14	—	—
Телята	Привесы	7...12	7	7...13
	Сохранность	15...20	6...8	—
Свиньи	Плодовитость	5,6...25	—	—
	Привесы	6...10	—	—
Поросята	Привесы	13...27	6,5	4...10
	Сохранность	9,7	8...10	
Ягнята	Привесы	—	4,6	—
	Сохранность	—	7,6	—
Крольчата	Привесы	—	8	—
	Сохранность	—	4...7	—
Куры и цыплята	Привесы*	8,6	4,2	4...11
	Сохранность	—	7,0	10...15
	Яйценоскость	8,8	—	—
Индюшата	Привесы	—	8,46	—
	Сохранность	—	3,3	
Утята	Привесы	—	2	—

* 3,7 % при совместном ИК- и УФ-излучении.

Продолжительность светового периода. В настоящее время считают, что на животных и птиц наиболее сильное влияние оказывает постепенное изменение продолжительности светового периода суток, а не освещенность и длительность

(неизменная) светового дня, как это предполагали раньше. Установлено, что постепенное увеличение продолжительности светового дня стимулирующе действует на развитие и функцию половых желез, находящихся в стадии покоя. Подобное же действие на некоторых птиц и животных оказывает кратковременное освещение их ночью. Световой день, постепенно уменьшающийся, а также непродолжительный неизменный, задерживает половое развитие молодняка.

Инфракрасное излучение. По сравнению с коротковолновым ультрафиолетовым и видимым излучениями ИК-излучение имеет большую проникающую способность в ткани животных. Проникновение инфракрасного излучения в ткани организма зависит от отражательной и поглощательной способности верхнего покрова — кожи. Строение и функции кожи человека и млекопитающих животных одинаковы, поэтому биологическое действие инфракрасного излучения, оказываемое на человека, наблюдается и при воздействии на животных.

Находящаяся под роговым слоем нижняя часть эпидермиса состоит из живых клеток, оканчивающихся волокнами, которые передают ощущение боли и находятся в тесной связи с эпителиальными клетками. Повреждение этих клеток, наступающее при тепловом воздействии, соответствующем примерно 43,5 °С, вызывает ощущение боли. Допустимая плотность облучения при инфракрасном обогреве животных ограничивается этим критерием. Чем больше излучения поглощается слоем, в котором возникают болевые ощущения, тем меньшее значение имеет величина допустимой облученности. Излучения с длинами волн меньше 1400 нм достаточно проникают сквозь слой, в котором возникает болевое ощущение. Излучение с большими длинами волн сильно поглощается этим слоем кожи, что значительно ограничивает значение допустимой облученности. В связи с этим наиболее благоприятны для облучения животных источники, имеющие спектр излучения в области от 700 до 1400 нм.

Инфракрасное облучение животных способствует лучшему развитию их и уменьшает восприимчивость к заболеваниям. Оно возбуждает кровообращение, способствующее лучшему обмену веществ и питанию клеток. Некоторые авторы считают также, что облучение усиливает фагоцитоз (способность определенных клеток захватывать и уничтожать возбудителей болезни) и увеличивает образование антитоксина, уничтожающего зародыши инфекционных заболеваний в организме. Оздоровительное действие инфракрасного облучения объясняют также тем, что некоторые болезнетворные бактерии погибают при температуре 41 °С в течение 5 ч.

Витальное действие УФ-излучения. Наиболее сильное тонизирующее и терапевтическое действие на организм животных оказывает ультрафиолетовое излучение.

Принято считать, что благотворное действие ультрафиолетового излучения заключается в расширении кровеносных сосудов и последующих реакциях организма в результате действия гнетами -на. Так как расширение сосудов сопровождается приливом крови и покраснением — эритемой облученных участков, то меру эритемы принято отождествлять с мерой благотворного действия излучения. Излучения различных длин волн имеют неодинаковую витальную эффективность.

Спектр витального (эритемного) действия приведен на рисунке 1.4. Максимум витального действия приходится на излучение с длиной волны 297 нм. При расчетах облучательных установок и дозировании ультрафиолетового облучения принимают во внимание лишь эффективность, обусловленную излучением в пределах длин волн от 280 до 320 нм ($K_{\lambda\delta}$). Коротковолновую ветвь витальной кривой при этом не учитывают.

Экспериментальными исследованиями (И. И. Сокас и др.) установлено, что излучения с длинами волн короче 280 нм оказывают благотворное действие на животных.

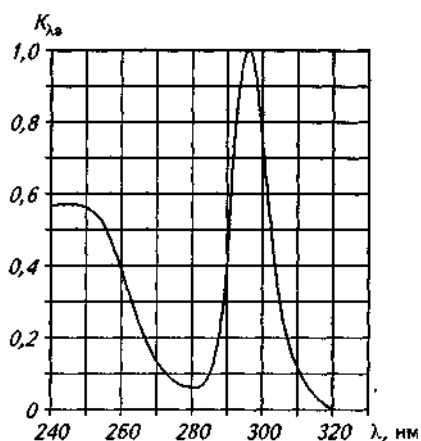


Рис. 1.4. Спектр витального действия УФ-излучения

В связи с этим становится ясной необходимость учета витального действия излучения с длинами волн короче 280 нм. Некоторые авторы считают, что в условиях сельскохозяйственного производства продуктивность животных и птиц существенно лимитирована недостатком в кормах витамина D. Поэтому за основу так называемой хозяйственной эффективности ультрафиолетового облучения рекомендовано принять антирахитное действие излучения. Максимум антирахитного действия не совпадает с максимумом витального действия. Спектр антирахитного действия излучения на животных установлен еще недостаточно точно.

3.2. Бактерицидное действие УФ- излучения

Коротковолновое ультрафиолетовое излучение, имеющее большую энергию квантов, воздействуя на бактерии, приводит к коагуляции содержащихся в них белковых веществ, в результате чего бактерии гибнут. Способность излучения убивать бактерии принято называть *бактерицидностью*. Бактерицидными свойствами обладают излучения, энергия кванта которых достаточна для разрыва связей белкового вещества бактерий. Наибольшей бактерицидной эффективностью обладают излучения с длиной волн 245...257нм ($K_{λб}$). Разные виды бактерий имеют неодинаковую чувствительность к ультрафиолетовому излучению. Наименее чувствительны к ультрафиолетовому излучению дифтерийные бактерии, более чувствительны бактерии Коли, стафилококки, бациллы холеры и тифа.

Спектры бактерицидного действия для различных видов бактерий незначительно отличаются друг от друга. На рисунке 1.5 приведена усредненная кривая бактерицидного действия.

Споры бактерий и грибов обладают большей стойкостью к ультрафиолетовому излучению, чем сами бактерии. Для уничтожения спор требуются дозы примерно в 10 раз больше, чем для уничтожения бактерий. Малые дозы ультрафиолетового облучения стимулируют развитие дрожжевых и плесневых грибов, большие дозы уничтожают их. Спектральная чувствительность грибов к ультрафиолетовому излучению такая же, как и у бактерий. При уничтожении бактерий и грибов ультрафиолетовым излучением целесообразно предварительно создавать благоприятные условия (температуру влажной среды) для развития спор в жизнедеятельные формы. Это позволяет уничтожать их при сравнительно небольших дозах.

Бактерицидное действие ультрафиолетового излучения в практике сельского хозяйства используют для обеззараживания воды, посуды, тары и воздуха в животноводческих помещениях.

Овощи и фрукты, подвергнутые ультрафиолетовому излучению, можно хранить значительно дольше, так как уничтожаются микроорганизмы на их поверхности. Ультрафиолетовое облучение позволяет также удлинить сроки хранения мяса и других продуктов.

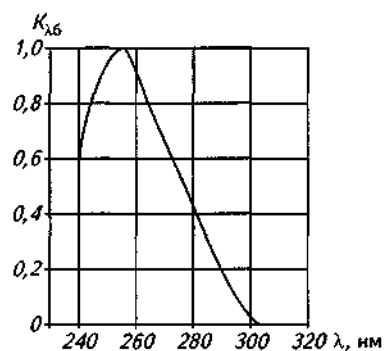


Рис. 1.5. Спектр бактерицидного действия УФ-излучения

3.3. Воздействие оптического излучения на растения

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

Влияние оптического излучения на растения многосторонне. Не только фотосинтез, но и многие другие физиологические процессы растений зависят от условий облучения: рост и развитие растений, образование листьев и других органов. Однако основной, наиболее характерный процесс для зеленых растений — фотосинтез.

В воздействии излучения на растения можно выделить две стороны. В первую очередь излучение — незаменимый источник энергии для растения. Общее энергетическое действие излучения на растения складывается из фотосинтетического и теплового. Поглощенная растениями энергия излучения частично идет на фотосинтез и частично на нагрев и испарение воды (транспирация). Фотосинтетическим действием обладают только излучения с длинами волн от 300 до 750 нм. Тепловое действие на растения могут оказывать не только видимое и ультрафиолетовое, но и инфракрасное излучение. 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. Характерный пример такого действия излучения — фотопериодическая реакция растений. Чтобы вызвать ее, требуется во много раз меньшее количество энергии, чем для фотосинтеза. Вызывать фотопериодическую реакцию растений и оказывать на нее влияние может также фотосинтетически неактивное излучение, например инфракрасное.

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

Поглощение листьями излучения зависит от его спектрального состава, толщины листа, внутреннего строения и состояния его поверхности, а также от состава и концентрации в листе пигментов. В листьях растений происходит фотосинтез, а также образуются различные физиологически активные вещества.

Зеленый лист растения поглощает 80...90 % падающего на него суммарного фотосинтетически активного излучения, отражает 5... 10 % и примерно столько же пропускает. Характер спектра поглощения оптического излучения у всех зеленых растений одинаковый. В естественных условиях из всей энергии, падающей на растения, примерно 2 % идет на фотосинтез, остальная поглощенная энергия излучения превращается в растении в теплоту.

Суммарное уравнение фотосинтеза обычно записывают в виде реакции превращения углекислого газа и воды в гексозу: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + nh\nu + \text{хлорофилл} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12} + 6\text{O}_2 + \text{хлорофилл}$. Это уравнение соответствует обращенному суммарному процессу дыхания, что свидетельствует о противоположности этих

процессов. В противоположность фотосинтезу при дыхании происходит окисление органического вещества и выделение углекислого газа и воды.

Суммарное уравнение не выражает особенностей фотосинтеза, представляющего собой сложную многоступенчатую реакцию. Часть элементарных реакций фотосинтеза может протекать только на свету, 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. По современным представлениям энергия отдельных квантов излучения, поглощенная любым фотосинтетическим пигментом, передается затем молекулам хлорофилла «а», которые переходят в возбужденное состояние. Внутренняя энергия каждой из этих молекул повышается на величину, равную энергии квантов излучения с длиной волны 680 нм. Поэтому независимо от длины волны излучение только этой части энергии квантов может превращаться в химическую энергию, остальная же часть энергии квантов превращается в теплоту. Другими словами, при фотосинтезе наиболее полно используется излучение с длиной волн 680 нм.

По мере уменьшения длины волны доля энергии каждого кванта, расходуемая на фотосинтез, уменьшается. Однако под источниками с однородным монохроматическим излучением не удастся получить полноценных растений. В установках для искусственного облучения растений применяют лампы с неоднородным облучением. Для получения хорошо развитых растений и высокой продуктивности фотосинтеза лампы облучательных установок должны содержать в своем спектре все излучения области 300...750 нм. При этом желательно, чтобы большая часть приходилась на область оранжево-красных к сине-фиолетовых излучений. Энергия различных длин волн в разной мере расходуется на фотосинтез.

Спектр действия фотосинтеза по экспериментальным данным различных авторов приведен на рисунке 1.6. Большое расхождение данных различных авторов в коротковолновой области спектра обусловлено трудностью получения однородных монохроматических излучений требуемой мощности в этой области и сложной зависимостью фотосинтеза от многих внешних условий и состояния растений. Спектральная интенсивность фотосинтеза разных видов растений может различаться. Она может быть неодинаковой для растений одного и того же вида, но выращенных в различных условиях или имеющих разный возраст или фазу развития.

Для разработки ламп и установок искусственного облучения растений очень важно знать некоторый средний спектр действия фотосинтеза. На рисунке 1.7 приведен *спектр действия* так называемого *среднего листа растения*, полученный расчетным путем по спектрам поглощения фотосинтетических пигментов и их усредненной концентрации в листе.

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

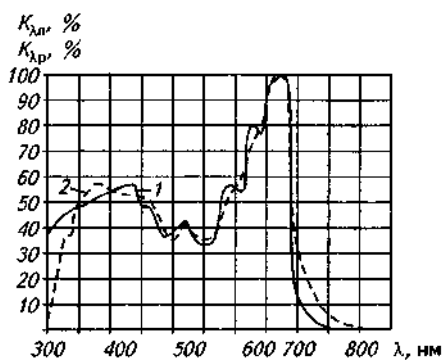


Рис. 1.6. Спектральная чувствительность:
1 — среднего листа растения, 2 — фитофотометра

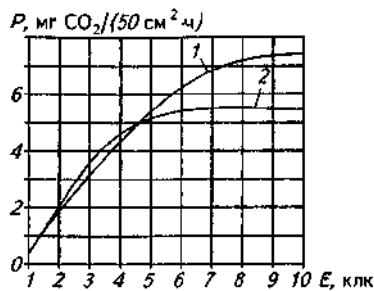


Рис. 1.7. Световая кривая фотосинтеза:
1 — при температуре 20 °C, 2 — при температуре 10 °C

мала, что усваиваемой при этом энергии бывает недостаточно для покрытия расхода ее на дыхание.

При низких облученностях процесс дыхания может преобладать над фотосинтезом. По мере повышения облученности при некотором ее значении количество энергии, накапливаемой путем фотосинтеза, становится равно энергии, расходуемой на дыхание. Это значение облученности называют *компенсационным*. При повышении облученности, начиная от компенсационного значения, интенсивность фотосинтеза возрастает пропорционально облученности. Как видно из рисунка 1.7, 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 *насыщающим*.

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

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные виды фотобиологического воздействия.
2. С какой целью облучают людей и животных УФ-излучением?
3. С какой целью облучают рассаду?
4. Напишите уравнение фотосинтеза.
5. Какие основные приборы используют для измерения излучений?
6. Поясните, как оптические излучения воздействуют на человека.
7. Поясните, как оптические излучения воздействуют на животных и птиц.
8. Поясните, как оптические излучения воздействуют на растения.
9. Поясните, как оптические излучения воздействуют на микроорганизмы.
10. Охарактеризуйте фотопериодическое и мутагенное воздействия оптических излучений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, — М.: КолосС, 2008. — 344 с.: ил. — 50000 экз. — ISBN 978-5-9532-0710-2

2. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учебное пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз.– ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учебное пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз.– ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 4

ИЗМЕРЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Для измерения излучений как в энергетических, так и в эффективных единицах используют различные приборы. Для измерения видимого излучения применяют люксометры; для измерения ультрафиолетового излучения в областях А, В и С, а также в фотосинтезно-активной области (ФА) и бактерицидной — уфиметры, дозиметры, уфидозиметры, фотометры, бактометры; для регистрации излучения в инфракрасной области — болометры, пиранометры и др.

4.1. Приборы для измерения видимых излучений

Люксометры. Люксометры — приборы, предназначенные для измерения освещенности, т. е. той части видимого излучения, которая эффективно воспринимается глазом человека. Люксометр имеет селеновый фотоэлемент с вентильным фотоэффектом, вмонтированный в оправу с ручкой, и микроамперметр со шкалой, проградуированной в люксах. Электрическая схема включения селенового элемента в приборе показана на рисунке 1.8.

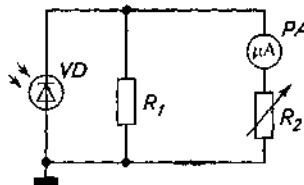
Промышленность выпускает люксометры типа Ю-116, Ю-117 и др. Люксометром Ю-116 можно измерять уровни освещенности 5...100 000 лк. Прибор имеет два основных и шесть дополнительных пределов измерения, которые могут быть получены за счет использования нейтральных фильтров, устанавливаемых на фотоэлементе. При увеличении освещенности в цепи фотоэлемента VD и микроамперметра μA под действием потока света увеличивается количество электронов, определяющих ток, фиксирующий измеряемое значение освещенности. Погрешность измерения освещенности на основных пределах не превышает +10 %, на дополнительных — ± 15 %. Люксометр Ю-117 имеет большие пределы измерений (0,1...100 000 лк) и комплектуется электронным усилителем с источником питания.

Спектральная чувствительность у селеновых фотоэлементов указанных приборов отличается от стандартизованной спектральной чувствительности глаза среднего человека. Это следует учитывать при измерении освещенности от различных источников света, умножая показания люксометров на поправочные коэффициенты K :

Лампы	K
Накаливания всех типов	1
Газоразрядные низкого давления:	
ЛД и ЛДЦ	0,95
ЛБиЛХБ	1,15
высокого давления:	
ДРЛ	1,1
ДРИ	1,2

Рис. 1.8. Схема включения селенового фотоэлемента с вентильным фотоэффектом в люксметре:

VD — фотоэлемент, PA — микроамперметр, R_1 , R_2 — установочные резисторы



4.2 Приборы для измерения для ультрафиолетовых излучений

Фотоэлектронные измерительные приемники излучения используются в ряде таких приборов, как уфиметры, дозиметры, бактометры и др.

Уфиметр типа УФМ предназначен для измерения ультрафиолетовой облученности, создаваемой искусственными источниками излучения. Прибор имеет диапазон измерения эритемной облученности $1 \dots 3000 \text{ мэр/м}^2$. Общий диапазон разбит на пять поддиапазонов. Шкала прибора отградуирована в мэр/м^2 . В качестве приемника ультрафиолетового излучения в приборе использован вакуумный фотоэлемент типа Ф27, спектральная характеристика которого находится в диапазоне волн $280 \dots 380 \text{ нм}$ и близко совпадает с кривой эритемного действия оптического излучения. Прибор УФМ имеет металлический кожух и может работать при температуре от 0 до 35°C и относительной влажности окружающего воздуха до 95% . Электрическая схема прибора питается от четырех элементов типа «Марс» или «Сатурн».

Фотометр (радиометр) РОИ-82 и автоматический *дозиметр* ДАУ-81 предназначены для измерения излучений в ультрафиолетовой и в фотосинтезно-активной областях спектра. В состав каждого прибора входят измерительный блок и комплект приемников излучения — фотоэлементы Ф25, Ф26 и Ф29 с набором светофильтров для выделения заданных спектральных областей.

Приборы получают питание от сети напряжением 220 В , а фотометр РОИ-82 — от автономного источника питания напряжением 9 В .

4.3 Тепловые измерительные приемники излучений и приборы с их использованием

Приборы на базе тепловых приемников (болометры, пиранометры и др.) просты по устройству. Однако они могут регистрировать лишь медленно изменяющиеся потоки излучения. Инерционность тепловых приемников достигает нескольких десятков секунд.

Болометр преобразует поглощенную энергию излучения в электрический сигнал. В полупроводниковом болометре в результате изменения температуры становится иным и электрическое сопротивление. Для компенсации температурных изменений окружающего воздуха прибор включают по мостовой схеме с компенсационным болометром, защищенным от воздействия излучения. При облучении измерительного болометра изменяется его электрическое сопротивление и в диагонали моста между двумя болометрами появляется электрический ток, регистрируемый гальванометром. Болометры используют в приборах для регистрации излучения в инфракрасной части спектра.

Пиранометр преобразует поглощенную энергию излучения при помощи термоэлемента в электрический сигнал (термоЭДС). Примером такого прибора служит пиранометр Янишевского, предназначенный для измерения облученности с длиной волны от 300 до 2500 нм . Указанным прибором можно измерять энергетическую

облученность как в отдельных областях спектра (УФ, ИК, видимой), так и в совокупности. Приемной частью прибора служит термобатарея из манганиновых и константановых ленточек, спаянных между собой последовательно. Ток термоэлемента регистрирует гальванометр типа ГСА-1, проградуированный в Вт/м². Чувствительность прибора $(1...1,5)10^{-2}$ мВ на 1 Вт/м², инерция показаний — 40 с.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите схему включения селенового фотоэлемента в люксметре.
2. Какое назначение поправочных коэффициентов к показаниям люксметров?
3. Назовите приборы для измерения УФ- излучений.
4. Назовите приборы для измерения ИК- излучений.
5. Поясните, как определить цену деления шкалы люксметра.
6. Для чего при работе с люксметром используют сменные светофильтры входящие в комплект прибора.
7. Изложите порядок измерения освещенности на рабочей поверхности в помещении.
8. Назовите достоинства и недостатки дозиметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз. – ISBN 978-5-9532-0710-2
2. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учебное пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз. – ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учебное пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». -Саратов, 2007. -96 с.: – 200 экз. – ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 5

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

Искусственный источник оптического излучения — устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в излучение требуемого диапазона волн или заданного спектра. В современных электрических источниках излучений электрическая энергия преобразуется в основном двумя способами: с помощью высокотемпературного нагрева тела электрическим током и с помощью электрического разряда в газах и парах металлов. Можно также условно говорить о наличии источников смешанного (теплого и газоразрядного) излучения и об источниках люминесцирующего действия, у которых процесс разряда является кратковременным и вспомогательным или отсутствует вовсе.

5.1. Законы теплового излучения

Любое твердое тело, имеющее температуру, отличную от абсолютного нуля, излучает в окружающее пространство энергию. Выделение телом энергии длительно может происходить только тогда, когда энергия тела будет непрерывно пополняться или излучение происходит за счет химических процессов, совершающихся в излучающем теле, в результате которых непрерывно уменьшается запас внутренней энергии тела.

Тело можно заставить длительно светиться, нагревая его. Широкое распространение как источники излучения получили тела, нагреваемые электрическим током, проходящим через них. Ток, проходящий через нить накала электрической лампы, восполняет убыль энергии в результате излучения нитью потока излучения.

Процесс излучения показывает, что различные тела, имеющие одну и ту же температуру, могут обладать различной энергетической светимостью, если они имеют различные коэффициенты поглощения. Все тела подразделяют на три класса: *черные, серые и избирательные (селективные)*.

Под идеальным излучателем понимают тело, поглощающее всю падающую на него энергию. Коэффициент поглощения идеального излучателя $\alpha = 1$. Часто коэффициент поглощения называют поглощательной способностью тела. В природе идеальных излучателей нет: черный бархат имеет $\alpha = 0,995...0,996$, в то время как мел имеет $\alpha = 0,15...0,22$. Несмотря на то что идеальные излучатели в природе отсутствуют, можно достаточно просто создавать модель такого тела. Это полое тело, внутренняя поверхность которого выкрашена в черный цвет. Через небольшое отверстие поток излучения поступает в полость такого тела, где в результате многократных отражений полностью поглощается (рис. 1.9). Нагревая такое тело, получаем из его отверстия излучение идеального излучателя. Все излучения реальных тел делят на серые и избирательные (селективные). Для серого излучения кривая спектральной плотности энергетической светимости $M_\epsilon(\lambda T)$ подобна кривой $M_{\epsilon s}(\lambda T)$ — спектральной плотности излучателя при равенстве температур тел.

Для избирательного (селективного) излучения кривая спектральной плотности энергетической светимости $M_\epsilon(\lambda T)$ отличается от кривой $M_{\epsilon s}(\lambda T)$ при равенстве температур тел.

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

$$\frac{M_{e1T}}{M_{e2T}} = \frac{\alpha_{e1T}}{\alpha_{e2T}} \quad (5.1)$$

Для ряда тел, имеющих одинаковую температуру, закон Кирхгофа можно записать и в таком виде:

$$\frac{M_{e1T}}{M_{e2T}} = \frac{\alpha_{e1T}}{\alpha_{e2T}} = \dots = \frac{M_{enT}}{M_{enT}} = M_{eST} \quad (5.2)$$

где M_{eST} , M_{e1T} , M_{e2T} —, M_{enT} — плотность энергетической светимости черного и реальных тел, имеющих постоянную температуру T ; α_{e1T} , α_{e2T} , ..., α_{enT} коэффициенты поглощения тех же тел при температуре T .

Для монохроматических потоков излучения закон Кирхгофа имеет следующий вид:



$$\frac{M_{e1}(\lambda T)}{\alpha_{e1}(\lambda T)} = \frac{M_{e2}(\lambda T)}{\alpha_{e2}(\lambda T)} = \dots = \frac{M_{en}(\lambda T)}{\alpha_{en}(\lambda T)} = M_{eS}(\lambda T) \quad (5.3)$$

где $M_{eS}(\lambda T)$, $M_{e1}(\lambda T)$, $M_{e2}(\lambda T)$, ..., $M_{en}(\lambda T)$ — спектральные плотности энергетических светимостей черного тела и различных излучателей для данной длины волны λ и температуры T , $\alpha_{e1}(\lambda T)$, $\alpha_{e2}(\lambda T)$, ..., $\alpha_{en}(\lambda T)$ — спектральные коэффициенты поглощения для тех же излучателей для данной длины волны λ и температуры T .

Из закона Кирхгофа можно сделать следующие выводы.

1. Любое реальное тело излучает с единицы поверхности всегда меньший поток излучения, чем черное тело при той же температуре.

2. Спектральная плотность энергетической светимости реального тела в любой области спектра всегда меньше спектральной энергетической светимости черного тела в той же области спектра при одинаковой температуре реального и черного тел.

3. Кривые $M_e(\lambda T)$ для серого и селективного излучателей всегда лежат внутри кривой $M_{eS}(\lambda T)$ для черного тела при равенстве температур этих тел.

Закон Стефана—Больцмана устанавливает связь между плотностью излучения тела и его температурой. Плотность излучения идеального излучателя зависит только от его температуры и пропорциональна ее четвертой степени:

$$M_{eST} = \sigma T^4 \quad (5.4)$$

где M_{eST} — плотность излучения идеального излучателя, Вт/м²; σ — постоянная, равная $5,672 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴); T — абсолютная температура, К.

Для практики весьма важно знать распределение энергии в спектре теплового излучения. Распределение энергии в спектре теплового излучения идеального излучателя тела описывается формулой Планка

$$M_{eST}(\lambda T) = c_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)^{-1} \quad (5.5)$$

где $M_{eS}(\lambda T)$ — спектральная плотность потока излучения идеального излучателя, Вт/(м²·мкм); c_1 — постоянная, равная $3,74 \cdot 10^8$ Вт/м²·мкм⁴; c_2 — постоянная, равная $1,43 \cdot 10^4$ мкм·К; e — основание натуральных логарифмов.

Продифференцировав уравнение (4.5) по λ , и приравняв первую производную нулю, получим

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

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



Уравнение (4.7) определяет положение максимума кривой спектральной плотности потока и излучения идеального излучателя 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. 1.10). В видимой части спектра максимум находится при температуре идеального излучателя тела в пределах 3750...7800 К. Вин, пользуясь законом Стефана — Больцмана и законом смещения, установил, что максимальное значение спектральной плотности потока излучения возрастает пропорционально пятой степени температуры тела, то есть

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

где c_3 — постоянная, равная $1,041 \cdot 10^{11}$ Вт/(м²·мкм·К⁵).

Основные законы теплового излучения позволяют сделать следующие выводы.

1. Поток излучения идеального излучателя тела пропорционален четвертой степени температуры нагрева.
2. Значение максимума спектральной плотности потока излучения идеального излучателя тела пропорционально пятой степени температуры нагрева.
3. С повышением температуры нагрева идеального излучателя 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 эту зависимость применительно к тепловому излучателю, используемому в качестве источника видимого излучения. Эффективная отдача потока излучения (световой КПД) в данном случае

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

При повышении температуры излучателя световой КПД возрастает, что объясняется смещением максимума кривой спектральной плотности потока излучения в сторону видимого излучения. Наибольшего значения (14,5 %) световой КПД достигает при температуре идеального излучателя около 6500 К (рис. 1.11). Максимум кривой спектральной плотности излучения при этом оказывается в зоне видимой части спектра.

Дальнейшее увеличение температуры излучателя приводит к смещению максимума кривой $\lambda(\varphi)$ в коротковолновую часть спектра. Значение светового КПД начинает уменьшаться.

В таблице 4.1 приведены максимальные значения светового КПД и световой отдачи излучения для некоторых характерных тепловых излучателей.



Характер излучения или излучатель	Температура, К	Световая отдача, лм/Вт	Световой КПД, %
Монохроматическое излучение	—	680	100
при $\lambda = 555$ нм			
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 при светотехнических расчетах, не обладают в полной мере свойствами идеального излучателя, однако, пользуясь специальными переходными величинами, законы теплового излучения идеального излучателя можно приложить и к реальным телам.

5.2. Устройство, принцип работы и основные характеристики ламп накаливания

На долю ламп накаливания приходится более 30 % светового потока всех ламп. В некоторых особых случаях, например в медицине, такие лампы незаменимы. Использование ламп накаливания во многих сферах деятельности человека объясняется простотой их устройства, надежностью эксплуатации, возможностью непосредственного включения в сеть, обработанностью технологии производства и дешевизной.

Устройство ламп накаливания. Несмотря на все многообразие ламп накаливания, конструктивно они имеют почти одни и те же элементы. Главный элемент для получения видимого излучения (света) — вольфрамовая нить (тело накала), выполненная из проволоки круглого сечения. Для уменьшения распыления вольфрама при высокой температуре свечения (2300...2800 °С) тело накала делают спиральным или биспиральным (спираль из спирали). Биспиральные лампы имеют меньшие габариты и больший КПД, чем спиральные, что позволяет использовать их в малогабаритной осветительной арматуре. Используют также лампы с зигзагообразной спиралью, работающие в условиях сотрясений.

Наиболее распространенная конструкция лампы накаливания показана на рисунке 1.12. Тело накала 9 подвешивают на крючках 7 и при помощи двух электродов 10 электрически соединяют с цоколем 11 и контактом 12. Сами электроды 10 также состоят из двух частей, что позволяет при нагревании электродов и стекла исключить разрушение лампы.

Для защиты тела накала от окислительного действия кислорода воздуха его помещают в стеклянную колбу 8. Форма колбы у лампы накаливания может быть различной. Чаще всего используют грушевидную и грибовидную формы, реже свечеобразную, пальцеобразную (для люстр и настенных светильников — бра), шаровую, специальной конструкции (лампа-люстра и т. п.), цилиндрическую для линейных галогенных ламп и т. д.



Рис. 1.12. Конструкция лампы накаливания общего назначения:

1 — изоляционная масса; 2 — мастика; 3 — тарелка; 4 — лопатка тарелки; 5 — штабик; 6 — линза; 7 — крючки; 8 — колба; 9 — тело накала (спираль); 10 — электроды; 11 — цоколь; 12 — контакт

Кроме прозрачных колб используют матированные (мт), «молочные» (м), опаловые (о) и различные цветные колбы (д, бл, ж, з, к и др.), назначение которых — уменьшить слепящую яркость тела накала. Однако в таких колбах может теряться до 20 % светового потока.

В лампах некоторых типов предусматривают дополнительный отражатель света, выполненный в виде зеркального или диффузного напыления на внутренней поверхности колбы, а также отражатель теплоты из слюды или других материалов, устанавливаемый в узкой части колбы со стороны цоколя.

Для включения лампы в электрическую сеть (с помощью резьбовых и штифтовых патронов, контактных колодок, зажимов и устройств) на колбе лампы установлен цоколь, который в зависимости от условий эксплуатации может быть резьбовым (р), штифтовым (ш), цилиндрическим (ц), фиксирующим (ф), софитным (сф) и др. Наиболее распространены нормальные резьбовые цоколи Е27 (диаметр 27 мм) и увеличенные (при мощности более 300 Вт) — Е40 (40 мм). Для декоративных колб распространен цоколь Е14 (14 мм).

Лампы накаливания в вакуумном и газополном исполнении предназначены для освещения. У вакуумных ламп из колбы откачан воздух до разрежения $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па. Такие лампы выпускают мощностью до 40 Вт. В обозначение лампы включена буква В (вакуумная).

У газополных ламп колбу после откачки воздуха наполняют инертным газом — смесью аргона, ксенона или криптона (86 %) с азотом (14 %) до давления, близкого к атмосферному. Такое решение позволяет при уменьшении распыления вольфрама повысить температуру тела накала до 2600...2700 °С и увеличить в сравнении с вакуумными лампами в полтора раза световую отдачу. Газополные лампы изготавливают мощностью от 40 до 1500 Вт, причем в зависимости от типа наполнителя и конструкции спирали их подразделяют на три группы: газополные моноспиральные Г (150... 1500 Вт), газополные биспиральные Б (40...200 Вт) и газополные биспиральные с криптоновым наполнителем БК (40... 100 Вт).

Галогенные лампы КГ появились в результате работы ученых и конструкторов по снижению распыления вольфрама. Внутри колбы галогенной лампы вводят определенное количество йода. При температуре 300... 1200 °С пары йода соединяются у стенки колбы с оторвавшимися от спирали частицами вольфрама и образуют йод-вольфрам. Перемещаясь затем к телу накала при температуре 1400...1600 °С, молекулы йодвольфрама распадаются, и атомы вольфрама оседают на теле накала. В результате галогенные лампы накаливания в сравнении с лампами общего назначения имеют большую световую отдачу. Йодовольфрамовый цикл, препятствуя осаждению вольфрама на колбе, значительно повышает стабильность излучения лампы за период эксплуатации. Если у обычных ламп накаливания световой поток к концу службы

снижается на 20 %, то у галогенных ламп за вдвое больший срок это снижение не превышает 2%.

Галогенные лампы внешне отличаются от обычных ламп накаливания (рис. 1.13). Они имеют кварцевую цилиндрическую колбу малого объема, внутри которой вольфрамовая спираль закреплена на держателях. Длинное спиральное тело накала обуславливает работу галогенных ламп в горизонтальном положении.

Обычные линейные галогенные лампы накаливания обозначают буквами КГ (кварцевая галогенная), инфракрасные галогенные лампы — буквами КГТ (термическая).

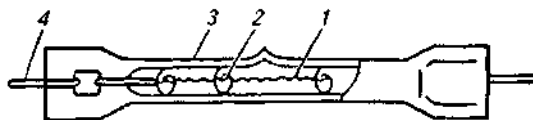


Рис. 1.13. Линейная галогенная лампа:

1 — тело накала, 2 — держатели, 3 — колба, 4 — контактный вывод

В сельскохозяйственном производстве используют галогенные лампы мощностью 1; 1,5; 2 и 5 кВт и напряжением 220 В для освещения высоких производственных помещений и открытых пространств. Их можно использовать и для инфракрасного обогрева.

Инфракрасные негалогенные лампы имеют колбу, по внешнему виду напоминающую перевернутый гриб с внутренним зеркальным отражением. Колба может быть прозрачной или изготовленной из цветного стекла. Примеры обозначения: ИКЗК — инфракрасная (ИК), зеркальная (З), с колбой красного цвета (К); ИКЗ — то же, с колбой прозрачного стекла; ИКЗС — то же, с колбой синего цвета.

Инфракрасные лампы ИКЗ, зеркальные лампы З очень похожи на негалогенные. Как и галогенные лампы, они предназначены для освещения высоких помещений, декораций и открытых пространств. Выпускают лампы концентрированного светораспределения (ЗК), среднего (ЗС), широкого (ЗШ), зеркальные из ниодимового стекла концентрированного (ЗКН) или широкого светораспределения (ЗШН). Ниодимовые лампы используют там, где требуется высокое качество цветопередачи (телестудии, концертные залы).

Металлогалогенные зеркальные лампы-светильники МГ внешне похожи на лампы З и ИКЗ, но имеют металлический конус. Их используют для освещения пыльных сухих и влажных производственных помещений, а также в комплексных осветительных устройствах специального назначения. Мощность — от 250 до 700 Вт при напряжении 220 и 380 В, срок службы — до 7500 ч.

Обозначение ламп накаливания. Помимо наиболее распространенных, используют следующие обозначения ламп накаливания: МО — местного освещения, МОД — местного освещения диффузная, МОЗ — то же, с зеркальным слоем и т. д.

Выпускают целый ряд ламп специального назначения: железнодорожные (Ж, ЖТ, ЖСК, ЖМТ), судовые (С), автомобильные (А, АМН, АС, ТН), самолетные (СМ), сигнальные (СГ), лампы-фары (ЛФ), кинопроекторные (К) и кинопрожекторные (КПЖ), миниатюрные (МН) и сверхминиатюрные (СМН), рудничные (Р), медицинские синие (МДС), для швейных машин (ПШ) и др.

Общее обозначение ламп накаливания: вначале идет буква, определяющая тип лампы; затем номинальное напряжение лампы или допустимый интервал напряжения питания (В); далее электрическая мощность лампы (Вт); может быть указан номер разработки; последней непосредственно на изделии указана дата выпуска.

Например, БКМТ-215-225-60 расшифровывается так: лампа накаливания биспиральная криптоновая (БК) в матированной колбе (МТ), интервал допустимого напряжения питания—215...225В, мощность 60 Вт. Интервал напряжения определяет и напряжение сети 220 В. Еще пример обозначения: ИКЗК-215-225-500-1 — инфракрасная (ИК), зеркальная (З), колба красная (К), интервал напряжения питания 215...225 В (напряжение сети 220 В), мощность 500 Вт, номер разработки 1.

Примеры обозначения галогенных ламп: КГ-220-1000 — кварцевая галогенная (КГ), напряжением 220 В, мощностью 1000 Вт; КГТ-220-2000 — галогенная инфракрасная лампа (КГТ), напряжением 220 В, мощностью 2000 Вт. Обозначение ламп накаливания местного освещения МО-12-60 и МОЗ-36-100 расшифровывается следующим образом: местного освещения (МО), с зеркальным слоем (З), напряжением 12 и 36 В, мощностью 60 и 100 Вт.

Основные параметры ламп накаливания. Это номинальное напряжение U_n в вольтах (В); номинальная мощность P_n в ваттах (Вт), которую лампа потребляет из сети; световой поток Φ в люменах (лм); световая отдача η_v в люменах на ватт (лм/Вт) и средний срок службы τ в часах (ч).

Электрические параметры ламп — напряжение и мощность. Номинальное напряжение U_n — это напряжение, на которое рассчитана лампа, когда она потребляет расчетную номинальную мощность P_n . Номинальное напряжение и мощность указывают на колбе или цоколе лампы. В зависимости от области применения лампы накаливания выпускают напряжением от 1 до 380 В и мощностью от долей ватта до 20 киловатт.

Лампы накаливания общего назначения рассчитаны на включение в сеть напряжением 127 и 220 В. Их выпускают в соответствии с международной классификацией на номинальные напряжения 130, 220, 225, 235 и 240 В с интервалами напряжений питания 125...135, 215...225, 220...230, 230...240, 235...245 В.

Лампы накаливания местного освещения МО и другие уже выпускают для включения под напряжения 12, 24, 36 и 42 В с нормальным цоколем Е27 и другими типами цоколей.

Светотехнические параметры ламп накаливания — световой поток и световая отдача. Последнюю, поскольку она определяет и экономический показатель работы лампы, относят также к эксплуатационным показателям, к которым относят и срок службы лампы.

Обладая высоким энергетическим КПД ($\eta_p = 14 \%$), лампы накаливания имеют сравнительно низкий световой КПД, не превышающий 3,5 %. У галогенных ламп этот показатель в последнее время доведен до 4 %. Теоретически световой КПД ламп накаливания может составить около 6 %, поскольку вольфрам при плавлении может обеспечить световой КПД только на 8,1 %.

Световой поток лампы накаливания Φ_v зависит от электрической мощности P , питающего напряжения U и температуры тела накала T . Отклонение нормируемого в первые часы работы светового потока у различных ламп не должно превышать 5...10 %. В процессе эксплуатации из-за распыления тела накала, уменьшения его рабочей температуры и снижения прозрачности колбы для ламп, проработавших 75 % своего номинального срока, допускают уменьшение светового потока на 15...20 %. Значение светового потока ламп накаливания различных типов мощностью от 40 до 1000 Вт находится в пределах от 400 до 20 000 лм.

Световая отдача лампы η_v , лм/Вт, определяется отношением светового потока Φ_v , излучаемого лампой, к потребляемой ею мощности P .

Световая отдача различных ламп накаливания находится в пределах 7...28 лм/Вт.

У инфракрасных ламп (ИКЗ, ИКЗК, КГТ) температура тела накала меньше, чем у обычных осветительных. Это позволяет в 6... 10 раз увеличить срок их службы при инфракрасном КПД около 80 %.

Исследования показывают, что световая отдача зависит не только от конструкции тела накала, но и от газового состава в колбе. При равной мощности и номинальном напряжении световая отдача криптоновых ламп выше, чем аргоновых.

Следует отметить, что в видимой части спектра у ламп накаливания преобладают оранжево-красные излучения с длинами волн $\lambda = 600...780$ нм. Синих излучений с длинами волн $\lambda = 380...450$ нм в 10 раз меньше. Такой спектральный состав не обеспечивает правильной цветопередачи. В целом спектр излучения ламп накаливания считают неудовлетворительным для освещения, особенно при фотографировании и киносъемке.

Все показатели работы ламп накаливания зависят от отклонения напряжения сети U_c , с которым связаны изменения температуры тела накала. Больше всего эти изменения температуры влияют на срок службы ламп.

Средняя продолжительность горения ламп накаливания — 1000 ч (гарантированный срок службы каждой лампы — 700 ч). Полезный срок службы галогенных ламп — 2000 ч. Срок службы инфракрасных ламп составляет 6000... 10 000 ч.

При отклонениях напряжения сети на 5 % от номинального Продолжительность горения ламп накаливания общего назначения изменяется в 2 раза. Изменение напряжения лишь на 1 % вызывает изменение светового потока в среднем на 3,2 %, а световой отдачи — на 1,9 %.

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимают под искусственным источником оптического излучения?
2. Назовите основные виды источников оптического излучения.
3. Что такое идеальный излучатель?
4. Назовите три класса тел накала.
5. Как происходит преобразование электрической энергии в оптические излучения?
6. Дайте определение закона Кирхгофа.
7. Дайте определение закона Стефана—Больцмана.
8. Напишите закон Планка.
9. Дайте определение закона смещения Вина.
10. Назовите основные элементы конструкции лампы накаливания общего назначения.
11. Как устроена линейная галогенная лампа накаливания?
12. Назовите некоторые разновидности ламп накаливания.
13. Каковы основные характеристики ламп накаливания?
14. Как изменяются показатели ламп накаливания от подводимого напряжения?
15. Приведите простейшие схемы включения ламп накаливания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, — М.: КолосС, 2008. — 344 с.: ил. — 50000 экз. — ISBN 978-5-9532-0710-2

2. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учебное пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз.– ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учебное пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз.– ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 6

РАЗРЯДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ

6.1. Особенности электрического разряда в газах и парах металла

Газоразрядные источники предназначены для получения оптического излучения в результате электрического разряда в газах, парах веществ или их смесях. Они обладают более высоким световым КПД, чем источники, основанные на тепловом излучении.

Электрический разряд в газе. Возникновение электрического разряда между двумя электродами, к которым подведено напряжение в ограниченном объеме среды, заполненной инертным газом или небольшим количеством металла с высокой упругостью паров, определяется перемещением свободных *электронов* и *ионов*, всегда присутствующих в газе. В результате этого воздействия происходит перемещение ионов к катоду, а электронов — к аноду, то есть протекает *электрический ток*.

Процесс прохождения электрического тока в газообразной среде существенно отличается от протекания тока в металлах и электролитах. Электрический пробой газа или пара и протекание в результате этого тока отличается от соответствующего явления и в диэлектриках. Если в последних электрический пробой приводит к их разрушению и превращению полностью или частично в проводник или 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.

Возникновение световых излучений происходит за счет энергии столкновения электронов с атомами при движении их к аноду. В зависимости от кинетической энергии движущегося электрона в момент соударения с атомом различают три вида столкновений: *упругий удар*, *возбуждение атома* и *ионизация*.

При упругом ударе, когда скорость электрона невелика, возрастает скорость атома, вследствие чего повышается температура газа и паров металла, в атмосфере которых происходит процесс.

При достаточно большой энергии электрона его столкновение с атомом может привести к возбуждению или ионизации атома. Возбужденное состояние атома характеризуется более высоким уровнем энергии, сообщенным ему при соударении с электроном. При возврате атома на базисный уровень происходит излучение. Энергетические уровни атома, при возвращении с которых на базисный возникает излучение, называют *резонансными*, а само излучение — *резонансным излучением*. Его наблюдают в газоразрядных лампах низкого давления, в которых основной причиной возникновения излучения служит соударение быстрых электронов с атомами наполняющего лампы газа. Излучение газоразрядных ламп при низком давлении газа и небольшой плотности тока будет линейчатым, содержащим в основном резонансные линии газа.

Увеличение давления газа и плотности тока создает условия, обеспечивающие процессы ступенчатого возбуждения и ионизации, возникающие при соударении электронов с уже возбужденными атомами и сопровождающиеся переходом возбужденного атома на еще более высокие уровни. При таких условиях переход атома в нейтральное состояние может происходить также ступенями, энергия фотона уменьшается и соответственно увеличивается длина волны излучения. Это

сопровождается расширением линии излучения, увеличением его интенсивности и появлением сплошного фона излучения.

Повышение давления молекулярного газа и плотности тока приводит к увеличению интенсивности длинноволнового излучения.

Скорость перемещения электронов и ионов увеличивается при повышении напряжения, подводимого к электродам, в результате чего электроны получают достаточную кинетическую энергию для ионизации встречающихся на их пути атомов газа. Как следствие ионизации, возникающей при столкновении электронов с атомами газа, появляются новые электроны и ионы, процесс нарастает, и электрический ток увеличивается. Из-за значительно меньшей скорости перемещения ионов они группируются около катода, образуя положительный заряд; электроны, имеющие большую скорость, переносятся к аноду. В результате электрическое поле, а следовательно, и потенциал вдоль разряда распределяются неравномерно, при этом максимальный градиент потенциала у катода и наименьший у анода.

Под действием электрического поля ионы, находящиеся вблизи катода, получают значительное ускорение и ударом о катод освобождают электроны с его поверхности, в результате чего последние становятся источниками новой ионизации.

Таким образом устанавливается процесс, сопровождающийся свечением, а разряд, обеспечивающий этот процесс, называют *тлеющим разрядом*. Напряжение, подводимое к лампе для зажигания электрического разряда, принято называть *напряжением зажигания*. Его значение зависит от материала и свойств катода, газа, наполняющего лампу и его давления, диаметра колбы и расстояния между электродами. Снижение напряжения зажигания может быть получено за счет уменьшения работы выхода электронов, что достигается нанесением на поверхность катода пленки щелочноземельных металлов, а также предварительной ионизацией газа.

На рисунке 1.17 показано строение тлеющего разряда и распределение яркости вдоль трубки. Непосредственно у анода 7 возникает положительное свечение, занимающее значительную часть трубки. У катода 2 расположена небольшая область катодного свечения 1, непосредственно к катоду примыкает темный участок — кружково пространство 3, за которым начинается отрицательное свечение 4, за ним следует темный участок — фарадеево пространство 5, а между фарадеевым пространством и анодом расположена область положительного свечения 6, представляющая собой основной источник световых излучений тлеющего разряда.

Тлеющий разряд характеризуется малыми плотностями тока на катоде ($10^{-5} \dots 10^{-1}$ А/см²) и низким давлением газа или паров, наполняющих лампу (тысячи паскалей). Падение потенциала у катода находится в пределах от 100 до 300 В.

При дальнейшем увеличении тока процесс бомбардировки катода усиливается, происходит его нагрев и возникает *термоэлектронная эмиссия*, при которой катодное падение напряжения резко уменьшается и возникает *дуговой разряд*, характеризуемый малым катодным падением потенциала (около 10В). Вольт-амперная характеристика, определяемая зависимостью напряжения на лампе от тока в ее цепи, показана на рисунке

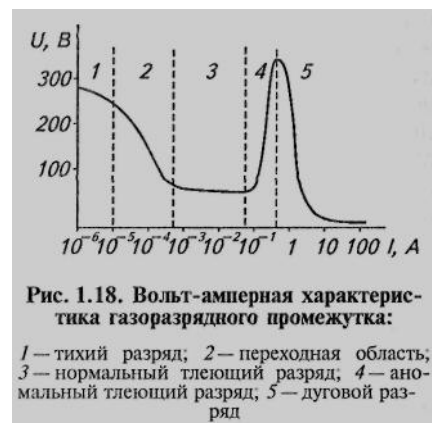
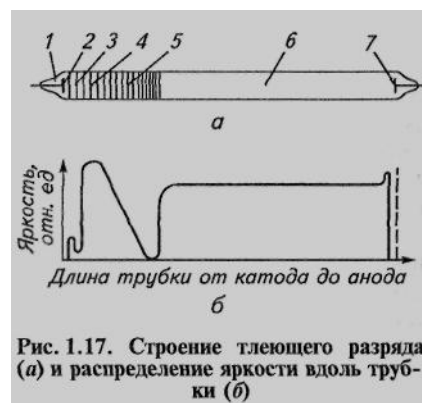


Рис. 1.18. Вольт-амперная характеристика газоразрядного промежутка:

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

1.18. Согласно рисунку при переходе от темного разряда (соответствующего напряжению зажигания разряда) к тлеющему (то есть к увеличению тока) наблюдается некоторое снижение напряжения на лампе и устанавливается *самостоятельный тлеющий разряд*. Дальнейшее увеличение тока вначале приводит к увеличению напряжения на лампе, а потом — к резкому падению его, соответствующему возникновению дугового разряда. Дуговой разряд низкого давления в газах и парах металлов характеризуется равномерным свечением по всей длине лампы.

При повышении давления газа растет число соударений, а следовательно, и температура газа, заполняющего лампу. Из-за большого перепада температуры от оси разряда к стенкам трубки лампы разряд стягивается в яркий светящийся шнур. Высокая яркость разряда при сравнительно низких напряжениях на лампе позволяет создать экономичный источник света. Нестабильность процесса ионизации, имеющая постоянную тенденцию к увеличению, приводит к повышению проводимости среды внутри лампы, а следовательно, и возрастанию тока при постоянном напряжении, вследствие чего режим горения лампы становится неустойчивым. Для стабилизации тока в газоразрядных источниках света применяют специальные стабилизирующие устройства — индуктивные сопротивления — дроссели, включаемые последовательно с газоразрядной лампой.

Рабочая характеристика разрядных ламп — это дуговой разряд.

При достижении на разрядном промежутке напряжения, равного напряжению зажигания U_3 дугового разряда, процесс образования заряженных частиц в межэлектродном пространстве развивается лавинообразно (падающая вольт-амперная характеристика U_d , рис. 1.20) за период времени $10^{-5} \dots 10^{-7}$ и приводит к возникновению свечения. Это явление называют *зажиганием самостоятельного разряда*.

Напряжение зажигания U_3 — 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 самостоятельного 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 желательна 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. Применяют и другие способы снижения напряжения зажигания: покрытие электродов активизирующим 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.

Условия стабилизации дугового разряда при питании лампы от сети постоянного тока. Падающая вольт-амперная характеристика дугового разряда делает его неустойчивым. Поэтому электрическая схема включения газоразрядного источника

излучения (рис. 1.19) должна содержать элемент, который стабилизировал бы разряд и ограничивал бы ток заданным значением.

Устойчивый режим работы дугового разряда будет обеспечен при следующих условиях:

$$U_c = U_l + U_b \quad (6.1)$$

$$R_b + R_l > 0 \quad (6.2)$$

где U_c — напряжение сети, В; U_l, U_b — напряжение на лампе, на балласте, В; R_b, R_l — сопротивление балласта, лампы, Ом.

Сопротивление лампы — величина переменная и отрицательная.

В любой момент времени

$$R_l = -dU_l/dI_l \quad (6.3)$$

где U_l — напряжение на лампе, В; I_l — сила тока на лампе, А.

На рисунке 1.20 балластное сопротивление с вольт-амперной характеристикой $U_b(I)$ обеспечивает суммарную вольт-амперную характеристику схемы $U_\Sigma(I)$, которая пересекает линию сетевого напряжения U_c в точках 1 и 2.

В точках этой характеристики 1 и 2 напряжение сети и схемы

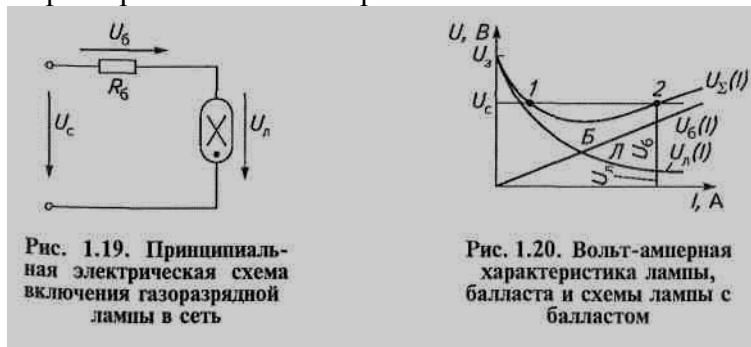


Рис. 1.19. Принципиальная электрическая схема включения газоразрядной лампы в сеть

Рис. 1.20. Вольт-амперная характеристика лампы, балласта и схемы лампы с балластом

окажутся одинаковыми. На падающей части характеристики ток самопроизвольно растет, и работа схемы в точке 1 невозможна. Устойчива работа схемы в точке 2. Возрастание тока в схеме возможно только с увеличением напряжения U_c . Для газового разряда напряжение зажигания U_z всегда выше напряжения питания схемы U_c . Напряжение на балласте U_b обычно больше, чем напряжение на лампе U_l .

Классификация разрядных ламп. Разрядные лампы классифицируют:

по давлению в рабочем состоянии — низкого давления (0,3... 0,4 кПа), высокого давления (0,03...0,8 МПа) и сверхвысокого давления (>0,8 МПа);

по наполнителю (атмосфере разряда) — ртутные, натриевые, кадмиевые, ксеноновые и ртутные с галогенными добавками;

по форме колбы — трубчатые, шаровые, кольцевые, U-образные и т.п.;

по назначению — осветительные, эритемные (витальные), бактерицидные, фитолампы для растений и т. п.;

по числу электродов или фаз — двух-, трех-, четырехэлектродные, одно- и трехфазные.

6.2. 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.

В частности, 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 синусоиде. Степень искажения формы кривой тока зависит в основном от вида балластного сопротивления. Ее оценивают значением коэффициента амплитуды:

$$k_a = i_{max} / \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (6.4)$$

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, несмотря на простоту и дешевизну, имеет ряд принципиальных недостатков, которые ограничивают ее использование специальными случаями. Некоторые из них рассмотрены далее.

На рисунке 1.21, а приведены кривые мгновенных значений напряжений и тока лампы при включении ее с активным балластным сопротивлением в цепь переменного тока стандартной частоты. Разряд в лампе возникает по

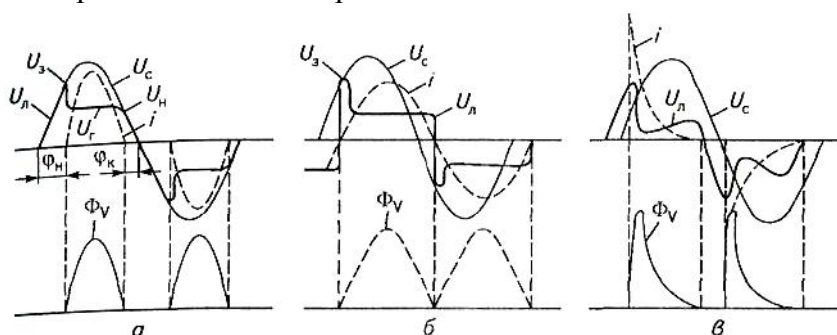


Рис. 1.21. Осциллограммы мгновенных значений напряжений, тока и светового потока газоразрядной лампы:

а — при активном балластном сопротивлении; б - при индуктивном балластном сопротивлении; в — при емкостном балластном сопротивлении

достижении напряжением мгновенного значения, равного U_3 . В процессе разряда напряжение на лампе значительно снижается до значения U_2 , 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 $\phi_n + \phi_k$ может достигать 1/3 периода. Паузы разрядного тока значительно ухудшают показатели работы источника излучения и являются причиной возникновения пульсаций потока излучения и стробоскопического эффекта. Кривая мгновенных значений тока утрачивает форму синусоиды (искажается). Если при этом увеличивается коэффициент амплитуды, то срок службы электродов уменьшается вследствие ускоренного распыления оксидного слоя и потери эмиссионных свойств. Особенно значительный недостаток — 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 ее широко применяют. На рисунке 1.21, б показаны кривые мгновенных значений тех же величин, что и на рисунке 1.21, 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, и 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.

Стабилизацию разряда при помощи емкости применяют редко. Соответствующие этому случаю кривые показаны на рисунке 1.21, 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 перспективно применение емкостного балластного сопротивления при питании источника излучения от сети переменного тока повышенной частоты.

Вернемся еще раз к рисунку 1.21, 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»

$$k_a = P/(UI) \quad (6.5)$$

Коэффициент мощности лампы зависит от значения и вида балластного сопротивления и, следовательно, непостоянен 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.

6.3. Газоразрядные лампы низкого давления

В газоразрядных лампах излучение возникает в результате электрического разряда в среде инертных газов, паров металлов или их смесей, находящихся под различным давлением. В зависимости от давления внутри колбы лампы бывают *низкого давления* ($0,15 \dots 10^4$ Па), *высокого* ($3 \cdot 10^4 \dots 10^6$ Па) и *сверхвысокого* (более 10^6 Па). От значения рабочего давления в лампе зависят спектр излучения и КПД

электрического разряда. Спектр излучения зависит также от рода газа или паров металла, наполняющих разрядную колбу. По наполнению дуговые разрядные лампы подразделяют на ртутные, металлогалогенные, натриевые, ксеноновые и др.

В спектре излучения ртутных ламп высокого давления наблюдается недостаток оранжево-красного излучения с длинами волн $\lambda = 570...760$ нм. Поскольку преобладают фиолетовое и ультрафиолетовое излучения, это создает неправильную цветопередачу при освещении, что значительно ограничивает область применения указанных ламп.

Металлогалогенные лампы помимо ртути имеют добавки иодидов или бромидов, которые позволяют широко изменять спектральный состав видимого излучения.

В натриевых лампах ртуть добавляется в количестве 5... 10%. Поэтому основа излучения — дуговой электрический разряд в парах натрия, создающий особый оранжево-красный спектр излучения.

Излучение ксеноновых ламп определяется электрическим разрядом в инертном газе (ксеноне). Оно отличается спектром, близким к естественному в видимой области, и присутствием значительной инфракрасной составляющей.

В России наибольшее распространение получили газоразрядные лампы низкого давления, названные люминесцентными. Их разработку в нашей стране относят к 1933 г.

Устройство. Люминесцентная лампа (рис. 1.22) представляет собой стеклянную трубку (колбу), из которой откачивают воздух, затем ее заполняют аргоном с небольшим количеством ртути до давления 400...600 Па.

Внутренняя поверхность колбы покрыта люминофором — порошком из солей кальция, цинка, кадмия, бериллия и др. Химический состав люминофора определяет цвет излучения и светоотдачу.

В трубку по торцам вварены стеклянные ножки, на которых установлены вольфрамовые электроды, выполненные в виде биспиралей. Концы электродов выведены к цоколю и соединены с контактными штырьками.

Электроды покрыты оксидом — окислами щелочноземельных металлов, обеспечивающих высокую термоэлектронную эмиссию.

Аргон внутри трубки ограничивает распыление вольфрамовой спирали, а вместе с парами ртути облегчает зажигание лампы.

Электрическая энергия в люминесцентных лампах преобразуется двухступенчато в световую. Сначала электрический ток, протекая между электродами лампы, вызывает излучение в парах ртути. Возникающая при этом лучистая энергия состоит в основном из коротковолнового ультрафиолетового излучения и лишь около 2 % составляет видимое излучение. Затем ультрафиолетовое излучение дугового разряда преобразуется в люминофоре в видимое (световое) излучение.

С учетом всех преобразований можно считать, что энергетический КПД современных люминесцентных ламп составляет 20 %, а световой КПД достигает 12 %. Таким образом, по сравнению с лампами накаливания люминесцентные лампы — более совершенные источники видимого излучения.

Люминесцентные лампы различают по форме и размерам колбы, мощности и спектральному составу излучения.

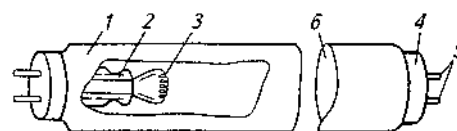


Рис. 1.22. Устройство люминесцентной лампы:

1 — колба, 2 — стеклянная ножка, 3 — электрод; 4 — цоколь, 5 — контактные штырьки, 6 — люминофор

Обозначение. В маркировке ламп используют буквенные и цифровые обозначения. Буквы обозначают конструктивные признаки и особенности спектра излучения, цифры — мощность лампы в ваттах.

Буквы расшифровываются следующим образом: ЛД — люминесцентная лампа дневного света; ЛБ — то же, белого света; ЛХБ — то же, холодно-белого света; ЛТБ (ЛТБС) — то же, тепло-белого света. Выпускают также лампы с улучшенным спектральным составом излучения, обеспечивающим получение хорошей цветопередачи освещенных объектов. В обозначении этих ламп после букв, характеризующих цвет излучения, добавляют букву Ц (ЛДЦ, ЛХБЦ и т. д. — лампы улучшенного спектрального состава).

Для работы в условиях повышенной запыленности выпускают рефлекторные лампы. В них рефлекторный слой (диффузное отражающее покрытие, состоящее из порошка с высоким коэффициентом отражения) наносят на 2/3 окружности внутренней поверхности трубки. Затем всю внутреннюю поверхность трубки покрывают слоем люминофора. Благодаря рефлекторному слою, через «выходное окно» (не покрытую рефлекторным слоем часть трубки) проходит световой поток, на 70...80 % больший, чем через такую же часть трубки в обычной лампе. К таким лампам относят, в частности, ЛБР — рефлекторную лампу белого света, ЛФР — люминесцентную фотосинтезную рефлекторную и др.

Иногда излучение осветительных люминесцентных ламп характеризуют цветовой температурой $T_{ц}$, которая соответствует температуре черного тела, создающего излучение той же цветности. Так, цветовая температура ламп серии ЛБ составляет 3500 К, ЛД - 6500 К, ЛТБЦ - 2700 К.

Все сказанное относится к *лампам с прямолинейной колбой*.

В обозначения U- и W-образных ламп добавляют соответствующую букву, например, ЛБУ, ЛБЦW и т. п. Кольцевые люминесцентные лампы имеют в обозначении букву К (ЛБК и т. д.). Имеются также кольцевые люминесцентные лампы ЛЕЦК и ЛТБЦЦК мощностью 22, 32, 40 и 60 Вт с естественной (Е) и тепло-белой (ТБ) цветностью, а также улучшенной (Ц) или очень хорошей (ЦЦ) цветопередачей.

Помимо цифрового обозначения, идущего сразу за буквенным обозначением и указывающего мощность лампы, очень часто через дефис дается порядковый номер разработки лампы. Например, ЛХБ-40-2 — люминесцентная лампа холодно-белого света мощностью 40 Вт, вторая разработка.

Люминесцентные лампы наиболее распространенных типов выпускают мощностью 15, 20, 30, 40, 65 и 80 Вт.

Средняя продолжительность горения всех типов люминесцентных ламп составляет не менее 10 тыс. ч при световой отдаче 45...80 лм/Вт.

Недостатки люминесцентных ламп — необходимость запуска в работу с помощью специального пускорегулирующего аппарата (ПРА), большие габаритные размеры, чувствительность к температуре окружающей среды, зависимость работы от значительного снижения напряжения сети.

Электротехнические параметры люминесцентных ламп тесно связаны с их габаритными размерами. Наилучшим образом параметры сочетаются в лампах мощностью 40 Вт с прямолинейной трубчатой колбой длиной 1,2 м и диаметром 40 мм (светоотдача η_v — 55...80 лм/Вт, см. табл. 1.7).

Эффективность отдачи люминесцентных ламп зависит также от состава люминофоров. В то же время при указанной высокой световой отдаче ламп яркость их в десятки раз меньше яркости ламп накаливания.

Эксплуатационные показатели люминесцентных ламп непрерывно улучшаются. Разработаны лампы общего назначения, у которых средняя продолжительность горения составляет 12 000... 15 000 ч.

В процессе эксплуатации наблюдается значительный спад потока излучения люминесцентных ламп, и к концу срока службы он составляет 54...60% номинального. Наиболее интенсивно поток снижается в начальный период эксплуатации, поэтому за номинальный принимают его значение после 100 ч работы лампы.

Работа люминесцентной лампы от сети переменного тока с частотой 50 Гц сопровождается пульсацией потока излучения. У ламп типа ЛБ свойства люминофора таковы, что коэффициент пульсации $K_n = 22...25 \%$, у ламп с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ, ЛТБЦ, ЛЕЦ) коэффициент пульсации еще больше — 40...65%.

Коэффициент пульсации светового потока

$$K_n = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max} + \Phi_{\min}} \cdot 100\% \quad (6.6)$$

где $\Phi_{\max} > \Phi_{\min}$ — максимальное и минимальное значения светового потока (определяемые по осциллограмме).

Наличие у люминесцентных ламп большой глубины пульсации светового потока приводит к тому, что при освещении движущихся предметов возникает так называемый *стробоскопический эффект* — зрительное ощущение множественности движущегося предмета и ложное впечатление о его неподвижности. Это приводит к искажению впечатления от освещенного объекта и вызывает быструю усталость глаз. В особенности опасно ложное впечатление о неподвижности вращающихся объектов, что может привести к травмам на производстве.

Чтобы исключить стробоскопический эффект, люминесцентные лампы включают на различные фазы сети или используют схему с расщепленной фазой. Уменьшение K_n в указанных схемах объясняется тем, что ток одной лампы отстает по фазе от тока другой, а сдвиг токов приводит к сдвигу световых потоков. В этом случае суммарный световой поток будет иметь меньшую разницу между максимальным и минимальным значениями, следовательно, и меньшее значение K_n . Так, при включении двух ламп ЛБ в расщепленную фазу или в две разные фазы K_n снижается до 10... 10,5 %. А включение трех указанных ламп в три разные фазы дает $K_n = 2,2\%$.

При включении ламп ЛДЦ в аналогичных схемах коэффициенты пульсации K_n будут соответственно равны 17 и 3,5 %.

Преимущества люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания — основные параметры люминесцентных ламп меньше зависят от отклонений напряжения питающей сети, то есть изменению напряжения на 1 % соответствует изменение светового потока на 1 %, мощности — на 2 %, срока службы — на 3...4 %. Очень мало меняется и световая отдача.

Отклонения напряжения сети в значительных пределах отрицательно сказываются на надежности работы ламп. Так, снижение напряжения более чем на 10 % приводит к отказу зажигания, а снижение более чем на 20 % — к погасанию горящих ламп.

На работу люминесцентных ламп существенно влияют и факторы окружающей среды. Оптимальным интервалом рабочей температуры считается температура воздуха 18...25 °С. Отклонение ее от указанных значений приводит к уменьшению потока излучения и эффективной отдачи ламп, а также ухудшает условия их зажигания. При низких положительных значениях температуры воздуха напряжение зажигания ламп повышается на 20...25 %, при отрицательной температуре вероятность зажигания

близка к нулю. Увеличение относительной влажности воздуха до 70...90 % сопровождается повышением напряжения зажигания ламп.

Стартерная схема. Стартерная схема включения люминесцентной лампы в электрическую сеть приведена на рисунке 1.23. Помимо самой лампы EL основные элементы схемы: дроссель L, стартер VL и конденсаторы C1, C2. Дроссель имеет стальной сердечник и обмотку. Стартер (рис. 1.24) представляет

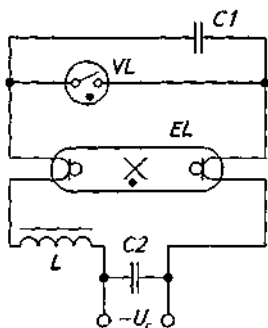


Рис. 1.23. Стартерная схема включения люминесцентной лампы:

L — дроссель; *EL* — лампа;
VL — стартер; *C1*, *C2* — конденсаторы

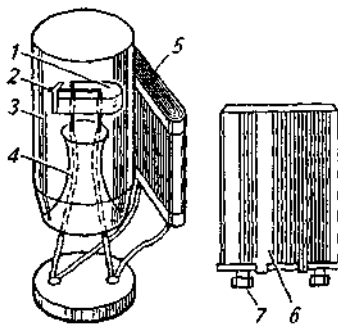


Рис. 1.24. Устройство стартера тлеющего разряда:

1 — биметаллический подвижный электрод; *2* — неподвижный электрод; *3* — газоразрядная лампа; *4* — токопроводы; *5* — конденсатор; *6* — корпус; *7* — контакты

собой миниатюрную газоразрядную лампу 3 с биметаллическим подвижным 1 и неподвижным 2 электродами, заполненную смесью 60 % аргона, 28,8 % неона и 11,2 % гелия.

Стеклянная колба лампы стартера помещена в металлический или пластмассовый корпус цилиндрической формы 6. Напряжение зажигания лампы составляет 70 В для стартера, рассчитанного для работы в сети 127 В, и 130 В — для стартера 220 В. Включение стартера в схему осуществляется контактами 7.

При подаче напряжения на схему ток через лампу EL не идет, так как для пробоя газового промежутка необходимо напряжение, превышающее напряжение сети U_c . Однако в стартере VL возникает тлеющий разряд, сопровождающийся протеканием небольшого (20...50 мкА) тока в электрической цепи: дроссель, электроды люминесцентной лампы, стартер.

Биметаллический подвижный электрод 1 стартера разогревается, изгибается и замыкается на неподвижный электрод 2, что замыкает цепь электродов люминесцентной лампы через дроссель на напряжение сети. Протекающий при этом по электродам ток в 1,4... 1,6 раза превышает номинальный рабочий ток лампы. За 1...2 с электроды разогреваются до 700...900 °С, вследствие чего увеличивается электронная эмиссия и облегчаются условия пробоя газового промежутка. После прекращения тлеющего разряда в стартере биметаллический электрод охлаждается и, возвращаясь в исходное положение, разрывает цепь электродов люминесцентной лампы. В момент разрыва цепи возникает электродвижущая сила самоиндукции в дросселе L, пропорциональная индукции дросселя и скорости изменения тока в момент разрыва цепи. Скорость разрыва цепи стартером составляет около 1...2 мкс, а электродвижущая сила достигает нескольких киловольт. Для увеличения длительности импульса высокого напряжения параллельно контактам стартера (внутри корпуса) устанавливают конденсатор C1, который уменьшает скорость изменения тока в цепи, следовательно, и электродвижущую силу самоиндукции (до 500... 1500 В), но увеличивает продолжительность ее существования (до 100 мкс). Это способствует более

устойчивому зажиганию лампы. Образовавшийся за счет самоиндукции импульс повышенного напряжения прикладывается к электродам лампы. Происходит пробой газового промежутка, и лампа начинает светиться.

После зажигания лампы приблизительно половина напряжения сети будет падать на дросселе, поэтому напряжения на стартере будет недостаточно для его зажигания, то есть при работающей лампе стартер не загорается. Если лампа не зажглась, зажигание автоматически повторяется.

Таким образом, стартер VL нужен в схеме для замыкания цепи с целью разогрева электродов и последующего разрыва цепи для получения импульса повышенного напряжения.

Дроссель L служит для ограничения тока при разогреве электродов и при работе лампы, для создания импульса повышенного напряжения и для стабилизации работы лампы при изменении напряжения сети.

Конденсатор C1 увеличивает время разрыва цепи и уменьшает искрение контактов стартера, а значит, снижает радиопомехи. Значение емкости конденсатора C1 = 1000...1500 пФ.

Конденсатор C2 установлен для компенсации реактивной мощности ($\cos \varphi$ увеличивается от 0,5...0,6 до 0,92...0,95). Значение емкости конденсатора зависит от мощности лампы и составляет 3...10 мкФ.

Часто в схеме применяют конденсаторы небольшой емкости для защиты электрической сети от высших гармонических составляющих, а также активное сопротивление, предназначенное для разряда емкости C2 после отключения схемы от сети.

Схема питания двух ламп с расщепленной фазой представляет собой две описанные выше стартерные схемы, одна из которых включена через фазосдвигающее устройство (емкость, индуктивность).

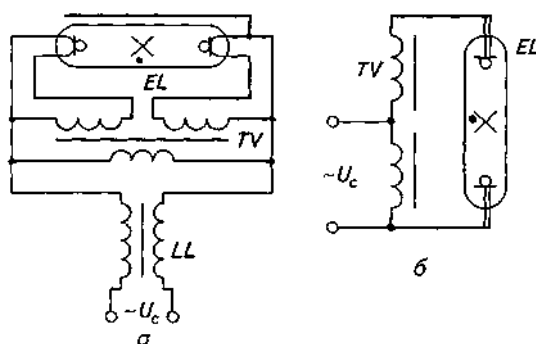
Бесстартерные схемы. Имеется также бесстартерная схема с расщепленной фазой для включения двух ламп способом мгновенного зажигания. Образующийся при этом сдвиг на 120° между пульсирующими потоками ламп снижает коэффициент пульсации суммарного излучения более чем в два раза.

Желание исключить из схемы стартер как ненадежный элемент привело к появлению

схемы

с

накальным



трансформатором

Рис. 1.25. Бесстартерные схемы включения люминесцентных ламп:

а — с накальным трансформатором; б — схема мгновенного зажигания лампы; LL — дроссель; TV — накальный трансформатор в схеме а) и автотрансформатор в схеме б); EL — лампа

(рис. 1.25, а). Указанную схему относят к схемам быстрого зажигания люминесцентной лампы. Надежность зажигания в схеме обеспечивается предварительным подогревом

электродов, снижающим напряжение зажигания до значения сетевого напряжения, и наличием на колбе лампы металлической полосы. Недостатки таких бесстартерных схем — потери мощности у них выше, чем у стартерных; к тому же после зажигания лампы по нити накала электродов протекает ток подогрева, уменьшающий срок службы лампы.

На рисунке 1.25, б приведена бесстартерная схема мгновенного зажигания лампы с холодными электродами. В схеме используют напряжение 400...600 В. Этого достаточно для зажигания холодной лампы. Часть обмотки автотрансформатора TV с большим внутренним сопротивлением создает напряжение зажигания, а часть TV выполняет роль дросселя. За счет повышенного рассеяния в автотрансформаторе после зажигания разряда на лампе устанавливается рабочее напряжение, равное половине сетевого. Недостатки схемы мгновенного зажигания — значительная потеря мощности (до 40 % мощности лампы) и быстрое распыление оксидного покрытия электродов.

Пускорегулирующая аппаратура. Совокупность всех элементов, обеспечивающих требуемые параметры пускового и рабочего режимов газоразрядной лампы, принято называть *пускорегулирующей аппаратурой* (ПРА). ПРА подразделяют на стартерную, бесстартерную, токоограничивающую; выполняют в виде отдельных аппаратов или специальных блоков и устройств.

Стартерные ПРА предназначены для ограничения тока при разогреве и работе ламп и генерирования импульса повышенного напряжения.

Бесстартерные ПРА быстрого зажигания служат для предварительного разогрева электродов лампы и ограничения ее рабочего тока. Бесстартерные ПРА мгновенного зажигания обеспечивают подачу напряжения, достаточного для холодного зажигания лампы и ограничения ее тока в рабочем режиме.

Токоограничивающие ПРА предназначены для ограничения тока лампы в рабочем режиме.

Принята следующая *маркировка* ПРА. Первая цифра указывает число ламп, включаемых с аппаратом; следующие за ней три буквы указывают на наличие или отсутствие стартера и характер сдвига фаз (УБ — стартерный, АБ — бесстартерный быстрого зажигания; МБ — то же, мгновенного зажигания; И — индуктивный, Е — емкостный, К — компенсированный); числитель дроби показывает мощность лампы в ваттах, знаменатель — напряжение сети в вольтах; последующими буквами обозначают конструктивное исполнение (А — антистробоскопический, В — встроенный, Н — независимый) и соответствие нормам по шуму в общественных и жилых помещениях (П — с пониженным уровнем шума и др.); последняя цифра обозначает номер разработки. Пример маркировки: 1УБИ-80/220-ВП-06 означает, что пускорегулирующий аппарат работает с одной лампой, стартерный (УБ), имеет индуктивный сдвиг фаз, рассчитан на мощность лампы 80 Вт и напряжение 220 В, встроенный, соответствует нормам по шуму, шестой разработки. Ряд заводов вместо номера разработки приводит номер серии (110, 300, 600 и т. п.) и климатическое исполнение (У — для умеренного климата, ХЛ — для холодного климата) с категорией размещения (3,4 и т. д.) в помещениях.

6.4 Люминесцентные лампы специального назначения

Люминесцентные лампы специального назначения подразделяют на несколько видов: для облучения животных, бактерицидные и фотосинтезные.

Люминесцентные лампы для облучения молодняка животных и птиц. Они дают витальный ультрафиолетовый поток в зонах УФ-А и УФ-В. Необходимость облучения определяется тем, что под действием ультрафиолета образуется активно действующий витамин D, необходимый для роста и развития животных. При этом снижаются заболевания, в том числе рахитом. Под влиянием облучения примерно на 10 % увеличивается продуктивность животных и птиц, улучшается их общее состояние и усиливаются репродуктивные функции.

Бактерицидные лампы. Они предназначены для обеззараживания помещений, воздуха, жидкостей, аппаратов, продуктов и т. п. Такие лампы имеют ртутный разряд низкого давления в диапазоне длин волн $\lambda = 185$ и 254 нм, который является эффективным источником ультрафиолетового излучения, обладающего сильным бактерицидным действием (уничтожением микробов, грибов и другой вредной микрофлоры и микрофауны).

По конструкции и электрическим параметрам они аналогичны обычным люминесцентным лампам низкого давления. Отличаются колбой, изготовленной из специального увиолевого стекла, и тем, что не имеют люминофора.

Лампы включают в сеть по тем же схемам, что и обычные люминесцентные лампы той же мощности и напряжения.

Бактерицидные лампы имеют следующие обозначения: Д — дуговая, Б — бактерицидная; идущие затем цифры соответствуют мощности лампы и номеру разработки. Например, ДБ-30-1 означает, что лампа дуговая бактерицидная мощностью 30 Вт первой разработки.

Фотосинтезные лампы. Люминесцентные лампы низкого давления используют для дополнительного облучения рассады и искусственного облучения растений в теплицах. В последнем случае осуществляется замена или дополнение естественного излучения в осенне-зимний период и обеспечение требуемых условий роста и развития растений. Рекомендуемая продолжительность ежесуточного облучения зависит от выращиваемой культуры и климатического пояса и составляет 12... 16 ч. В лампах указанного назначения путем подбора состава люминофорного покрытия повышено излучение в красной и синей областях спектра. Лампа ЛФ-40-1, имеющая однокомпонентное люминофорное покрытие и максимум излучения в красной области, предназначена для облучения рассады огурцов. Лампа ЛФ-40-2, имеющая двухкомпонентное люминофорное покрытие и максимум излучения в красной и синей областях, предназначена для облучения рассады томатов.

По размерам и электрическим характеристикам лампы ЛФ-40 аналогичны лампам ЛБ-40 и ЛД-40, поэтому их используют с теми же ПРА и арматурой, что и лампы ЛБ и ЛД.

Люминесцентные лампы этого вида имеют следующие обозначения: Л — люминесцентная, Ф — высокая фотосинтезная эффективность, цифра 1 указывает на то, что лампа предназначена для облучения рассады огурцов, цифра 2 — для облучения томатов.

6.5. Газоразрядные лампы высокого давления

Лампы высокого давления по сравнению с люминесцентными имеют значительно меньшие габариты и большую единичную мощность. У ртутных ламп высокого давления при равной мощности с люминесцентными (например, 40, 80 Вт) длина почти в 10 раз меньше. Малые габариты и высокое давление в них обусловили температуру

разрядной трубки — 700...750 °С. Поэтому разрядную трубку ламп выполняют из кварцевого стекла или специальной керамики, имеющей высокую прозрачность в видимой области спектра [3].

Лампа ДРТ. Одной из первых была разработана лампа высокого давления типа ДРТ. Обозначение лампы: Д — дуговая, Р — ртутная, Т — трубчатая; следующее затем число соответствует мощности лампы. Прежнее название лампы — ПРК (прямая ртутно-кварцевая). Лампа ДРТ предназначена для ультрафиолетового облучения молодняка животных, цыплят, яиц перед инкубацией, семян зерновых культур и т. д. Их применяют в комплекте облучательных установок различных типов.

Лампа ДРТ. представляет собой прямую трубку из кварцевого стекла, по концам которой впаяны вольфрамовые электроды. В трубку введено небольшое количество ртути и инертного газа — аргона. Для удобства крепления к арматуре лампа по краям снабжена хомутиками с держателями, которые соединены между собой металлической полоской, используемой для облегчения зажигания лампы. В электрическую сеть лампу ДРТ включают последовательно с дросселем L по резонансной схеме (рис. 1.26, а). В результате резонанса, образуемого при кратковременном включении конденсатора $C2$, напряжение на дросселе L и конденсаторе $C2$ возрастает примерно в 2 раза по сравнению с напряжением питания. Это обеспечивает в лампе дуговой разряд. Металлическая полоска, подключенная через конденсатор малой емкости $C3$, облегчает пробой лампы. Конденсатор $C1$ повышает коэффициент мощности схемы до 0,92...0,95.

Электрическая энергия, подводимая к лампе ДРТ, преобразуется в ней следующим образом: ультрафиолетовое излучение составляет 18 %, инфракрасное излучение — 15 %, видимый свет — 15 %, потери — 52 %. Однако лампу ДРТ используют прежде всего как источник ультрафиолетового излучения. В таблице 1.11 приведены характеристики ламп ДРТ.

Поток излучения ламп ДРТ зависит от температуры окружающего воздуха. При высокой температуре ухудшается прозрачность кварцевого стекла, что определяет снижение в особенности ультрафиолетового излучения и сроков годности лампы.

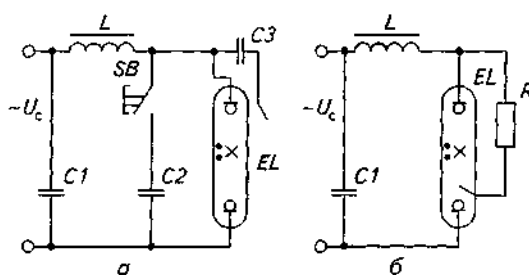


Рис. 1.26. Схемы включения:

а — лампы ДРТ; б — лампы ДРЛ, EL — лампа, L — дроссель, SB — кнопочный включатель; C1, C2, C3 — конденсаторы, R — резистор

Лампа ДРЛ. Дуговая ртутная лампа ДРЛ предназначена для наружного освещения закрытых помещений и объектов, где не требуется высокого качества цветопередачи. Она может быть рекомендована для освещения животноводческих и других сельскохозяйственных помещений; со специальными облучателями ее используют для облучения рассады в теплицах, так как она имеет фотосинтезно-активное излучение с длиной волны $\lambda = 580...700$ нм (оранжево-красная часть спектра излучения).

Баланс энергии у лампы ДРЛ: ультрафиолетовое излучение практически отсутствует, видимое излучение составляет 17%, инфракрасное излучение — 14 %, тепловые потери — 69 %. Цвет суммарного излучения близок к белому. Доля красного излучения составляет 6... 15 %. Процент содержания красного излучения указан при маркировке ламп в скобках. Яркость ламп ДРЛ почти в 10 раз превышает яркость люминесцентных ламп низкого давления.

Конструкция лампы ДРЛ представлена на рисунке

1.27. Кварцевая трубка (горелка) размещена в колбе 1, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора 2.

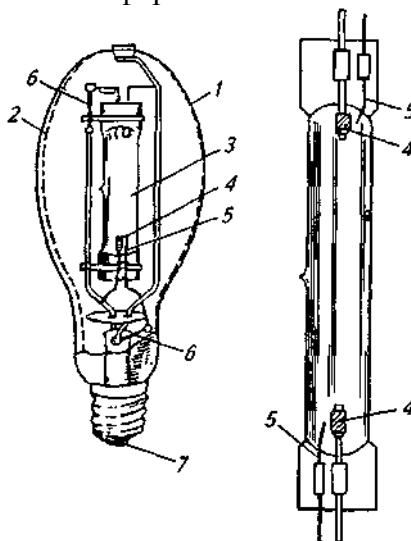


Рис. 1.27. Дуговая ртутная лампа высокого давления ДРЛ:

1 - внешняя стеклянная колба, 2 - слой люминофора; 3 - кварцевая трубка (горелка); 4 - основной электрод, 5 - дополнительный электрод, 6 - ограничивающие резисторы, 7 - цоколь

Слой люминофора преобразует ультрафиолетовое излучение трубки в свет, пригодный для освещения. В кварцевую трубку впаяны два основных вольфрамовых электрода 4, покрытых активированным слоем и подсоединенных к цоколю 7, и два дополнительных (поджигающих) 5. В трубке находится небольшое количество ртути.

Лампа ДРИ. Осветительные металлогалогенные лампы общего назначения ДРИ (дуговые ртутные с излучающими добавками) имеют в зависимости от состава добавок различный спектр излучения, обеспечивающий высокое качество цветопередачи и более высокий, чем у ламп ДРЛ, световой КПД. Конструктивно лампы отличаются от ламп ДРЛ формой внешней колбы, не имеющей люминофорного покрытия, и отсутствием в разрядной трубке дополнительных поджигающих электродов. Поэтому в сеть их включают по схеме, содержащей специальные импульсные зажигающие устройства — ИЗУ, генерирующие высоковольтные импульсы напряжением 2...6 кВ.

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

Лампа ДРЛФ. Ртутно-кварцевые лампы высокого давления ДРЛФ созданы для облучения растений на основе ламп ДРЛ. Особенность этих ламп — специальный состав люминофора, который обеспечивает спектр излучения, в наибольшей степени способствующий прохождению физиологических процессов в растениях. Это

излучение находится в диапазоне длин волн от 350 до 750 нм с преобладанием оранжево-красных и сине-фиолетовых лучей.

По своей конструкции и по электрическим параметрам лампы ДРЛФ аналогичны лампам ДРЛ, однако они имеют колбу из стекла, выдерживающего в нагретом состоянии брызги холодной воды. В электрическую сеть лампы включаются аналогично лампам ДРЛ.

Обозначения ламп: Д — дуговая, Р — ртутная, Л — люминесцентная, Ф — с повышенной фитоотдачей. Наибольшее распространение получили лампы ДРЛФ-400 и ДРЛФ-1000 мощностью 400 и 1000 Вт с фитопотокотом соответственно 12 800 и 90 000 мфл.

Лампа ДРВ-750. Дуговая ртутно-вольфрамовая лампа ДРВ-750 предназначена для дополнительного облучения растений в теплицах. Основное ее *преимущество* по сравнению с лампами ДРЛФ — отсутствие ПРА, в результате чего снижается металлоемкость облучающей установки, уменьшается нагрузка на крышу теплицы, улучшается маневренность подвижных систем облучения. Лампа выполнена в виде колбы, в которой смонтирована ртутная горелка совместно с нитью накаливания. Сама колба изготовлена из термостойкого стекла и рассчитана на попадание брызг холодной воды. Имеет зеркальный или диффузный отражатель. Нить накаливания представляет собой балластное сопротивление и одновременно источник излучения, усиливающий красную часть спектральной характеристики лампы.

Лампа ДРВ-750 — источник смешанного излучения с преобладанием оранжево-красных и сине-фиолетовых лучей.

Лампа ДРВЛ. Ртутно-вольфрамовая лампа ДРВЛ — это модернизированная лампа ДРВ. В ней также в пространстве между разрядной трубкой и внешней колбой установлена вольфрамовая спираль, включенная последовательно с разрядной трубкой и выполняющая роль балластного сопротивления. В указанном балласте теряется примерно половина мощности лампы. Это снижает в 1,5...2 раза эффективный КПД ртутно-вольфрамовых ламп по сравнению с лампами ДРЛ и ДРТ.

Лампа ДРВЭД. Дуговые ртутно-вольфрамовые эритемные лампы с диффузным отражателем типа ДРВЭД предназначены для комплексного воздействия излучением части спектра с длинами волн от 280 до 5000 нм. Внешняя колба этих ламп выполнена из специального увиолевого стекла, пропускающего ультрафиолетовое излучение. Срок службы ламп типа ДРВЭД определяется в основном сроком службы вольфрамовой спирали — 3000...5000 ч.

Лампы ДРФ. Дуговые ртутные люминесцентные лампы ДРФ-1000 и ДРФ-2000 с повышенной фитоотдачей предназначены для комплектования вегетационных осветительных установок, применяющихся для создания светового режима в климатических камерах и шкафах при селекции различных растений. Лампы имеют большой световой поток и высокую светоотдачу. По конструкции и характеристикам аналогичны лампам ДРЛ, но отличаются составом люминофора, имеют колбу из вольфрамового термостойкого стекла, выдерживающего брызги холодной воды. Из недостатков следует отметить большую массу ПРА и устройства компенсации коэффициента мощности.

Лампа ДНаТ. В группе разрядных ламп высокого давления натриевые лампы типа ДНаТ (дуговые натриевые трубчатые) отличаются большим световым КПД и чуть более вытянутой по сравнению с лампой ДРЛ наружной колбой. Разрядная трубка правильной цилиндрической формы выполнена из полупрозрачной керамики (поликристаллического алюминия) или из прозрачного трубчатого монокристалла

(лейкосапфира). Эти материалы устойчивы к длительному воздействию паров натрия при температуре до 1600°С. Общий коэффициент пропускания видимого излучения составляет 90...95 %. Однако 70 % излучения находится в зоне 560...610нм желто-оранжевого цвета, что вызывает искажение цветопередачи. Поэтому лампы ДНаТ в основном используют для наружного освещения. В электрическую сеть лампы ДНаТ включают по схеме, аналогичной схеме ламп ДРИ.

Лампа ДКсТ. Дуговые ксеноновые трубчатые лампы (ДКсТ) в сельском хозяйстве используются сравнительно мало из-за сложности их эксплуатации. Лампы выполняют в одной кварцевой разрядной колбе (ДКсТ) и в двух колбах с водяным охлаждением (ДКсТВ).

Лампы ДКсТЛ и ДКсТВ. В спектре ламп ДКсТ без водяного охлаждения имеется избыток ультрафиолетового излучения. Этот недостаток скорректирован в лампах ДКсТЛ, колбы которых выполнены из кварцевого стекла с легирующими (Л) присадками. В видимой области спектра излучение ксеноновых ламп приближается к солнечному. У ламп ДКсТВ доля видимого излучения составляет всего 10... 12 % их мощности. Указанные типы ламп выпускают, как правило, большой единичной мощности — от 1000 до 12 000 Вт со световой отдачей 24...40 лм/Вт. Срок службы составляет 500... 1500 ч, что обусловлено значительной температурой поверхности разрядной трубки (750...800 °С).

Особенность большинства разрядных ламп высокого давления — режим разгорания, протекающий в течение 5... 10 мин после зажигания лампы. У ртутных и натриевых ламп он более продолжительный, чем у ксеноновых. В процессе разгорания изменяются все параметры лампы. Например, ток в ртутных лампах превышает номинальное значение в 1,5...2 раза. По мере разогрева Давление паров внутри лампы растет, что сопровождается снижением тока и увеличением потока излучения, с ростом давления повышается напряжение зажигания лампы. Поэтому повторное зажигание погасшей лампы возможно лишь после ее остывания, следовательно, после снижения напряжения зажигания. Колебания напряжения сети мало влияют на световую отдачу ламп, однако большие отклонения напряжения сказываются значительно. Лампы следует эксплуатировать в том положении, которое определено заводом-изготовителем. При эксплуатации установок с разрядными лампами высокого давления необходимо обращать внимание на значительную пульсацию световых потоков и принимать меры к их снижению.

Вопросы для самоконтроля

1. Как классифицируют разрядные лампы?
2. Как происходит преобразование электрической энергии в видимое излучение в разрядных лампах?
3. Каково назначение балластного устройства?
4. Как происходит стабилизация дугового разряда?
5. Как влияет вид балластного устройства на работу газоразрядных ламп?
6. Дайте общие сведения о газоразрядных лампах низкого и высокого давления.
7. Опишите устройство и обозначения наиболее распространенных люминесцентных ламп.
8. Как определяют коэффициент пульсации светового потока?
9. Нарисуйте стартерную схему включения люминесцентной лампы.
10. Расскажите о бесстартерных схемах включения люминесцентных ламп.
11. Каково назначение газоразрядных ламп высокого давления ДРТ, ДРЛ, ДРВ, ДНаТ?
12. Нарисуйте схему включения ламп ДРТ, ДРЛ и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз. – ISBN 978-5-9532-0710-2

2. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учебное пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз. – ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учебное пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». -Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз. – ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 7

ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

7.1. Устройство, классификация и основные характеристики

Эффективное светораспределение, экономичность, надежность, удобство эксплуатации осветительных установок в значительной степени зависят от применяемых типов осветительных приборов (светильников).

Устройство. Светильник состоит из двух главных частей: источника света и оптического устройства, перераспределяющего световой поток источника в пространстве (отражатель, рассеиватель, преломитель). Кроме того, светильник может иметь устройства для коммутации и стабилизации электрического тока (ПРА), для крепления источника света и самого светильника. Светильник ограничивает слепящее действие лампы, а также защищает ее от воздействия окружающей среды и, наоборот, защищает эту среду от пожара или взрыва.

Классификация. Светильники различают по распределению светового потока лампы между верхней и нижней полусферами: прямого света — не менее 90 % потока излучается в нижнюю полусферу; преимущественно прямого света — от 60 до 90 % потока излучается в нижнюю полусферу; отраженного света — более 90 % потока излучается в верхнюю полусферу.

По форме кривой светораспределения в нижней полусфере светильники преимущественно бывают глубокого, среднего, равномерного, широкого светораспределения.

Коэффициент полезного действия светильника равен отношению светового потока светильника к световому потоку помещенных в него ламп ($\Sigma\Phi_{\text{л}}$):

$$\eta_c = \Phi_c / \Sigma\Phi_{\text{л}} \quad (7.1)$$

По исполнению светильники бывают: открытые — лампа не отделена от внешней среды; закрытые — лампа и патрон отделены от внешней среды оболочкой без уплотнений; влагозащищенные — с уплотнением, защищающим от проникновения влаги внутрь светильника; пылевлагонепроницаемые — с уплотнением, защищающим лампу и токоведущие части от попадания пыли и влаги; взрывозащищенные — с уплотнением, предохраняющим выход наружу пламени или искры.

Для светильников принята международная классификация по защите от воздействия пыли и воды IP. В технической литературе существует и другая классификация этой защиты — двузначное число, у которого первая цифра обозначает степень защиты светильника от пыли, вторая — от воды. Открытые светильники по защите от пыли обозначают цифрой 2, перекрытые — 2*, полностью пылезащищенные — 5, частично защищенные — 5*, полностью пыленепроницаемые — 6, частично пыленепроницаемые — 6*. Степень защиты от воды: 0 — незащищенные, 2 — каплезащищенные, 3 — дождезащищенные, 4 — брызгозащищенные, 5 — струезащищенные.

Обозначения. Для маркировки светильников используют единую систему. Первая буква обозначения указывает используемый в светильнике источник света: Н — лампы накаливания общего применения, Р — ртутные лампы типа ДРЛ, Л — люминесцентные трубчатые, И — кварцевые галогенные, Г — ртутные типа ДРИ, Ж — натриевые лампы, К — ксеноновые. Вторая буква в шифре — способ установки светильника: С — подвесные, П — потолочные, Б — настенные, В — встраиваемые и т. д. Третья буква

— назначение светильника: П — для промышленных предприятий, О — для общественных зданий, У — для наружного освещения улиц, Р — Рудничный, Б — бытовой. Следующее двузначное число обозначает номер серии, а числа далее — число ламп в светильнике, мощность ламп в ваттах, номер модификации.

Последние буква и цифра обозначают климатическое исполнение (У — для районов с умеренным климатом, Т — для районов с тропическим климатом и т. д.) и категорию размещения светильников: 1 — на открытом воздухе, 2 — под навесом и т. п., 3 — в закрытых неотапливаемых помещениях, 4 — в закрытых отапливаемых помещениях.

Пример полного обозначения светильника: НСП 03-1×60-002-УЗ — светильник с одной лампой накаливания (Н) мощностью 60 Вт, подвесной серии 03 (С), модификации 002, рассчитан для работы в районах с умеренным климатом (У) в закрытых неотапливаемых помещениях (З) промышленных предприятий (П).

Часто в различных рабочих перечнях и таблицах последние обозначения не приводят: НСП 03-1×60 или не приводят номер модификации: НСП 03-1×60-УЗ.

Иногда в обозначении светильника может быть показан тип кривой силы света светового потока (Д — косинусная и др.), распределение светового потока в верхней и нижней полусферах [прямого (П) и преимущественно прямого (Н) типа и др.], а также степень защиты светильника — 23, 53 и т. д.

Применение. Многие современные светильники рассчитаны на применение сетевых проводников как с медными, так и с алюминиевыми жилами с площадью поперечного сечения до 4 мм², которые присоединяют или к вводному устройству, или к зажимам на корпусе светильника.

Требования, предъявляемые к эксплуатации светильников, зависят от размеров помещений, характера светотехнической задачи, условий окружающей среды и др. Сельскохозяйственные производственные помещения по сравнению с промышленными помещениями имеют низкую естественную освещенность, очень малую высоту потолка по отношению к длине и ширине, наличие агрессивных газов, низкий коэффициент отражения потолка (в большей части животноводческих помещений он вообще отсутствует), тяжелые температурно-влажностные условия. Эти особенности сельскохозяйственных производственных помещений, особенно животноводческих и птицеводческих, определяют светотехнические и конструктивные данные применяемых в сельском хозяйстве светильников в отношении экономичности, надежности, правильного светораспределения и спектрального состава.

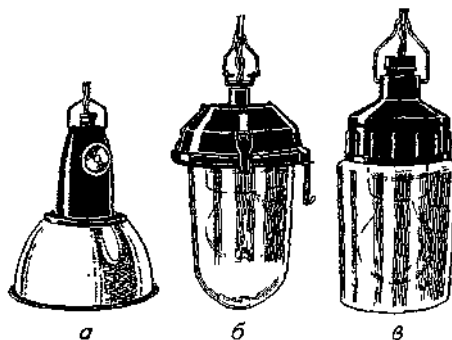


Рис. 1.28. Светильники с лампами накаливания:

а - НСП 01-1×100; б - НСП 02 - 1×100; в - НСП 03-1×60

В сельскохозяйственных производственных помещениях с нормальной средой, например в мастерских, гаражах, отапливаемых складах, применяют светильники общепромышленного исполнения, предназначенные для аналогичных помещений в промышленности.

Технические данные светильников, рекомендуемых для применения в сельскохозяйственных производственных и административно-общественных помещениях, а также для наружного освещения, приводятся в справочной литературе. Общий вид некоторых светильников дан на рисунках 1.28

Вопросы для самоконтроля

1. Какой прибор называют светильником?
2. Какой прибор называют прожектором?
3. Перечислите основные характеристики светильников.
4. Как классифицируют светильники по виду кривых светораспределения.
5. По каким критериям выбирают тип светильников.
6. Поясните, от чего зависит КПД светильника, как его можно повысить?
7. Как определяют расчетную высоту подвеса светильников?
8. Как классифицируют светильники по степени защиты от воздействия факторов окружающей среды.
9. Приведите пример и расшифровку заводского обозначения типа светильника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз. – ISBN 978-5-9532-0710-2

2. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учебное пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз. – ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учебное пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2007. – 96 с.: – 200 экз. – ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 8

ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

8.1 Определение, классификация, характеристики облучательных ламп

Облучательная светотехническая установка — это совокупность источников излучения и светотехнического оборудования, предназначенных для генерации и перераспределения оптических излучений (ОИ) в целях обеспечения целесообразной (полезной) реакции приемников излучения.

Тепловое действие излучения соответствует статистически равномерному распределению поглощенной энергии излучения. В этом случае энергия излучения преобразуется в энергию поступательного, колебательного и вращательного движений молекул, ионов и свободных электронов, взаимодействующих с излучением.

Фотоэлектрическое, фотолюминесцентное, фотохимическое и фотобиологическое действия ОИ характеризуются поглощением энергии отдельными молекулами. В результате фотоэлектрического преобразования энергии происходят изменения электрического состояния поглощающего тела — фотоэффект; при фотолюминесцентном преобразовании — излучение возбужденных молекул, атомов; при фотохимическом — химические превращения (реакции) в молекулах, поглотивших излучение; при фотобиологических процессах — химические реакции в белках, нуклеиновых кислотах и других органических веществах и связанные с этим Процессы обмена веществ в живом организме. Фотоэлектрическое и фотолюминесцентное действия излучения наряду с тепловым могут быть объединены понятием фотофизического действия излучения.

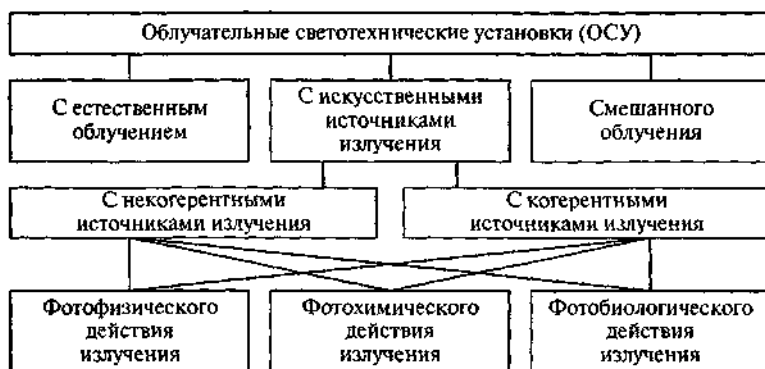


Рис. 1.29. Три уровня классификации ОСУ

На рисунке 1.29 представлены три верхних уровня классификации облучательных светотехнических установок (ОСУ).

Масштабы в области применения ОСУ непрерывно возрастают.

В стране насчитывают тысячи теплиц и животноводческих помещений с искусственным облучением и десятки тысяч приборов и технологических процессов, в которых использованы ОИ (табл. 8.1).

В последние два десятилетия эта область светотехники все более обособляется, формируясь в самостоятельное направление.

Характеристики облучательных ламп

Таблица 8.1

Зоны оптического излучения		Обозначение лампы	Наименование лампы
наименование	интервал волн, нм		
УФ-С	100...280	ДБ	Дуговая бактерицидная низкого давления
		ДРТ	Дуговая ртутная трубчатая высокого давления
УФ-В	280...315	ЛЭ ДРТ	Люминесцентная эритемная низкого давления
УФ-А	315...380	ЛУФ	Лампа ультрафиолетовая для люминесцентного анализа
		ЛУФТ	То же, с колбой-фильтром
		ЛУФЩ ДРТ	То же, щелевая
УФ	100...380	ДРТ	
ФАР	360...720	ЛФ	Фитолампа растениеводческая низкого давления
		ДРИ	Дуговая ртутная йодированная
		ДНаТ	Дуговая натриевая трубчатая
		ДРЛФ	Дуговая ртутная люминесцентная
		ДКсТ	Дуговая ксеноновая трубчатая
ВИ	380...760		Лампы накаливания осветительные: вакуумные (В), газополные (Г), биспиральные (Б), биспиральные криптоновые (БК)
		В, Г, Б, БК	
		ЛБ, ЛДЦ, ЛД, ЛХБ, ЛТБ	Люминесцентные осветительные лампы низкого давления
ИКБ	760...5000	ДРЛ	Дуговая ртутно-люминесцентная
		ДРИ, ДНаТ	
		ИКЗ	Инфракрасная зеркальная лампа
		ИКЗК	То же, с красным фильтром
		КИ КГ	Кварцевая йодированная Кларцевая галогенная
	1200...7000	ТЭН	Термоэлектрический нагреватель

8.2. Облучательные установки для животных и птиц

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

В сельскохозяйственном производстве применяют облучательные установки для ультрафиолетового облучения, инфракрасного облучения и местного обогрева. Технические характеристики выпускаемых промышленностью для сельского хозяйства облучательных установок приведены в справочной литературе.

Ультрафиолетовое облучение. Оно оказывает наиболее сильное и многостороннее биологическое воздействие на организм животных и птиц.

Источники ультрафиолетового излучения — серийно выпускаемые кварцевые ртутные дуговые лампы высокого давления ДРТ мощностью 230, 400 и 1000 Вт, эритемные трубчатые лампы низкого давления ЛЭ мощностью 15 и 30 Вт и Л ЭР мощностью 40 Вт, а также бактерицидные ртутные ДБ мощностью 30 и 60 Вт. Лампы используют в соответствующих облучателях, выпускаемых промышленностью и применяемых в сельскохозяйственном производстве.

Инфракрасное облучение. Из существующих способов обогрева молодняка животных и птиц наиболее перспективным следует считать применение инфракрасных излучателей, отличающихся простотой монтажа и эксплуатации, быстротой действия, экономичностью и положительным биологическим воздействием.

Под действием инфракрасных лучей повышается температура окружающего воздуха, прогревается кожа животных, быстро высушивается влажная шерсть новорожденных животных, повышается устойчивость организма против простудных заболеваний, что положительно сказывается на развитии и росте молодняка.

Источники инфракрасного излучения — лампы накаливания общего назначения, в их спектре инфракрасная область занимает до 75 %. Биспиральная нить накала имеет более низкую температуру, за счет чего максимум инфракрасного излучения смещен в длинноволновую часть спектра. Внутренняя поверхность колбы имеет зеркальное покрытие для концентрации излучаемого потока в заданном направлении. Для сельского хозяйства выпускают лампы-термоизлучатели типа ИКЗ-220-500 со светлой колбой и ИКЗК-220-250 с окрашенной в красный цвет колбой, а также электрообогреватель инфракрасный ЭИС-0,25И1 «Ирис». В отдельных облучателях используют галогенную лампу накаливания типа КГ-220-1000.

Лампа типа КГ-220-1000 представляет собой стеклянную трубку диаметром 100 мм, изготовленную из кварцевого стекла. Нить накала выполнена в виде моноспирали, расположенной вдоль трубки на вольфрамовых supports.

Бактерицидный облучатель ОБУ-1-30. Он предназначен для создания стерильной среды в животноводческих и молочных помещениях. Источник бактерицидного облучения — лампа типа ДБ-30. Облучатель представляет собой кожух с отражателем, на котором укреплены ламповые патроны, стартеродержатель и балластное устройство. Облучатель включают в электрическую сеть переменного тока напряжением 220 В, подвешивают на подвесках или крепят к стене скобами.

Ультрафиолетовый облучатель ЭО-1-30М. Он предназначен для облучения поросят, телят, коров, быков, а также цыплят и кур при напольном содержании. Источник ультрафиолетового облучения — одна витальная лампа типа ЛЭ-30 мощностью до 30 Вт. Облучатель состоит из кожуха, отражателя, защитной решетки, ламповых держателей, трансформатора или дросселя, подвесок-штанг, с помощью которых крепится к потолку. При высоте подвеса 2...2,2 м облучатель обеспечивает

эритемное облучение на площади 18...20 м². Облучатель включают в сеть напряжением 220 В. Габаритные размеры: высота — 680 мм, длина — 1035 мм, ширина — 267 мм. Масса — около 7,5 кг.

Светильник-облучатель ОЭСП 02-2×40/П53-01. Он предназначен для общего освещения животноводческих и птицеводческих помещений с одновременным ультрафиолетовым облучением животных и птиц. Для освещения служит люминесцентная лампа типа ЛБР-40 мощностью 40 Вт, ультрафиолетовое облучение осуществляет одна эритемная лампа типа ЛЭР-40 с внутренним отражающим слоем. Лампы имеют индивидуальные пускорегулирующие аппараты, их включают отдельно, что позволяет за счет отдельной цепи управления регулировать дозу ультрафиолетового облучения животных и птиц.

Эритемно-осветительная установка КСО-3 «Кулон». Она предназначена для комбинированного ультрафиолетового облучения, ионизации и бактерицидного обеззараживания воздуха, а также общего освещения в животноводческих и птицеводческих помещениях.

Облучатель представляет собой металлический короб призматической формы. Внутри в торцах короба установлены поперечные уголки, на которых закреплены патроны-держатели ультрафиолетовой и осветительной ламп. На этих же уголках с другой стороны установлены пускорегулирующие аппараты (дрессели и конденсаторы). Сверху на коробе прикреплены патроны для бактерицидной лампы. Для защиты от прямого воздействия излучения бактерицидной лампы на обслуживающий персонал, животных и птиц установлены боковые съемные экраны. Внутри короба между ультрафиолетовой и осветительной лампами расположен ионизатор воздуха. Облучатель имеет шнур со штепсельным разъемом на конце, которым его подключают к питающей сети.

Облучатель может быть двухламповым (с эритемной ЛЭ-30 и осветительной ДБ-30 лампами) с ионизатором воздуха и без него; трехламповым (с эритемной, осветительной и бактерицидной ДБ-30 лампами) с ионизатором воздуха и без него.

При комплектовании установок выбирают облучатель в зависимости от вида животных и птиц, а также условий их содержания.

Управление установкой осуществляется автоматически по заданной суточной программе. Шкаф управления рассчитан на обеспечение работы установки, имеющей в комплекте 100 или 300 облучателей.

Механизированная установка УО-4М. Она предназначена для ультрафиолетового облучения коров и быков на откорме. Установка состоит из приводной станции, четырех облучателей с ртутно-кварцевыми лампами типа ДРТ-400 и устройствами для подвески, перемещения и питания облучателей.

Облучатели подвешивают на двух стальных проволоках диаметром 5...6 мм, натянутых вдоль животноводческого помещения на высоте 2,5...3 м от пола. На проволоки подвешивают гибкие шланговые кабели, по которым подводят питание к лампам. Электродвигатель приводной станции при помощи стального троса диаметром 4,5 мм перемещает облучатели вдоль животноводческого помещения по стальным проволокам со скоростью 0,3 м/мин. Перемещение облучателей начинают после зажигания и вхождения ламп в установившийся режим горения, то есть через 10...15 мин после включения. Установка обеспечивает облучение площади размерами 60×12 м, а станция управления — автоматически заданное время облучения.

Эффективность применения ультрафиолетового облучения животных и птиц во многом зависит от правильного определения дозы облучения и величины облученности (см. раздел 3).

Облучатель ССП 01-250-001-УЗ (рис. 1.30, а). Он предназначен для инфракрасного облучения и обогрева поросят, телят, ягнят и разработан на базе модифицированного светильника «Астра-12» применительно к лампе типа ИКЗК-220-250.

Облучатель состоит из металлического отражателя, пластмассового корпуса, фарфорового патрона, защитной сетки, фиксатора, резиновых уплотнителей, вводного сальника, клеммных колодок, деталей подвески.

Внутренняя и наружная поверхности отражателя покрыты белой химически стойкой силикатной эмалью. Между отражателями и корпусом имеется уплотнительное кольцо из теплостойкой резины. Фарфоровый патрон прикреплен к корпусу при помощи скобы и не может прокручиваться при ввертывании или вывертывании лампы. Вводный кабель уплотнен сальником, позволяющим применять кабели диаметром до 11 мм.

Облучатель подвешивают на крюке. Питается он от четырехпроводной сети напряжением 380/220 В с глухозаземленной нейтралью, тип патрона Е27-НКБ-0,4, КПД облучателя — 70 %. Габаритные размеры: 390×300 мм. Масса — 2 кг.

Облучатель ОРИ-1. Он предназначен для обогрева и облучения поросят, ягнят, телят и др. Арматура облучателя представляет собой конический корпус из листовой стали, который обеспечивает защиту лампы от механических воздействий и попадания воды.

Облучатель подвешивают на тросике, при помощи которого регулируют высоту подвеса. Питание от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц.

Источник инфракрасного излучения — зеркальная лампа накаливания типа ИКЗ-220-500 мощностью 500 Вт, тип патрона Е40. Габаритные размеры облучателя: 405×275 мм. Масса -2 кг.

Установка ИКУФ-1М. Она предназначена для одновременного инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения молодняка животных.

Облучатель представляет собой жесткую коробчатую конструкцию, на обоих концах которой размещены инфракрасные лампы типа ИКЗК-220-250, а между ними — ультрафиолетовая лампа типа ЛЭ-15. Пускорегулирующее устройство ультрафиолетовой лампы установлено сверху на облучателе и закрыто кожухом, снизу облучатель закрыт защитной сеткой. Над ультрафиолетовой лампой установлен отражатель. Наличие герметичных патронов и держателя стартера, а также применение резиновых уплотнений делает конструкцию облучателя пылевлагозащищенной. К сети его подключают штепсельным разъемом.

Установка ИКУФ-1М состоит из блоков управления, 40 облучателей и ответвительных коробок. Число облучателей и ответвительных коробок зависит от числа ското-мест.

Технические данные ИКУФ-1М: напряжение питания — 380/220 В; число фаз питающей сети — 3; частота сети — 50 Гц; номинальная мощность инфракрасных ламп — 20 кВт, ультрафиолетовых ламп — 2 кВт.

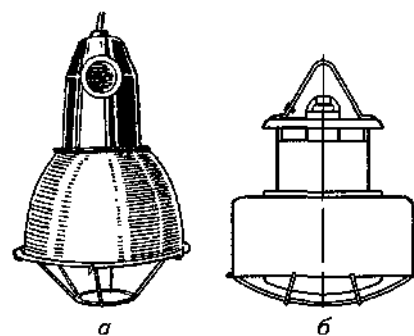


Рис. 1.30. Облучатели с инфракрасными лампами типа ИКЗК-220-250:

а — ССП 01-250-001-УЗ (индивидуальной установки); б — от установки ЭРИКО-1

Блок управления содержит пускозащитную аппаратуру, реле времени и элементы управления. На дверце блока управления смонтированы две кнопочные станции, переключатель автоматического и ручного управления, четыре сигнальные лампы и предохранитель. Конструкция блока управления пылевлагозащищенная.

Электрическая схема установки предусматривает два режима работы: автоматический по заданной программе и ручной. Переход на необходимый режим осуществляют тумблером на блоке управления. При автоматическом управлении продолжительность включения ламп и пауз между включениями устанавливают с помощью реле времени типа 2РВМ по заданной программе.

Инфракрасные лампы разделены на две группы, имеющие каждая собственный пускатель и автоматический выключатель, что позволяет включать и выключать одну из групп самостоятельно, например при неполном заполнении свинарника.

Ультрафиолетовое облучение проводят три раза в сутки по 40 мин и управление ими осуществляют по одной программе реле 2РВМ.

При ручном управлении группы ультрафиолетовых и инфракрасных ламп включают соответствующими пусковыми кнопками, а выключают кнопками «Стоп»; наличие напряжения на лампах определяют по сигнальным лампам.

При монтаже установки ИКУФ-1М блоки управления устанавливают на стене в отдельном помещении или в тамбуре. Облучатели подвешивают на тросиках или цепочках на трубе. При этом должна быть предусмотрена возможность изменения высоты подвеса облучателя. При монтаже следует предусмотреть, чтобы облучатели были равномерно распределены по фазам.

Установка «Луч». Она предназначена для инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения молодняка животных и птиц.

Установка состоит из пульта управления с двумя автотрансформаторами типа АТ-10, 40 облучателей и 20 ответвительных клеммных коробок. Конструкция аппаратуры пылевлагозащищенная.

Пульт управления состоит из пускозащитной аппаратуры, двухпрограммного реле времени и элементов управления. Облучатель включает две инфракрасные лампы типа ИКЗК-250 и ультрафиолетовую эритемную лампу типа ЛЭ-15. В арматуре облучателя установлены пускорегулирующий аппарат ультрафиолетовой лампы ЛЭ-15, устройство для подвески облучателя и вводное устройство для питающего кабеля.

Конструкция крепления инфракрасных ламп позволяет устанавливать лампы под углом 45, 70 и 90° к обогреваемой поверхности, что дает возможность более эффективно использовать инфракрасный поток и более равномерно распределять его по обогреваемой поверхности.

Управление инфракрасных и ультрафиолетовых ламп осуществляется их включением и выключением по заданной программе.

Установки комплектуют автотрансформаторами АТ-10 или бесконтактными тиристорными регуляторами мощности, которые позволяют автоматизировать управление в соответствии с заданной программой.

Температуру обогрева регулируют при помощи автотрансформаторов изменением напряжения, подаваемого на инфракрасные лампы в зависимости от температуры воздуха в помещении и возраста животных или птиц. Высоту подвеса облучателей над поверхностью определяют с учетом средней температуры воздуха в помещении, угла наклона ламп, вида животных или птиц.

Установка рассчитана на питание от сети трехфазного переменного тока напряжением 380/220 В, частотой 50 Гц, ее номинальная мощность 20 кВт.

Установка ИКУФ-2 «Комфорт». Она предназначена для инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения молодняка животных и птиц, а также для ионизации воздуха в помещениях.

Установка ИКУФ-2 «Комфорт» разработана на базе установки ИКУФ-1 и отличается от нее тем, что вместо лампы типа ЛЭ-15 использована лампа типа ЛЭ-30, инфракрасные облучатели установлены на подвижных кронштейнах и имеют встроенный ионизатор воздуха.

Облучатель представляет собой корытообразный корпус, внутри которого установлены отражатель и ультрафиолетовая лампа типа ЛЭ-30. Пускорегулирующий аппарат установлен в верхней части корпуса и закрыт кожухом. К корпусу прикреплены кронштейны с инфракрасными облучателями. Каждый облучатель имеет ионизатор воздуха для увеличения количества отрицательно заряженных ионов воздуха, благоприятно влияющих на рост и развитие молодняка сельскохозяйственных животных и птиц. К сети облучатель подключают при помощи штепсельного разъема. Ионизатор подвешивают рядом с облучателем.

В зависимости от количества ското-мест в свинарнике-маточнике установка ИКУФ-2 «Комфорт» может иметь 60 или 40 облучателей.

Инфракрасные лампы типа ИКЗК-220-250 размещены в облучателях на подвижных кронштейнах, шарнирно соединенных с корпусом ультрафиолетового облучателя. Шарнирное соединение позволяет перемещать кронштейны с облучателями и изменять расстояние между инфракрасными лампами от 550 до 1300 мм, что дает возможность более эффективно использовать установку.

Электрическая схема предусматривает автоматический режим работы установки по заданной программе и ручное управление.

Шкаф управления ИКУФ-2 «Комфорт» включает пускозащитную аппаратуру, реле времени и элементы автоматического управления и сигнализации.

Питание установки осуществляют от четырехпроводной сети переменного тока напряжением 380/220 В, частотой 50 Гц.

В дальнейшем предполагается в систему управления ИКУФ-2 «Комфорт» ввести: регулятор мощности для изменения интенсивности инфракрасного обогрева при постоянной высоте подвеса облучателей;

электронное программное устройство, позволяющее установить необходимый режим работы обогрева и облучения и имеющее более широкий диапазон регулирования;

устройство для регулирования и контроля уровня ионизации воздуха.

Комбинированная установка ЭРИКО-1. Она предназначена для инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения поросят, телят, цыплят, а также освещения помещений, где они содержатся.

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

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

Габаритные размеры:

шкафа управления: длина — 800 мм; ширина — 350 мм; высота — 1000 мм;

инфракрасного обогревателя: диаметр — 180 мм; высота — 300 мм;

ультрафиолетовых облучателей: длина — 100 мм, ширина — 300 мм; высота — 155 мм.

Масса:

шкафа управления — 50 кг; инфракрасного обогревателя — 0,8 кг;

ультрафиолетового облучателя — 9 кг.

Одна установка обеспечивает инфракрасный обогрев и ультрафиолетовое облучение 1200 поросят со свиноматками, 120 телят в профилакториях, 4000 крольчат с самками, а также освещение помещений.

Установку комплектуют инфракрасными облучателями с лампой типа ИКЗК-220-250 (см. рис. 1.30, б).

Арматура облучателя представляет собой металлический цилиндр с крышкой, над которой укреплен фарфоровый патрон Е27. По нижнему обрезу установлена защитная сетка. Для общего освещения и ультрафиолетового облучения применен эритемно-осветительный светильник-облучатель ОЭСП 02-2×40/П53-01.

8.3 Облучатели растений в теплицах

Для искусственного облучения растений применяют лампы, обеспечивающие наиболее высокую фотосинтезную эффективность излучения. Это люминесцентные трубчатые лампы низкого Давления ЛФ-40-1 и ЛФ-40-2, люминесцентные лампы высокого давления ДРЛФ-400-1, ДРФ-1000-04, ДРФ-2000 и лампы смешанного излучения ДРВ-750; могут применяться и металлогалогенные лампы ДРИ. I

Для указанных ламп применяют специальные облучатели, которые перераспределяют световой поток ламп, обеспечивая наибольший КПД, защищают лампы от внешних механических воздействий и окружающей среды.

Облучатель включает в себя устройство для подводки питающего напряжения и подвески. Выпускаемые промышленностью облучатели представлены в таблице 8.2

Облучатели растений в теплицах

Таблица 8.2.

Облучатель для теплиц	Тип
С лампой ДРЛФ-400, подвесной:	
индуктивный	ОТ-400МИ-045-У5
емкостный	ОТ-400МЕ-046-У5
Для облучения рассады, с лампой ДРВ-750	ССП 03-750
С лампой:	
ДРЛ-2000	РСП 15-2000
ДРФ-1000	ОТ-ЮООМ
ДРИ	ОГС 01-2000-002-УХЛ4
	«Фотос»

Облучатель ОТ-400 (рис. 1.31, а). Он предназначен для облучения рассады в промышленных теплицах, включается в сеть переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц. Рассчитан на эксплуатацию в условиях окружающей среды с наличием углекислого газа, относительной влажностью воздуха от 98 % при температуре 20°C.

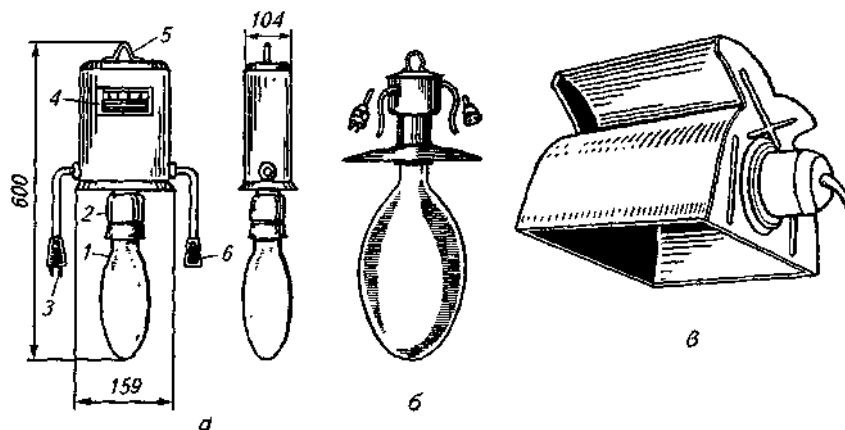


Рис. 1.31. Тепличные облучатели для досвечивания рассады
а – ОТ-400; б – ССП 03-750; в – «Фотос»

Конструкция облучателя выполнена с учетом свойств лампы 1 типа ДРЛФ-400, у которой колба сделана из термостойкого вольфрамового стекла с диффузным отражателем.

Облучатели выпускают двух исполнений: с индуктивным балластом ОТ-400МИ и емкостным ОТ-400МЕ.

Облучатели комплектуют патронами Е40Н16К и Е40ФК (2 на рис. 1.31). Включение в питающую сеть осуществляют при помощи кабелей КРПТ 3×2,5 мм. Концы кабелей оконцовывают: один — штепсельной вилкой 3, другой — розеткой 6. Длина кабеля с розеткой — 1,5 м, с вилкой — 2,5 м. Штепсельные разъемы имеют резиновые уплотнения и рассчитаны на ток 16 А. Облучатели соединены в группу из пяти ламп и подключаются к магистральной линии. Для зануления корпусов облучателей 4 предусмотрены винты, к которым присоединена третья жила кабеля. Облучатели имеют антикоррозийное покрытие.

При подвешивании облучателей с помощью петель 5 должны быть приняты меры для защиты штепсельных разъемов и кабелей от прямого попадания излучения ламп и от касания их к колбе лампы.

Устранять неисправности, а также проводить техническое обслуживание облучателей можно только через 5...10 мин после отключения облучателей от питающей сети.

Облучатель ССП 03-750 (рис. 1.31, б). Он предназначен для дополнительного облучения рассады овощных культур в промышленных зимних теплицах практически во всех зонах страны и рассчитан на питание от сети переменного тока напряжением 380/220 В, частотой 50 Гц.

Облучатель ССП 03-750 с безбалластными лампами смешанного излучения типа ДРВ-750 благодаря отсутствию пускорегулирующего аппарата и небольшой массе, а также коэффициенту мощности, близкому к единице, позволяет снизить затраты на облучение рассады почти в 2,5 раза. Арматура облучателя ССП 03-750 для теплиц состоит из разъемного корпуса-коробки с узлом подвеса, защитного козырька, патрона Е40, кабелей питания и уплотнительного резинового кольца.

В корпусе размещена клеммная колодка для присоединения кабелей и проводов от патрона. Два кабеля имеют длину по 1,5 м, концы их армированы штепсельной вилкой и розеткой с резиновым уплотнением. Штепсельные разъемы и сечение кабелей допускают соединение облучателей по три в группе.

Облучатель РСП 15-2000-001-У4. Он предназначен для селекционных теплиц и рассчитан для работы в трехфазной сети с номинальным напряжением 380 В, частотой 50 Гц. Климатическое исполнение — У, категория размещения — 4. Лампа ДРЛ-2000 имеет исправленную цветность и предназначена для применения в светильниках общего применения, поэтому в облучателе целесообразней применять лампу ДРФ-2000 с повышенной фотоотдачей и улучшенной (в отношении фотосинтеза) спектральной характеристикой.

Имеется зеркальный отражатель, обеспечивающий КПД не менее 70 %, пускорегулирующий аппарат типа 1ДБН-2000-ДРЛ/380-Н-008-УЗ.

Облученность, создаваемая облучателем на расстоянии от светового отверстия, равном 1 м, составляет 120 Вт/м², при этом освещенность на уровне растений достигает 25 тыс. лк. Пускорегулирующий аппарат устанавливают отдельно от облучателя и соединяют с ним трехжильный кабель КРПТ площадью сечения 4 мм². Длина кабеля около 20 м.

Облучатель тепличный ОГС 01-2000-002-УХЛ4 «Фотос» (рис. 1.31, в). «Фотос-4» предназначен для облучения растений при выращивании в защищенном грунте (промышленные и селекционные теплицы, встроенные камеры и боксы) и рассчитан для работы в трехфазной системе переменного тока частотой 50 Гц, с номинальным линейным напряжением 380 В.

Подвесная осветительная арматура имеет зеркальный отражатель, блок конденсаторов, ПРА типа 1-2000-Н-51-005-УХЛ1 и клеммную колодку. Лампа типа ДРИ-2000-6. Коэффициент мощности облучателя — 0,85. Масса: арматуры — 4 кг, ПРА — 2,4 кг, блока конденсаторов — 3,8 кг.

Облучатель имеет модификации: «Фотос-2» с лампой ДРИ-1000-6 и «Фотос-6» с лампой ДРИ-3500-6, которые отличаются также массой установок.

8.4. Расчет облучательных установок

Основная функция облучательной установки — передать заданное количество лучистой энергии приемнику [7]:

$$Q = \int_A \int_{\tau} E(\tau, \alpha) dA d\tau \quad (8.1)$$

где A , α , τ — площадь, направление и время облучения соответственно.

Расчет по формуле (7.1) сложен и поэтому в большинстве случаев задачу упрощают заменой полной энергии, упавшей на приемник, ее поверхностной плотностью. Для каждой облучательной установки дозу облучения лимитируют нормированной дозой или нормой облучения (табл. 1.20); норма облучения может быть задана также множителями формулы (7.1): облученностью и временем или другими параметрами.

Нормированную дозу облучения для живых организмов часто называют *биодозой*. Фактическая доза облучения отличается от биодозы. Например, витальное облучение животных начинается с 0,25 биодозы с постепенным увеличением до полной биодозы в течение 2...4 недель. Бактерицидные дозы страхуют путем их увеличения против нормы на 10...15 %. Ультрафиолетовая обработка материалов и биологических объектов допускает колебание расчетной дозы в пределах ± 20 %. Инфракрасная облученность биологических объектов может быть увеличена не более чем на 40 %. В облучательных установках исходный параметр расчета — облученность, которую либо

задают (см. табл. 1.20), либо определяют из дозы $E = H/\tau$, либо выявляют специальными расчетами.

Изменение КПД светильника с изменением спектра излучения лампы учитывают поправкой:

$$K = \frac{\eta_x}{\eta_c} = \Phi'_{\text{пр}} + \Phi'_{\text{отр}} \frac{\rho_x}{\rho_{\text{вид}}} \quad (8.2)$$

где η_x — КПД светильника для спектра X-излучения; η_c — КПД светильника по справочнику; $\Phi'_{\text{пр}}$, $\Phi'_{\text{отр}}$ — доли прямого и отраженного потоков от арматуры светильника в видимой зоне и при спектре X соответственно; ρ_x , $\rho_{\text{вид}}$ — коэффициенты отражения.

Состав спектра излучения существенно влияет и на коэффициенты запаса. Начальные потоки ламп при длинноволновых излучениях меняются незначительно. Наоборот, в ультрафиолетовой зоне коэффициент пропускания стекла быстро падает, незначительное количество пыли сильно поглощает УФ-излучение. Это отражается на коэффициентах запаса (табл. 8.3).

Средние значения коэффициента запаса для облучательных установок

Таблица 8.3

Зона	Лампа	Коэффициент запаса при среде		
		нормальной	запыленной	пыльной
УФИ	ЛН	—		
	РЛ	1,8	2,2	3
ВИ	ЛН	1,3	1,5	1,7
	РЛ	1,5	1,7	2
ИКИ	ЛН	1,1	1,25	1,4
	РЛ	—	—	—

С учетом вышеуказанных поправок для расчета потребной облученности применяют все три известных в светотехнике метода расчета с использованием справочных таблиц, составленных для расчета освещения.

Метод коэффициента использования потока излучения облучательной установки. Этот метод, кратко называемый методом СКИ (светового коэффициента использования), применяют для площадей с небольшой неравномерностью облучения ($Z \leq 2$). При этом коэффициент неравномерности облученности Z в основную формулу не включают, так как расчет ведут для средней облученности:

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}} N \eta_{\text{о.у}}}{A_{\text{р}} K_{\text{з}}} \quad (8.3)$$

где $\Phi_{\text{л}}$ — поток лампы в эффективных единицах; N — число ламп в установке; $\eta_{\text{о.у}}$ — коэффициент использования светового потока облучательной установки, скорректированный формулой для «черной» комнаты; $A_{\text{р}}$ — расчетная площадь облучения; $K_{\text{з}}$ — коэффициент запаса.

Обычно в облучательных установках боковые поверхности отсутствуют и нет отражающей поверхности в верхней части. В этом случае все коэффициенты отражения принимают равными нулю («черная» комната).

Расчет облученности по формуле в отличие от расчета ОУ зачастую приближителен и требует проверки точечным методом.

Точечный метод расчета облучательных установок. При расчете облученности в контрольных точках облучаемой поверхности используют известные светотехнические

приемы. Пересчет световых единиц в единицы облученности проводят по формулам пропорциональности с учетом изменения КПД светильников в разных Участках спектра.

Основная расчетная формула метода:

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}}}{1000 K_3} \Sigma \psi e \quad (8.4)$$

где E — искомая облученность в эффективных единицах, Вт/м²; $\Phi_{\text{л}}$ — эффективный поток лампы, Вт; K — поправка по формуле (1.39); K_3 — коэффициент запаса; ψ — поправка для наклонной поверхности, $e = (I_a^{(1K)} \cos^3 \alpha / h^2)$ — условная освещенность, лк, ее можно определять по изолюксам

Формула может быть решена и относительно $\Phi_{\text{л}}$, как это обычно делают при расчетах освещения.

Расчет стационарных облучательных установок (витальных).

Проектирование облучательных установок обычно проводят в следующей последовательности.

1. Устанавливают исходные данные: возраст животных, способ их содержания, размеры площади, занятой животными, высоту помещения.

2. Выбирают дозу витального облучения $H'_в$. Она зависит от вида и возраста животных, а также от способа их содержания. Численные значения суточной дозы приведены в справочной литературе.

3. Определяют расчетную высоту h_p . За расчетную высоту принимают расстояние от облучателя до уровня спины животных — рабочей поверхности (рис. 1.32).

4. Выбирают тип облучателя. Для стационарных витальных облучательных установок целесообразно использовать облучатели ЭО-1-30М, ОЭ-1; ОЭ-2; ОЭСП 02 (см. табл. 7.2).

5. Определяют расстояние между облучателями. Облучатели размещают над облучаемой поверхностью равномерно (см. рис. 1.32). Наиболее распространенный вариант размещения облучателей — размещение по вершинам квадрата. Сторона квадрата

$$L = \lambda_{\text{отн}} h_p \quad (8.5)$$

где $\lambda_{\text{отн}}$ — относительное наимыгоднейшее расстояние для большинства облучателей, $\lambda_{\text{отн}} = 1,2 \dots 1,4$, h_p — расчетная высота

6. Определяют число облучателей

$$N = n_a n_b = ab / L^2, \quad (8.6)$$

где n_a — число облучателей в ряду, n_b — число рядов облучателей, a и b — размеры облучаемой поверхности

7. Рассчитывают мощность облучательной установки точечным методом, что обусловлено малым коэффициентом отражения ультрафиолетовых лучей ограждающими поверхностями. Выбирают контрольные точки, что обусловлено необходимостью иметь информацию о максимальной и минимальной облученности. Наибольшая облученность будет под облучателем в точке 3, наименьшая — в одной из точек 1, 2.

Определяют облученность в контрольных точках как сумму облученностей,

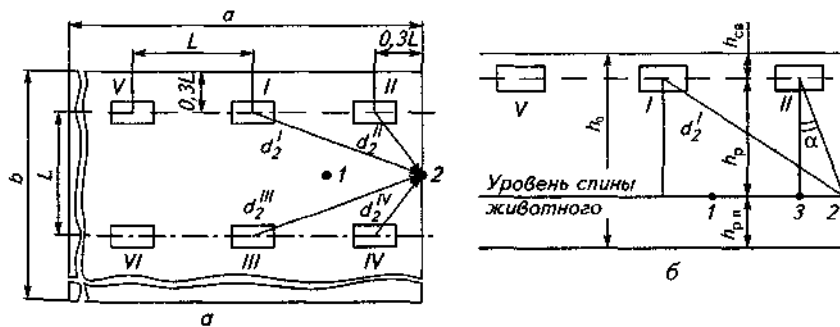


Рис. 1.32. План (а) и вертикальный разрез (б) помещения с облучательной установкой:

I VI—облучатели, d_2^I, d_2^{IV} — расстояние от облучателей I IV до точки 2, $h_{р.п.}$ — высота рабочей поверхности

создаваемых каждым облучателем в данной точке:

$$E_{Bi} = \sum_{k=1}^n E_{Bk} \quad (8.7)$$

где E_{Bi} , — суммарная витальная облученность в i-й контрольной точке, E_{Bk} — витальная облученность в i-й точке, созданной k-облучателем

$$E_{Bk} = \frac{I_{B\alpha} \cos^3 \alpha_k}{h_p^2} \quad (8.8)$$

где $I_{B\alpha}$ — сила излучения витального облучателя в данном направлении вит/ср, α_k — угол между вертикалью и линией, соединяющей облучатель с i-точкой
Значение $I_{B\alpha}$ определяют по справочным данным.

Рассчитывают коэффициент неравномерности витальной облученности по формуле

$$Z = E_{B \min} / E_{B \max} \quad (8.9)$$

где $E_{B \min}$, $E_{B \max}$ — минимальная и максимальная облученности.

Если в результате расчетов получилось, что $E_{B \max} > E_{пр}$ или $Z < Z_{пр}$, то все расчеты следует выполнить снова, изменив число облучателей и расстояние между ними. Значения предельно допустимой облученности и предельно допустимой неравномерности облучения приведены в таблице 7.3.

Рассчитывают общую мощность установки

$$P_{о.у} = P_{л} N \quad (8.10)$$

где $P_{л}$ — мощность лампы, или одной установки

8. Продолжительность работы облучательной установки

$$t = H'_B / E_{B \max} \quad (8.11)$$

где H'_B — суточная доза

Вопросы для самоконтроля

1. В каких сельскохозяйственных технологиях применяют облучательные установки (ОУ).
2. Поясните особенности работы ОУ для УФ- облучения животных и птиц.
3. Поясните особенности работы ОУ для тепличных хозяйств.
4. Какие лампы и облучатели применяют для обеззараживания животноводческих помещений.
5. Как определяют дозы УФ - облучения.
6. Для чего продлевают световой день в птичниках.
7. Как влияет УФ – излучение на животных и птиц.
8. Приведите классификацию ОУ.
9. Назовите достоинства и недостатки подвижных и передвижных установок.

10. Назовите основные типы облучательных ламп для ОУ сельскохозяйственного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз. – ISBN 978-5-9532-0710-2

2. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учебное пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз. – ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учебное пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». -Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз. – ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 9

РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Расчет осветительных установок состоит из светотехнической, электротехнической и технико-экономической частей.

9.1. Светотехнический расчет

Светотехнический расчет сводят к выбору вида и системы освещения, нормированной освещенности, коэффициента запаса световых приборов, расчету размещения световых приборов, определению мощности источников света.

Выбор вида и системы освещения. *Рабочее освещение* предназначено для обеспечения нормальных условий работы обслуживающего персонала. Оно должно обеспечивать нормированную освещенность во всех точках рабочей поверхности и иметь соответствующее качество, определяемое отклонениями питающего напряжения, пульсацией светового потока, спектральным составом света, равномерностью освещения и др.

Рабочее освещение включают только при выполнении персоналом работ в данном помещении.

Технологическое освещение — вид освещения для обеспечения нормального протекания технологического процесса (роста и развития животных, протекания фотосинтеза растений и т. д.).

Технологическое освещение выполняют такими же светильниками, что и рабочее освещение. Технологическим освещением управляют по программам в зависимости от вида и возраста животных или птицы, вида и времени развития растений.

Дежурное освещение используют для наблюдения за животными в ночное время. Его следует предусматривать во всех животноводческих и птицеводческих помещениях. Светильники дежурного освещения выделяют из числа рабочего освещения. В помещениях для содержания животных количество светильников дежурного освещения должно составлять 15 % от количества светильников рабочего освещения, а в родильных отделениях 20 % от этого количества.

Аварийное освещение используют для продолжения работы или эвакуации при аварийном отключении рабочего освещения. Наименьшая освещенность — 5 % от рабочего освещения, но не меньше 2 лк внутри помещения и 1 лк снаружи.

Напомним, что освещенность E в 1 лк (люкс) создается световым потоком Φ в 1 лм (люмен), если он равномерно распределен на площади A в 1 м^2 , то есть

$$E = d\Phi/dA. \quad (9.1)$$

Светильники аварийного освещения должны отличаться от светильников рабочего освещения конструкцией или специальной окраской.

Различают две системы освещения: общую и комбинированную. Общая система может быть равномерной или локализованной.

Общее освещение рекомендуется устраивать во всех животноводческих и других помещениях, где нормированная освещенность при лампах накаливания (ЛН) не превышает 50 лк, а при газоразрядных лампах (ГРЛ) — 150 лк. Если нормированная освещенность выше, то следует предусматривать комбинированную систему освещения. При этом общая освещенность должна составлять не менее 10 % нормируемой освещенности независимо от ламп местного освещения.

Выбор нормированной освещенности и коэффициента запаса. Нормированную освещенность E_n' выбирают в зависимости от размеров объектов помещения, контраста объекта и фона, характеристики фона и других условий. Значение нормированной освещенности регламентировано СНиП и отраслевыми нормами (СНиП 11-4—79. Естественное и искусственное освещение. М.: Стройиздат, 1980; Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий, сооружений. — М.: Колос, 1992).

Для наиболее типичных сельскохозяйственных объектов, а также некоторых других помещений значения E_n' приведены в справочной литературе.

Чтобы пересчитать нормы искусственного освещения в ватты на квадратный метр (Вт/м^2), необходимо использовать формулу

$$P_{уд} = E_n' / K_{л} \quad (9.2)$$

где $P_{уд}$ — удельная мощность, Вт/м^2 ; E_n' — освещенность, лк; $K_{л}$ — переводной коэффициент (табл. 1.37).

Коэффициент $K_{л}$

Таблица 9.1.

Мощность лампы, Вт	Напряжение, В	
	127	220
До 100	2,4	2,0
100 и более	3,2	2,5

При выборе освещенности приходится решать вопрос и об источнике света. В отраслевых нормах для освещения производственных сельскохозяйственных помещений и территорий рекомендуется применять газоразрядные лампы. Лампы накаливания следует применять только для освещения вспомогательных помещений.

Это определяется в значительной мере и низким реальным световым КПД ламп накаливания с вольфрамовой нитью 3,5 %, галогенных до 4 %. Световой КПД газоразрядных ламп намного выше: у люминесцентных до 12 %, у газоразрядных ламп высокого давления (например, у ДНаТ с желто-оранжевым излучением) до 18 %. Энергетический КПД люминесцентных ламп около 20 % против 14 % у ламп накаливания.

В процессе эксплуатации световой поток осветительных приборов уменьшается, что обусловлено старением источников света, загрязнением светильников, ограждающих поверхностей и др.

Чтобы освещенность не снизилась ниже нормируемого значения, при проектировании вводят коэффициент запаса K_z .

Для ламп накаливания $K_z = 1,15 \dots 1,7$; для газоразрядных ламп $K_z = 1,3 \dots 2,0$. Для сельскохозяйственных помещений рекомендуется применять для ламп накаливания $K_z = 1,15$; для газоразрядных ламп $K_z = 1,3$. При необходимости проверки освещенности в помещениях или на любом объекте можно воспользоваться люксметром.

Выбор светильников (световых приборов). Световые приборы (СП) выбирают по трем критериям: конструктивному исполнению, светотехническим характеристикам и экономическим показателям.

От конструктивного исполнения СП зависит их надежность и долговечность в данных условиях среды, безопасность в отношении пожара, взрыва и поражения электрическим током, а также удобство обслуживания.

При проектировании решение этой задачи сводят к выбору степени защиты световых приборов (IP) от воздействия окружающей среды с помощью таблиц и каталогов на СП. В зависимости от характеристики помещения выбирают степень защиты СП (например, IP20, IP23, IP51 и т. д.). Затем из каталогов выписывают все СП с выбранной степенью защиты для принятого источника света.

К светотехническим характеристикам СП относят: 1) *распределение светового потока* в верхнюю и нижнюю полусферы окружающего пространства, 2) форму *кривой силы света* (КСС). Они определяют качество освещения.

Для освещения административно-конторских помещений, аудиторий, лабораторий используют светильники с КСС типов Д и Л.

Для большинства сельскохозяйственных помещений выбирают СП с кривыми силы света Д, М, реже Г. Для освещения территории ферм, выгульных площадок и дорог применяют СП с широкой кривой силы света Ш. У светильников прямого света (П) относительное значение потока в нижнюю полусферу $\Phi_0 > 80\%$ ($\Phi_0/\Phi_{общ} > 0,8$); у светильников преимущественно прямого света (Н) $\Phi_0 = 80...60\%$; у светильников рассеянного света (Р) $\Phi_0 = 60...40\%$; у светильников преимущественно отраженного света (В) $\Phi_0 = 40...20\%$; у светильников отраженного света (О) $\Phi_0 < 20\%$. Для того чтобы можно было сравнивать КСС светильников с различным числом ламп и спектром излучения, неодинаковой мощности, кривые силы света строят для условной лампы с потоком 1000 лм (см. рис. 1.40). Фактическая сила света при использовании конкретной лампы в канделах (кд)

$$I_{\alpha} = I_{\alpha}^{1000} \frac{\Phi_{л}}{1000} \quad (9.3)$$

где I_{α}^{1000} — условная сила света, приведенная к световому потоку 1000 лм, кд; $\Phi_{л}$ — фактический световой поток лампы, лм.

Напомним, что световой поток источника связан с силой света выражением

$$d\Phi_v = I_v d\omega \quad (9.4)$$

где $d\Phi_v$ — элементарный световой поток, лм; I_v — сила света, кд; $d\omega$ — элементарный пространственный угол,стерадиан.

Единица светового потока — *люмен* — создается силой света в одну канделу в пределах пространственного угла в одинстерадиан (см. подразд. 1.1).

Помимо светораспределения СП характеризуются КПД и защитным углом. На рисунке 1.41 представлена лампа накаливания с арматурой (светильником). Здесь h — расстояние от уровня выходного отверстия арматуры до светового центра; R — радиус выходного отверстия арматуры; r — радиус светящегося тела. Защитный угол

$$\gamma = \arctg \frac{h}{R+r} \quad (9.5)$$

Защитный угол — мера прикрытия осветительной арматурой ярких частей источника света от глаз наблюдателя. Угол γ — это угол с горизонталью и линией, проходящей через крайнюю точку спирали светящегося тела и край арматуры (см. рис. 1.41).

КПД светильника — отношение светового потока Φ_c светильника к световому потоку $\sum \Phi_{л}$ всех ламп в этом светильнике.

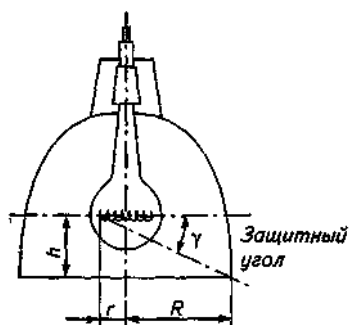


Рис. 1.41. К определению защитного угла осветительной арматуры (светильника)

По назначению светильники подразделяют на производственные, транспортные, для общественных зданий, для освещения помещений, открытых пространств.

По условиям эксплуатации и условиям среды светильники классифицируют в зависимости от способа

установки (подвесные, потолочные, настольные, настенные и др.) и исполнения.

Один из важных экономических показателей СП — *энергетическая экономичность*

$$\mathcal{E}_\eta = UC/Z, \quad (9.6)$$

где U — коэффициент использования светового потока, C — светоотдача источников света, лм/Вт; Z — коэффициент неравномерности ($Z = E_{cp}/E_{min}$), $Z = 1, 1.1 \dots 1.2$.

Расчет расположения светильников в помещении. Светильники в помещениях стремятся располагать по вершинам прямоугольников, квадратов или ромбов. В первом случае соотношение сторон прямоугольников не должно быть более 1,5.

В последнем случае ромбы должны иметь острый угол 60° (это даст шахматное расположение светильников).

Оптимальный размер стороны квадрата

$$L = \lambda_{отн} h_p, \quad (9.7)$$

где $\lambda_{отн}$ — относительное расстояние между светильниками; h_p — расчетная высота, м.

Более точно L может быть определен из выражения

$$\lambda_{отн.с} h_p \leq L \leq \lambda_{отн.э} h_p \quad (9.8)$$

где $\lambda_{отн.с}$ и $\lambda_{отн.э}$ — относительные светотехническое и энергетическое наивыгоднейшие расстояния между светильниками.

Расчетная высота осветительной установки (рис. 1.42)

$$h_p = h_0 h_{св} - h_{p.n} \quad (9.9)$$

где h_0 — высота помещения, м; $h_{св}$ — высота свеса СП (0...0,5 м); $h_{p.n}$ — высота рабочей поверхности, м.

Крайние светильники устанавливают на расстоянии (рис. 1.43)

$$l = (0,3 \dots 0,5)Z,$$

меньшее значение берут при наличии рабочих мест вблизи стен.

Определив L , на плане помещения отмечают места установки светильников и определяют их общее число N .

При люминесцентных лампах светильники располагают рядами параллельно стенам с окнами или длинной стороне помещения (рис. 1.44). Длина разрыва $l_{раз}$ между лампами должна удовлетворять условию

$$l_{раз} \leq 0,5 h_p$$

Определение мощности источника света. Известны три метода расчета: точечный метод, метод коэффициента использования светового потока и метод удельной мощности. Точечный метод применяют при расчете открытых пространств, местного освещения, локализованного освещения, освещения помещений, в которых нормирована негоризонтальная освещенность, и как проверочный.

Световой поток, лм, источника света в каждом светильнике

$$\Phi = \frac{1000 E_n K_z}{\mu \sum_{i=1}^n e_i \eta_c} \quad (9.10)$$

где 1000 — световой поток условного источника, лм; E_n — нормированная освещенность, лк; K_z — коэффициент запаса, $K_z = 1,15; 1,3$; μ — коэффициент, учитывающий влияние удаленных светильников, $\mu = 1,0 \dots 1,2$; e_i — условная освещенность от i -го светильника в контрольной точке, лк; η_c — КПД светильника.

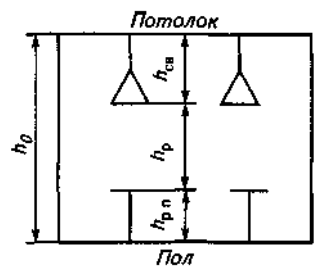


Рис. 1.42. Разрез помещения по высоте

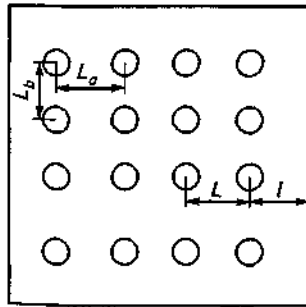


Рис. 1.43. План помещения при освещении лампами накаливания

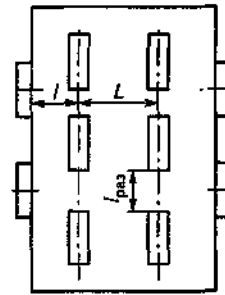


Рис. 1.44. План помещения при освещении люминесцентными лампами

Условная освещенность e_i , лк,

$$e_i = I_{\alpha}^{1000} \cos^3 \alpha / h_p^2 \quad (9.11)$$

где I_{α}^{1000} — сила света от условного источника ($\Phi = 1000$ лм) в направлении расчетной точки А, кд; α — угол между вертикалью из точки расположения светильника и линией, соединяющей источник света с расчетной точкой А (рис.1. 45).

По найденному значению потока Φ по каталогам на источники света определяют мощность источника света $P_{\text{л}}$, Вт. При этом отклонение расчетного потока от указанного в каталоге должно быть от -10 до +20 %. Если это условие не выполняется, то следует изменить высоту свеса $h_{\text{св}}$ или расстояние между светильниками L .

Метод коэффициента использования светового потока. Этот метод применяют для расчета осветительных установок закрытых помещений, в которых нормирована горизонтальная освещенность.

Метод применим только для расчета общего равномерного освещения.

Световой поток, лм, источника света в светильнике

$$\Phi = \frac{E_n A Z K_z}{\eta_{\Phi} N} \quad (9.12)$$

где A — площадь помещения, м^2 ; Z — коэффициент неравномерности освещенности, $Z = 1,0 \dots 1,3$; η_{Φ} — коэффициент использования светового потока, который учитывает долю светового потока генерируемого источника света, доходящего до рабочей поверхности; N — число светильников.

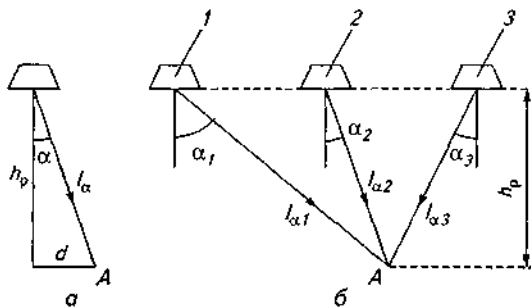


Рис. 1.45. К расчету условной освещенности в точке А:

a — от одного светильника, b — от нескольких светильников, $1 \dots 3$ — светильники

Коэффициент η_{Φ} зависит от индекса помещения

$$j = \frac{ab}{h_p(a+b)},$$

где a и b — длина и ширина помещения,

а также от коэффициентов отражения ограждающих конструкций и типа светильника. Численные значения η_{ϕ} приведены в таблицах и в зависимости от типа светильника равны 10...73.

По найденному потоку также из таблиц определяют мощность источника света $P_{\text{л}}$, Вт.

Метод удельной мощности. Метод удельной мощности основан на методе коэффициента использования светового потока. Его применяют для расчета осветительных установок вспомогательных помещений (коридоров, лестниц, санузлов, гардеробов, туннелей и пр.). При проектировании электроснабжения этот метод может быть использован для ориентировочного определения электрической нагрузки подстанций.

Мощность источника света, Вт,

$$P_{\text{л}} = P_{\text{уд}} A / N, \quad (9.13)$$

где $P_{\text{уд}}$ — удельная мощность, Вт/м², зависящая от $E_{\text{н}}$, h_p , типа светильника, коэффициентов отражения стен и потолка, которые находят по справочным данным, $P_{\text{уд}} = E_{\text{н}}' / K_{\text{л}}$; A — площадь помещения, м²; N — число светильников.

Светотехнический расчет независимо от методов заканчивается расчетом установленной мощности, Вт,

$$P = P_{\text{л}} N \quad (9.14)$$

Результаты светотехнического расчета сводят в светотехническую ведомость.

Расчет освещенности точки, лежащей на наклонной и вертикальной поверхностях. Рассмотрим следующий пример (рис. 1.46). Дан светильник РСП-12 с лампой ДРЛ. Кривая светораспределения для указанного светильника (КСС) Г2. Даны также $\alpha = 53,7^\circ$, $d = 3\text{ м}$; $h_p = 2,2\text{ м}$; $\theta = 60^\circ$.

Найти условную освещенность на горизонтальной плоскости E_{Ar} , условную освещенность на наклонной и вертикальной плоскостях $E_{\text{A}(60^\circ)}$, $E_{\text{A}(90^\circ)}$

Решение. 1. Определяем условную освещенность на горизонтальной плоскости: $E_{\text{Ar}} = I_{\alpha}^{1000} \cos^3 \alpha / h^2$

По кривой светораспределения Г2 при $\alpha = 53,7^\circ$ находим $I_{\alpha}^{1000} = 200$ кд (рис. 1.47).

Определяем $E_{\text{Ar}} = (200 \cdot \cos^3 53,7^\circ) / 2,2^2 = 8,68$ лк.

2. Определяем E_{A} на наклонной плоскости:

$$E_{\text{A}} = E_{\text{Ar}} \cdot \psi$$

где $\psi = \cos \theta + \frac{d}{h_p} \sin \theta = 0,5 + \frac{3}{2,2} \cdot 0,866 = 0,5 + 1,18 = 1,68$;

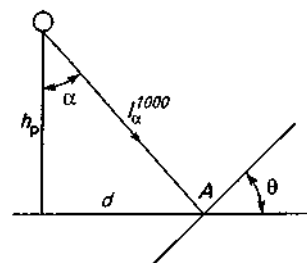


Рис. 1.46. К расчету освещенности точки, лежащей на наклонной поверхности

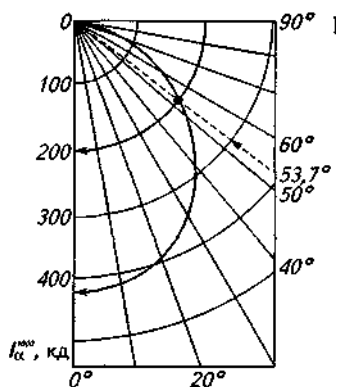


Рис. 1.47. Определение силы света I_{α}^{1000} по КСС Г2 и $\alpha = 53,7^\circ$

$$E_{\text{A}(60^\circ)} = E_{\text{Ar}} \cdot 1,68 = 8,68 \cdot 1,68 = 14,58 \text{ лк}$$

3. Определяем E_{A} на вертикальной плоскости.

При $\theta = 90^\circ$ $\cos 90^\circ = 0$; $\sin 90^\circ = 1$ и $\psi = d/h_p = 1,365$, $E_{\text{A}(90^\circ)} = 11,65 \text{ лк}$

9.2. Электротехнический расчет

Электротехнический расчет включает в себя: выбор схемы электроснабжения и напряжения питания осветительной установки; составление расчетной схемы; выбор марки, сечения и способа прокладки проводов; выбор защитной аппаратуры; разработку схемы управления осветительной установкой.

Выбор схемы электроснабжения, напряжения питания, составление расчетной схемы. Отдельные силовые трансформаторы, специально предназначенные для целей освещения, как правило, не применяют.

Используют системы напряжением 380/220 В или системы 660/380 В с нулевым проводом.

Если светильники стационарные общего или местного освещения, но находятся на высоте менее 2,5 м, по ПУЭ напряжение должно быть не более 42В.

При составлении расчетной схемы осветительной сети (рис. 1.48) предельный ток группы не должен превышать 25 А. Если в группе имеются лампы накаливания мощностью более 500 Вт или газоразрядные лампы высокого давления мощностью более 125 Вт, то предельный ток группы может быть увеличен до 63 А (то же при $U < 42$ В).

Число светильников в однофазной двухпроводной группе должно быть 20 шт. при длине сети 35 м. В двухфазной трехпроводной группе число светильников должно быть 40 шт. при длине сети 60 м.-

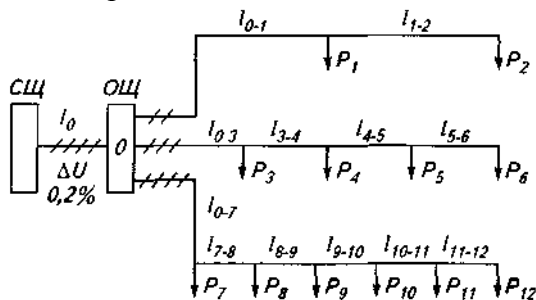


Рис. 1.48. Пример расчетной схемы осветительной сети

В трехфазной четырехпроводной группе число светильников может быть до 60 шт. при длине сети около 80 м.

Сечение проводов к светильникам выбирают исходя из допустимой потери напряжения и проверяют по нагреву и механической прочности. Для большинства сельскохозяйственных сетей допустимую потерю напряжения ΔU принимают равной 2,5 % [0,2 % потери на вводе в осветительном щите (ОЩ) и 2,3 % в группе].

Площадь сечения жилы провода по потере напряжения

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n P_i l_i}{C \Delta U} \quad (9.15)$$

где P_i — мощность i -го светильника, кВт, l_i — удаленность от осветительного щита i -го светильника, м, C — функция напряжения сети, материала жил и числа проводов, этот характерный коэффициент сети для алюминиевых проводов при напряжении 380/220 В и четырехпроводной линии равен 46, при двухфазной линии с нулем — 20, для однофазной — 7,7

Выражение $\sum_{i=1}^n P_i l_i$ можно представить как $\sum M_i$ — сумму моментов нагрузки в группе, кВт·м.

Моменты нагрузки рассчитывают от всех потребителей до осветительного щитка. Затем провода проверяют на механическую прочность по условию

$$S \geq S_{\text{доп}}, \quad (9.16)$$

где $S_{\text{доп}}$ — допустимая площадь сечения по механической прочности, мм²

Провода на нагрев рассчитывают по условию

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \quad (9.17)$$

где I_p — расчетный ток однофазной группы, А, $I_{\text{доп}}$ — длительно допустимый ток на провод, А

После окончательного выбора площади сечения провода, пользуясь выражением (8.15), находят фактические потери напряжения ΔU в каждой группе, начиная с ввода.

При расчете сети с газоразрядными лампами помимо их мощности учитывают также потери в ПРА.

Для повышения коэффициента мощности в светильниках с люминесцентными лампами обязательно предусматривают индивидуальную компенсацию, выполняемую заводами-изготовителями. В установках с другими разрядными лампами необходима групповая компенсация.

Емкость конденсаторов, мкФ,

$$C = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) / (2\pi f U^2 \cdot 10^{-3}), \quad (9.18)$$

где P — активная мощность с учетом потерь в ПРА, кВт; φ_1, φ_2 — угол сдвига фаз до и после компенсации соответственно; f — частота тока в сети, Гц; U — напряжение на конденсаторе, кВ.

При групповой компенсации конденсаторы обычно включают по схеме «треугольник», что позволяет уменьшить их суммарную емкость. Разрядные резисторы подключают параллельно конденсаторам для снижения напряжения до 50 В за 1 мин после отключения установки. Удельная мощность резисторов не превышает 1 Вт/квар.

Выбор токов плавких вставок предохранителей и уставок автоматических выключателей. Во избежание ложных срабатываний защитных аппаратов из-за пусковых токов светильников при выборе номинальных токов плавких вставок $I_{н.в}$ и уставок тепловых I_m и комбинированных I_k расцепителей автоматических выключателей следует руководствоваться соотношениями:

для ламп накаливания

$$I_{н.в} \geq I_p; I_m \geq I_p; I_m \geq 4 I_p \text{ (для ламп 300 Вт и больше);} \\ I_k \geq I_p \text{ (для ламп меньше 300 Вт);} \quad (9.19)$$

для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ

$$I_{н.в} \geq 1,2 I_p; I_m \geq 1,4 I_p; I_k \geq I_p; \quad (9.20)$$

для газоразрядных ламп низкого давления и др.

$$I_{н.в} \geq I_p; I_m \geq I_p; I_k \geq I_p, \quad (9.21)$$

где I_p — расчетное значение тока.

В мероприятиях по защите обслуживающего персонала от поражения электрическим током должны быть указаны особенности монтажа проводки с патронами светильников, розетками и т. п.; правила замены ламп и чистки арматуры; правила периодического осмотра сетей и т. д.

Разработка схем управления. Управление освещением помещений с несколькими входами рекомендовано осуществлять со всех возможных входов по «коридорной» схеме (см. рис. 1.15).

На рисунке 1.49 показана схема включения лампы накаливания вместе с розеткой на плане. Монтажная схема с ответвительной коробкой показана на рисунке 1.16. В целом способы и устройства управления освещением должны создавать благоприятные условия для экономии электрической энергии.

В сельскохозяйственном производстве используют местное (ручное) и автоматическое управление. Местное управление осуществляют при помощи выключателей, переключателей и автоматов. Автоматическое управление может быть в функции времени, естественной освещенности или напряжения питающей сети. В животноводческих и птицеводческих помещениях наиболее распространено управление в функции времени. Для этих целей используют лампы накаливания и шнура в розетку программные реле управления светом УПУС и ПРУС, многоцелевой аппарат типа МКП-2-12 и реле времени 2РВМ.

В широких помещениях с окнами целесообразно управлять рядами светильников в функции естественной освещенности. Для этого следует использовать фотоэлектрические автоматы типов ФР-2, АО, ФРМ-62А и др.

Выбор щита управления. Для приема и распределения электрической энергии и защиты отходящих линий в осветительных сетях применяют вводно-распределительные устройства и вводные щиты. Осветительные вводно-распределительные устройства классифицируют:

- по назначению (совмещенные, этажные, квартирные); способу установки (навесные, стоячие и т. д.);
- по виду защиты от воздействия окружающей среды (защищенные с уплотнением, взрывозащищенные);
- по схемам электрических соединений: для четырех, трех или двухпроводных отходящих линий с вводными аппаратами или без них;
- по типам защиты на отходящих линиях: с автоматическими выключателями или предохранителями.

В каждом конкретном случае в зависимости от окружающей среды, назначения, количества групп, схем соединений, аппаратов защиты выбирают то или иное вводно-распределительное устройство.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких разделов состоит расчет осветительных установок?
2. Что включает в себя светотехнический расчет?
3. Как выбирают нормированную освещенность и коэффициент запаса в различных местах, участках, помещениях?
4. Как обозначают степень защиты световых приборов?
5. Как определяют защитный угол осветительной арматуры?
6. Что характеризуют кривые силы света светильников (КСС)?
7. Как выбирают светильники?
8. Перечислите три основных метода определения мощности источников света.
9. Укажите особенности расчета освещенности точки, лежащей на наклонной и вертикальной поверхностях.
10. Что включает в себя электротехнический расчет светотехнических установок?
11. Дайте пример расчетной схемы осветительной сети.
12. Расскажите о схемах управления осветительными установками.
13. Как выбирают аппараты защиты и управления осветительными установками?
14. Как komponуют осветительную сеть?

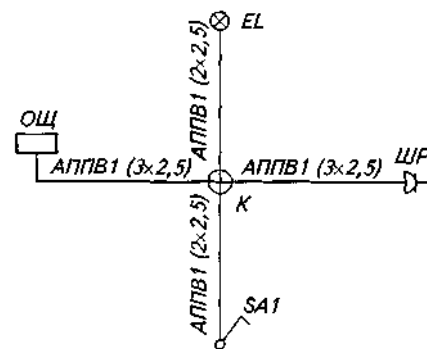


Рис. 1.49. Пример монтажного расположения элементов на плане для включения лампы накаливания и шнура в розетку

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз. – ISBN 978-5-9532-0710-2

2. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учебное пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз. – ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учебное пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». -Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз. – ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 10

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ И ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

10.1. Эксплуатационное обслуживание светильников и облучателей

Светильники и электрические лампы в процессе их работы загрязняются пылью, копотью, что уменьшает освещенность помещения. Могут возникать также различного рода неисправности, происходящие от механических повреждений или от воздействия окружающей среды.

Неисправности светильников могут вызвать несчастные случаи: поражение электрическим током, возникновение пожара и т. д.

Периодические профилактические осмотры, техническое обслуживание и ремонт светотехнического оборудования следует проводить в сроки, установленные местной инструкцией, а также с учетом графиков, разработанных в соответствии с рекомендациями по эксплуатации заводов-изготовителей.

Периодические осмотры. Периодические осмотры и чистку осветительной арматуры в животноводческих и птицеводческих помещениях, в кормоприготовительных помещениях и других аналогичных помещениях с тяжелыми условиями окружающей среды проводят не реже 1 раза в месяц.

При периодических осмотрах светильников проверяют крепление затенителей. Мощности установленных ламп должны соответствовать тому светильнику, для которого они предназначены. Натяжение проводов, подводящих питание к светильнику, не должно превышать допустимое и иметь запас на возможное качание светильника. Необходимо тщательно проверять состояние изоляции проводов в месте ввода в светильник, а также надежность присоединения нулевого провода к зажиму на корпусе светильника.

Периодический осмотр светильников и своевременное устранение всех замеченных неисправностей обеспечивают их надежную работу, а также безопасность людей и животных.

Техническое обслуживание. Техническое обслуживание светильников проводят совместно с техническим обслуживанием внутренних электропроводок в чистых сухих помещениях с нормальной средой 1 раз в шесть месяцев, а в сырых, пыльных и пожароопасных помещениях 1 раз в три месяца.

Техническое обслуживание так же, как и периодические осмотры, проводят при полностью отключенных светильниках с соблюдением всех мер техники безопасности. Выполняет техническое обслуживание группа электромонтеров из двух-трех человек.

При техническом обслуживании необходимо:

удалить пыль и грязь с арматуры светильников влажным обтирочным материалом, сильно загрязненные места протереть обтирочным материалом, смоченным 5%-ным раствором каустической соды;

снять стекла светильников и вывернуть электрические лампы, промыть стекла в 5%-ном растворе каустической соды, прополоскать в чистой воде и просушить, лампы протереть влажным обтирочным материалом;

заменить стекла, имеющие трещины или сколы;

отвернуть корпус патрона и проверить состояние его частей;

окислившиеся или подгоревшие контактные соединения разобрать, зачистить и собрать, ослабевшие зажимы подтянуть; удалить коррозию резьбовой части патрона

мелкой стеклянной шкуркой и покрыть очищенную поверхность тонким слоем технического вазелина; патроны, имеющие обгорание контактов или повреждение изоляционных деталей, подлежат замене;

проверить состояние осветительной арматуры, заменить арматуру, имеющую поврежденные фарфоровые, керамические, пластмассовые или другие детали; проверить надежность крепления светильников к основанию;

при необходимости окрасить металлические части арматуры, проверить наличие и состояние уплотняющих элементов у водонепроницаемых, герметических и взрывобезопасных светильников; резиновые прокладки и сальники, потерявшие эластичность, заменить;

установить лампы и стекла светильников, включить сеть освещения и убедиться в исправной работе каждого светильника.

Для ограничения отклонений напряжения в осветительных установках применяют стабилизаторы-ограничители типа ЭОН-1 настенного исполнения.

Ограничитель напряжения питается от сети напряжением 380/220 В, электрическое исполнение однофазное. Максимальный ток нагрузки на фазу 15 А. Коэффициент безотказной работы ограничителя за время работы 4000 ч не ниже 0,9. Срок службы не менее шести лет. Масса ограничителя 3,5 кг.

Следует предусматривать устройства для обслуживания светильников и светопроемов.

При высоте светопроемов, не превышающей 5 м над полом, а также при высоте подвеса светильников до 5 м допускается обслуживание светильников с помощью приставных лестниц и стремянок бригадой не менее чем в два человека.

На предприятиях по производству продуктов животноводства, птицеводства и растениеводства на промышленной основе необходимо предусматривать специальные помещения (до 15 м²) для ремонта и очистки светильников с установкой верстака, ванны и обеспечением горячей водой.

10.2. Неисправности осветительной сети и их устранение

Наиболее распространенная неисправность осветительной сети — перегорание электрической лампы. Для проверки лампы накаливания необходимо воспользоваться исправной лампой. Если такая замена не дает положительного результата, причину следует искать в патроне. Необходимо проверить, имеется ли касание цоколя с центральным контактом. При необходимости контакт следует немного отогнуть. При плохом контакте цоколь — патрон возможно приваривание цоколя лампы к патрону, недопустимый перегрев патрона и лампы, светильника и подводящих проводов. При наличии механических поломок контактных стоек, обгорании пластмассовых корпусов, наличии трещин и сколов патронов необходимо заменить на исправный.

В сетях, где возможны колебания напряжения, лампы быстро выходят из строя. Более надежны в работе лампы на повышенное напряжение до 240 В.

На практике может быть превышено и это напряжение, например, при замыкании на корпус оборудования другой фазы, к которой лампа не присоединена. Так как лампа присоединена к фазному и нулевому проводу, связанному с корпусом оборудования, то она оказывается включенной кратковременно на две фазы, что приводит ее к перегоранию.

Также отрицательно действуют плохие зажимы и контакты в цепи ламп, которые приводят к колебаниям тока в лампах. Отрицательно действуют на лампы различные перенапряжения в сети, частые включения и отключения самих ламп.

Для хранения вышедших из строя газоразрядных ламп следует предусматривать помещение из расчета 2,5 м² на 1000 ламп, находящихся в эксплуатации.

Вышедшие из строя лампы типа ДРЛ и люминесцентные, а также другие источники света, содержащие ртуть, следует хранить упакованными в специальном помещении и периодически вывозить для уничтожения или утилизации.

Неисправности осветительных установок и способы их устранения приведены в таблице 10.1

Неисправности осветительных установок и способы их устранения

Таблица 10.1

Неисправность	Причина	Устранение
<i>Установки с лампами накаливания</i>		
Освещение не включается	1. Выключается автомат при включении: неисправен автомат замыкание в сети освещения или в светильнике	Ремонт или замена автомата Найти и устранить причину замыкания
	2. Лампа не касается контактов в патроне: контакты отогнулись	Подогнуть контакты
	контакты обгорели или отломились	Заменить патрон
	3. Неисправна лампа	Заменить лампу
	4. Неисправен выключатель, включающий одну или несколько ламп	Заменить выключатель
	5. Выскочили из зажимов или обгорели провода в патроне, выключателе, автомате, коробке	Устранить неисправность
Срабатывает защита	6. Обрыв цепи в автомате	Заменить автомат
	1. Лампа замкнула контакты в патроне своим цоколем	Отогнуть контакты
Загорание пластмассового корпуса светильника	2. Касание проводов в месте их присоединения к патрону или в коробке	Устранить неисправность
	Наличие влаги и агрессивной среды, постепенное развитие замыкания по корпусу светильника, на которое не реагирует защита	Заменить светильник
Загорание провода	1. Изоляция провода не соответствует условиям среды	Заменить провод, не соответствующий условиям среды
	2. Замыкание в светильнике или проводе в отсутствие защиты	Применить защиту (предохранители, автоматы)
	3. Провод не соответствует нагрузке	Заменить на провод большего сечения

Установки с люминесцентными лампами

Лампа зажигается работает перерывами	не или с	1. Слабы или окислились зажимы в цепях до светильника, у дросселя, колодок лампы, у стартера; контакты ножек лампы и электродов стартера в гнездах	Проверить зажимы и контакты в проводке до светильника и в светильнике
		2. Обрыв в дросселе или в конденсаторе балластного сопротивления	Проверить заменой на новые
		3. Неисправен стартер	Заменить
		4. Неисправна лампа. Целость ее спиралей можно проверить, взглянув на ее торец через стекло баллона. Черный налет по концам говорит о расхождении активного слоя катодов	Заменить лампу
		5. Влияние пониженной температуры воздуха	
Изменение цвета сечения лампы	Изменение состава люминофора при большом сроке службы лампы		Заменить лампу
Гудение светильника	Колебание пластин магнитопровода дросселя		Заменить дроссель
Срабатывание защиты при включении светильника	при	1. Пробой компенсирующего конденсатора на входе светильника	Заменить конденсатор
		2. Замыкание в цепях установки	Проверить цепи авометром
Нагрев сгораемых поверхностей, на которых установлен светильник	Нагрев дросселя светильника		Поставить асбестовые подкладки под светильник или оставить воздушный промежуток под светильником

Лампы накаливания часто трудно вывернуть из патрона из-за того, что заржавел цоколь или приварился центральный контакт. Применение большого усилия при выворачивании приводит к отрыву цоколя. В данном случае необходимо предварительно обесточить электросеть (вывернув предохранительные пробки или отключив автоматический выключатель) и, осторожно вращая колбу лампы, оторвать проволоочки, на которых она висит. Затем плоскогубцами вывернуть оставшийся в патроне цоколь лампы. В тех случаях, когда это не удается сделать, разбирают патрон.

Необходимо тщательно проводить оконцовку проводов при перезарядке ими патрона. После зачистки от изоляции многожильный провод скручивают, чтобы не было торчащих в разные стороны проволочек. Затем круглогубцами формируют колечко, которое желательно затем облудить. Место зачистки изоляции и провод до колечка обматывают изоляционной лентой.

Правильная перезарядка необходима и при присоединении проводов и шнуров к другим электроприборам. В случае неаккуратной оконцовки проводов возможно короткое замыкание между торчащими жилами. Кроме того, достаточно одному

проводку из колечка коснуться наружных частей арматуры, чтобы при прикосновении к ним человек попал под напряжение.

Обращаясь к люминесцентным светильникам, следует сказать, что они представляют собой сложное устройство со многими конструктивными элементами и большим количеством контактов. Поэтому неполадки при эксплуатации ламп бывают очень разнообразными (см. табл. 10.1).

При смене люминесцентные лампы вынимают из патронов с большой осторожностью, чтобы не повредить цоколь и не разбить стекло лампы, так как в лампе находятся пары ртути, которые очень токсичны.

При эксплуатации люминесцентных ламп необходимо помнить, что характер газового разряда в значительной степени определяется давлением газа или паров, в которых происходит разряд. При понижении температуры давление паров в лампе падает и процесс зажигания и горения лампы ухудшается, а при температуре ниже 5°C лампа может не зажечься вообще.

Следует принять за правило, что техническое обслуживание светильников должно проводиться одновременно с техническим обслуживанием электропроводок и другого электрооборудования.

Вопросы для самоконтроля

1. Требования каких нормативных документов необходимо выполнять при эксплуатации осветительных установок?
2. Какие операции выполняют при техническом обслуживании и ремонте светильников?
3. Какими способами и средствами обеспечивается энергосбережение при эксплуатации осветительных установок?
4. С какой целью необходимо проводить чистку светильников?
5. Сформулируйте требования к персоналу который допускается к ремонтным работам в осветительных сетях.
6. Какие меры обеспечивают электробезопасность при эксплуатации осветительных установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз.– ISBN 978-5-9532-0710-2

2. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учебное пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз.– ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учебное пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз.– ISBN 5-7011-0508-3

ЧАСТЬ 2 «ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ»

Лекция 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

1.1 Общие сведения об электротехнологии

Электротехнология – использование электричества непосредственно в технологических процессах с целью механического, термического, химического или электрического воздействия на предмет труда без предварительного преобразования электроэнергии в промежуточных устройствах: электродвигателях, нагревателях, излучателях.

Основные этапы применения электрической энергии в сельскохозяйственном производстве:

- применение электрической энергии для освещения;
- применение электрической энергии для привода сельскохозяйственных машин;
- применение электрической энергии для воздействия на сельскохозяйственные объекты.

Электротехнологические установки применяют в тех случаях, если:

- технологический процесс нельзя осуществить без электротермии (в этом случае целесообразность определяется технологическими требованиями и качеством получаемой продукции, как в промышленности, так и в сельском хозяйстве);
- можно получить продукцию более высокого качества (экономический эффект зависит от того, насколько выгодно от улучшения свойств продукции компенсируется увеличение её стоимости);
- улучшаются условия труда, повышается безопасность обслуживающего персонала;
- достигается снижение себестоимости (благодаря более высокой производительности труда) или уменьшение капитальных затрат, включая затраты в смежных отраслях производства.

На долю электротермии приходится до 15% от всей потребляемой промышленностью электрической энергии. На базе электрического нагрева созданы и развиваются производства специальных сталей, ферросплавов, цветных и лёгких металлов и сплавов, твёрдых сплавов, редких металлов, карбида кальция, фосфора и других продуктов; осуществляется обработка металлов давлением и их термическая обработка; реализуются вопросы электрификация быта.

Агропромышленный сектор представляет собой крупного потребителя тепловой энергии, основная часть которой тратится на различные технологические нужды.

Низкотемпературный нагрев в сельском хозяйстве является наиболее перспективной отраслью электротермии. Однако проблема использования электроэнергии для теплофикации технологических процессов в сельскохозяйственном производстве и быту остается одной из наиболее актуальных производственных задач.

1.2. Особенности сельскохозяйственных предприятий как объектов теплоснабжения

Сельскохозяйственным предприятиям, как объектам теплоснабжения присущи характерные особенности, к которым в первую очередь следует отнести такие как:

– низкая плотность тепловых нагрузок и большая рассредоточённость потребителей, что обуславливает широкое распространение децентрализованных систем теплоснабжения от топливных котельных, обладающих целым рядом известных недостатков (большие транспортные расходы на доставку топлива, потери топлива при транспортировке и хранении, значительные затраты ручного труда на обслуживание большого количества маломощных топливных установок по причине сложности автоматизации, “перетопы” в связи с недостаточной гибкостью топливных установок и неполным сгоранием топлива из-за плохого состояния оборудования и нередким применением низкокалорийного топлива (бурый уголь, дрова и т.п.), что снижает КПД топливных установок до 0,08...0,15 вместо 0,35...0,5, определенных техническими характеристиками);

– большая неравномерность нагрузки и малый коэффициент использования максимума, что сопровождается перерасходом топлива в периоды провалов нагрузки;

– для нормальной жизнедеятельности животных, птиц и растений необходимы оптимальные параметры микроклимата, не допускающие резких колебаний.

В сельскохозяйственном производстве большинства развитых стран электроэнергия широко используется в качестве источника тепла. Так, например, к началу 70-х годов на тепловые нужды производства и быта приходилось в Австрии - 40%, в Германии - 55%, в США - более 50% от общего потребления электроэнергии сельским хозяйством. Причем удельный вес электроэнергии, используемой на электротеплоснабжение, продолжает расти быстрыми темпами и составляет в настоящее время существенную часть энергетического баланса, и даже оказывает существенное влияние на экономику этих стран. Именно тенденция возрастания энергоёмкости сельскохозяйственной электротермии является отражением более общих процессов, происходящих в мировом сельском хозяйстве. Потребность в энергоресурсах удваивается через каждые 10...15 лет. Рост производства сельхозпродукции сопровождается возрастанием энергоёмкости технологий её производства: так, прирост сельскохозяйственной продукции на 1% требует увеличения расхода энергоресурсов на 2...3%.

Такой рост энергозатрат, в связи с увеличением производства сельхозпродукции, характерен и, видимо, пока неизбежен для всех промышленно развитых стран, несмотря на предпринимаемые меры по их минимизации. Например, в XX веке удвоение урожаев в США сопровождалось десятикратным повышением расхода энергии. Уровень развития электротеплоснабжения сельского хозяйства нашей страны также достаточно высок. Так, удельный вес электронагрева в общем потреблении электроэнергии агропромышленным сектором увеличился с 15...20% в 1975 году до 31 % в 1993 году. Основными потребителями энергии являлись и являются системы, обеспечивающие оптимальную среду обитания животных, и технологические процессы, связанные с содержанием, кормлением, уходом за животными и первичной обработкой производимой ими продукции. В сумме они составляют основную долю в общих энергозатратах. На ферме с поголовьем 1200 коров установленная мощность технологического оборудования составляла в 80-х годах 21,3%, централизованное отопление и горячее водоснабжение - 28%, электрокалориферы в системах вентиляции - 46,4%, то есть большая часть энергобаланса приходилась на тепловые процессы. По данным ВИЭСХ в общем балансе энергии, затрачиваемой на получение сельскохозяйственной продукции в расчёте на одного человека, доля тепловой энергии составляет до 90%. Из общей

потребности сельского хозяйства страны в различных видах энергии на долю тепловой приходится порядка 65%. При этом быт сельского населения в качестве объекта электротеплоснабжения длительное время серьёзно не рассматривался и это привело к тому, что электропотребление сельским жителем в 2 раза ниже, чем городским. В то же время в середине 90-х годов в сфере быта и услуг потреблялось уже 40% электрической энергии и подобная тенденция позволяет характеризовать быт сельского населения как чрезвычайно перспективную область применения электротеплоснабжения. Широкое применение электроэнергии для электрификации тепловых процессов сдерживается недостаточной мощностью электрических станций и пропускной способностью сельских сетей, ограниченной номенклатурой и объемом выпускаемого электротермического оборудования, а также не всегда грамотным решением вопросов применения электрического нагрева, что не позволяет получить от электронагрева максимальный экономический эффект. Например, одно из главных преимуществ электрической энергии – ее делимость и способность передаваться на большие расстояния – сводится к минимуму применением электрокотельных. Мощные централизованные электрокотельные были в середине 80-х годов призваны заменить котельные, работающие на жидком и твердом топливе. Подобное строительство сопряжено с дополнительными затратами на возведение трубопроводов, их теплоизоляцию, с дополнительными потерями тепла, то есть связано с недостатками, присущими обычным схемам теплоснабжения. Более целесообразно превращать электрическую энергию в тепло децентрализованно, максимально приблизив этот процесс к потребителю.

До недавнего времени считалось, что электронагрев сопровождается перерасходом энергетических ресурсов из-за потерь при двукратном преобразовании энергии топлива (сначала в электрическую на электростанции, а затем в тепловую в электротермической установке). Однако в результате всесторонних исследований установлено, что при электронагреве первичные энергоресурсы, наоборот, часто экономятся. Вообще, масштабы использования электрической энергии для теплоснабжения меняются во времени. Для каждого этапа развития науки техники, электротехнической промышленности, энерго- и электроснабжения существует наиболее эффективный оптимальный уровень электрификации тепловых процессов в сельском хозяйстве. Данный уровень для конкретного отрезка времени определяется на основании технико-экономического расчета с учетом сложившихся цен. При этом в круг вопросов, которые должны решаться при выборе оптимального варианта электротеплоснабжения, кроме традиционных технологических, технических и экономических, входят также вопросы, связанные с изменением качества и количества производимой сельхозпродукции при различных системах теплоснабжения. Кроме того, необходимо учитывать социальные и экологические аспекты широкой электрификации тепловых процессов в сельском хозяйстве:

1) повышение продуктивности животноводства и птицеводства, снижение падежа животных и удельного расхода кормов. При технико-экономическом сравнении вариантов теплоснабжения необходимо учитывать эффект, который дает более “гибкий” энергоноситель – электричество. Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации электроотопительных установок показывает, что использование электрической энергии позволяет с большой точностью поддерживать необходимые микроклиматические условия в помещениях, на 15...20% увеличить суточные

приросты при откорме скота, снизить на 20...25% расход кормов, снизить на 10...15% - падеж молодняка и увеличить на 30% яйценоскость кур;

2) в быту сельских жителей приближение образа жизни к городскому с точки зрения повышения комфортности, уменьшения трудозатрат и зависимости от особенностей традиционных систем теплоснабжения;

3) благотворное влияние микроклимата на строительные конструкции животноводческих помещений, на технологическое, электросиловое и осветительное оборудование;

4) высвобождение работников, обслуживающих мелкие котельные и огневые установки;

5) выравнивание суточных и сезонных графиков электрической нагрузки. Использование тепловых нагрузок в качестве потребителей-регуляторов электрических графиков является чрезвычайно эффективным.

В сельском хозяйстве коэффициенты использования установленной мощности и коэффициенты заполнения суточных графиков весьма низки, как в зимнее, так и в летнее время. Применение электрической энергии в тепловых процессах способствует выравниванию общего электропотребления хозяйств и лучшему использованию электросетевого оборудования.

6) уменьшение стоимости передачи электрической энергии от районной подстанции к потребителю с увеличением электропотребления в хозяйствах при электротеплоснабжении;

7) значительное снижение трудоемкости при обслуживании систем электротеплоснабжения по сравнению с обслуживанием индивидуальных и групповых систем;

Вопросы для самоконтроля

1. Основные этапы применения эл. энергии в с.х. производстве.
2. Особенности с.х. предприятий, как объектов теплоснабжения.
3. Преимущества и недостатки электрификации тепловых установок для с.х. Применение электронагревательных установок (ЭНУ) в сельском хозяйстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Багаев, А. А.** Электротехнология [Текст]: учеб. пособие / А. А. Багаев, А.И. Багаев.- Барнаул.: АГАУ, 2006. - 320 с.: ил. – 10000 экз.– ISBN 5-93957-135-2.
2. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз.– ISBN 978-5-9532-0710-2
3. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз.– ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз.– ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 2

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ ВЕЩЕСТВА

2.1 Электротермия. Общие сведения

Электротермия (от электро... и греч. *thérme* - жар, тепло) – это:

- прикладная наука о процессах преобразования электрической энергии в тепловую энергию;
- раздел электротехники, рассматривающий вопросы проектирования, изготовления и эксплуатации электротермических установок;
- отрасль энергетики, охватывающая вопросы потребления электрической энергии для нагрева, фазового преобразования материала или сырья, обогрева в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве, медицине и быту;
- совокупность электротехнологических процессов с использованием теплового действия электрической энергии в различных отраслях народного хозяйства.

В электротермии в зависимости от способа преобразования электрической энергии в тепловую различают следующие виды нагрева: нагрев сопротивлением, дуговой нагрев, индукционный нагрев, диэлектрический нагрев, электронный нагрев, нагрев излучением оптического квантового генератора (лазера), плазменный нагрев. Понятие «электротермические установки» (или «электротермическое оборудование») включает в себя следующее электротехнологическое оборудование: электрические печи, плазменные реакторы, электрические нагревательные приборы промышленного, коммунального и бытового назначения и т.п.. Применение электрической энергии для генерирования теплоты обеспечивает: 1) возможность концентрации большой энергии в малых объемах, следствием чего могут быть высокие температуры, недостижимые при других способах теплогенерации; 2) большие скорости нагрева и компактность конструкции электротермических установок; возможность регулирования значения температуры и областей её распределения в рабочем пространстве электротермической установки, что позволяет осуществлять равномерный нагрев в больших объемах материалов и изделий (при прямом электронагреве) или избирательный нагрев (при поверхностной закалке, при зонной плавке), создавая при этом благоприятные условия для автоматизации теплового и технологического процессов;

3) возможность создания в рабочем пространстве электротермических установок вакуума, что позволяет использовать давление как фактор регулирования параметров технологического процесса (вакуумные или компрессионные электрические печи), применять контролируемые (инертные или защитные) атмосферы для защиты нагреваемых материалов и изделий от вредных воздействий воздуха (и частности, уменьшение угара);

4) отсутствие дымовых газов (продуктов сгорания топлива), что позволяет увеличить коэффициент использования тепла – КПД электротермических установок, обуславливая чистоту их рабочих поверхностей; 5) транспортабельность и простоту подачи электрической энергии (по линиям электропередачи).

Более широкое развитие электротермии сдерживается из-за существующих недостатков, присущих такому способу генерации теплоты:

1) более высокая стоимость эксплуатации электротермических установок по сравнению с другими типами нагревателей и печей;

2) высокая стоимость изготовления, комплектации и эксплуатации электротермического оборудования, а следовательно, большие капитальные затраты, более высокие требования к технической культуре производства, большой

расход дорогих и дефицитных материалов на изготовление электротермического оборудования; 3) меньшая надёжность, долговечность и ремонтпригодность электротермических установок; 4) зависимость работы электротермической установки от режима работы энергосистемы.

2.2 Основы теории электрического нагрева вещества

Электрический нагрев – это нагрев тел или вещества с использованием электрической энергии. При электрическом нагреве в материале создаётся электрическое поле. Способы его образования могут быть различными.

1) Электрическое поле в проводнике создаётся при непосредственном его подключении к источнику Э.Д.С. Под действием поля свободные заряды (ионы, электроны) начинают перемещаться. Сталкиваясь с нейтральными атомами и молекулами, они отдают запас кинетической энергии, который расходуется на увеличение теплового движения частиц, и температура вещества повышается.

2) Электрическое поле в проводнике, расположенном в индукторе, наводится переменным магнитным полем. Наведённое электрическое поле вызывает движение свободных зарядов, энергия которых, как и в первом случае, превращается в теплоту.

3) Электрическое поле в диэлектрике, находящемся в конденсаторе, вызывает движение связанных зарядов, которые под влиянием электрического поля смещаются один относительно другого только в некоторых пределах. Смещение происходит с «трением», что приводит к выделению теплоты. С точки зрения термодинамики, теплота – это мера внутренней энергии системы, связанная с молекулярным (тепловым) движением, не зависящая от механического движения тел или их взаимного расположения. Изменение внутренней энергии происходит под действием внешних факторов и может осуществляться либо затратой работы, либо путём теплообмена. Преобразование электрической энергии в тепловую сопровождается затратой работы (энергии) электромагнитного поля. Существуют два термодинамических обратных пути или две схемы преобразования электрической энергии в тепловую: схема прямого преобразования и схема косвенного преобразования. Прямое преобразование. Принцип прямого преобразования энергии электромагнитного поля в тепловую состоит в том, что энергия поля тем или иным способом передаётся (сообщается) атомам или молекулам нагреваемой среды и расходуется на повышение интенсивности их теплового движения. Косвенное преобразование. Принцип косвенного преобразования состоит в том, что электрическая энергия в тепловую энергию не превращается, а используется лишь для переноса теплоты от одной среды (источника теплоты) к другой (потребителю теплоты), причём температура источника теплоты может быть ниже температуры приёмника.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию «Электротермия».
2. Что изучает «Электротермия»?
3. Какой энергетический баланс в сельском хозяйстве?
4. Перечислите виды нагрева, способы и закономерности преобразования электрической энергии в тепловую.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Багаев, А. А.** Электротехнология [Текст]: учеб. пособие / А. А. Багаев, А.И. Багаев.- Барнаул.: АГАУ, 2006. - 320 с.: ил. – 10000экз.– ISBN5-93957-135-2.

2. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз. – ISBN 978-5-9532-0710-2
3. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз. – ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз. – ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

3.1. Термины и определения электротермии

Электрический нагрев (электронагрев) – раздел науки и техники, изучающий преобразование электроэнергии в термическую энергию для полезных целей.

Электротермический эффект – выделение или поглощение тепловой энергии, обусловленное продольным градиентом температуры при протекании электрического тока через однородный проводник.

Косвенный электронагрев – процесс электронагрева, при котором образующееся тепло передаётся нагревательному материалу.

Прямой электронагрев – процесс электронагрева, при котором ток проходит через нагреваемый материал.

Дуговой нагрев – метод нагрева, в котором тепло производится главным образом одной или несколькими электрическими дугами.

Индукционный нагрев – нагрев тел в электромагнитном поле, осуществляемый за счёт явлений электромагнитной индукции.

Инфракрасный нагрев – метод нагрева, основанный на передаче энергии инфракрасным излучением.

Диэлектрический нагрев – метод нагрева, при котором тепло в основном генерируется в неэлектропроводном теле за счёт движения электрических зарядов на атомном или молекулярном уровне под воздействием электрического поля в диапазоне частот от 1 МГц до 300 МГц.

Нагрев сопротивлением – метод нагрева, в котором теплота образуется эффектом Джоуля-Ленца в электрическом проводнике, соединённом непосредственно с источником электроэнергии.

Нагрев токами сверхвысокой частоты – метод нагрева, при котором тепло, в основном генерируется молекулярным движением и ионной проводимостью в неэлектропроводном материале под действием электромагнитных волн в диапазоне частот между 300 МГц и 300 ГГц (длины волн от 1 м до 1 мм).

Плазменный нагрев – метод нагрева, использующий тепловые и/или электрические свойства ионизированного газа.

Электротермическое оборудование (ЭТО) – устройство, комплект технологических устройств для преобразования электроэнергии в тепловую.

Электротермическая установка (ЭТУ) – установка, состоящая из электротермического, электрического и механического оборудования, необходимого для её работы и применения.

КПД ЭТУ – отношение энергии, преобразованной в полезную теплоту, ко всей электроэнергии, подводимой для получения этой полезной теплоты.

Индуктор электронагревателя (печи) – конструктивный узел, включающий индуктирующий провод.

Камера для нагрева – замкнутая нагреваемая область печи, в которой выполняется термообработка.

Нагревательный элемент – деталь, съёмная или несъёмная, содержащая нагревательный проводник и приспособления, которые образуют самостоятельное устройство.

Нагревательный кабель (провод) – кабель (провод) с жилами высокого электрического сопротивления, предназначенный для обогрева различных объектов.

Электрод – токопроводящая деталь, предназначенная для осуществления контакта со средой, имеющей малую удельную проводимость.

3.2. Классификация электротермических установок

Электротермические установки (ЭТУ) классифицируют по следующим признакам: 1) по роду тока; 2) по частоте тока; 3) по способам теплопередачи; 4) по технологическому назначению; 5) по способу превращения электрической энергии в тепловую и другим признакам; 6) по напряжению питания; 7) по рабочей температуре. Классификация электротермических установок по способу превращения электрической энергии в тепловую (рис. 1): 1) нагрев сопротивлением; 2) нагрев электрической дугой; 3) нагрев в переменном магнитном поле – индукционный способ; 4) нагрев в переменном электрическом поле – диэлектрический способ; 5) нагрев электронным пучком; 6) нагрев квантами (инфракрасный, лазерный способы нагрева); 7) плазменный нагрев.

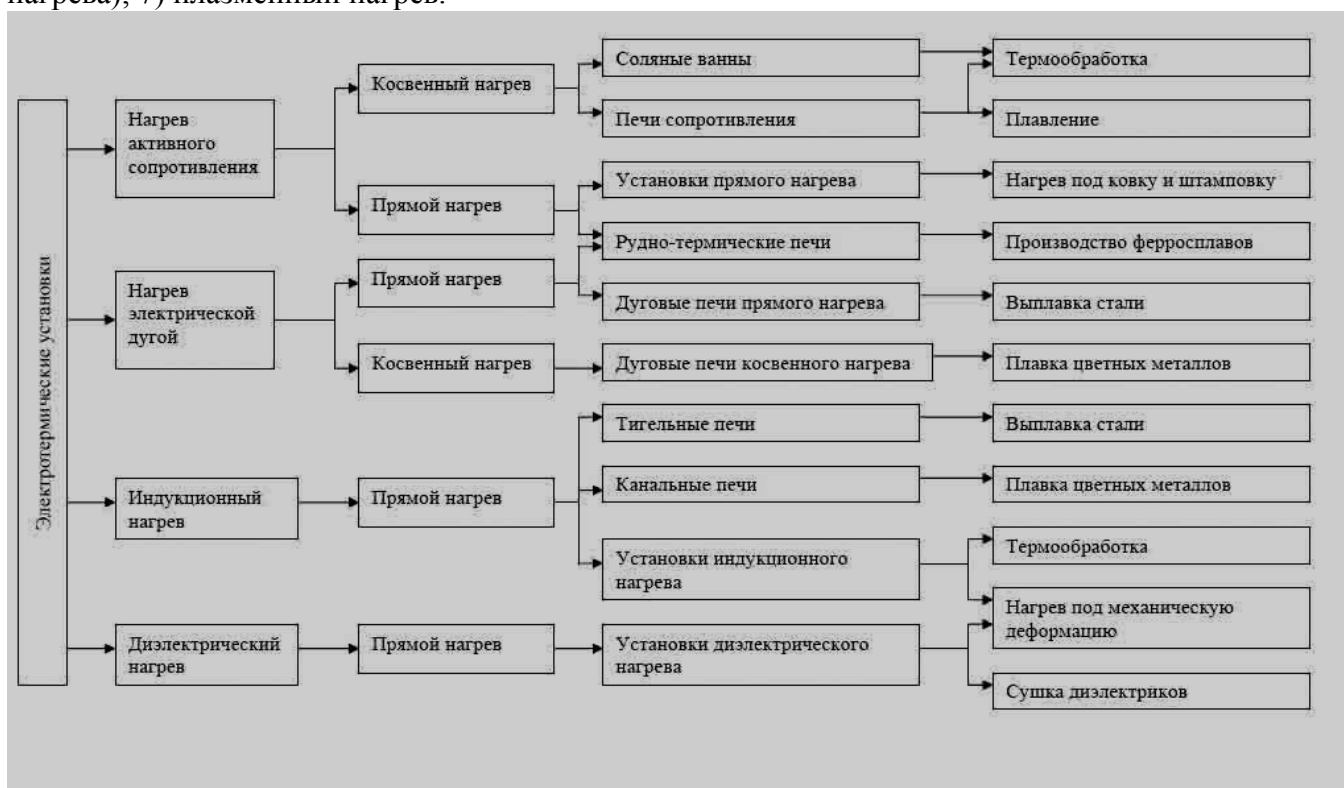


Рис.3.1 Классификация электротермических установок

Классификация электротермических установок по роду тока: 1) постоянного тока; 2) переменного тока. Классифицируют электротермические установки по частоте тока: 1)

промышленной частоты (50 Гц); 2) повышенной частоты; 3) высокой частоты; 4) сверхвысокой частоты. По виду нагрева электротермические установки можно разделить на 2 группы: 1) прямого нагрева; 2) косвенного нагрева. Электротермические установки по режиму работы делят на 2 группы: 1) непрерывного действия; 2) периодического действия. По рабочей температуре электротермические установки классифицируют на: 1) низкотемпературные 2) среднетемпературные 3) высокотемпературные.

Электротермические бывают напряжением: 1) до 1кВ; 2) свыше 1кВ; 3) безопасного напряжения. По технологическому назначению электротермические установки классифицируют на: 1) универсальные; 2) специальные.

3.3. Задачи и содержание проектирования электротермических установок

Электротермические установки предназначены для выполнения определённых технологических операций и, следовательно, при их проектировании определяющими являются именно технологические требования.

Задача такого проектирования – создание действующего электротермического оборудования, которое обеспечивает данный технологический процесс с максимальным использованием возможности установок и минимальные приведённые затраты, создаёт условия для наибольшей производительности труда обслуживающего персонала, соответствует правилам техники безопасности, правилам устройства и эксплуатации электроустановок.

Приступая к проектированию ЭТУ, необходимо иметь, прежде всего, техническое задание, совместно разработанное и согласованное с технологами и инженерами. В техническом задании оговаривается назначение электротермической установки, её производительность, температурные режимы, скорость нагрева, условия эксплуатации, требования техники безопасности, особенности окружающей среды, условия электроснабжения, требования к автоматизации, пределы регулирования мощности. Различают поверочный и конструктивный (проектный или полный) расчёт электротермических установок.

Поверочный расчёт выполняют для определения паспортных данных электротермической установки при их отсутствии или для установления возможности использования готовой установки в конкретных, отличающихся от паспортных, условиях эксплуатации.

Полный расчёт электротермической установки включает в себя тепловой, электрический, аэродинамический, гидравлический и механический.

Тепловой расчёт проводят с целью определения технических данных установок (мощности, температуры поверхности нагревательных элементов, интенсивности теплоотдачи, параметров тепловой изоляции, теплового КПД), обеспечивающих технологические требования, которые определяют по единой для всех электротермических установок методике.

Электрический расчёт тесно связан с тепловым и состоит в выборе напряжения питания, рода тока, частоты, в определении геометрических размеров нагревателя, электрического КПД и коэффициента мощности, разработке схемы управления и способа регулирования мощности. Аэродинамический расчёт связан с нахождением расхода воздуха (газа), проходящего через установку, выбором вентиляторов, определением сечения воздухопроводов и размеров распределительных решёток. От правильности решения этого вопроса зависит теплоотдача нагревательных элементов, а, следовательно, срок службы, тепловой и электрический КПД.

Гидравлический расчёт выполняют для определения расхода жидкости через установку, выбора насоса и сечения трубопровода.

Механический расчёт проводят с целью определения геометрических размеров установки, массы, материалоемкости и её механической прочности.

В рассматриваемом курсе более подробно будут рассмотрены вопросы теплового и электрического расчёта электротермических установок.

Вопросы для самоконтроля

1. Термины, применяемые в электротермии.
2. Классификация электротермических установок.
3. Задачи и содержание проектирования электротермических установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Багаев, А. А.** Электротехнология [Текст]: учеб. пособие / А. А. Багаев, А.И. Багаев.- Барнаул.: АГАУ, 2006. - 320 с.: ил. – 10000 экз.– ISBN 5-93957-135-2.
2. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз.– ISBN 978-5-9532-0710-2
3. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз.– ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз.– ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 4

ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОНАГРЕВА

4.1. Основы динамики электронагрева

Процессы нагрева электротермических установок, их отдельных элементов и нагреваемых материалов являются динамическими.

Рассмотрим процесс изменения температуры электротермической установки или нагреваемого материала во времени. Для простоты допустим, что:

1) электротермическая установка или нагреваемый материал представляют собой однородные тела и обладают бесконечно большой теплопроводностью, поэтому температура во всех их точках одинакова; тепловой поток в окружающую среду пропорционален разности температур электротермической установки и окружающей среды.

2) теплоёмкость, теплоотдача и мощность электротермической установки или материала от температуры не зависят;

3) температура окружающей среды в процессе разогрева не изменяется.

Дифференциальное уравнение теплового баланса за время $d\tau$ имеет вид:

$$P \cdot d\tau = c \cdot d\theta + \alpha \cdot F \cdot \theta \cdot d\tau,$$

где $P \cdot d\tau$ – подводимая тепловая энергия или теплота, выделяющаяся в нагревателе установки; $c \cdot d\theta$ – часть теплоты, выделяющаяся в материале (и идущая на повышение его температуры) или запасаемая в элементах электротермической установки; $\alpha \cdot F \cdot \theta \cdot d\tau$ – часть теплоты, рассеиваемая в окружающую среду.

Разделив переменные, получим:

$$d\tau = \frac{c \cdot d\theta}{P - \alpha \cdot F \cdot \theta}.$$

Проинтегрировав выражение и определив постоянную интегрирования из нулевых начальных условий получим, что время нагрева равно:

$$\tau = \frac{c}{\alpha \cdot F} \cdot \ln \frac{P}{P - \alpha \cdot F \cdot \theta}.$$

Величина постоянной интегрирования T называется постоянной времени нагрева и может быть определена как

$$T = \frac{c}{\alpha \cdot F} = \frac{c_m \cdot M}{\alpha \cdot F}.$$

Тогда выражение примет вид:

$$\tau = T \cdot \ln \frac{P}{P - \alpha \cdot F \cdot \theta}.$$

Превышение температуры нагрева при условии, что разогрев идёт из холодного состояния, определяется по формуле:

$$\theta = \frac{P}{\alpha \cdot F} \cdot (1 - e^{-\tau/T}) = \theta_{уст} (1 - e^{-\tau/T}).$$

Временные характеристики процессов нагрева и охлаждения показаны на рис. 4.1.

Экспоненциальный характер изменения превышения температуры при нагреве и охлаждении свидетельствует о том, что их скорости изменяются во времени.

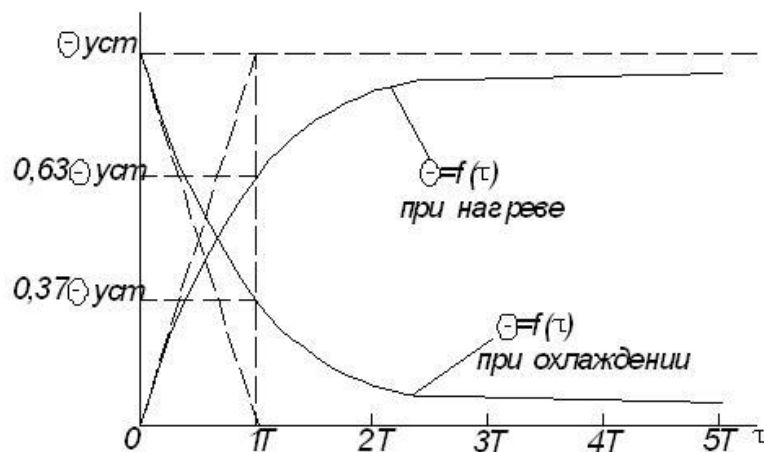


Рис. 4.1. Характер изменения превышения температуры во времени при нагреве и охлаждении

4.2 Определения мощности и основных конструктивных размеров электротермической установки

Мощность электротермической установки может быть определена по следующему выражению:

$$P_{уст} = \frac{k_z \cdot P_{потр}}{\eta_z \cdot \eta_m},$$

где k_z – коэффициент запаса; $P_{потр}$ – потребляемая мощность, Вт; η_z – электрический к.п.д. установки; η_m – тепловой (термический) к.п.д. установки.

Коэффициент запаса ($k_z = 1,1 \dots 1,3$) учитывает уменьшение фактической мощности электротермической установки вследствие снижения питающего напряжения, старения материалов нагревателей, а также возможное отклонение условий эксплуатации от расчётных значений. Потребная электротермической установкой мощность:

$$P_{потр} = P_{пол} + P_{всп} + P_{пот},$$

где $P_{пол}$ – полезная тепловая мощность, Вт; $P_{всп}$ – мощность, идущая на нагрев вспомогательных устройств, Вт; $P_{пот}$ – мощность тепловых потерь, Вт.

Для электротермической установки периодического действия полезная теплота:

$$Q_{пол} = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1),$$

где V – объём материала, m^3 ; ρ – плотность материала, kg/m^3 ; c – удельная теплоёмкость материала, $Dж/kg \cdot ^\circ C$; t_2 – конечная заданная температура, $^\circ C$; t_1 – начальная температура.

Полезная мощность:

$$P_{пол} = \frac{Q_{пол}}{\tau} = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\tau},$$

где τ – время нагрева, с.

4.3. Определение теплового КПД

Общий КПД электротермических установок:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{э}} \eta_{\text{т}}.$$

Электрический КПД зависит главным образом от способа электронагрева. Термический КПД показывает, какая часть тепловой энергии, выделенной в нагревателе ЭТУ, идёт на повышение теплосодержания материала.

Для практических расчётов термический КПД можно определить по формулам:

$$\eta_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{пол}} + Q_{\text{всп}} + Q_{\text{пот}}},$$

$$\eta_{\text{т}} = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{пол}} + P_{\text{всп}} + P_{\text{пот}}},$$

4.4 Электроконтактная сварка

При электроконтактной сварке нагрев производят пропусканием через место сварки тока достаточной величины. При такой сварке места соприкосновения деталей нагреваются до температуры плавления путём пропускания через них электрического тока. Переходное сопротивление в месте соприкосновения деталей значительно превосходит значения их сопротивлений, поэтому сами детали от тока нагреваются очень мало, тогда как в стыках выделяется большое количество энергии.

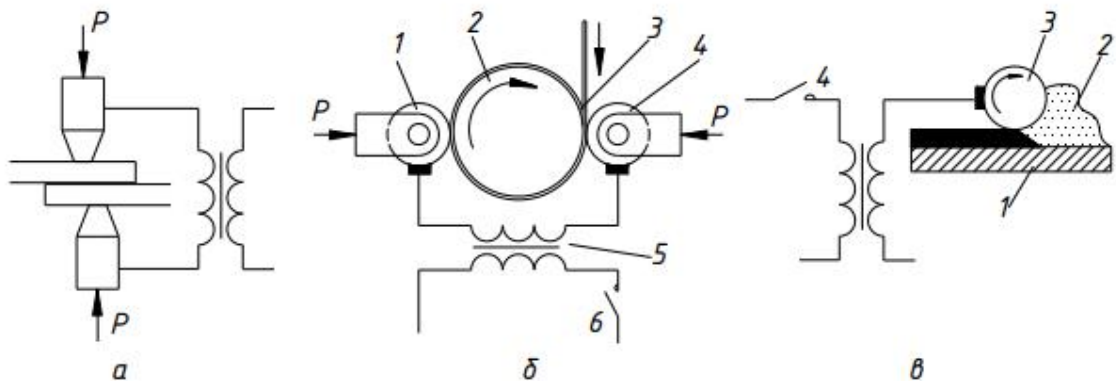


Рис. 3.3. Электроконтактная сварка: а) точечная; б) роликовая (при наплавке, приварке) в) роликовая (при припекании)

Стыковая сварка подразделяется на два вида: с оплавлением и без оплавления. При сварке без оплавления детали с обработанными концами приводят в соприкосновение и сжимают значительными усилиями. После этого через детали пропускают ток. За счет контактного сопротивления в месте стыка возникает концентрированное выделение тепла и при достижении определенной температуры пластические свойства металла становятся достаточными для сварки. При окончании цикла сварки сначала снимают ток, потом осадочное давление. При стыковой сварке оплавлением нагрев деталей производится до полного оплавления их поверхностей (стыков). Процесс имеет 3 стадии: предварительный подогрев, оплавление, окончательная осадка (либоторько 2 последние стадии).

В начальный момент детали сжимают для обеспечения надежного контакта и пропускают электрический ток. Таким образом, обеспечивают быстрый разогрев до необходимой температуры (для стали 600-800 °С).

После этого давление некоторым образом снижают. Соответственно увеличивается сопротивление контакта и сварной ток падает. Ухудшение контакта приводит к тому, что линии тока концентрируются в этот период времени в немногих точках соприкосновения. В этих точках концентрируются большие мощности, и начинается оплавление. Контактирующие выступы разрушаются. Весьма скоро оплавляется поле свариваемой поверхности. После этого увеличивают осадочное давление и детали можно сварить. При этом избыток расплавленного металла выдавливается из контакта. Грат (венчик) содержит большое количество окислов. Он механически непрочен и легко удаляется со сваренного стыка. Сварка плавлением имеет ряд преимуществ по сравнению со сваркой без оплавления. Она дает гораздо большую прочность шва, не требует предварительной зачистки торцов детали, позволяет сваривать сечения сложной формы, детали из разнородных металлов. Недостатком такого вида сварки является потеря металла с гратом. Стыковая сварка применяется для сварки проволоки, арматуры, всевозможных колец, ободов, цепей, труб, рельсов. Большое значение данный вид сварки имеет в производстве твердоплавленного инструмента.

Вопросы для самоконтроля

1. Основы динамики электронагрева.
2. Определение мощности электротермической установки.
3. Определение теплового КПД . Электроконтактная сварка. Стыковая сварка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Багаев, А. А.** Электротехнология [Текст]: учеб. пособие / А. А. Багаев, А.И. Багаев.- Барнаул.: АГАУ, 2006. - 320 с.: ил. – 10000экз.– ISBN5-93957-135-2.
2. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз.– ISBN 978-5-9532-0710-2
3. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз.– ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз.– ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 5

ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫЙ НАГРЕВ. ЭЛЕКТРОДНЫЙ НАГРЕВ

5.1 Электроконтактный нагрев

Электроконтактный нагрев связан с преобразованием электрической энергии в теплоту непосредственно в металлическом нагреваемом изделии (детали) и применяется при нагреве заготовок или деталей из чёрных и цветных металлов, для термической обработки (закалка, отпуск, отжиг), а так же с целью контактной электрической сварки давлением. Электроконтактный нагрев деталей простой формы (валов, осей, лент) (рис. 5.1) используют при их термической и механической обработке. Деталь (заготовку) 1 включают в электрическую цепь и нагревают протекающим по ней электрическим током. Так как сопротивление детали мало, то для нагрева необходим ток большой силы, который подводят к ней при помощи массивных медных или бронзовых зажимов (контактов) 3 и 4.

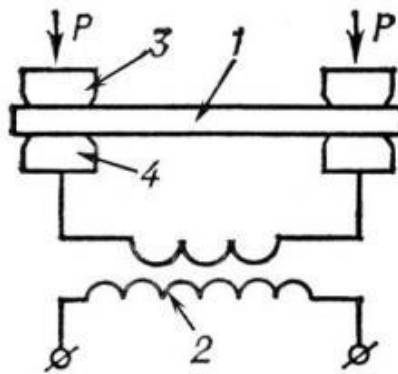


Рис. 3.2. Простейшая схема установки для электроконтактного нагрева

Количество теплоты при электроконтактном нагреве, выделяемое в единицу времени, т.е. мощность:

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R} .$$

5.2. Поверхностный эффект

Так как сопротивление металлических тел с хорошей проводимостью небольшое, для прямого их нагрева требуются значительные токи (сотни и тысячи ампер) при напряжении всего $U = 5 \dots 25$ В. Поэтому для этих целей применяют переменный ток благодаря относительной простоте получения низкого напряжения. Но при протекании переменного тока у металлических деталей появляется поверхностный эффект, заключающийся в неравномерном распределении плотности тока по сечению проводника, которая экспоненциально уменьшается по направлению к его оси, т.е.

$$j_x = j_m \cdot e^{-x/z_0} ,$$

где j_x – плотность тока в слое проводника на расстоянии x от поверхности, А/мм²; j_m – плотность тока в слое проводника на поверхности проводника, А/мм²; Z_0 – эквивалентная глубина проникновения тока, м.

При глубине проникновения тока $x = z_0$, считается, что в этом слое выделяется около 90% общего количества теплоты. Эквивалентная глубина проникновения тока – расстояние от поверхности проводника, на котором плотность тока в $e = 2,71$ раза меньше, чем на поверхности

$$z_0 = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r \cdot f}},$$

где μ_r – магнитная проницаемость материала проводника.

5.3. Электродный нагрев. Материалы электродов

В электродных нагревателях материал с ионной проводимостью, заключённый между электродами, образует проводник, в котором при протекании электрического тока выделяется теплота, используемая для нагрева воды, молока, почвы и т.д. Применяется в основном переменный ток, т.к. при постоянном токе возникает электролиз. Но и на переменном токе надо работать при небольших плотностях тока (т.к. при больших всё равно возникает электролиз), максимальное значение которых зависит от конфигурации применяемых электродных систем и их пространственного расположения.

Электродный нагрев отличается простотой реализации, высоким КПД, невысокой стоимостью материалов и оборудования. Но одновременно с этим он обладает рядом недостатков:

- 1) нагреваться могут только электропроводящие материалы;
- 2) в процессе нагрева значительно изменяется мощность;
- 3) повышенная электроопасность;
- 4) под действием проходящего тока изменяется качество нагреваемого материала, что не допустимо, например, для продуктов питания.

В качестве материала электродов можно использовать различные проводники, но они должны противостоять коррозии и не давать токсичных оксидов. Поэтому используют следующие материалы: 1) для технических целей: конструкционную сталь и латунь; 2) для пищевых целей: графит, нержавеющую сталь и титан.

Вопросы для самоконтроля

1. Электроконтактный нагрев деталей.
2. Поверхностный эффект при нагреве.
3. Основы электродного нагрева. Материалы электродов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Багаев, А. А.** Электротехнология [Текст]: учеб. пособие / А. А. Багаев, А.И. Багаев.- Барнаул.: АГАУ, 2006. - 320 с.: ил. – 10000 экз. – ISBN 5-93957-135-2. ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз. – ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 6

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДНЫХ УСТРОЙСТВ

6.1 Электродные системы нагревателей

В нагревателях небольшой мощности используют пару плоских электродов, в мощных – трёхфазные системы, состоящие из нескольких электродов.

Наиболее распространены электродные системы (см. рис. 6.1):

- а) из электродов изогнутых под углом 120° ;
- б) из коаксиальных (цилиндрических) электродов;
- в) из плоских электродов, но для обеспечения симметричной нагрузки питающей сети принимают число электродов равное $3n+1$, где n – целое число.

Схема замещения зависит от конструкции систем и способности материала ёмкости (бака) проводить электрический ток. Если ёмкости изготовлены из электроизоляционного материала, то схемы замещения соединения электродных систем рис. 3.4 «а» и «б» представляют собой «треугольник», а «в» – «звезду». В том случае если используются электропроводящие емкости, то все схемы замещения – «звёзды».

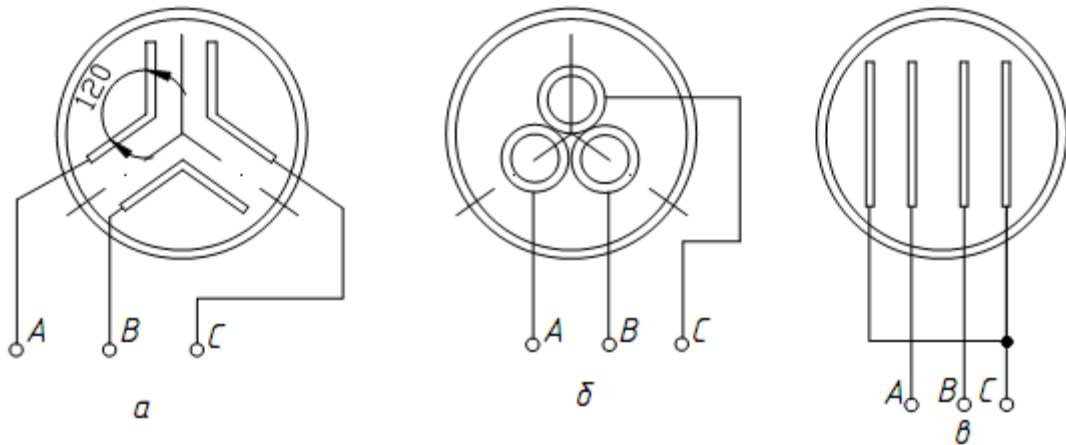


Рис. 6.1. Электродные системы изготовленные: а – из электродов, изогнутых под углом 120° ; б - из коаксиальных цилиндрических электродов; в - из плоских электродов

Если рассмотреть устройство с одной парой плоских электродов, то её мощность составляет:

$$P = \frac{U^2 \cdot \gamma \cdot S}{l},$$

где U – межэлектродное напряжение, В; γ – удельная электрическая проводимость, $\text{См} \cdot \text{м}^{-1}$; S – площадь электрода, м^2 ; l – расстояние между электродами, м.

Так как $U = \text{const}$; $S = \text{const}$ и $l = \text{const}$, а изменяется только удельная электрическая проводимость в процессе нагрева, то с учётом формулы мощность в зависимости от температуры нагрева можно определить как (для $\gamma = 0,025 \text{ 1/}^\circ\text{C}$):

$$P = P_{20} \cdot \frac{(t + 20)}{40}.$$

При закипании воды мощность нагревателя снижается, т.к. уменьшается удельная электрическая проводимость за счёт образования пузырьков.

6.2 Допустимая плотность тока на электродах и напряжённость электрического поля

Так как электропроводность большинства материалов, подлежащих электродному нагреву, объясняется наличием в них воды, то максимальная плотность тока на электродах и в соприкасающихся с ними объёмах нагреваемого материала ограничивается условиями недопустимости процесса электролиза. Предельная плотность тока, не приводящая к электролизу, зависит от конструкции электродных систем. В электротермических установках периодического действия при $U = \text{const}$ плотность тока не остаётся постоянной в процессе нагрева. Она возрастает из-за уменьшения удельного электрического сопротивления при увеличении температуры. В электротермических установках непрерывного действия плотность тока (j) изменяется только в первоначальный период, т.е. когда стабилизируется температура выходящего из нагревателя продукта. Плотность тока определяется значением удельного электрического сопротивления при напряжении $U = \text{const}$; площади электродов $S = \text{const}$ и расстоянии между электродами $l = \text{const}$. Напряжённость электрического поля в нагреваемом материале, зависящая от U и l , во время работы остаётся неизменной.

6.3 Расчёт электродных нагревательных устройств

При расчёте электродных нагревательных устройств определяют требуемую мощность и конструктивные параметры электродной системы. Требуемую мощность находят с учётом технологических условий, которые характеризуют производственный процесс. Для нагревателей периодического действия такими параметрами являются: объём нагреваемого материала V (м^3), удельная теплоёмкость c ($\text{Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$), плотность материала σ (кг/м^3), удельное электрическое сопротивление ρ ($\text{Ом} \cdot \text{м}$), время нагрева τ (с), начальная t_1 и конечная t_2 температуры ($^\circ\text{C}$), термический к.п.д. η_t . Для нагревателей непрерывного действия задаётся производительность L ($\text{м}^3/\text{с}$) установки.

И тогда:

$$P_{\text{номр}} = \frac{P_{\text{пол}}}{\eta_m}.$$

Это выражение справедливо лишь для нагревателей непрерывного действия. Для нагревателей периодического действия при возрастании мощности от P_1 при температуре t_1 до P_2 при t_2 . Значение мощности определяется удельным сопротивлением материала при соответствующих температурах.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{t_1 + 20}{t_2 + 20}.$$

$$P_{\text{номр}} = \frac{P_1 + P_2}{2}.$$

Мощность P_2 определяется как

$$P_2 = \frac{2P_{номп}}{1 + \left(\frac{t_1 + 20}{t_2 + 20}\right)}.$$

Расчётная мощность:

- для однофазных нагревателей:

$$P_{расч} = P_2.$$

- для трёхфазных нагревателей:

$$P_{расч} = \frac{1}{3} P_2.$$

Расчётный ток нагревателя:

$$I_{расч} = \frac{P_{расч}}{U}.$$

При использовании нагревателей в виде двух плоскопараллельных пластин, размещённых в ёмкости из электроизоляционного материала (при $j < j_{доп}$) рабочая площадь, $см^2$, каждого из электродов:

$$S = \frac{I_{расч}}{j}.$$

По значению рабочей площади электродов S , с учётом конструктивных ограничений, определяют высоту – h (см) и ширину b (см) электродов так, чтобы $h \cdot b = S$, а межэлектродное расстояние, см:

$$l = \frac{U^2 \cdot S}{\rho_2 \cdot P_{расч}},$$

где ρ_2 - удельное электрическое сопротивление материала при t_2 , Ом·см.

Определяют действительную напряжённость электрического поля E и сравнивают с её допустимым значением $E_{доп}$.

Для цилиндрических коаксиальных электродов определяют площадь S внутреннего электрода. Приняв один из параметров h (высоту электродов) или d_2 (диаметр внутреннего электрода), рассчитывают другой параметр как $S = \pi \cdot d_2 \cdot h$. Затем находят диаметр внешнего электрода:

$$d_1 = d_2 \cdot e^{2\pi \cdot h \cdot U^2 / P_{расч} \cdot \rho_2} .$$

Межэлектродное расстояние:

$$l = \frac{d_1 - d_2}{2} .$$

При расчёте однофазных нагревателей непрерывного действия:

$$P_{расч} = P_{потр} .$$

Для трёхфазных:

$$P_{расч} = \frac{1}{3} P_{потр} .$$

Конструктивные их параметры рассчитывают по среднему значению удельного электрического сопротивления ($\rho_{ср}$) материала:

$$\rho_{ср} = \frac{40 \rho_{20}}{t_{ср} + 20} ,$$

$$t_{ср} = \frac{t_1 + t_2}{2} .$$

Вопросы для самоконтроля

1. Электродные системы нагревателей.
2. Допустимая плотность тока на электродах и напряжённость электрического поля.
3. Расчёт электродных нагревательных устройств

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Багаев, А. А.** Электротехнология [Текст]: учеб. пособие / А. А. Багаев, А.И. Багаев.- Барнаул.: АГАУ, 2006. - 320 с.: ил. – 10000 экз.– ISBN 5-93957-135-2.
2. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз.– ISBN 978-5-9532-0710-2
3. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз.– ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз.– ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 7 КОСВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОНАГРЕВ

7.1 Косвенный электронагрев сопротивлением. Требования к материалам нагревательных элементов и их конструкции

Основным узлом ЭТУ, реализующим косвенный нагрев методом сопротивления, являются нагревательные элементы. Материал нагревательных элементов выбирают в зависимости от значения рабочей температуры ($t_{\text{раб}}$) и условий работы. Эти материалы, прежде всего, должны быть: 1) жаростойкими; 2) жаропрочными; 3) технологичными.

Кроме перечисленных, добавляются так же специфические требования, обусловленные особенностями работы электронагревательных элементов:

1. Жаростойкость, т.е. они не должны окисляться под действием кислородного воздуха, высоких температур.

2. Достаточная жаропрочность может быть невелика, достаточно, чтобы нагреватели поддерживали сами себя.

3. Большое удельное сопротивление. Это объясняется тем, что тонкие и длинные нагреватели не прочны, не удобны конструктивно, имеют малый срок службы.

4. Малый температурный коэффициент сопротивления (ТКС). Это необходимо для того, чтобы сократить пусковые толчки тока. Толчки могут достигать 4...5 кратного значения и длиться длительное время из-за большой инерционности печи.

5. Электрические свойства нагревателей должны быть постоянны.

6. Нагреватели должны иметь постоянный размер.

7. Материалы должны хорошо обрабатываться.

Основные материалы, из которых изготавливаются нагревательные элементы ЭТУ – это, прежде всего, следующие сплавы:

- хромникелевые (нихромы);
- хромалюминиевые (фехрали);
- хромникельалюминиевые (нихром с алюминием).

Наиболее применяемые и отвечающие требованиям это нихромы: Х20Н80; Х15Н60; Х25Н20; Х23Н18 и т.д. Чем больше никеля в сплаве, тем выше его качество и рабочая температура, но одновременно с этим они и дороже.

У фехралей более низкая стоимость, но прочность при высоких температурах хуже. Более высокая прочность у фехралей -хромникельалюминиевые сплавы (Х15Н60Ю3А). В ЭТУ с рабочими температурами $t_{\text{раб}} > 1250^{\circ}\text{C}$ применяют неметаллические нагреватели из графита, тугоплавких металлов и т. д.

Температурный коэффициент сопротивления нагревателей, изготовленных из обычной стали, большой, жаростойкость и жаропрочность невысокие, сопротивление зависит от значения протекающего по ним тока. Однако, они дешевы и недефицитны, поэтому их применяют для ЭТУ низкотемпературного нагрева ($300...400^{\circ}\text{C}$).

Нагревательные элементы по конструктивному исполнению разделяются на: 1) открытые; 2) закрытые; 3) герметические.

1) Открытые электронагреватели изготавливают из металлических сплавов в виде ленты или проволоки, свёрнутых в спираль или зигзагообразно. Их крепят на керамических жаропрочных изоляторах в рабочем пространстве ЭТУ. Теплота передаётся конвекцией и излучением. Чем выше температура нагрева, тем большая часть энергии инфракрасного излучения передаётся нагреваемому материалу.

2) Закрытый нагреватель находится в защищённой оболочке.

Теплота передаётся в основном конвекцией. Следует также отметить, что открытые и закрытые нагреватели просты по конструкции и имеют невысокую стоимость, но меньше срок службы.

3) Герметические нагреватели или ТЭН.

7.2 Трубчатые электрические нагреватели

Трубчатые электронагреватели (ТЭН) применяют для нагрева воды, воздуха, растворов электролитов и других сред. ТЭН можно размещать непосредственно в нагреваемой среде.

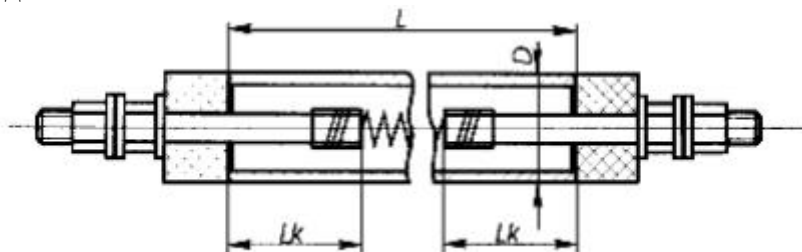


Рис. 7.1 ТЭН, где показано: D - диаметр оболочки; L - развернутая длина ТЭН; Lk - длина контактного стержня в заделке

ТЭН состоит из (рис.7.1): 1) тонкостенной металлической трубки (оболочки); 2) нагревательной спирали, изготовленной из проволоки с большим удельным электрическим сопротивлением; 3) наполнителя (периклазкристаллический оксид магния, или кварцевый песок); 4) контактных стержней; 5) изоляторов; 6) креплений. Контактные стержни и проходные изоляторы надёжно герметизируют термовлагостойким лаком.

В качестве материала оболочки обычно используют: 1) медь; 2) латунь; 3) углеродистая и нержавеющая сталь.

Для рационального размещения ТЭНов в рабочей зоне электротермической установке им придают различную форму и устанавливают при помощи крепёжных устройств (штуцеров, планок и т.п.).

Примеры условного обозначения трубчатых электронагревателей различных типов:

ТЭН-60 В 13/1,25 J 220:

60 – развернутая длина, см; В – условное обозначение длины контактных стержней, мм (А – 40мм; В – 65мм; С – 100 мм; D – 125 мм; Е – 165 мм; F – 250 мм; G – 400 мм; H – 630 мм); 13 – диаметр, мм; 1,25 – номинальная мощность, кВт; J – условное обозначение нагреваемой среды и материала оболочки (таблица 1); 220 – номинальное напряжение, В.

Н 1 Ж 2 3

Н – нагреватель; 1 – В – воды; ВС – воздуха; ММ – масла; Ж – с жаропрочной оболочкой; 2 – развёрнутая длина, м; 3 – номинальная мощность, кВт.

ТЭН – 123/456

Т – трубчатый; Н – нагреватель; Э – электрический; 1 - развёрнутая длина, см; 2 – условное обозначение длины контактного вывода (А; Б; В; Г; Д; Е; Ж; З), мм (40, 65, 100, 125, 160, 250, 400, 630 мм); 3 – наружный диаметр оболочки, мм; 4 - номинальная мощность, кВт; 5 - условное обозначение нагреваемой среды (П; Р; Х вода, слабый раствор щелочей и кислот; Т; С; О; К; Э; Н – воздух, газы, окиси газов; И – пищевые жиры и минеральные масла; Ф – легкоплавкие металлы, олово, свинец и т.д.); 6 – номинальное напряжение, В.

Вопросы для самоконтроля

1. Косвенный электронагрев сопротивлением. Требования к материалам нагревательных элементов и их конструкции.
2. Конструкция трубчатых электрических нагревателей.
3. Условное обозначение трубчатых электрических нагревателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Багаев, А. А.** Электротехнология [Текст]: учеб. пособие / А. А. Багаев, А.И. Багаев.- Барнаул.: АГАУ, 2006. - 320 с.: ил. – 10000экз.– ISBN5-93957-135-2.
2. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз.– ISBN 978-5-9532-0710-2
3. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз.– ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз.– ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 8

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

8.1. Электрический расчет нагревательных элементов

Цель электрического расчёта нагревателей – определение их размеров (сечение и длины).

Исходные данные для расчёта: напряжение питания $U_{\text{пит}}$; мощность одного нагревателя P_n ; условия работы нагревательных элементов, температурный режим.

Расчёт нагревателей основан на совместном решении, связывающих электрические и тепловые параметры нагревателей:

$$P_n = \frac{U_n^2}{R_n} = \frac{U_n^2 \cdot S}{\rho \cdot l},$$

а также уравнение теплообмена при теплопередаче:

- теплопроводностью

$$P_n = \lambda \cdot (t_2 - t_1) \cdot \frac{F_T}{l} = P_{\text{удт}} \cdot F_T.$$

- конвекцией

$$P_n = \alpha_k \cdot (t_2 - t_1) \cdot F_k = P_{\text{удк}} \cdot F_k.$$

- излучением

$$P_n = 5.7 c_{\text{нр}} \cdot \left(\left(\frac{t_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_1}{100} \right)^4 \right) \cdot F_u = P_{\text{уди}} \cdot \alpha_l \cdot F_u,$$

где α_l – коэффициент эффективности излучения нагревателей; $P_{\text{удт}}$; $P_{\text{удк}}$; $P_{\text{уди}}$ – удельные поверхностные мощности нагревателей при теплообмене теплопроводностью, конвекцией, излучением, Вт/м².

Удельная поверхностная мощность определяется:

$$P_{\text{удт}} = \lambda \cdot (t_2 - t_1) / l$$

$$P_{\text{удк}} = \alpha \cdot (t_2 - t_1)$$

$$P_{\text{уди}} = \omega_u \cdot \alpha_k$$

Обозначим в общем случае удельную поверхностную мощность нагревателя $P_{\text{уд}}$, а основные размеры определяем из следующих уравнений:

$$\left. \begin{aligned} R_n &= \frac{U^2}{P_n} = \rho \cdot \frac{l}{S} \\ P_{\text{уд}} &= \frac{P_n}{F} = \frac{P_n}{\Pi \cdot l} \end{aligned} \right\}.$$

Тогда

$$l = \frac{U^2 \cdot S}{P_n \cdot \rho} = \frac{P_n}{P_{yd} \cdot \Pi}.$$

$$\Pi \cdot S = \frac{P_n^2 \cdot \rho}{U^2 \cdot P_{yd}}.$$

В этом случае можно определить диаметр нагревателя круглого сечения:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4P_n^2 \cdot \rho}{\pi^2 \cdot U^2 \cdot P_{yd}}}.$$

По расчётному значению диаметра d подбирают ближайший, больший стандартный диаметр проволоки нагревателя. Длина же выбранного провода определяется по формуле:

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho} = \sqrt[3]{\frac{P_n \cdot U^2}{4\pi \cdot \rho \cdot P_{yd}^2}}.$$

Для ленточного нагревателя, у которого площадь поперечного сечения и поперечный периметр равны:

$$S = a \cdot b; \quad \Pi = 2 \cdot (a + b) = 2 \cdot (m + 1) \cdot a,$$

где $m = b/a$ – a – толщина ленты; b – ширина ленты.

Расчётная толщина нагревателя прямоугольного сечения:

$$a = \sqrt[3]{\frac{P_n^2 \cdot \rho}{2U^2 \cdot m \cdot (1 + m)P_{yd}}}.$$

По найденному значению толщины ленты a подбирают стандартную ленту длиной:

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho} = \sqrt[3]{\frac{P_n \cdot U^2 \cdot m}{4(m + 1)^2 \rho \cdot P_{yd}^2}}.$$

При рабочей температуре $t_{\text{раб}} > 700^\circ\text{C}$ рекомендуется применять для открытых нагревательных элементов проволоку диаметром $d > 5\text{ мм}$ и ленту толщиной $a > 1,5\text{ мм}$, так как малое сечение из-за окисления материала приводит к значительному сокращению срока службы нагревателей.

Основные параметры можно рассчитать упрощённо с использованием таблиц по значениям рабочего тока и расчётной температуре. Температуру рабочей поверхности нагревателя $t_{\text{раб}}$ принимают такой, чтобы она была больше технологически необходимой температуры материала.

Для расчёта открытого нагревателя круглого сечения используют следующие выражения:

$$I = \frac{P}{U} .$$

$$t_{\text{раб}} = t_{\text{расч}} .$$

По $t_{\text{расч}}$ и $I_{\text{раб}}$ по таблице определяют S сечение (мм²) и диаметр d (мм) проволоки.

Нагревательный провод может быть намотан в виде спирали или уложен равномерно на керамический каркас и защищён пластинами из жаропрочного электроизоляционного материала или металла, что повышает температуру элементов. Чтобы выбрать сечение нагревателя, находят расчётную температуру по формуле:

$$t_{\text{расч}} = t_{\text{раб}} \cdot k_{\text{монтажа}} \cdot k_{\text{среды}} ,$$

где k_m — коэффициент монтажа, учитывающий ухудшение условий охлаждения нагревателя из-за его конструктивного исполнения; k_c — коэффициент среды, учитывающий улучшение фактических условий охлаждения нагревателя по сравнению с неподвижной воздушной средой.

8.2 Особенности расчёта стальных нагревателей

В низкотемпературных электротермических процессах сельскохозяйственного производства очень часто используют нагреватели изготавливаемые из стали благодаря дешевизне и доступности этого материала для производства нагревательных элементов.

Существенным недостатком стальных нагревателей является нестабильность таких параметров, как: электрическое сопротивление, температурный коэффициент сопротивления, магнитная проницаемость.

Это объясняется наличием поверхностного эффекта и внутренней индуктивности из-за чего электрическое сопротивление таких проводников из углеродистой стали на переменном токе больше, чем на постоянном. Степень влияния поверхностного эффекта зависит от геометрических размеров, удельного электрического сопротивления и магнитной проницаемости среды. Из-за перечисленных выше факторов, и из-за внутренней индуктивности $\cos \varphi$ меньше единицы.

Полное сопротивление нагревателя из стали можно определить по формуле:

$$Z = \frac{R \cdot k_n}{\cos \varphi} ,$$

где $k_n = 1 + 0,0176 d^2$ — коэффициент поверхностного эффекта (для $d = 1 \dots 6$ мм, и удельной мощности $P_{уд} = 20 \dots 100 \text{ Вт/м}$).

Тогда длина стального провода, используемая для нагревательного элемента, может быть рассчитана по следующей формуле :

$$l = \sqrt[3]{\frac{P \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi}{4\pi \cdot \rho \cdot P_y^2 \cdot k_{II}}} .$$

Вопросы для самоконтроля

1. Электрический расчет нагревательных элементов теплопроводностью.
2. Электрический расчет нагревательных элементов конвекцией.
3. Электрический расчет нагревательных элементов излучением.
4. Особенности расчета стальных нагревателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Багаев, А. А.** Электротехнология [Текст]: учеб. пособие / А. А. Багаев, А.И. Багаев.- Барнаул.: АГАУ, 2006. - 320 с.: ил. – 10000 экз.– ISBN 5-93957-135-2.
2. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз.– ISBN 978-5-9532-0710-2
3. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз.– ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз.– ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 9

НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРОВОДА И КАБЕЛИ

9.1 Нагревательные провода и кабели. Общие сведения.

В низкотемпературных процессах сельскохозяйственного производства, где рабочая температура не превышает 40°C и применение других нагревателей затруднено по условиям электробезопасности, по технологическим требованиям или по другим причинам, например, для обогрева почвы и воздуха в парниках и теплицах, для обогрева пола, для прогрева водопроводов на вводе в помещения, водостоков, карнизов и др., применяют специальные электронагревательные провода и кабели. К ним относятся нагревательные провода ПОСХП, ПОСХВ, ПНВСВ, ПОСХВТ и кабели КНРПВ, КНРПЭВ, КНМСС, КМЖ, КМНС и др.

Токопроводящая жила нагревательных проводов изготовлена из оцинкованной малоуглеродистой стали диаметром 1,1 мм (ПОСХП, ПОСХВ), 1,2 мм (ПНВСВ) и 1,4 мм (ПОСХВТ). В качестве электроизоляции используют поливинилхлорид (ПОСХВ, ПОСХВТ) и полиэтилен (ПОСХП). Максимальная рабочая температура нагрева проводов типа ПОСХП составляет 70°C, ПНВСВ - 80°C, ПОСХВ - 70°C, ПОСХВТ - 105°C. При этом электрическое сопротивление проводов ПОСХП и ПОСХВ составляет 0,174 Ом/м, ПОСХВТ - 0,120 Ом/м и ПНВСВ - 0,121 Ом/м, а удельная погонная мощность не должна превышать при обогреве полов и почвы 11 Вт/м для проводов ПОСХП и ПОСХВ и 16 Вт/м – для ПОСХВТ и ПНВСВ. В проводе ПНВСВ имеется дополнительная изоляция из фторопластовой ленты, экран из стальных проволочек диаметром 0,3 мм и наружная поливинилхлоридная оболочка, что увеличивает его срок службы в 4...5 раз и безопасность в эксплуатации.

Нагревательные кабели могут иметь до трёх токопроводящих жил. Их изолируют асбестом, силиконом, кристаллическим оксидом магния, переклазом и другими теплостойкими материалами. Снаружи кабель покрыт оболочкой из свинца, алюминия, меди, нержавеющей стали или поливинилхлоридного пластика, предохраняющей его от механических повреждений и от воздействия окружающей среды.

В сельском хозяйстве широко применяют для локального обогрева съемные электрообогревательные плиты, панели, коврики, грелки, манежи и другие устройства. В них используют нагревательные провода, кабели, угольнографитовые шнуры и ленты, а также резистивные композиционные материалы.

Нагревательные провода, кабели, ленты и другие устройства применяют в рассредоточениях тепловых процессах, относящихся к низкотемпературным (5...40°C) с низкой плотностью тепловых нагрузок (100...1000 Вт/м²) и выполняемых на значительных площадях и на протяженности обогреваемых объектов. Область применения этих нагревательных устройств непрерывно растет. Поэтому в последнее время разработаны и изготавливаются новые типы подобных нагревателей в широком диапазоне их номенклатуры и ассортимента. К ним относятся нагревательные провода типов: ПНСФсЭФ, ПННФсЭФ, ПНМФсЭФ с удельной мощностью 30 Вт/м и максимальной температурой жилы 200°C ; ПНСВ, ПНСП, ПНСФЭВ, ПНМФЭМ, ПНМФЭВ с удельной мощностью 20...50 Вт/м и максимальной рабочей температурой 80°C...200°C и др.

Для изготовления нагревательных секций систем электрического обогрева строительных конструкций зданий и жилых помещений предназначены нагревательные кабели марок КНМПЭВ, КННПЭВ, КННмПЭВ, КННсПЭВ, с

рабочей температурой ниже 80°C; нагревательные кабели КНЛЛЭВ, КНЛсПЭВ, КНФНФЭ с удельной мощностью 20...40 Вт/м и др.

Нагревательные кабели типа КМЖ, КМНС, КНРПВ, КНРПЭВ имеют 1...4 нагревательные жилы из стальной оцинкованной проволоки или сплавов с повышенным сопротивлением, допустимая температура нагрева жилы 250°C, линейное сопротивление 0,11 Ом/м, удельная мощность до 109 Вт/м, напряжение 220 В.

9.2. Гибкие ленточные нагреватели

Гибкие ленточные нагреватели (плоские кабели) марок ЭНГЛ-80, ЭНГЛ-190 допускают температуру соответственно 85 и 180°C, имеют по восемь нагревательных жил, расположенных в одной плоскости в изолирующей стекловолнистой ленте. Лента с жилами заключена в пластиковую оболочку. Жилы могут соединяться параллельно, последовательно и т.д. Линейная мощность 40...100 Вт/м, линейное сопротивление 0,5...1,0 Ом/м. Там, где требуется высокая интенсивность нагрева, используют теплостойкие ленточные нагреватели типа НТЛ, допускающие температуру 400...600°C и линейную нагрузку 150...360 Вт/м, напряжение до 380 В.

Выпускаются также гибкие ленточные нагреватели типа ЭНГЛ-1, ЭНГЛ-2, ЭНГЛУ-400, ЭНГКЕх мощностью 0,16...5,0 кВт и температурой нагрева ленты 23...400°C. Ленточные нагреватели являются изделиями различной мощности и размеров и не подлежат резке в размер.

В настоящее время начинают широко внедряться в электронагревательных установках саморегулирующиеся кабели. Это сравнительно новое направление в области нагревательных кабелей. Их производство стало возможным в связи с разработкой пластмасс и резистивных композиционных материалов, обладающих электропроводящими свойствами, изменяющимися в зависимости от их температуры. Принцип работы саморегулирующихся кабелей следующий.

Если на две токоподводящие жилы подается напряжение, по токопроводящей пластмассе начинает течь ток. Пластмасса нагревается, температура её повышается и растёт сопротивление, следовательно, уменьшается ток, а значит, уменьшается и выделяемая тепловая мощность.

Процесс стабилизируется, и кабель будет выделять постоянную теплоту до тех пор, пока вновь не изменится температура кабеля, например, в результате изменения внешней температуры. Так, кабель *devi-pipeguaga* красного цвета используется для защиты от промерзания крыш и водостоков, а также для обогрева наружных площадей, удельная мощность 26 Вт/м при 10°C, сечение токоведущих жил 2×1,5 мм², максимальная длина кабеля выбирается из тех соображений, что ток, протекающий по нему, не должен превышать 16 А. Кабель *devi-hotwatt-55* используется для поддержания необходимой температуры жидкости в технологических процессах, равной 55°C. Кабель используется совместно с терморегулятором, имеющем верхний предел ограничения температуры.

Нашли широкое применение и саморегулирующиеся нагревательные кабели ленточного типа *Heat Trace* различных модификаций FSL.../ФЕЛ... - промышленный саморегулирующийся электронагревательный кабель ленточного типа, предназначенный для различных условий эксплуатации, различной мощности и температуры, как нагрева, так и окружающей среды.

Вопросы для самоконтроля

1. Нагревательные провода, применяемые в электротехнологических установках установках.
2. Нагревательные кабели, применяемые в электротехнологических установках установках.
3. Саморегулирующиеся нагревательные кабели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Багаев, А. А.** Электротехнология [Текст]: учеб. пособие / А. А. Багаев, А.И. Багаев.- Барнаул.: АГАУ, 2006. - 320 с.: ил. – 10000экз.– ISBN5-93957-135-2.
2. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз.– ISBN 978-5-9532-0710-2
3. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз.– ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз.– ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 10 ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАГРЕВ

10.1 Свойства и характеристики электрической дуги

Дуговой разряд – это устойчивый самостоятельный электрический разряд в газах или парах металла, характеризующийся большой плотностью тока, низким падением напряжения на катоде и высокой температурой канала разряда. В ЭТУ возбуждение дуги происходит при первоначальном касании электродов, к которым подведено напряжение. В момент короткого замыкания электроды разогреваются. При отводе электродов за счёт термоэлектронной ионизации газа возникает электрическая дуга, представляющая собой сильно ионизированную смесь газов и паров материала анода и катода. Канал дуги по длине неоднороден и состоит из трёх последовательных участков: 1) прикатодный (-); 2) основной столб дуги; 3) прианодный участок (+).

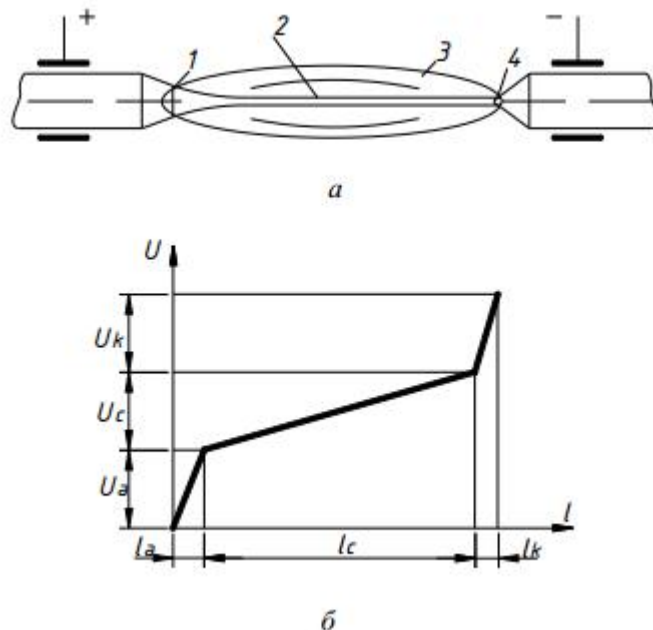


Рис. 10.1. Электрическая дуга (а) постоянного тока и распределение напряжения (б) на ее элементах: 1 – анодный кратер; 2 – столб дуги; 3 – светящаяся оболочка; 4 – катодное поле.

Длина прикатодного участка около 10^{-6} м, напряженность электрического поля равна $E_{\text{эл.поле}} = 10^7 \dots 10^8 \text{ В/м}$, катодное падение напряжения $10 \dots 20 \text{ В}$ (в зависимости от рода тока, материала электрода, состояния газа). Температура прикатодного участка составляет $T_{\text{катода}} = 2500 \dots 2800 \text{ К}$. Длина анодного участка более 10^{-6} м, анодное падение напряжения $U_a = 2 \dots 6 \text{ В}$, а температура на участке достигает $T_{\text{анода}} = 2700 \dots 4500 \text{ К}$.

В основном столбе дуги напряженность электрического поля $E = 1500 \dots 5000 \text{ В/м}$, температура $T_{\text{столба}} = 6000 \dots 12000 \text{ К}$, а концентрация ионов – 10^{24} 1/м^3 , т.е. можно заключить, что столб дуги представляет собой плазму с очень высокой плотностью.

Горение дуги сопровождается следующими эффектами:

- большим выделением теплоты на электродах. На этом основана работа электродуговых печей прямого нагрева и техника электродуговой сварки;

- мощным лучистым потоком в оптическом диапазоне спектра электрических магнитных колебаний. Это свойство используется в электродуговых печах косвенного нагрева и в газоразрядных источниках оптического излучения.

Электрическая дуга, как потребитель электрической энергии, достаточно полно характеризуется статической вольт-амперной характеристикой (ВАХ) $U_d = f(I_d)$, которую можно разбить на область малых токов (до 80...100А); средних токов (100...800А); высоких токов (больше 800А).

В I области ВАХ имеет падающий вид. Это объясняется тем, что с увеличением тока дуги I_d площадь поперечного сечения и удельное электрическое сопротивление дуги ρ_d увеличивается быстрее чем ток. При этом плотность тока j и напряжённость электрического поля E уменьшаются.

Во II области напряжение на дуге практически не зависит от силы тока, т.к. площадь поперечного сечения столба увеличивается пропорционально току.

В III области. При больших токах возрастание силы тока не сопровождается пропорциональным ростом катодного пятна. ВАХ дуги получается возрастающей.

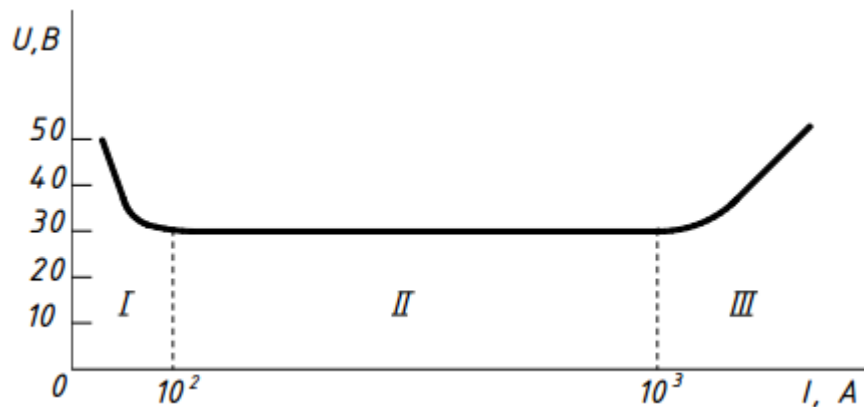


Рис. 10.2. Статическая вольт-амперная характеристика дуги постоянного тока

10.2. Режимы сварки

Швы сварных соединений в зависимости от взаимного расположения деталей подразделяют на стыковые, угловые, тавровые и нахлесточные. Форма и размеры шва зависят от режима сварки. При ручной дуговой сварке основными параметрами режима являются диаметр электрода, значения тока и напряжения, род и полярность тока, скорость сварки.

Для высокой производительности сварочного процесса и получения качественного соединения дуга должна гореть устойчиво. Это зависит от многих факторов, среди которых основное значение имеют характеристики источников питания и наличие в материале свариваемых деталей и электродов — элементов с малым потенциалом ионизации. Для повышения устойчивости горения дуги переменного тока в флюсы вводят элементы с низким потенциалом ионизации — калий, кальций, натрий. Однако все же на постоянном токе дуга горит надежнее. Поэтому качество сварного шва, выполненного на постоянном токе, выше, чем на переменном.

При выборе значения сварочного тока необходимо помнить, что с его увеличением возрастает количество выделенной теплоты и повышается давление дуги. При этом глубина провара возрастает. Большой ток повышает скорость плавления электрода и приводит к образованию швов с повышенной напряженностью металла.

Значение сварочного тока определяется также видом соединения: тавровые и нахлесточные соединения выполняют большим током по сравнению со стыковым.

С уменьшением диаметра электрода при неизменной силе тока возрастает плотность тока, стабилизируется перемещение дуги в направлении шва, выделяющаяся теплота концентрируется на меньшей площади свариваемого металла и, следовательно, уменьшается глубина провара.

Для дуги постоянного тока можно использовать ток прямой и обратной полярности. В первом случае минус источника присоединяют к электроду, во втором – к свариваемому изделию. Ток обратной полярности применяют в тех случаях, когда требуется уменьшить выделение теплоты на свариваемом изделии.

При сварке постоянным током прямой полярности глубина провара на 10...50% меньше, а при сварке переменным током – на 15...20%, чем при сварке постоянным током обратной полярности. Скорость сварки существенно влияет на формирование основных характеристик шва. При скорости 10...12 м/ч увеличивается провар, а при более высоких скоростях уменьшаются глубина и ширина провара.

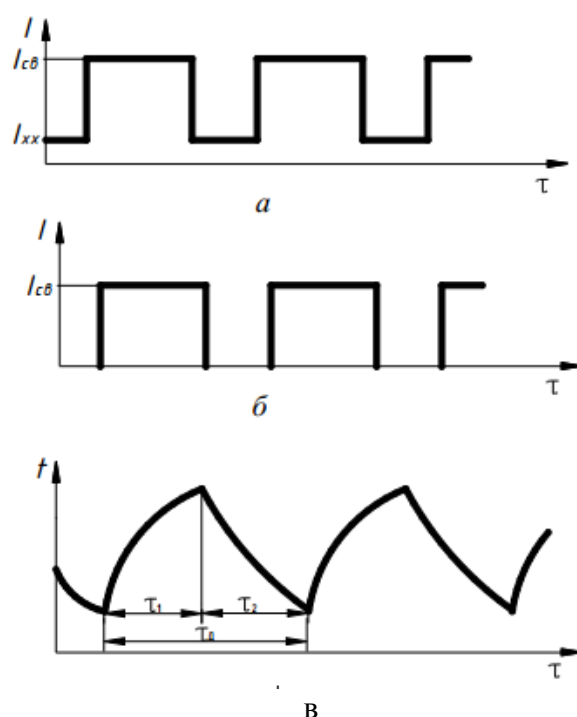


Рис. 10.3 Нагрузочные графики источников питания сварочной дуги при работе (а) и отключении (б) ее на холостом ходу, изменения температуры (в) источников питания

Номинальным режимом работы источников питания обычной дуговой сварки, как правило, является режим с $ПР = 60\%$ или $ПВ = 65\%$ при длительности цикла 5 мин. Общая продолжительность цикла нормируется, так как на температуру обмоток влияет абсолютное значение времени τ_1 горения дуги.

Если источник питания работает при $ПР$, меньшем или большем номинального (паспортного) значения, то допустимый сварочный ток будет соответственно больше или меньше номинального:

$$I = I_n \cdot \sqrt{ПР_n / ПР} .$$

10.3 Источники питания сварочной дуги

Источники питания сварочной дуги подразделяют по следующим основным признакам:

- роду сварочного тока – на источники переменного (сварочные трансформаторы) и постоянного (преобразователи, агрегаты, выпрямители) тока;
- числу одновременно подключаемых сварочных постов – на одно- и многопостовые;
- способу установки – на стационарные и передвижные.

Необходимая для устойчивого горения дуги индуктивность сварочной цепи на переменном токе может быть получена либо в трансформаторе, либо включением в цепь дуги реактивной катушки.

Индуктивность обеспечивает получение крутопадающей характеристики источника и возможность его настройки на заданный режим. В зависимости, от способа создания в цепи дуги индуктивного сопротивления трансформаторы могут быть с увеличенным магнитным рассеянием без реактивной катушки и нормальным магнитным рассеянием в сочетании с реактивной катушкой.

На рисунке 10.4, а показана электромагнитная схема трансформатора с увеличением магнитным рассеянием, а на рисунке 10.4, б – распределение магнитных потоков. В трансформаторах установлен сердечник стержневого типа. Первичная W1 и вторичная W2 обмотки разнесены по высоте магнитопровода. При прохождении тока по обмоткам возникают магнитные потоки, основная часть которых (создаваемая намагничивающее силой первичной и вторичной обмоток) замыкается по стержню магнитопровода ФТ, а другая – по воздуху, образуя потоки рассеяния ФР1 и ФР2. Потоки рассеяния наводят в трансформаторе реактивную ЭДС, определяющую его индуктивное сопротивление, которое регулируют, изменяя магнитное сопротивление на пути потоков рассеяния. Это достигается при раздвижении катушек по высоте магнитопровода, размещении первичной и вторичной обмоток на разных стержнях сердечника, установке в окне магнитопровода подвижного или неподвижного магнитного шунта. В трансформаторах типов ТС, ТСК и ТД с подвижными катушками первичная и вторичная обмотки расположены вдоль стержня магнитопровода на некотором расстоянии одна от другой. Магнитное рассеяние регулируют, изменяя расстояние между обмотками. Выпрямители с крутопадающими внешними характеристиками применяют для ручной дуговой сварки. К этой группе относятся выпрямители типов ВСС, ВКС и ВД.

Например, выпрямители типа ВСС представляют собой сварочную установку, состоящую из понижающего трансформатора Т (рис. 10.5), блока селеновых выпрямителей VD1...VD6, электродвигателя М вентилятора для принудительного охлаждения и аппаратуры управления, смонтированной в общем кожухе. Трехфазный понижающий трансформатор выполнен с увеличенным магнитным рассеянием, что обеспечивает создание семейства падающих характеристик. Сварочный ток регулируют переключением первичной и вторичной обмоток с треугольника на звезду, а также изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками.

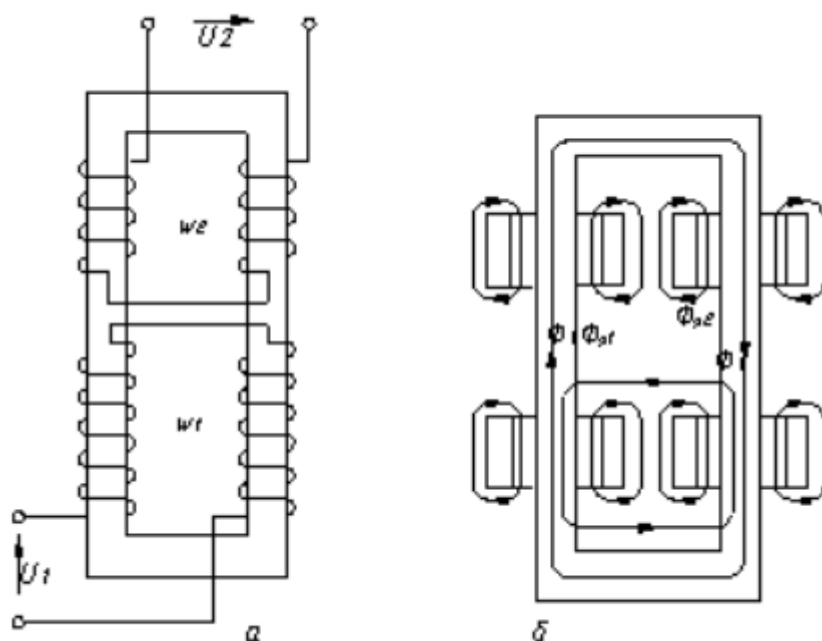


Рис. 10.4. Электромагнитная схема сварочного трансформатора с повышенным (а) магнитным рассеянием и распределение (б) магнитных потоков

Для получения крутопадающей внешней характеристики и регулирования тока в некоторых конструкциях сварочных выпрямителей используют дроссель насыщения, включенный между трансформатором с нормальным рассеянием и выпрямительным блоком. Сварочный ток регулируют, изменяя намагничивание дросселя.

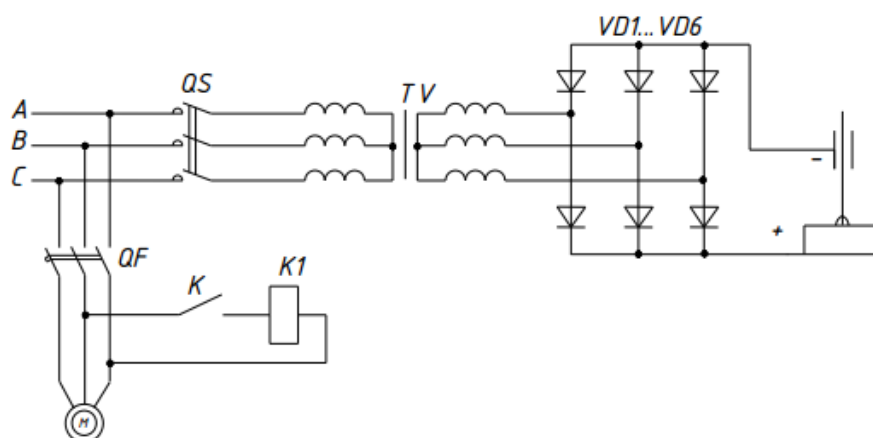


Рис. 10.5. Электрическая схема сварочного выпрямителя

Вопросы для самоконтроля

1. Свойства и характеристики электрической дуги.
2. Режимы сварки.
3. Источники питания сварочной дуги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Багаев, А. А.** Электротехнология [Текст]: учеб. пособие / А. А. Багаев, А.И. Багаев.- Барнаул.: АГАУ, 2006. - 320 с.: ил. – 10000экз.– ISBN5-93957-135-2.
2. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз.– ISBN 978-5-9532-0710-2
3. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз.– ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз.– ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 11 ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ

11.1 Особенности индукционного нагрева и его основные физические закономерности

Индукционный нагрев металлов основан на двух законах физики: законе электромагнитной индукции Фарадея – Максвелла и законе Джоуля – Ленца. Металлические тела (заготовки, детали и др.) помещают в переменное магнитное поле, которое возбуждает в них вихревое электрическое поле. ЭДС индукции определяется скоростью изменения магнитного потока, а сама зависимость представляет собой интегральную форму закона электромагнитной индукции:

$$e = - \frac{\partial \Phi}{\partial \tau}$$

Под действием ЭДС индукции в телах протекают вихревые (замкнутые внутри тел) токи, выделяющие теплоту по закону Джоуля – Ленца. Рассмотренные превращения энергии электромагнитного поля в отличие от нагрева методом сопротивления позволяют передать электрическую энергию индуктора в нагреваемый материал бесконтактно, а также выделить теплоту непосредственно в нагреваемом предмете. Чтобы уяснить особенности электромагнитных процессов при индуктивном нагреве и выявить факторы, определяющие распространение электромагнитного поля в проводящей среде, следует подробно разобраться, что же происходит при падении плоской электромагнитной волны на однородное металлическое тело.

Электромагнитная волна несет энергию, определяемую вектором плотности потока мощности или вектором Пойнтинга. В комплексной форме вектор Пойнтинга:

$$\dot{S} = \left| \dot{E} \cdot \dot{H}^* \right|$$

где \dot{E} - комплекс амплитуды напряженности электрического поля, \dot{H}^* - сопряженный комплекс амплитуды магнитного поля.

При проникновении в проводящую среду электромагнитная волна ослабляется по экспоненциальному закону:

$$E = E_0 \cdot e^{-\frac{z}{z_0}},$$

$$H = H_0 \cdot e^{-\frac{z}{z_0}},$$

где E и H - амплитуды напряженности электрического и магнитного полей в глубине проводящего материала; E_0 и H_0 - амплитуды напряженности электрического и магнитного полей на поверхности проводящего материала; z - расстояние от поверхности проводника, м; z_0 - эквивалентная глубина проникновения электромагнитного поля, м.

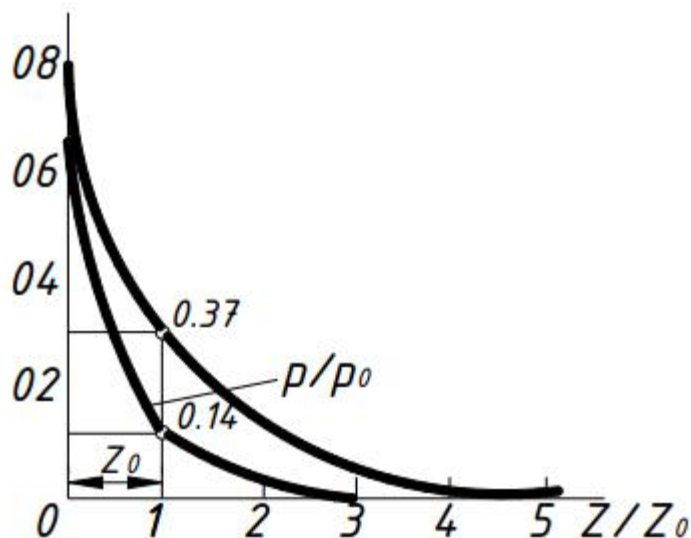


Рис. 11.1. График распространения электромагнитного поля и проводящей средой

11.2 Индукторы

Установки индукционного нагрева широко применяют на различных ремонтных предприятиях. Токи средней и высокой частоты используют для сквозного нагрева деталей перед горячей деформацией, при восстановлении их методами наплавки, металлизации и пайки, а также для поверхностной закалки деталей и других технологических операций.

Основным элементом такого рода устройства является индуктор.

Индукторы в зависимости от назначения и формы нагреваемого изделия бывают: 1) цилиндрические; 2) овальные; 3) щелевые; 4) стержневые; 5) плоские; 6) петлевые.

Изделия прямоугольной формы нагревают в овальных, плоских и петлевых индукторах. Для цилиндрических деталей используют индукторы практически всех типов. Цилиндрические индукторы наиболее просты по конструкции и надёжны в эксплуатации, а их общий КПД достаточно высок. Конструктивно индуктор состоит из:

- многovitкового индуктирующего провода из медной трубки или медной шинки;
- токопроводящих шин;
- контактных колодок;
- устройство для подачи воды, охлаждающий индуктор.

В индукторах для сквозного нагрева изделий используется тепловая изоляция.

В настоящее время применяют для низкотемпературного нагрева индуктор типа «многовитковый индуктор в ферромагнитной трубе». Они используются для обогрева полов, панелей и стен в животноводческих помещениях, для обогрева почвы и воздуха в парниках и теплицах. Такой нагреватель представляет собой ферромагнитную трубу, внутри которой расположена индуктирующая одно- или многожильная обмотка, выполняемая из стержней, установочного провода или контрольного кабеля. Ферромагнитная труба является одновременно приёмником энергии магнитного поля и генератором теплоты, служит несущей конструкцией и защищает обмотку индуктора от механических повреждений. Переменный магнитный поток Φ , создаваемый индуктирующей обмоткой нагревателя, наводит

в ферромагнитной трубе вихревые токи, которые нагревают её. В трубе выделяется 80...85% всей тепловой энергии, в индукторе – 15...20%. Благодаря последовательному соединению жил обмотки индуктора нагреватель может подключён на сетевое напряжение. В зависимости от материала и диаметра труб, воздушного зазора между обмоткой индуктора и трубой коэффициент мощности нагревателя составляет $\cos \varphi = 0,88...0,92$.

Нагреватели с индуктором, охватывающие снаружи нагреваемое изделие, применяют для обогрева трубопроводов, нагрева воды и т.д. Нагреватель состоит из ферромагнитной трубы (или корпуса), на наружную поверхность которой наматывается индуктирующая одно- или многослойная обмотка, выполненная из провода с теплостойкой изоляцией. Нагреватели изготавливают в однофазном и трехфазном исполнении. В зависимости от технологических требований нагреватель можно подключать на пониженное или сетевое напряжение. Используют также нагреватели трансформаторного типа, которые применяют при теплоснабжении и горячем водоснабжении животноводческих, производственных и бытовых помещений.

11.3 Режимы индукционного нагрева

Установки индукционного нагрева работают в двух режимах –глубинном и поверхностном, различающихся характером распределения температуры в нагреваемых деталях.

На рисунке 11.2 показано распределение температуры при нагреве детали на глубину z_k . Индекс «к» говорит о том, что на этой глубине температура металла превышает точку магнитных превращений. Эквивалентную глубину z_{0k} проникновения тока в этом случае называют горячей.

Кривая 1 соответствует режиму $z_k < z_{0k}$, называемому глубинным, так как теплота выделяется во всем слое глубиной z_{0k} . Кривая 2 соответствует поверхностному режиму $z_k > z_{0k}$. Здесь теплота выделяется лишь в поверхностном слое глубиной z_{0k} , а внутренние слои называются так главным образом за счет теплопроводности.

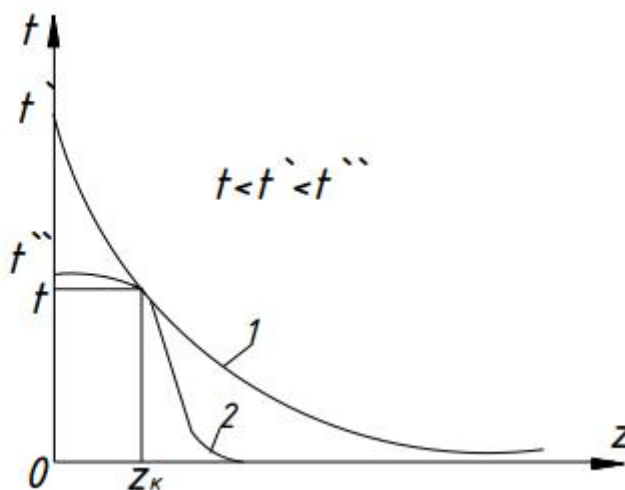


Рис. 11.2 Распределение температуры по сечению нагреваемого материала при индукционном нагреве: 1 и 2 – глубинный и поверхностный нагрев.

Из анализа графиков распределения температуры видно, что при поверхностном нагреве большое количество теплоты тратится на нагрев внутренних слоев,

находящихся за слоем z_k . Температура за этим слоем падает более полого, чем при глубинном нагреве, следовательно, и КПД ниже. Происходит это из-за увеличения времени нагрева, которое становится примерно таким же, как и при нагреве с внешними источниками теплоты – при плазменном нагреве, нагреве в печах сопротивления и др. Очевидно, что для повышения КПД установки следует стремиться к глубинному нагреву по всей толщине нагреваемого слоя.

Чтобы обеспечить глубинный режим на требуемой толщине нагреваемого материала, необходимо правильно выбирать частоту питающего тока.

При индукционном сквозном нагреве с постоянной удельной мощностью нижний предел частоты определяется необходимостью обеспечения достаточно высокого термического КПД, а верхний – требуемой скоростью нагрева. При нагреве изделий цилиндрической формы частота тока f должна быть в следующих пределах:

$$\frac{3 \cdot 10^8 \cdot \rho_2}{d_2^2 \cdot \mu_2} < f < \frac{6 \cdot 10^8 \cdot \rho_2}{d_2^2 \cdot \mu_2},$$

где ρ_2 – удельное сопротивление нагреваемого металла, Ом·см; μ_2 – относительная магнитная проницаемость металла; d_2 – диаметр нагреваемой детали, см.

В сельском хозяйстве применяют прямой и косвенный индукционный нагрев.

Прямой нагрев реализуют установки, используемые в ремонтно-механических мастерских для сквозного и поверхностного нагрева металлических деталей.

Сквозному нагреву подвергают металл перед последующей горячей деформацией (ковкой, штамповкой, прокаткой, прессовкой), а также для сварки. Поверхностный нагрев применяют для закалки трущихся поверхностей стальных деталей, чтобы уменьшить их износ. При этом в поверхностном слое повышается твердость металла, а внутренние слои не изменяют свою структуру, обеспечивая мягкость и вязкость сердцевины детали. Для закалки поверхностные слои детали необходимо нагреть до температуры выше точки магнитных превращений, а затем быстро охладить. Конструкция индуктора для сквозного нагрева металлических деталей определяется их размерами и формой. Наиболее распространены индукторы, предназначенные для нагрева цилиндрических деталей и выполненные из индуктирующего провода в виде соленоида. Чтобы снизить электрические потери, при изготовлении индуктора используют хороший проводниковый материал, например электролитическую медь.

При конструировании индукторов учитывают, что сила тока в индукторе достигает тысяч ампер, а электрические потери в нем составляют 25...30% полезной мощности установки. Чтобы предотвратить перегрев индуктора, его выполняют из медной, охлаждаемой водой трубки круглого и прямоугольного сечения. Многовитковые индукторы для сквозного нагрева присоединяют при помощи шин непосредственно к источнику питания. Для питания индукторов, используемых для поверхностного нагрева с целью закалки деталей или инструмента и состоящих из одного-двух витков, требуется низкое напряжение. В сельскохозяйственном производстве применяют также косвенный индукционный нагрев на частоте 50 Гц. При этой частоте сокращается расход энергии и снижаются капитальные затраты, поскольку не требуется преобразователь частоты. Косвенный индукционный нагрев используют для технологического обогрева: металлических трубопроводов и емкостей, полов животноводческих и птицеводческих помещений, почвы в парниках и теплицах.

Вопросы для самоконтроля

1. Особенности индукционного нагрева и его основные физические закономерности
2. Индукторы.
3. Режимы индукционного нагрева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Багаев, А. А.** Электротехнология [Текст]: учеб. пособие / А. А. Багаев, А.И. Багаев.- Барнаул.: АГАУ, 2006. - 320 с.: ил. – 10000 экз.– ISBN 5-93957-135-2.
2. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз.– ISBN 978-5-9532-0710-2
3. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз.– ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз.– ISBN 5-7011-0508-3

Лекция 12 ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ

12.1 Основы диэлектрического нагрева и его особенности

Диэлектрический нагрев используют для нагрева непроводящих материалов (диэлектриков), а также полупроводников и проводников II рода. Нагрев происходит в высокочастотном электрическом (электромагнитном) поле вследствие поляризации сред и протекания токов сквозной проводимости.

В диэлектриках процессы поляризации сопровождаются движением (смещением) связанных зарядов, которые есть не что иное, как ток электрического смещения. Плотность тока смещения определяется скоростью изменения вектора электрической индукции \vec{D} .

$$\vec{J} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial \tau}.$$

Диэлектрик, подлежащий нагреву, помещают между металлическими обкладками конденсатора, подключенного к источнику переменного тока. Мощность, Вт/м³, выделяемая в единице объема нагреваемого диэлектрика, определяется выражением, при подстановке в которое $\epsilon_0 = 1/4\pi \cdot (9 \cdot 10^9)$ Ф/м:

$$P_v = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot E_2 \cdot \epsilon_r \cdot \operatorname{tg} \delta.$$

Из уравнения следует, что диэлектрическая проницаемость ϵ_r и тангенс угла потерь $\operatorname{tg} \delta$ – основные характеристики диэлектрика, определяющие его нагрев в переменном электрическом поле. Они зависят от частоты f изменения электрического поля, его напряженности, температуры диэлектрика и некоторых других факторов. Характер зависимости ϵ_r и $\operatorname{tg} \delta$ от частоты показан на рисунке 12.1.

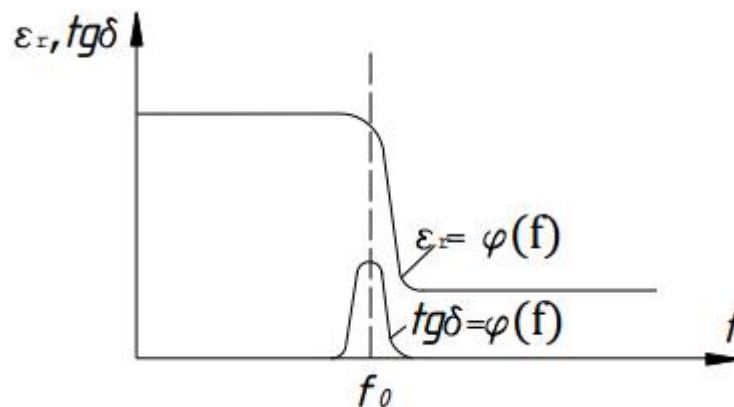


Рис. 12.1. Зависимость ϵ_r и $\operatorname{tg} \delta$ от частоты

При низких частотах смещение зарядов в диэлектрике (поляризация) успевает следовать за изменениями электрического поля, поэтому поглощение энергии незначительно. С повышением частоты скорость смещения зарядов возрастает, поглощение энергии увеличивается, поэтому $\operatorname{tg} \delta$ на некоторой частоте f_0 достигает максимального значения. При дальнейшем повышении частоты заряды не успевают смещаться, отслеживая изменения электрического поля. Поэтому ϵ_r уменьшается, поглощение энергии при малых смещениях снижается и, следовательно, уменьшается и $\operatorname{tg} \delta$. В зависимости от структуры диэлектриков и характера поляризации кривая $\operatorname{tg} \delta$ может иметь несколько максимумов, а кривая ϵ_r – несколько ступеней снижения.

Чтобы увеличить объемную плотность мощности, выделяющейся в диэлектрике, т.е. для интенсификации процесса нагрева, используют высокие и сверхвысокие частоты, а также высокие напряженности. Однако с повышением частоты уменьшается глубина проникновения электромагнитной волны в диэлектрик. Глубину проникновения электромагнитной энергии, определяемую как расстояние z_0 от поверхности диэлектрика, на котором напряженность электрического поля убывает в e раз, находят по формуле:

$$z_0 = \frac{\lambda}{\pi \cdot \sqrt{2 \cdot \varepsilon_r \cdot (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} - 1)}} ,$$

где λ - длина волны, соответствующая рабочей частоте.

12.2 Выбор частоты и напряженности электрического поля при диэлектрическом нагреве

При выборе напряженности электрического поля исходят из того, что для каждого нагреваемого материала существует определенная напряженность $E_{пр}$, при превышении которой происходит электрический пробой материала. Пробивная напряженность многих материалов составляет несколько киловольт на миллиметр.

При нагреве материала без воздушного зазора рабочая напряженность, В/м:

$$E = \frac{E_{пр}}{1,5 \dots 2} .$$

Воздушный зазор между нагреваемым материалом и обкладками рабочего конденсатора приводит к тому, что напряжение, поданное на конденсатор, перераспределяется между воздушным зазором и материалом. При этом рабочую напряженность электрического поля в материале выбирают в зависимости от пробивной напряженности воздуха. Допустимая напряженность электрического поля в воздушном зазоре составляет $(6 \dots 9) \cdot 10^3$ В/см, а напряженность в материале:

$$E = \frac{E_z}{\varepsilon_r} ,$$

где E_z - напряженность электрического поля в воздушном зазоре, В/см; ε_r - диэлектрическая проницаемость материала.

При выборе частоты электрического поля исходят из следующих соображений. С учетом заданных параметров нагреваемого материала уравнение энергетического баланса диэлектрического нагрева описывается как:

$$2\pi \cdot f \cdot E^2 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta = \frac{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\eta_m \cdot \tau} ,$$

где η_m - термический коэффициент полезного действия; τ - время нагрева, с.

Минимальную частоту, обеспечивающую требуемый режим нагрева без воздушного зазора в рабочем конденсаторе, находят из выражения

$$f_{\min} = \frac{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{2\pi \cdot \eta_m \cdot \tau \cdot E^2 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta} .$$

При нагреве материала с воздушным зазором в рабочем конденсаторе

$$f_{\min} = \frac{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \cdot \varepsilon_r}{2\pi \cdot \eta_m \cdot \tau \cdot E^2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \operatorname{tg} \delta}.$$

Увеличивая частоту поля, можно выделить в материале требуемую объемную плотность мощности при пониженной напряженности поля. Это повышает надежность работы нагреваемой установки, уменьшает вероятность возникновения пробоя в рабочем конденсаторе и, следовательно, порчи нагреваемого материала. Однако, повышение частоты ограничивается равномерным распределением напряженности поля по всей длине электродов рабочего конденсатора. Сложностью согласования параметров источника питания и нагрузки, а также глубиной проникновения электромагнитной энергии в материал. Первое ограничение на верхний предел частоты вызвано соотношением конструктивных параметров диэлектрического нагревательного устройства с длиной λ волны, соответствующей частоты f , между которыми существует известная связь:

$$\lambda = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \cdot f}},$$

С увеличением линейного размера нагреваемого материала возникают стоячие волны, изменяющие распределение напряжения по длине электродов рабочего конденсатора и, следовательно, напряженности поля, в материале. При условии, что больший размер электрода $2a$ находится в кратных соотношениях с длиной λ стоячей волны, напряжение в некоторых точках достигает максимума U_{\max} , а в других $U_{\min}=0$ (рис.12.2, а). При $2a < \lambda/4$ напряжение по длине l электрода изменяется от U_{\min} до U_{\max} (рис. 12.2, б), что соответствует более равномерному распределению напряженности.

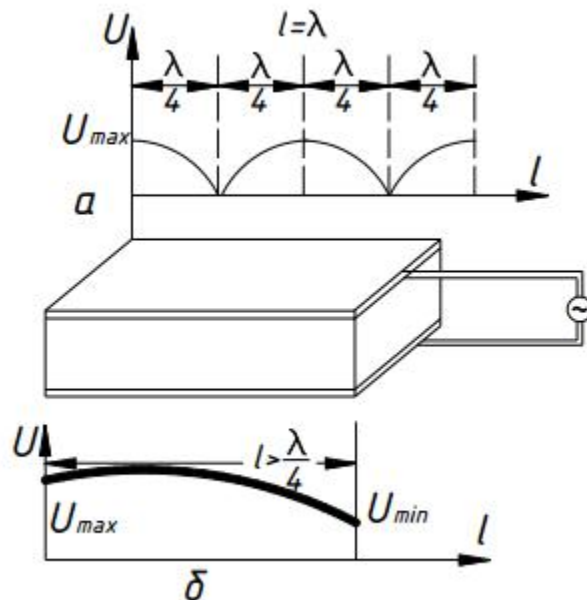


Рис. 12.2. Распределение напряжения на пластинах рабочего конденсатора при $l=\lambda$ (а) и при $l < \lambda/4$

Напряженность, В/м, электрического поля в любой точке по длине электрода:

$$E_l = E_{\max} \cdot \cos \frac{2\pi \cdot l}{\lambda},$$

Для точки, находящейся на расстоянии $l = a$:

$$\frac{E_a}{E_{\max}} = \cos \frac{2\pi \cdot a}{\lambda},$$

Отношение E_a/E_{\max} характеризует неравномерность распределения электрического поля в рабочем конденсаторе. Если она задана требованиями технологического процесса, то из формулы определяют значение $k=2a/\lambda$, а по λ – максимальную частоту, удовлетворяющую этим требованиям:

$$f_{\max} = \frac{k \cdot c}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\epsilon_r}},$$

где $2a$ – наибольший относительно точек подключения питания линейный размер электрода рабочего конденсатора.

Чтобы снизить неравномерность напряженности поля в материале, рабочий конденсатор присоединяют к источнику питания посередине электродов. При этом размер $2a$ равен половине длины электродов. Верхнее значение частоты определяется также глубиной проникновения электромагнитной волны в материал и возможностью согласования параметров нагрузки и генератора для максимальной передачи энергии в рабочий конденсатор.

Вопросы для самоконтроля

1. Основы диэлектрического нагрева и его особенности.
2. Выбор частоты электрического поля при диэлектрическом нагреве
3. Выбор напряженности электрического поля при диэлектрическом нагреве

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Багаев, А. А.** Электротехнология [Текст]: учеб. пособие / А. А. Багаев, А.И. Багаев.- Барнаул.: АГАУ, 2006. - 320 с.: ил. – 10000 экз.– ISBN 5-93957-135-2.
2. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов / Л.А. Баранов, В.А. Захаров, – М.: КолосС, 2008. – 344 с.: ил. – 50000 экз.– ISBN 978-5-9532-0710-2
3. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.И. Баев – М.: КолосС, 2008. – 192 с.: – 8000 экз.– ISBN 978-5-9532-0593-1

Дополнительная

1. **Любайкин, С.Н.** Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / С.Н. Любайкин, А.В. Львицын, А.Я. Змеев, А.В. Волгин; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2007.-96 с.: – 200 экз.– ISBN 5-7011-0508-3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Баранов, Л.А.** Светотехника и электротехнология [Текст]: учебник для вузов /Л. А. Баранов,, В. А. Захаров. - М.: КолосС, 2008. - 344 с. : ил. – 2000 экз.– ISBN 978-5-9532-0710-2.
2. **Багаев, А. А.** Электротехнология [Текст]: учебное пособие / А. А. Багаев, А. И. Багаев.- Барнаул.: АГАУ, 2006. - 320 с.: ил. – 10000экз.– ISBN5-93957-135-2.
3. **Баев, В.И.** Практикум по электрическому освещению и облучению [Текст]: учебник и учеб. пособие для вузов /В.И. Баев. – М.: КолосС, 2008. – 190 с.: ил.–10000 экз. .– ISBN 978-5-9532-0593-1.
4. **Любайкин, С.Н.** Электротехнологические установки в сельском хозяйстве[Текст]: лабораторный практикум / С. Н. Любайкин, А.В. Львицын. - Саратов: ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2005.-104с.: ил.–150экз.– ISBN 5-7011-0372-2
5. **Зайцев, В.Е.** Электротехника. Электроснабжение, электротехнология и электрооборудование строительных площадок./ В.Е. Зайцев, Т.А. Нестерова.– М.: Академия, 2008.– 128 с.
6. **Газалов, В.С.** Светотехника и электротехнология. Часть 1. Светотехника / В.С. Газалов, Учебное пособие.- Ростов-на-Дону: ООО "Терра", 2004.– 344с.
7. **Савицкас, Р.К.** Электротехнологии в животноводстве и растениеводстве/ Р.К., Савицкас, В.В. Картавцев Учебное пособие. – Воронеж: ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2008. – 62 с.
8. **Рекус, Г.Г.** Электрооборудование производств [Текст] / Г.Г. Рекус – Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 2005. – 709 с. – 1000 экз. ISBN 78-5-06-004414-0
9. Правила устройств электроустановок [Текст]: - М.:, Изд. Норматика, 2013. – 464 с.- 3000 экз. ISBN 978-5-4374-0188-0
10. http://electro-vgsha.narod.ru/Biblioteka/Electrotehnologia_1.pdf
11. www.weldzone.info
12. www.dekraft.ru
13. www.iek.ru
14. www.740-789.ru
15. www.owen.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1 «Светотехника»

ВВЕДЕНИЕ	3
Лекция 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	4
1.1 Основные понятия и определения.....	4
Вопросы для самоконтроля.....	10
Список литературы.....	11
Лекция 2. ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ	12
2.1 Фотобиологическое действие оптических излучений.....	12
2.2 Общие закономерности воздействия оптических излучений на биологические объекты.....	13
2.3 Воздействие излучения на человека.....	15
Вопросы для самоконтроля.....	17
Список литературы.....	17
Лекция 3. ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ	18
3.1. Воздействие излучения на животных и птиц.....	18
3.2. Бактерицидное действие УФ- излучения.....	20
3.3. Воздействие оптического излучения на растения.....	21
Вопросы для самоконтроля.....	23
Список литературы.....	23
Лекция 4. ИЗМЕРЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	25
4.1. Приборы для измерения видимых излучений.....	25
4.2 Приборы для измерения для ультрафиолетовых излучений.....	26
4.3. Тепловые измерительные приемники излучений и приборы с их использованием.....	26
Вопросы для самоконтроля.....	27
Список литературы.....	27
Лекция 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ	28
5.1 Законы теплового излучения.....	28
5.2. Устройство, принцип работы и основные характеристики ламп накаливания.....	31
Вопросы для самоконтроля.....	35
Список литературы.....	35
Лекция 6. РАЗРЯДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ	37
6.1 Особенности электрического разряда в газах и парах металла.....	37
6.2 Влияние вида балластного сопротивления на работу газоразрядных ламп.....	40
6.3 Газоразрядные лампы низкого давления	42
6.4 Люминесцентные лампы специального назначения.....	48
6.5 Газоразрядные лампы высокого давления.....	49
Вопросы для самоконтроля.....	53
Список литературы.....	54
Лекция 7. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ	55
7.1 Устройство, классификация и основные характеристики.....	55
Вопросы для самоконтроля.....	57
Список литературы.....	57

Лекция 8. ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ.....	58
8.1. Определение, классификация, характеристики облучательных ламп.....	58
8.2 Облучательные установки для животных и птиц.....	60
8.3 Облучатели растений в теплицах.....	65
8.4 Облучатели растений в теплицах.....	67
Вопросы для самоконтроля.....	70
Список литературы.....	71
Лекция 9. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....	72
9.1 Светотехнический расчет.....	72
9.2. Электротехнический расчет	78
Вопросы для самоконтроля.....	80
Список литературы.....	81
Лекция 10. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ И ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....	82
10.1 Эксплуатационное обслуживание светильников и облучателей	82
10.2 Неисправности осветительной сети и их устранение.....	83
Вопросы для самоконтроля.....	86
Список литературы.....	86
Часть 2 «Электротехнология»	
Лекция 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	87
1.1 Общие сведения об электротехнологии.....	87
1.2 Особенности сельскохозяйственных предприятий как объектов теплоснабжения	87
Вопросы для самоконтроля.....	90
Список литературы.....	90
Лекция 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ ВЕЩЕСТВА.....	91
2.1 Электротермия. Общие сведения.....	91
2.2 Основы теории электрического нагрева вещества.....	92
Вопросы для самоконтроля.....	92
Список литературы.....	92
Лекция 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	94
3.1. Термины и определения электротермии.....	94
3.2. Классификация электротермических установок.....	95
3.3. Задачи и содержание проектирования электротермических установок.....	96
Вопросы для самоконтроля.....	97
Список литературы.....	97
Лекция 4. ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОНАГРЕВА.....	98
4.1. Основы динамики электронагрева.....	98
4.2 Определения мощности и основных конструктивных размеров электротермической установки.....	99
4.3.Определение теплового КПД.....	100
4.4 Электроконтактная сварка.....	100
Вопросы для самоконтроля.....	101
Список литературы.....	101
Лекция 5. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫЙ НАГРЕВ. ЭЛЕКТРОДНЫЙ НАГРЕВ.....	102
5.1 Электроконтактный нагрев.....	102
5.2. Поверхностный эффект.....	102

5.3. Электродный нагрев. Материалы электродов.....	103
Вопросы для самоконтроля.....	103
Список литературы.....	103
Лекция 6. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДНЫХ УСТРОЙСТВ.....	104
6.1 Электродные системы нагревателей.....	104
6.2 Допустимая плотность тока на электродах и напряжённость электрического поля.....	105
6.3 Расчёт электродных нагревательных устройств.....	105
Вопросы для самоконтроля.....	107
Список литературы.....	107
Лекция 7. КОСВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОНАГРЕВ.....	108
7.1 Косвенный электронагрев сопротивлением. Требования к материалам нагревательных элементов и их конструкции.....	108
7.2 Трубчатые электрические нагреватели.....	109
Вопросы для самоконтроля.....	110
Список литературы.....	110
Лекция 8. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	111
8.1. Электрический расчет нагревательных элементов.....	111
8.2 Особенности расчёта стальных нагревателей.....	113
Вопросы для самоконтроля.....	114
Список литературы.....	114
Лекция 9. НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРОВОДА И КАБЕЛИ.....	115
9.1 Нагревательные провода и кабели. Общие сведения.....	115
9.2. Гибкие ленточные нагреватели.....	116
Вопросы для самоконтроля.....	116
Список литературы.....	117
Лекция 10. ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАГРЕВ.....	118
10.1 Свойства и характеристики электрической дуги.....	118
10.2. Режимы сварки	119
10.3 Источники питания сварочной дуги.....	121
Вопросы для самоконтроля.....	122
Список литературы.....	123
Лекция 11. ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ.....	123
11.1 Особенности индукционного нагрева и его основные физические закономерности.....	124
11.2 Индукторы.....	125
11.3 Режимы индукционного нагрева.....	126
Вопросы для самоконтроля.....	128
Список литературы.....	128
Лекция 12. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ.....	128
12.1 Основы диэлектрического нагрева и его особенности.....	129
12.2 Выбор частоты и напряженности электрического поля при диэлектрическом нагреве.....	130
Вопросы для самоконтроля.....	132
Список литературы.....	132
Библиографический список.....	133