

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ)
ФАКУЛЬТЕТ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

СВЕТОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Учебно-методическое пособие

для подготовки специалистов среднего звена
по направлению
35.02.08 – Электрификация и автоматизация
сельского хозяйства

Составитель – М.В. Шевченко

Благовещенск
Издательство
Дальневосточного государственного аграрного университета
2019

УДК 628.9(075.8)
ББК 31.294я7+74.57я7
С24

*Рецензент – Сергей Николаевич Воякин,
канд.техн.наук, доцент,
ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ*

С24 Светотехника и электротехнологии : учеб.-метод. пособие по спец. СПО 35.02.08 – Электрификация и автоматизация сельского хозяйства / Дальневост. гос. аграр. ун-т, ФСПО ; сост. М.В. Шевченко. – Благовещенск : Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2019. – 248, [1] с.

Подготовлено в соответствии с ФГОС СПО и программой междисциплинарного курса «Светотехника и электротехнологии».

Предназначено для подготовки специалистов среднего звена по направлению 35.02.08 – Электрификация и автоматизация сельского хозяйства.

УДК 628.9(075.8)
ББК 31.294я7+74.57я7

Рекомендовано к изданию Советом факультета среднего профессионального образования ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ
(Протокол № 1 от 19 июня 2018 года)

© ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, 2019
© Оформление. Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
Раздел 1 СВЕТОТЕХНИКА	7
Лекция 1 Основные понятия и определения светотехники. Характеристика оптического излучения	7
Лекция 2 Измерение оптического излучения	19
Лекция 3 Лампы накаливания	33
Лекция 4 Газоразрядные лампы низкого давления	42
Лекция 5 Газоразрядные лампы высокого и сверхвысокого давления	58
Лекция 6 Светильники, маркировка и классификация	76
Лекция 7 Облучательные установки	90
Практическая работа № 1 Расчет осветительной установки. Метод коэффициента использования светового потока	112
Практическая работа № 2 Точечный метод расчета на горизонтальную поверхность	117
Практическая работа № 3 Расчет освещенности от светящей линии	129
Практическая работа № 4 Расчет освещения методом удельной мощности	137
Практическая работа № 5 Электротехнический расчет осветительной установки	141
Раздел 2 ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ	154
Лекция 1 Понятие электротехнологии. Общие вопросы. Роль и классификация электротермических установок	154

Лекция 2 Классификация электротермических установок по различным признакам и их термический и электрический КПД.....	159
Лекция 3 Динамика процесса нагрева. Электродный нагрев воды. Косвенный нагрев сопротивлением. Трубчатые электронагреватели	164
Лекция 4 Индукционный нагрев. Диэлектрический нагрев. Основы термоэлектрического нагрева	177
Лекция 5 Основы термоэлектрического нагрева. Электрические холодильные установки и тепловые насосы	187
Лекция 6 Техничко-экономическое обоснование использования электрической энергии для теплотехнических и электротехнических нужд в сельском хозяйстве	202
Практическая работа № 1 Определение мощности электродного водонагревателя.....	205
Практическая работа № 2 Расчет и построение характеристик водонагревателя	214
Практическая работа № 3 Расчет отопительной установки.....	225
ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ ПО РАЗДЕЛУ 2	239
ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ.....	242
ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ	245
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	248

ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с программой междисциплинарного курса «МКД 01.03 Светотехника и электротехнологии» обучающиеся изучают 2 раздела:

- светотехника;
- электротехнологии.

Целью овладения указанным видом профессиональной деятельности и соответствующими профессиональными компетенциями обучающийся в ходе освоения профессионального модуля должен:

уметь:

– производить монтаж и наладку приборов освещения, сигнализации, контрольно-измерительных приборов, звуковой сигнализации и предохранителей в тракторах, автомобилях и сельскохозяйственной технике;

– производить монтаж и наладку элементов систем централизованного контроля и автоматизированного управления технологическими процессами сельскохозяйственного производства;

– проводить утилизацию и ликвидацию отходов электрического хозяйства.

знать:

– основные средства и способы механизации производственных процессов в растениеводстве и животноводстве;

- назначение светотехнических и электротехнологических установок;

- технологические основы автоматизации и систему централизованного контроля и автоматизированного управления

технологическими процессами сельскохозяйственного производства.

Освоение профессионального модуля направлено на развитие **общих компетенций**:

ОК 1 – Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 3 – Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4 – Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 6 – Работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7 – Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий.

ОК 8 – Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

Профессиональных компетенций:

ПК 1.1. Выполнять монтаж электрооборудования и автоматических систем управления.

ПК 1.2. Выполнять монтаж и эксплуатацию осветительных и электронагревательных установок.

ПК 1.3. Поддерживать режимы работы и заданные параметры электрифицированных и автоматических систем управления технологическими процессами.

Раздел 1 СВЕТОТЕХНИКА

Лекция 1

Основные понятия и определения светотехники.

Характеристика оптического излучения

Вопрос 1. Общие сведения

Свет представляется в двух теориях:

- волновое движение;
- быстро движущиеся частицы.

Синусоидальная волна совершает простое гармоническое движение (рис. 1.1)

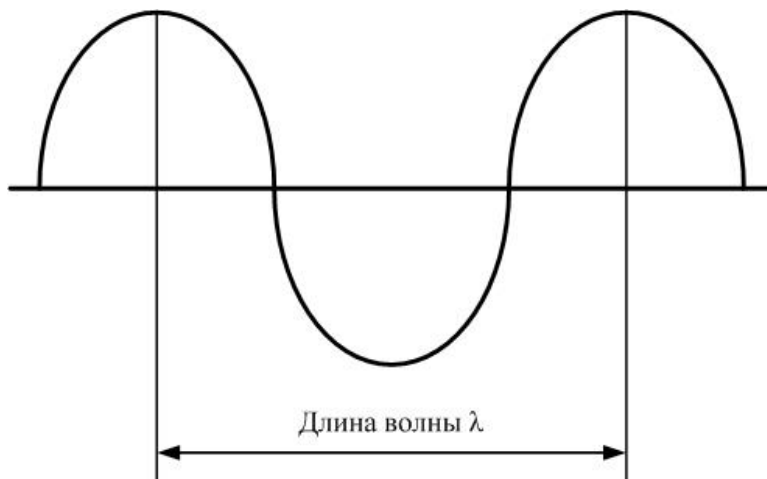


Рис. 1.1. Синусоидальная волна

Соответственно, волновая скорость определится по формуле

$$c = \lambda \nu, \quad (1.1)$$

где A – амплитуда; c – волновая скорость; λ – длина волны (расстояние между соседними максимумами); ν – число колебаний, совершаемое любой точкой за секунду – частота.

В 1900 г. Макс Планк установил, что энергия E испускаемого излучения пропорциональна его частоте ν в соответствии со следующим уравнением:

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

где h – постоянная Планка.

Другая употребительная форма формулы Планка:

$$E = hc / \lambda, \quad (1.3)$$

где c – скорость света).

Частота, с помощью которой измеряется число колебаний волны в секунду, определяет длину волны λ , так что разным энергиям соответствуют различные длины волн. Чем больше ν , тем меньше λ .

При рассмотрении интерференции и поляризации света удобнее использовать волновую модель, в фотохимии наиболее часто применяется понятие фотона.

Вопрос 2. Характеристики оптического излучения

Свет является разновидностью электромагнитной энергии, передаваемой лучеиспусканием и вызывающей световое ощущение в результате раздражения зрительного нерва у человека и животных.

В результате преобразования подводимой к телам энергии, в частности тепловой или электрической, при определенных условиях возникает электромагнитное излучение, которое принято характеризовать длиной волны λ , измеряемой в метрах (м) или нанометрах (нм).

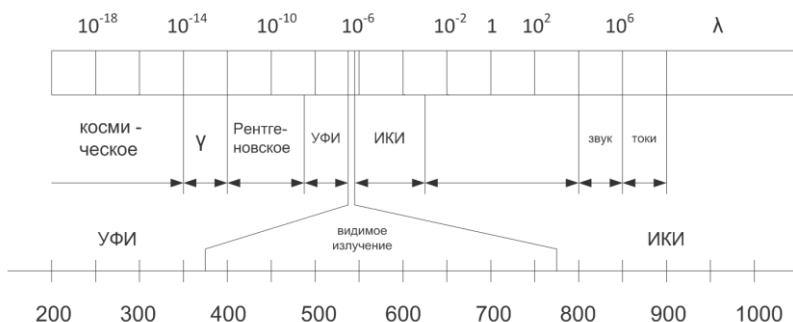


Рис. 1.2. Шкала длин волн

Лучи по длинам волн распределены следующим образом:

$\lambda = 10^4 - 3 \text{ м}$ – радиоволны;

$\lambda = 3 \text{ м} - 10^4 \text{ нм}$ – микроволновые лучи;

$\lambda = 10^4 \text{ нм} - 760 \text{ нм}$ – инфракрасные лучи;

$\lambda = 760 \text{ нм} - 380 \text{ нм}$ – видимые лучи;

$\lambda = 380 \text{ нм} - 10 \text{ нм}$ – ультрафиолетовые лучи;

$\lambda = 10 \text{ нм} - 0,03 \text{ нм}$ – рентгеновские лучи;

$\lambda = 0,03 \text{ нм} - 3 \cdot 10^{-4} \text{ нм}$ – гамма-лучи, излучаемые при ядерном превращении.

Радиоволны – электромагнитные волны с наименьшей энергией, из всех, которые могут оказывать непосредственное воздействие на отдельные атомы. Однако энергия этих волн настолько мала, что она может только передвигать целые молекулы на короткое расстояние в пространстве (трансляция) и переориентировать некоторые ядра по отношению к другим ядрам в молекулах. Последний эффект лежит в основе спектроскопического метода ядерного магнитного резонанса.

Энергии, соответствующие **микроволновой области**, заставляют молекулы газа вращаться вокруг их центров масс и также меняют взаимную ориентацию электронов. Первый эффект составляет основу микроволновой спектроскопии, используемой для изучения молекулярных вращений, второй – основу электронной спиновой резонансной спектроскопии, применяемой при изучении состояния неспаренных электронов в химических системах.

Энергии, соответствующие **инфракрасной области**, вступают в резонанс с колебаниями атомов в химических связях. Этот эффект используется в инфракрасной спектроскопии.

Инфракрасное излучение (ИК) – излучение с длиной волны от 760 до 10^4 нм. Проникая в поверхностные слои, энергия расходуется на образование теплоты. Глубина проникновения ИК 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. Используется для обогрева молодняка животных и птиц, сушки и дезинфекции с/х продуктов, пастеризации молока и т.д.

Выделяют 3 зоны ИК:

ИК-А (780...1400 нм)

ИК-В (1400...3000 нм)

ИК-С (3000... 10^4 нм)

Энергии **видимой и ультрафиолетовой областей** могут вызвать возбуждение электронов в атомах и молекулах с их переводом из нижних электронных состояний в верхние. так как энергия лучей возрастает, возбуждаемые электроны переходят в новое состояние с более стабильных энергетических уровней.

Видимое излучение (ВИ) – излучение, которое может вызвать непосредственно зрительное ощущение. Диапазон видимого излучения 380 – 760 нм. Излучение с длиной волны 555 нм., наилучшим образом воспринимаемое глазом человека, принято за единицу.

Видимое излучение представляет собой сочетание излучений семи основных цветов:

– красного (760...620 нм),

– оранжевого (620...590 нм),

- желтого (590...560 нм),
- зеленого (560...500 нм),
- голубого (500...480 нм),
- синего (480...450 нм),
- фиолетового (450...380 нм).

Ультрафиолетовое излучение (УФ) – излучение с длинами волн 380...10 нм. Свойства УФ излучения зависят от длины волны. Поэтому весь УФ диапазон подразделяют на три условных диапазона:

1. *Длинноволновые УФ излучение* (область А – 320...380 нм) способно вызывать свечение некоторых веществ, поэтому его используют в основном для люминесцентного анализа химического состава и биологического состояния продуктов.

2. *Средневолновые УФ излучение* (область В – 275...320 нм) 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.

3. *Коротковолновые УФ излучение* (область С – 200...275 нм) отличается сильным бактерицидным действием, поэтому его широко используют для обеззараживания воды и воздуха, для дезинфекции и стерилизации помещений, различного оборудования, инвентаря и посуды.

Рентгеновское излучение вызывает возбуждения электронов во внутренних электронных оболочках, поскольку

имеет длину волны, которая близка к размерам самих атомов. Атомы могут вызывать дифракцию рентгеновских лучей. Возбуждение лежит в основе рентгеноспектрального флуоресцентного анализа и спектроскопии рентгеновских фотоэлектронов. а дифракция используется для идентификации кристаллической решетки и определения кристаллической структуры.

Гамма-лучи пригодны для применения электромагнитного излучения с наибольшей энергией. они вызывают возбуждение ядер с их переводом из нижних энергетических состояний в высшие и лежат в основе мессбауэровской спектроскопии.

Вопрос 2. Основные понятия и определения

Излучение – перенос энергии от излучающего тела к поглощаемому. 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 из качественных разновидностей энергии.

Мощность электромагнитного излучения количественно характеризуется лучистым потоком, т.е. количеством энергии, излучаемой в единицу времени. В светотехнике пользуются понятием *светового потока*.

В системе световых величин в качестве единицы эффективного **светового потока** Φ_v , воздействующего на глаз человека, принят **люмен** (лм).

Световой поток – мощность энергии излучения, оцениваемая по действию на средний глаз человека

Люмен – световой поток, излучаемый абсолютно чёрным телом с площади $0,5305 \text{ м}^2$ при температуре затвердевания платины 2042 К .

Экспериментально установлено, что однородное излучение мощностью 1 Вт при $\lambda = 555 \text{ нм}$ составляет 683 лм ($1 \text{ Вт} = 683 \text{ лм}$ при $\lambda = 555$)

683 – световой эквивалент мощностью излучения.

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

$$d\Phi_v = I_v \cdot d\omega, \quad (1.4)$$

где $d\Phi_v$ – элементарный световой поток, лм;

I_v – сила света, кд (кандела);

$d\omega$ – элементарный пространственный угол, ср.

Сила света I – пространственная плотность светового потока, определяемая отношением светового потока к значению телесного угла, в пределах которого заключен и равномерно распределен данный поток.

$$I_v = \frac{\Phi_v}{\omega}, \quad (1.5)$$

Единицы измерения кандела: 1 кд = 1 лм/1 ср.

Кандела - сила света, испускаемая в перпендикулярном направлении с площади $1/60000 \text{ м}^2$ абсолютно чёрным телом при $T = 2045 \text{ К}$ и давлении 101325 Па .

Телесным углом (ω) называется часть пространства, ограниченная конической поверхностью с вершиной в центре сферы и опирающаяся на поверхность этой сферы.

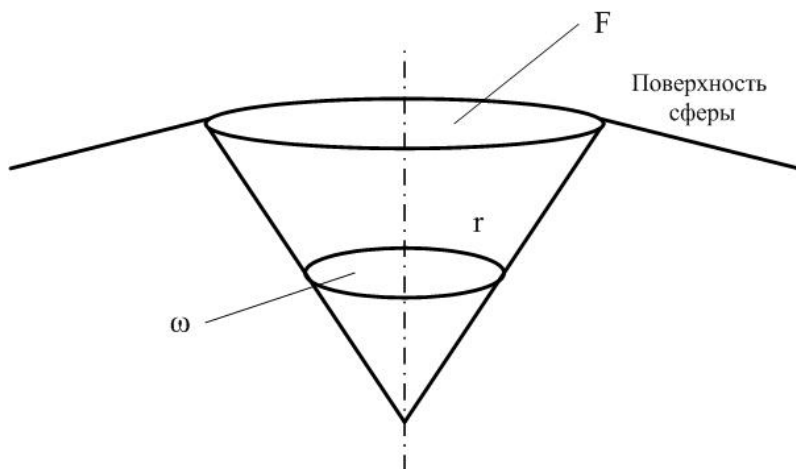


Рис. 1.3. Телесный угол

Телесный угол определяется как отношение площади F части поверхности сферы, на которую он опирается, к квадрату радиуса этой сферы:

$$I_v = \frac{F}{r^2}, \quad (1.6)$$

Единицей измерения телесного угла является стерадиан (ср).

Стерадиан – телесный угол, вырезающий на поверхности сферы участок, площадь которого эквивалентна площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Для того, чтобы количественно оценить уровень освещения какой-либо поверхности в результате попадания на нее светового потока, используется понятие *освещенности* (E), значение которого с учетом рисунка можно рассчитать по формуле

$$E = \frac{\Phi}{F} = \frac{I_{\alpha} \times \cos\beta}{l^2}, \quad (1.7)$$

где Φ – световой поток, падающий на освещаемую поверхность, лм;

F – площадь освещаемой поверхности, м²;

I_{α} – сила света под углом α к нормали N к освещаемой поверхности, кд;

α – угол между направлением силы света и нормалью к освещаемой поверхности, проведенную через ось симметрии источника света;

β – угол между направлением силы света и нормалью к освещаемой поверхности в точке A;

l – расстояние от источника света до освещаемой точки на поверхности, м.

Освещенность представляет собой поверхностную плотность падающего светового потока. Как видно из формулы, для

точечного источника света прямо пропорциональна силе света и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света.

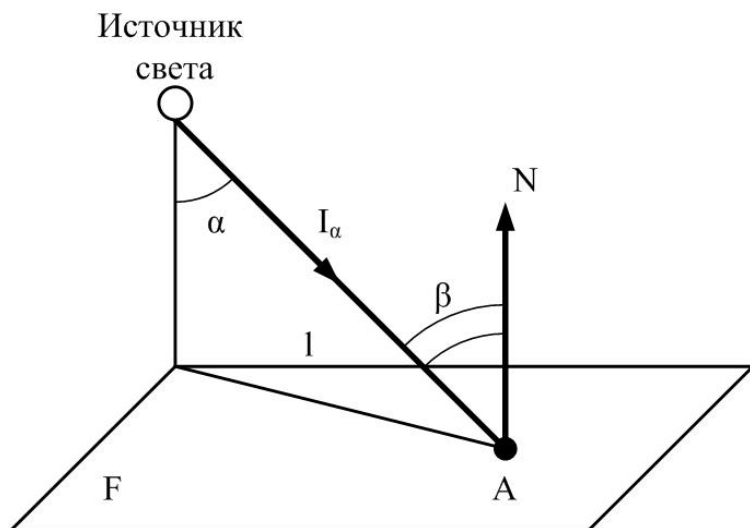


Рис. 1.4 – Освещенность элемента поверхности

Освещенность поверхности не зависит от ее оптических свойств (поглощение, отражение, рассеивание света) и от направления, в котором она рассматривается.

Единица освещенности – люкс; $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$.

Яркость – поверхностная плотность силы света в заданном направлении, равная отношению силы света к площади проекции этой поверхности на плоскости, перпендикулярно направлению излучения.

$$L_v = \frac{I_v}{(S_n \cdot \cos \alpha)}, \quad (1.8)$$

где α – угол между направлением излучения и нормалью к освещаемой поверхности.

Единица яркости – кандела на кв. метр.

Светимость – поверхностная плотность светового потока, испускаемого поверхностью, равная отношению светового потока к площади светящейся поверхности

$$M_v = \frac{\Phi_v}{S_n}, \quad (1.9)$$

Единица светимости – люмен на квадратный метр

Спектральная плотность – распределение излучения по спектру φ_λ ($\text{Вт} \cdot \text{нм}^{-1}$) – отношение однородного потока $\Delta\Phi$ к ширине полосы спектра $\Delta\lambda$, на которой измерен однородный поток

$$\varphi_\lambda = \frac{\Delta\Phi_\lambda}{\Delta\lambda}, \quad (1.10)$$

Плотность излучения – отношение потока излучения к площади излучающей поверхности, $\text{Вт} \cdot \text{м}^2$

$$R = \frac{d\Phi}{dS_u}, \quad (1.11)$$

где S_u – площадь поверхности излучающего тела, в пределах которой излучение можно считать равномерным.

Облученность (плотность облучения) – отношение потока излучения, падающего на облучаемую поверхность и равномерно распределенного по ней, к площади этой поверхности, Вт · м⁻²

$$E = \frac{d\Phi}{dS}, \quad (1.12)$$

Количество облучения Н – значение энергии излучения, упавшей на единицу облучаемой поверхности в течении времени облучения, Вт · с · м⁻²

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

где E_i – мгновенное значение облученности

t_1 и t_2 – время начала и конца облучения.

Лекция 2

Измерение оптического излучения

Вопрос 1. Общие положения теоретической фотометрии.

Фотометрия в современном представлении – это раздел физической оптики, посвященный теории и методам измерения оптического излучения.

Оптическое излучение не поддается непосредственному измерению, а может быть обнаружено и оценено количественно и качественно реакции на него измерительных приемников излучения, которые преобразуют энергию оптического излучения в другие виды энергии.

Измерительные приемники ОИ поглощают все падающие на него энергии излучения. Таким свойствам обладает абсолютно чёрное тело.

С позиции теоретической фотометрии все реальные тела в зависимости от соотношения их линейных размеров и расстояния до них можно принимать за точку, линию или поверхность.

Если тело рассматривать из какой-либо точки пространства, его относительные размеры можно охарактеризовать угловым параметром d/l (d – размер тела, l – расстояние до наблюдения). При $l/d = 5$ все рассматриваемые тела с погрешностью не более 1 % можно принять за точку.

Если по отношению к ширине тела $l/d \geq 5$, а длина в несколько раз превышает ширину, то тело принято считать линейным (например, излучающая линия).

Призначения l/d , значительно меньших пяти как по длине, так и по ширине, тело принимают за поверхность.

Реальные приемники оптического излучения имеют сложную геометрическую форму. В фотометрии для упрощения задачи пользуются моделями приемников излучения: плоской пластиной, сферой (шаром), полусферой, цилиндром. Правомерность использования той или иной геометрической модели оценивают теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Вопрос 2. Измерительные приемники оптического излучения

Одним из главных элементов фотометрических приборов – измерительный преобразователь (физический приемник оптического излучения).

Физические приемники излучения, используемые в фотометрах, подразделяют на группы в зависимости от принципа действия и спектральных характеристик.

По спектральным свойствам физические приемники излучения могут быть селективными (избирательными) и неселективными.

Реальные приемники излучения в большей или меньшей степени селективны. Практически неселективным приемником можно считать термопару или термоэлемент, покрытые газовой сажей.

В зависимости от физических явлений, определяющих принцип действия, приемники оптического излучения делят на три группы: фотоэлектрические, фотоэлектронные и тепловые.

Фотоэлектрические приемники излучения (фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, полупроводниковые фотоэлементы с запирающим слоем) основаны на внутреннем фотоэффекте. По конструктивному исполнению они относятся к полупроводниковым приборам.

Принцип действия фотоэлектронных приемников излучения (вакуумные фотоэлементы, фотоумножители, электронно-оптические преобразователи) основан на внешнем фотоэффекте.

Работа тепловых приемников излучения (болометры, термопары, термоэлементы) основана на тепловом эффекте – изменение его нагрева поглощенным оптическим излучением. По конструктивному исполнению они относятся, как и фотоэлектрические приемники, к полупроводниковым приборам.

От спектральной характеристики измерительного приемника зависит степень соответствия измеренных величин величинам энергетической и эффективных систем.

Если спектральные характеристики стандартизированного и измерительного приемников различаются, то это приведет к погрешности. Чтобы ее уменьшить выполняют корректирование (чаще всего при помощи светофильтров) спектральную чувствительность измерительного приемника приводят к требуемым значениям.

Угловая характеристика (индикатриса облученности) измерительного приемника определяет степень соответствия в одноименной точке пространства измеренной облученности и облученности, полученной теоретически для принятой геометрической модели.

Несоответствие угловых характеристик измерительного приемника и теоретической модели приводит к угловой погрешности. Угловую характеристику корректируют насадками специальной геометрической формы.

Частотная характеристика – реакция измерительного приемника на частоту изменения регистрируемого излучения. Увеличение частоты вызывает снижение чувствительности

приемника излучения. У фотоэлектронных приемников это проявляется на частотах более 5 МГц, у фотоэлектрических – уже при 100 Гц.

«Утомление» приемника излучения вызывает понижение его чувствительности через определенное время после начала воздействия оптического излучения. В меньшей мере «утомлению» подвержены вакуумные фотоэлементы. После длительного перерыва «утомление» проходит и чувствительность приемников восстанавливается.

Старение – необратимое ухудшение чувствительности и других параметров измерительных приемников с течением времени. Быстрее стареют более чувствительные приборы.

Вопрос 3. Фотометрические приборы

Для измерения излучений как 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.

Фотометры предназначены для измерения облученности в энергетических или эффективных единицах, - наиболее распространенные приборы.

Люксметры

Люксметры – приборы, предназначенные для измерения освещенности, т.е. той части видимого излучения, которая эффективно воспринимается глазом человека. Люксметр имеет селеновый фотоэлемент с вентильным фотоэффектом, вмонтированный в оправу с ручкой, и микроамперметр со шкалой, проградуированной в люксах.

Селеновый фотоэлемент – это полупроводниковый прибор с запирающим слоем. Принцип его действия основан на фотоэлектрическом эффекте, заключающийся в том, что под действием света на зажимах фотоэлемента возникает ЭДС.

Сила электрического тока, проходящего по замкнутой цепи фотоэлемента, прямо пропорциональна его освещенности.

Селеновый фотоэлемент (рис. 2.1) состоит из металлической пластины 1 толщиной 1-2 мм, на поверхность которого наносится слой селена 2.

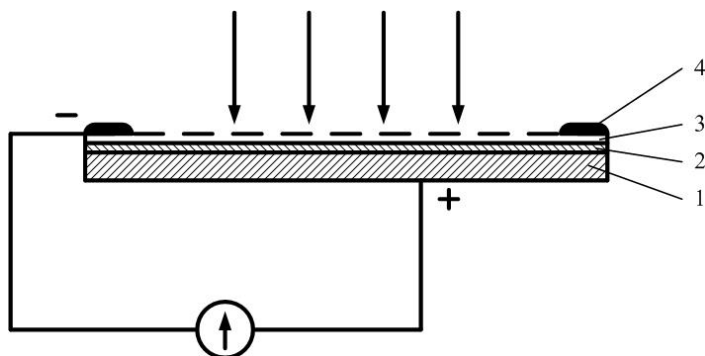


Рис.2.1 – Разрез селенового фотоэлемента с запирающим слоем

Термической обработкой селен переводится в кристаллическую (серую) светочувствительную модификацию. На этот слой в вакууме напыляется сначала тончайший слой кадмия, а затем полупрозрачный слой золота или платины 3, поверх которого наносится контактное кольцо 4, являющееся отрицательным электродом фотоэлемента.

Селеновый элемент обладает спектральной чувствительностью, которая приближается к чувствительности глаза. Так как селеновый фотоэлемент – не вполне устойчивый прибор и его показания подвержены колебаниям из-за изменения температуры, длительности освещения и т.д., то для получения более точных результатов надо измерять освещенность несколько раз и усреднять данные.

Шкала гальванометра градуируется непосредственно в люксах по стандартному источнику с цветовой температурой $T = 2854 \text{ K}$, спектральный состав излучения которого приближается к спектральному составу ламп накаливания средней мощности (200...300 Вт).

Возможность измерения малых значений освещенности достигается за счет применения гальванометров чувствительностью порядка 10^{-6} A/дел . Для измерения большой освещенности прибор снабжается шунтами и нейтральными фильтрами, надеваемыми на фотоэлемент.

Люксметр Ю-116 (рис. 2.2) – прибор магнитоэлектрической системы, имеет два основных диапазона измерений: от 5

до 30 и от 20 до 100 лк. Шесть дополнительных диапазонов получают из основных за счет применения трех нейтральных светофильтров М, Р и Т, с коэффициентами ослабления потока соответственно 10, 100 и 1000. Эти насадки применяются совместно с насадкой К, уменьшающей косинусную погрешность.

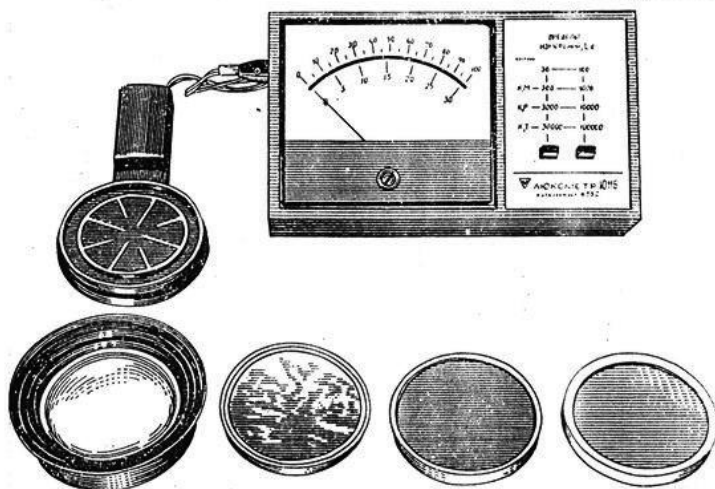


Рис.2.2. Общий вид люксметра Ю-116

Принципиальная электрическая схема люксметра приведена на рисунке 2.3.

Шкала прибора неравномерная, градуирована в люксах. На каждой шкале точками отмечено начало диапазона измерений. Допустимая основная погрешность люксметра в диапазоне измерений 5...100 лк равна $\pm 10\%$ измеряемой величины, а при переходе на диапазоны измерений с насадками К, М, Р,

T не превышает $\pm 15\%$. Время остановки стрелки показывающего прибора менее 4 с.

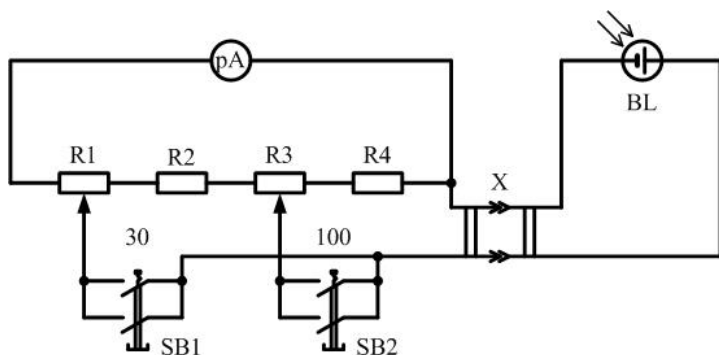


Рис.2.3. Принципиальная электрическая схема люксметра Ю-116

С целью ускорения поиска диапазона измерений необходимо последовательно устанавливать насадки КТ, КР, КМ при каждой насадке сначала нажимают правую кнопку, а затем левую на передней панели измерителя.

При помощи люксметра Ю-116 можно ориентировочно определить и облученность в области фотосинтетически активной радиации (ФАР). Переводной коэффициент измеряемой освещенности в облученность ФАР приблизительно равен: для ламп накаливания – 4,4; для ламп ДРЛФ1000 – 4,9; для ламп ДРЛФ400 – 3,9; для ламп ДНаТ400 – 3,0; для ламп ЛБ – 3,4 фит/м²клк.

Люксметр Ю-117 (рис. 2.4) по конструктивному исполнению аналогичен Ю-116, отличается только тем, что имеет один основной (2...10 лк) и три неосновных (0,1...0,2; 0,2...1;

0,5...3,9 лк) диапазона измерения. Поэтому в корпус люксметра вмонтирован усилитель на одной микросхеме, а двухклавишный переключатель заменен на восьмиклавишный.



Рис. 2.4. Общий вид люксметра Ю-117

Погрешность измерения люксметра в основных диапазонах составляет $\pm 10\%$ от значения измеряемой освещенности, кроме диапазона 0,1...0,2 лк, в котором погрешность $\pm 30\%$.

Фотоэлектронные приемники

Они распространены в ряде таких приборов, как уфиметры, дозиметры, бактометры и др.

Уфиметр типа УФМ (рис. 2.5) предназначен для измерения ультрафиолетовой облученности, создаваемой искусственными источниками излучения. Прибор имеет диапазон измерения эритемной области 1...3000 мэр/м².



Рис. 2.5. Уфиметр УФМ-5

Мощность эритемного излучения характеризуется эритемным потоком, единицей измерения которого принят эр. Эритемный поток, равный 1 эр, соответствует сгустку излучения с длиной волны 297 нм мощностью 1 Вт. Это относительно большая величина, и для практических целей применяется в 1000 раз наименьшая единица измерения, именуемая миллиэр и обозначаемая мэр.

Общий диапазон разбит на пять поддиапазонов. Шкала прибора отградуирована в мэр/м². В качестве приемника УФ излучения в приборе использован вакуумный фотоэлемент типа Ф27, спектральная характеристика которого находится в диапазоне волн 280...380 нм и близко совпадает с кривой эритемного действия ОИ. Прибор УФМ имеет металлический кожух и может работать при температуре от 0 до 35 °С 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.

Тепловые приемники

Приборы на базе тепловых приемников (болометры, пирометры 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 электриче-

ский ток, регистрируемый гальванометром. Болометры используются в приборах для регистрации излучения в инфракрасной части спектра.

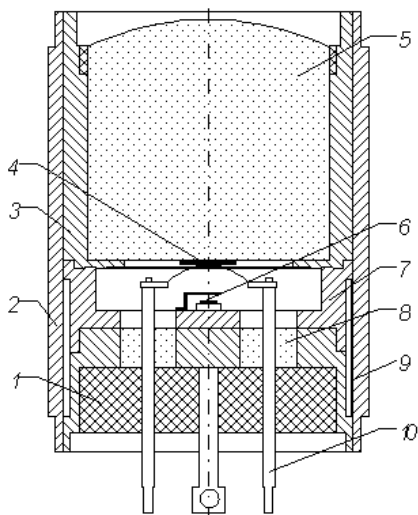


Рис. 2.6. Болومتر Бп 2М:

1,7 – основание; 2 – корпус; 3 – держатель; 4, 6 – терморезисторный элемент; 5 – линза; 8 – изолятор; 9 – цоколь; 10 – выводы

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 совокупно-

сти. 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 $(1 \dots 1,5) \cdot 10^{-2}$ мВ на 1 Вт/м², инерция показаний – 40 с.

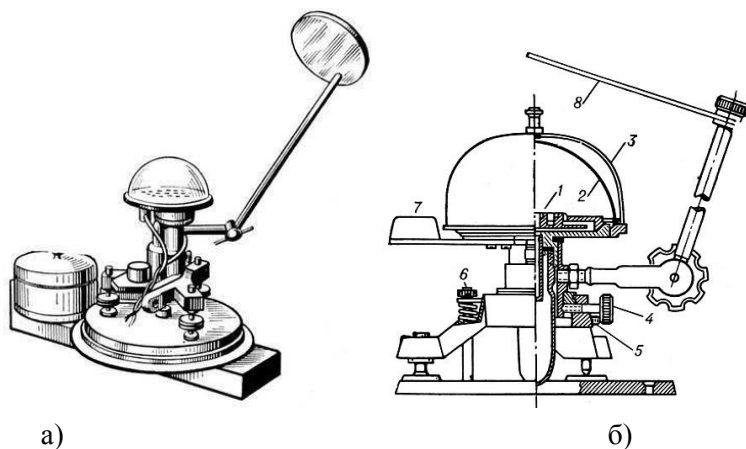


Рис. 2.7. Пиранометр Янишевского:

а) внешний вид, б) устройство: 1 – съемная плитка; 2 – стеклянная полусфера; 3 – колпак, используемый при определении места нуля; 4 – винт для направления пиранометра к солнцу; 5 – установочный винт; 6 – клемма для подключения стрелочного гальванометра; 7 – уровень; 8 – экран

Лекция 3

Лампы накаливания

Вопрос 1. Устройство ламп накаливания

Наиболее массовым источником оптического излучения в настоящее время являются лампы накаливания. Это объясняется их относительно низкой стоимостью, удобством в обращении, простотой в обслуживании, малыми первоначальными затратами при оборудовании осветительных установок, разнообразием конструкций, напряжений и мощностей, отработанностью технологии производства.

Лампа накаливания (рис. 3.1) состоит из стеклянной колбы, внутри которой на крючках закреплена вольфрамовая нить. Напряжение к нити подводится двумя электродами, один из которых соединен с центральной частью, а другой – с резьбой цоколя.

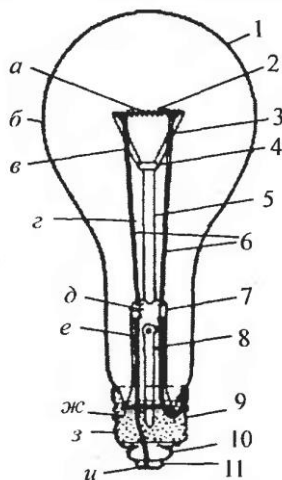


Рис. 3.1. Конструкция лампы накаливания:

1 – колба; 2 – спираль; 3 – крючки; 4 – линза; 5 – штабик; 6 – электроды; 7 – лопатка; 8 – штенгель (стержень); 9 – цоколь; 10 – изолятор; 11 – нижний контакт. Материал: а – вольфрам; б – стекло; в – молибден; г – никель; д – медь, сталь, никель; е – медь; ж – цокольная мастика; з – латунь или сталь; и – свинец, олово.

Стеклянная колба лампы специальной мастикой закреплена в цоколе. Диаметр и форма колбы определяют мощность и особенности изготовления лампы. Цоколь предназначен для включения лампы в сеть и может быть в зависимости от назначения лампы резьбовым (тип E), шрифтовым одноконтakтным (тип BS), шрифтовым двухконтakтным (тип BD), цилиндрическим софитным (тип SV) и фокусирующим (тип P).

Внутри колбы расположена стеклянная ножка, состоящая из линзы, на которой закреплены крючки-держатели, штабика и лопаточки. Стеклянная ножка заканчивается тарелочкой, внутри которой имеется пустотелая стеклянная трубка (штенгель), предназначенная для откачки воздуха из колбы через откачное отверстие и заполнения ее инертным газом. Ножка служит опорой для тела накала при запаянном штенгеле.

Для получения видимого излучения в лампах накаливания применяется нагрев тела, в частности нагрев электрическим током вольфрамовой нити до температуры от 2800...3200 К.

Вольфрам является тугоплавким металлом (его температура плавления порядка 3600 К) и обладает достаточно высокой пластичностью и низкой скоростью испарения. Следует иметь в виду, что при увеличении температуры тела накала светотехнические характеристики источника света улучшаются, однако при этом сокращается срок службы лампы, т. к. под влиянием высокой температуры происходит интенсивное испарение вольфрамового тела накала. Нить накала при этом становится тоньше, испарившиеся части вольфрама оседают на внутренней поверхности колбы, вызывая ее потемнение, при

этом снижается световой поток и в конечном итоге лампа перегорает. Поэтому температура тела накала имеет значение ниже температуры плавления металла, из которого оно изготовлено.

Для исключения окисления металла, лампы накаливания выполняются вакуумными. Для увеличения срока службы и повышения световой отдачи лампы, а также стабильности ее светового потока стремятся снизить скорость испарения материала тела накала. С этой целью колбы ламп накаливания наполняют аргон-азотной или криптон-ксеноновой смесью (газонаполненные лампы). Давление газа в наполненных колбах может достигать 0,08 МПа, но не превышает 0,1 МПа. Кроме того, для уменьшения распыления вольфрама и теплоотдачи, уменьшают размеры нити, сворачивая ее в плотную винтовую спираль (моноспираль), а затем в биспираль (спираль, навитую из спирали).

Лампы общего назначения выпускаются мощностью до 100 Вт на разные номинальные напряжения от 12 до 230 В. Лампы рассчитаны на напряжение, в пределах диапазона, указанного в типе лампы.

Вопрос 2. Обозначение ламп накаливания

Маркировка ламп накаливания содержит следующие элементы:

Первый элемент (от 1 до 4 букв) – характеризует лампу по важнейшим физическим и конструктивным особенностям: В – вакуумная моноспиральная; Г – газополная моноспиральная; Б – газополная биспиральная; К – лампы с криптоновым

наполнением; МЛ – с матированной колбой; МЛ – в колбе молочного цвета; О – с опалиновой колбой и т.д. Некоторые специальные виды ламп не имеют первого элемента в обозначении.

Второй элемент (1 – 2 буквы) – определяет назначение лампы А – автомобильная; Ж – железнодорожная; КМ – коммутаторная и т.д.

Третий элемент (цифры) – определяет номинальное напряжение (либо диапазон напряжения питания) в вольтах и через дефис (в зависимости от принятой маркировки и данного вида лампы) – номинальную мощность, Вт; силу света, кд; ток, А, или световой поток, лм.

Вопрос 3. Основные параметры ламп накаливания

С ростом температуры нити в соответствии с законом Стефана-Больцмана плотность излучения увеличивается пропорционально абсолютной температуре в четвертой степени и согласно закону Вина максимум излучения нити смещается в сторону более коротких длин волн, то есть в сторону видимого излучения, а это значит, что световой поток лампы растет с увеличением напряжения. Совершенно очевидно, что световой поток растет быстрее напряжения, так как лучистый поток пропорционален температуре в четвертой степени. По той же причине увеличение светового потока происходит быстрее повышения мощности лампы. А это значит, что световая отдача лампы будет расти при увеличении напряжения. Срок службы лампы с повышением напряжения снижается из-за увеличения скорости испарения частиц вольфрама.

Точные зависимости основных параметров лампы от напряжения определяют экспериментально. В диапазоне изменения напряжения $0,9 - 1,1 U_n$ эти зависимости описывают аналитическим выражением

$$\text{ток лампы} \quad \left(\frac{I_a}{I_{л.н.}} \right) = \left(\frac{U}{U_n} \right)^{0,53} \quad (3.1)$$

$$\text{мощность ламп} \quad \left(\frac{P}{P_n} \right) = \left(\frac{U}{U_n} \right)^{1,53}, \quad (3.2)$$

$$\text{световая отдача} \quad \left(\frac{\eta_v}{\eta_{вн}} \right) = \left(\frac{U}{U_n} \right)^{2,14}, \quad (3.3)$$

$$\text{световой поток} \quad \left(\frac{\Phi_v}{\Phi_{вн}} \right) = \left(\frac{U}{U_n} \right)^{3,67}, \quad (3.4)$$

$$\text{срок службы} \quad \left(\frac{t_{сл}}{t_{сл.н}} \right) = \left(\frac{U}{U_n} \right)^{-13,8}, \quad (3.5)$$

При включении в электрическую сеть лампа накаливания светится. Это можно объяснить следующим образом. До включения лампы под напряжение все ее элементы, и нить накаливания в том числе, находятся при температуре окружающей среды, например 20°C . При такой температуре нить излучает в окружающее пространство энергию в оптическом диапазоне (по закону Стефана-Больцмана), но это излучение приходится на инфракрасные лучи, которые глаз человека не видит.

После включения лампы под напряжение протекающий по цепи ток в соответствии с законом Джоуля-Ленца нагревает нить и все токоведущие части.

Самое большое сопротивление в цепи имеет нить, и поэтому она нагревается значительно сильнее, чем, например, подводящие провода. Температура нити повышается до 2880 – 2950 К, то есть возрастает примерно в 10 раз. Согласно закону Стефана-Больцмана плотность излучения нити при этом возрастает в раз.

Кроме того, в соответствии с законом Вина максимум излучения нити смещается в сторону более коротких длин волн, то есть по инфракрасной области ближе к видимым лучам, а само излучение уже захватывает видимую область спектра (рис. 3.2).

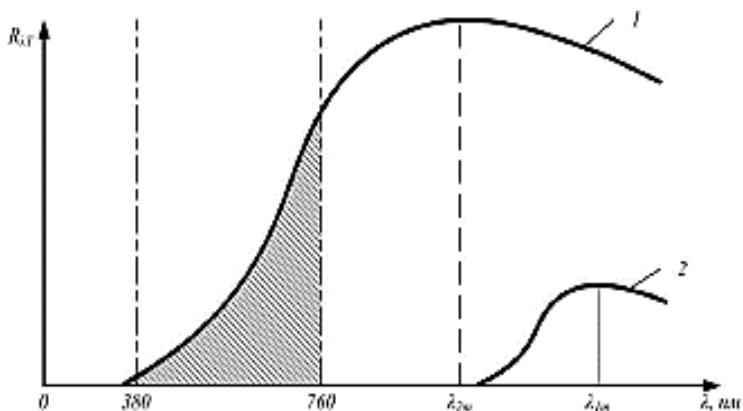


Рис. 3.2. Спектральная плотность излучения тела при различных температурах: 1 – $T_2 = 2900$ К; 2 – $T_1 = 273$ К

Нить излучает теперь вместе с ИК-лучами и видимые. Подводящие же провода при этом не светятся, так как их температура повышается всего на несколько, иногда на десятки градусов.

Наличие переходного процесса при включении лампы накаливания в сеть обусловлено следующими причинами.

Перед включением лампы на напряжение сети температура нити накала равна температуре окружающего воздуха 20°C.

Сопротивление нити определяется из выражения

$$r_t = r_0 \cdot I + \alpha_l \cdot t, \quad (3.6)$$

В момент включения лампы по цепи потечет ток

$$I_{\text{муск}} = \frac{U_n}{r_t} = \frac{U_n}{r_{\text{хол}}}, \quad (3.7)$$

Протекающий по лампе ток нагревает нить до $T \approx 3000$ К. Ее сопротивление возрастает пропорционально температуре до значения

$$r_t = r_0 \cdot I + \alpha_l \cdot t_{\text{гор}}, \quad (3.8)$$

и ток уменьшается до

$$I_{\text{уст}} = I_{\text{гор}} = \frac{U_n}{r_{\text{гор}}}, \quad (3.9)$$

Сопротивление нагретой нити накала примерно на порядок выше сопротивления холодной нити, и, следовательно, пусковой ток на столько же больше номинального тока. Этим

и обусловлено наличие переходного процесса включения в сеть активного сопротивления лампы накаливания.

Продолжительность переходного процесса составляет несколько десятых долей секунды в зависимости от мощности лампы и напряжения питания. Изменение тока включения лампы во времени схематично показано на рисунке 3.3.

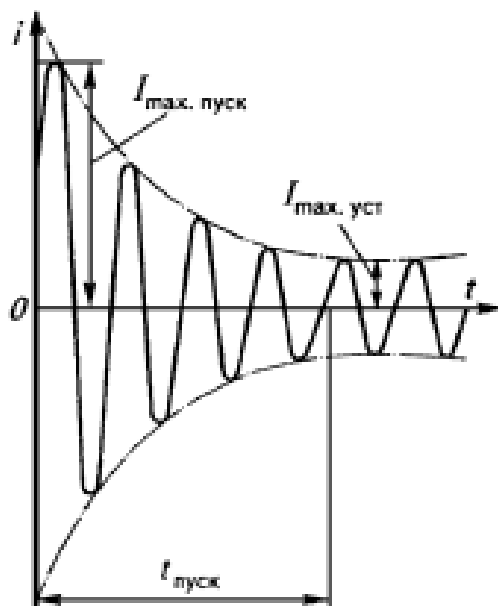


Рис.3.3. Осциллограмма тока при включении лампы накаливания

Широкое распространение получили галогенные лампы накаливания (ГЛН), в колбу которых добавлен галоген (обычный йод), за счет чего в них осуществляется вольфрамно-галогенный цикл. Под таким циклом понимают комплекс физических и химических процессов, в результате которых частицы вольфрама, испарившиеся с тела накала, возвращаются с помощью галогенов из области более низких температур в область более высоких. Назначение цикла – предотвращение почернений колбы под действием испарившегося с тела накала вольфрама, то есть сохранение ее прозрачности на протяжении всего срока горения лампы, а также регенерация вольфрамовой спирали. Однако, хотя благодаря галогенному циклу общая масса вольфрамового тела накала остается практически постоянной в процессе горения, нить лампы с течением времени в одних местах уменьшается, а в других – утолщается, то есть процесс перегорания галогенных ламп подобен этому процессу в обычных лампах накаливания.

Лампы общего назначения выпускаются мощностью до 100 Вт на разные номинальные напряжения от 12 до 230 В. Лампы рассчитаны на напряжение в пределах диапазона, указанного в типе лампы.

Спектр излучения ламп характеризуется преобладанием потока в желтой и красной областях и практически отсутствием энергии в синей области.

Лекция 4

Газоразрядные лампы низкого давления

Вопрос 1. Электрический разряд в лампе

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

К газоразрядным или просто *разрядным* источникам света относятся все *люминесцентные лампы* (в том числе компактные и безэлектродные), *металлогалогенные, натриевые* высокого и низкого давления, *ксеноновые, неоновые* и другие.

Все разрядные лампы делятся на три группы: *низкого, высокого и сверхвысокого* давления. Эти группы достаточно сильно различаются по физике протекающих в них процессов, параметрам, областям применения.

Электрический разряд в лампе

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, т.е. 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 впоследствии электрический пробой приводит к их разрушению и превращению полностью или частично в проводник, 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 или 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 металлов, 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, сообщаемым 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 *резонансным*, 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.

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.

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.

На рисунке 4.1 показана типичная зависимость напряжения на газоразрядном промежутке от тока. Кроме «падающего» характера зависимости напряжения от тока, на рисунке видна еще одна особенность электрического разряда в газах: наличие некой «точки перегиба», после которой характеристика получает «падающий» вид.

Прямая линия, параллельная оси X , – это напряжение электрической сети, питающей газовый разряд, например, привычные для нас 220 В. Из рисунка видно, что «точка перегиба» лежит выше напряжения сети. Величина напряжения в этой точке зависит от очень многих факторов: расстояния между

электродами; рода и давления газа, в котором происходит разряд; температуры электродов; наличия внешних ионизирующих излучений (радиоактивного, космического, рентгеновского и т.п.).

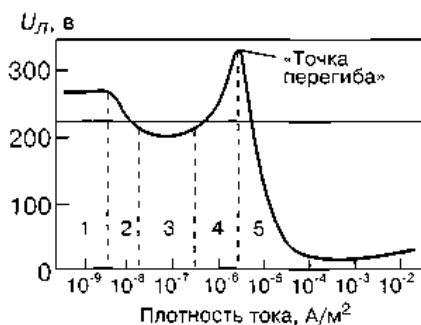


Рис. 4.1. Зависимость напряжения на газоразрядном промежутке от тока

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, диаметры 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 ионизации газа.

Вопрос 2. Устройство и обозначение ламп

Трубчатые люминесцентные лампы низкого давления (рис. 4.2) получившие широкое применение в осветительных установках, существенно отличается от ламп накаливания по всем своим характеристикам. В основе действия люминесцентных источников света лежат различные способы превращения отдельных видов энергии в оптическое излучение. В современных источниках света используются электролюминесценция (оптическое излучение атомов, ионов, молекул жидких и твердых тел под действием ударов электронов, ионов, ускоренных в электрических полях, до энергий, достаточных для возбуждения) и фотолюминесценция (оптическое излучение, возникающее при поглощении оптического излучения другого источника).

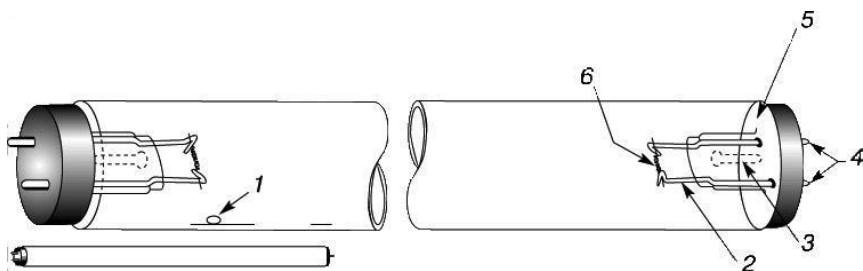


Рис. 4.2. Общий вид ртутной люминесцентной лампы низкого давления:

- 1 - ртуть; 2 - штампованная стеклянная ножка с электропроводами;
- 3 - трубка для откачки (при изготовлении); 4 - выводные штырьки;
- 5 - концевая панелька; 6 - катод с эмиттерным покрытием.

Люминесцентная лампа представляет собой запаянную с обоих концов стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором (люминофоры – твердые и жидкие вещества, способные излучать свет под действием различного рода возбуждений). Из трубки откачан воздух, и она заполнена аргоном при давлении 400 Па с добавлением капельки ртути (60 – 120 мг), которая при нагревании превращается в ртутные пары. Назначение аргона состоит в уменьшении распыления покрытия электродов и облегчения зажигания разряда. При разряде возбуждаются и излучают только атомы ртути.

Внутри трубки на ее концах в стеклянных ножках впаяны электроды с вольфрамовой биспиральной нитью, покрытой слоем оксидов щелочноземельных металлов (бария, кальция, стронция), способствующих более интенсивному излучению электронов (эмиссию электронов). По концам лампа имеет короткие цоколи с полыми штырьками, служащими для включения ее в электрическую сеть. Изнутри к штырькам припаяны выводы электродов.

Когда к противоположным электродам подводится напряжение определенной величины, возникает электрический разряд в газовой среде лампы, с выделением теплоты, под действием которой ртуть испаряется. Такой разряд сопровождается мощным ультрафиолетовым излучением, часть которого люминофор преобразует в видимое излучение. Выбором

и качеством люминофора определяется цвет излучаемого света и эффективность работы лампы.

Люминофор, применяемый в люминесцентных лампах, представляет собой порошкообразное вещество. Световые свойства лампы в значительной степени зависят от размера зерен, толщины и структуры слоя. Обычно на 1 см^2 поверхности наносится 2...3 мг люминофора. Слой люминофора работает на просвет, т.е. возбуждается излучением газового разряда изнутри, а излучает в окружающее пространство.

Основными свойствами люминофора являются следующие:

- спектр поглощения люминофора расположен в зоне меньших длин волн, чем спектр его излучения;
- спектр излучения люминофора не зависит от характера спектра поглощенного излучения и является сплошным;
- спектр излучения люминофора определяется только его химическим составом и не зависит от спектра поглощенного излучения.

Маркировка люминесцентных ламп основана на буквенном обозначении конструктивных признаков. Первая буква – Л – люминесценция, следующие буквы обозначают либо цвет излучения, либо особенности спектра излучения: ТБ – тепло-белая; Б – белая; ХБ – холодно-белая; Д – дневная; Е – естественно-белая; УФ – ультрафиолетовая; К, С, З, Г – соответственно красная, синяя, зеленая и голубая; Ф – фотосинтетиче-

ская. Следующие буквы обозначают конструктивные признаки: Р – рефлекторная; У – дугообразная; К – кольцевая; Б – быстрого запуска; А – амальгамная. Лампы с улучшенной цветопередачей имеют в своем обозначении букву Ц. Сразу после буквенного обозначения следует цифры, указывающие номинальную мощность лампы в ваттах (через тире может быть указан порядковый номер разработки).

Вопрос 3. Технические характеристики люминесцентных ламп

Изменение величины напряжения на зажимах лампы приводит к изменению ее электрических и световых характеристик. С ростом подаваемого на схему напряжения, ток в цепи увеличивается. В соответствии с падающей ВАХ лампы напряжение на ней падает (рис. 4.3). Мощность лампы увеличивается, так как напряжение снижается медленнее, чем повышается ток.

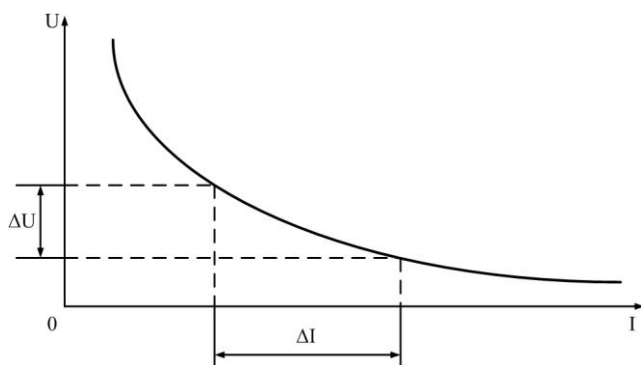


Рис. 4.3. Статическая вольт-амперная характеристика люминесцентной лампы

Световой поток лампы с увеличением напряжения также увеличивается, но медленнее, чем мощность, т.е. светоотдача лампы при этом уменьшается. Это объясняется насыщением люминофорного покрытия. Все частицы люминофора участвуют в процессе преобразования ультрафиолетового излучения разрядного промежутка в видимое уже при нормальном напряжении. Поэтому повышение мощности разряда увеличивает ультрафиолетовый поток, но видимый поток возрастает медленнее мощности. Наибольший срок службы лампы будет при работе на номинальном напряжении. При снижении напряжения для зажигания лампы требуется большее число срабатываний стартера. Возникающее при этом импульсное воздействие тока разрушает оксидное покрытие электродов и снижает срок службы лампы. При повышении напряжения, повышается плотность тока на электродах, также происходит к их преждевременному разрушению и снижению срока службы лампы.

Основными **достоинствами** люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания являются:

- более благоприятный спектральный состав излучения;
- значительно более высокая (в 4...6 раз для ламп одинаковой мощности) световая отдача;
- значительно меньшая яркость;
- большой срок службы.

Наряду с этим у люминесцентных ламп имеются и **недостатки**:

- более сложная схема включения в сеть, требующая дополнительной пускорегулирующей аппаратуры;
- зависимость показателей работы от условий окружающей среды;
- пульсация светового потока, вызывающая явление стробоскопического эффекта;
- сравнительно малая единичная мощность ламп;
- меньшая надежность в работе.

Вопрос 4. Стартерная и бесстартерная схема

Для зажигания и горения ламп необходимо включение последовательно с ним пускорегулирующих аппаратов. Существуют стартерные и бесстартерные ПРА, причем в первых начальный подогрев электродов обеспечивается кратковременным замыканием контактов стартера, включенного параллельно лампе, во-вторых – подачей на электроды напряжения от специальных устройств, построенных на базе схем умножения напряжения, накальных трансформаторов и т.п. Стартерные схемы включения люминесцентных ламп (рис. 4.4) получили большее распространение, поскольку достаточно просты, имеют малые потери мощности и меньшую стоимость по сравнению с бесстартерными схемами.

Однако наличия стартера иногда может приводить к «миганиям» и выходу из строя ламп. Кроме того, при пониженной температуре, если электроды лампы не успели как следует прогреться, лампа может не зажечься. Существуют различные типы стартеров. Наиболее распространенным является стартер

тлеющего разряда, представляющий собой небольшую газоразрядную лампу тлеющего разряда в стеклянной колбе, заполненной смесью инертных газов (60% аргона, 28,8% неона и 11,2% гелия). Стеклянная колба помещена в пластмассовый или металлический корпус. Один из электродов стартера жесткий, неподвижный, изготовленный из никеля, а второй – подвижный, представляющий собой биметаллический элемент состоящий из двух пластин с различными коэффициентами линейного расширения (существуют конструкции стартера с двумя подвижными контактами).

В момент включения схемы в сеть (рис. 4.5) к электродам лампы *1* и стартера *2* приложено полное сетевое напряжение, так как тока в цепи нет и потеря напряжения на дросселе *3* отсутствует.

Пока электроды лампы не нагрелись, напряжения сети недостаточно для зажигания лампы, однако достаточно для зажигания стартера. В стартере возникает разряд и в схеме протекает ток по цепи: сеть – первый электрод лампы – стартер – второй электрод лампы – дроссель – сеть.

Значение тока в этот момент составляет всего лишь сотые доли ампера, поэтому электроды лампы сильно разогреться не могут. Но для нагрева биметаллического электрода в стартере достаточно теплоты, выделяющейся при разряде.

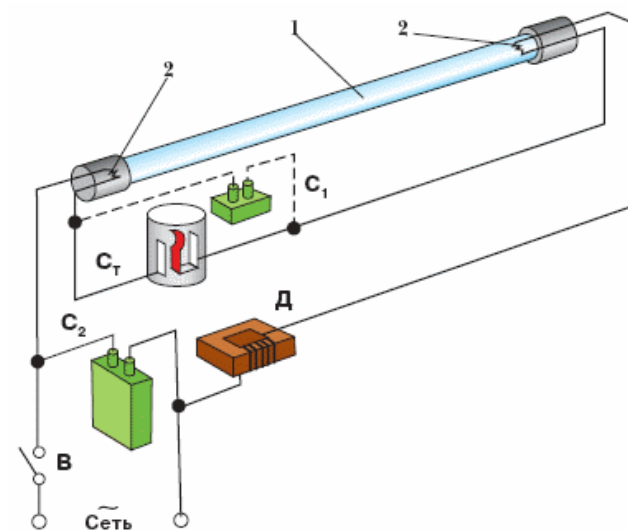


Рис. 4.4. Схема включения люминесцентной лампы:

1 – стеклянная трубка; 2 – электроды; C_т – стартер; C₁ и C₂ – конденсаторы; Д – дроссель; В – выключатель

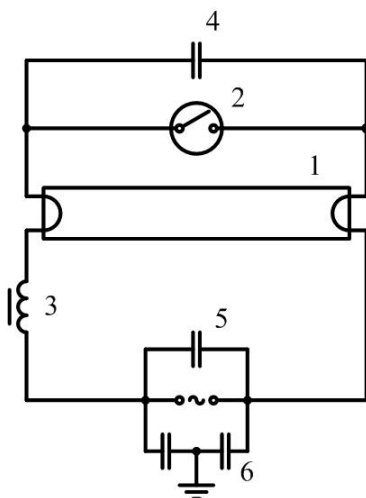


Рис. 4.5. Стартерная схема включения люминесцентной лампы

В результате нагрева биметаллическая пластина изгибается и замыкает стартер накоротко. При этом ток в цепи возрастает до 0,5 – 0,6 А и электроды лампы быстро разогреваются. Поскольку тлеющий разряд, сопровождающийся выделением теплоты, в стартере при замыкании электродов прекращается, электроды стартера начинают остывать и размыкаются. Мгновенный разрыв цепи вызывает появление ЭДС на дросселе в виде мгновенного пика напряжения. При этом лампа, электроды которой уже раскалены, зажигается. После зажигания лампы в ее цепи устанавливается рабочий ток. Напряжение на зажимах лампы составляет около половины подведенного, остальная часть напряжения теряется на дросселе. Следовательно, в нормальном режиме работы лампы на зажимах стартера напряжение составляет примерно половину напряжения сети, что недостаточно для его повторного срабатывания.

Для устранения ряда недостатков, сопровождающих работу газоразрядных ламп, в схему вводятся конденсаторы **4** – **6**. Параллельно электродам стартера включается конденсатор **4**, назначение которого состоит в уменьшении амплитуды и увеличении длительности импульса напряжения, что способствует надежному зажиганию лампы. Кроме того, этот конденсатор снижает уровни радиопомех, возникающих при включении лампы. Параллельно лампе включается конденсатор **5**. Он предназначен для повышения коэффициента мощности схемы.

Также параллельно лампе подключаются конденсаторы 6, средняя точка которых соединяется с корпусом светильника. Они предназначены для подавления радиопомех, распространяющихся по сети.

При работе люминесцентных ламп с некомпенсированными ПРА коэффициент мощности комплекта «лампа – ПРА» в зависимости от мощности ламп находится в пределах 0,35 – 0,5; при двухламповых компенсированных ПРА – не ниже 0,92; при одноламповых компенсированных – не ниже 0,85.

Время зажигания ламп при номинальном напряжении электрической сети должно составлять не более 10 с, а время выхода ламп на предельные характеристики – не более 15 мин. Обычные типы ламп предназначены для работы при температуре окружающей среды 15 – 25 °С. При больших или меньших температурах световая отдача ламп снижается, а при температуре ниже 5 °С устойчивое зажигание ламп не обеспечивается. В жарких помещениях применяются специальные амальгамные лампы (типа ЛБА), имеющие нормальную световую отдачу при высоких температурах.

В настоящее время для зажигания и работы люминесцентных ламп применяются электронные пускорегулирующие аппаратуры (ЭПРА), в которой частота питающего тока повышается до 20 – 40 Гц.

Данные устройства обладают следующими преимуществами по сравнению с традиционными электромагнитными пускорегулирующими аппаратами (ЭмПРА):

- снижение потребления электроэнергии комплектом ЭПРА – лампа в среднем на 20%;
- повышение световой отдачи лампы на 5 – 7% при работе на повышенной частоте;
- экономия дефицитных материалов – меди и стали;
- высокое качество светового потока лампы вследствие низких значений коэффициента пульсации светового потока (5 – 15%) и отсутствие стробоскопического эффекта;
- снижение массогабаритных показателей на 40 – 70%;
- благоприятный («щадящий») режим зажигания лампы;
- повышение срока службы лампы на 10 – 50% за счет стабильных параметров зажигания и горения;
- отсутствие мигания лампы в пусковом режиме;
- бесшумность работы ЭПРА;
- возможность регулирования светового потока светильника в диапазоне 10 – 100% в ручном и автоматическом режиме;
- автоматическое отключение ламп в конце их срока службы, а также неисправных ламп.

Лекция 5

Газоразрядные лампы высокого и сверхвысокого давления

Вопрос 1. Общие сведения

Ртутные лампы высокого и сверхвысокого давления являются самой распространенной и многочисленной группой источников света среди разрядных ламп этого типа. Это связано с тем, что при помощи ртутного разряда удается создавать весьма эффективные источники в УФ, видимой и близкой ИК областях спектра, различной мощности, достаточно компактные, со сроками службы в десятки тысяч часов, обладающим при необходимости весьма высокими яркостями.

Конструктивно газоразрядные лампы высокого давления отличаются от газоразрядных ламп низкого давления меньшими размерами и отсутствием подогревных электродов.

Классификация разрядных ламп высокого и сверхвысокого давления основана на конструктивных признаках:

1. Разрядные лампы высокого давления;
2. Разрядные лампы высокого давления с исправленной цветностью (ДРЛ);
3. Трубочатые разрядные лампы сверхвысокого давления с естественным охлаждением;
4. Капиллярные разрядные лампы сверхвысокого давления с принудительным (воздушным или водяным) охлаждением;

5. Шаровые или короткодуговые разрядные лампы сверхвысокого давления с естественным охлаждением.

Вопрос 2. Дуговая ртутная люминесцентная лампа типа ДРЛ

Дуговая ртутная лампа типа ДРЛ (рис. 5.1) состоит из кварцевой трубки (горелки), расположенной в стеклянной колбе, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора, способного преобразовывать ультрафиолетовое излучение, сопровождающее дуговой разряд в трубке, в видимый свет, пригодный для освещения. В трубку, выполненной из кварцевого стекла, впаяны два основных вольфрамовых электрода, покрытых активированным слоем и подсоединенных к центральной части цоколя лампы, и два дополнительных электрода (зажигающих). В трубке имеется капля ртути (25 – 165 мг). После откачки воздуха для поддержания стабильности свойств люминофора колба заполняется чистым инертным газом (аргоном).

Такая конструкция позволяет эффективно зажигать четырехэлектродную лампу от питающей сети напряжением 220 В. Приведенная на рисунке 5.2 схема включения применяется для ламп, у которых напряжение зажигания U_z меньше напряжения сети U_c , а рабочее напряжение на лампе U_n таково, что $U_n / U_c \leq 0,7$. При данном соотношении напряжений обеспечивается надежное зажигание лампы. Каждый зажигающий электрод через резистор R , расположенный внутри наружного баллона,

подключается к противоположному рабочему электроду. Резистор R ограничивает ток вспомогательного разряда и уменьшает ток утечки через зажигающие электроды лампы.

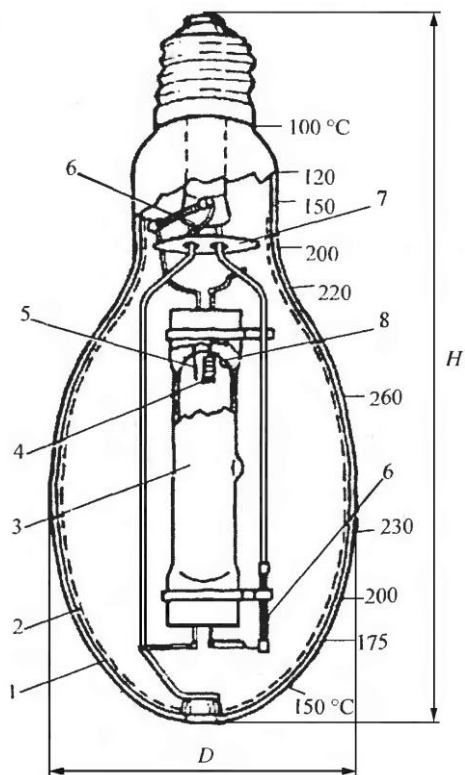


Рис. 5.1. Конструкция лампы типа ДРЛ:

1 – внешняя стеклянная колба; 2 – слой люминофора; 3 – разрядная трубка из кварцевого стекла; 4 – рабочий электрод; 5 – зажигающий электрод; 6 – ограничительные резисторы в цепи зажигающего устройства; 7 – экран; 8 – ртуть. Цифры справа на колбе – температуры колбы лампы ДРЛ мощностью 400 Вт

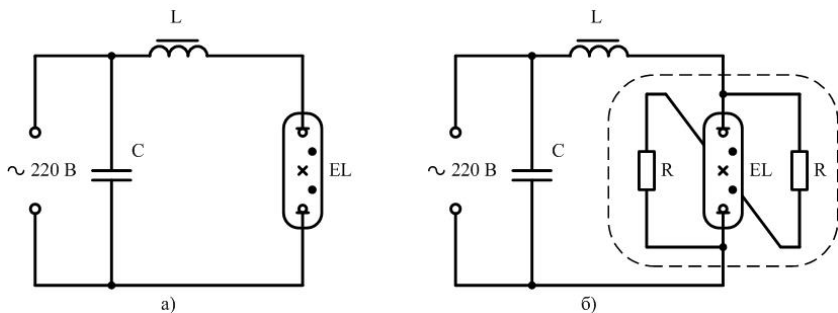


Рис. 5.2. Простейшая схема включения лампы типа ДРЛ:
 а – двухэлектродная; б – четырехэлектродная

При подаче определенной величины напряжения к электродам лампы в трубке возникает электрический разряд, сопровождающийся ультрафиолетовым излучением ртутных паров с синеватым оттенком. Указанное излучение, воздействуя на люминофор, вызывает его свечение, имеющее красный цвет. Суммарный цвет светового излучения лампы складывается из излучений ртутного разряда и люминофора, приближаясь к белому.

Благодаря наличию внешней колбы, светотехнические характеристики лампы типа ДРЛ практически не чувствительны к температуре окружающего воздуха в отличие от люминесцентных ламп низкого давления. Они надежно работают при температуре окружающего воздуха от -30 до $+40$ °С. Влияние температуры окружающего воздуха сказывается в основном на напряжении зажигания лампы и времени ее разгорания.

При эксплуатации осветительных установок допускается любое положение ламп типа ДРЛ. Однако при горизонтальном

положении дуга в горелке из-за конвекционных потоков газов слегка выгибается вверх. Это приводит к некоторому снижению мощности, световой отдачи и срока службы лампы.

Четырехэлектродные дуговые ртутные люминесцентные лампы высокого давления с люминофорным покрытием на колбе выпускаются в пределах мощностей 80 – 2000 Вт и имеют световую отдачу 40 – 60 лм/Вт. Световая отдача возрастает с увеличением единичной мощности, но для наиболее применяемых в установках внутреннего освещения ламп мощностью 400 – 1000 Вт почти одинакова.

Срок службы лампы равен 12 – 20 тыс.ч, причем к концу этого срока световой поток снижается до 70% от начального. Лампы включаются через индуктивные ПРА, потери мощности которой составляет около 10%. Коэффициент мощности комплекта «лампа – ПРА» составляет в среднем 0,5. В последнее время наметилась тенденция встраивания в ПРА конденсаторов для повышения коэффициента мощности до 0,9 – 0,95 (рис. 2, а). Лампы в комплекте с ПРА предназначены для включения на напряжение 220 В, кроме ламп 2000 Вт, включаемых на напряжение 380 В. Лампы мощностью до 125 Вт имеют цоколь Е27, остальные – Е40. Преимуществом ламп ДРЛ по сравнению с люминесцентными лампами низкого давления является их компактность при высокой единичной мощности, существенным недостатком – плохая цветопередача их излучения, позволяющая применять лампы ДРЛ только при отсутствии каких-либо требований к различению цветов ($T_c = 3800$

$K, R_a = 42$), а также значительной пульсации светового потока (коэффициент пульсации 63 – 74%). Процесс разгорания ламп после включения длится 5- 7 мин. В случае хотя бы мгновенного перерыва питания лампы гаснут и начинают вновь разгораться только после остывания, когда пары ртути сконденсируются и давление в разрядной трубке упадет до первоначального значения (в течении примерно 10 мин). Как и люминесцентные лампы, они надежно работают только при напряжении не менее 90% от номинального. Гигиенические исследования не выявили противопоказаний для применения ламп ДРЛ, но позволили сделать вывод, что при зрительных работах высокой точности применение их не желательно.

В маркировке ламп буквы и числа обозначают: ДР - дуговая ртутная, Л – люминесцентная, первое число – номинальная мощность в ваттах, в скобках указывается так называемое красное отношение, в процентах – доля излучения в красной части спектра в общем потоке излучения, через дефис – номер разработки.

Лампа типа ДРЛ с красным соотношением 6% рекомендуется использовать для освещения улиц и автострад, 10% - для наружного и внутреннего освещения промышленных объектов с высоким уровнем зрительных работ, 12% и более – для внутреннего освещения промышленных предприятий.

Для освещения помещений производственных и общественных зданий, в которых выполняются работы, требующие

повышенного цветоразличия, могут применяться 50, 80 и 125 Вт, имеющие долю красного излучения 15%.

Вопрос 3. Металлогалогенные лампы типа ДРИ

Металлогалогенные лампы типа ДРИ (дуговые ртутные с излучающими добавками) появились в результате развития и усовершенствования ламп ДРЛ. Устройство ламп типа ДРИ (рис. 5.3) практически такое же, как и ламп ДРЛ.

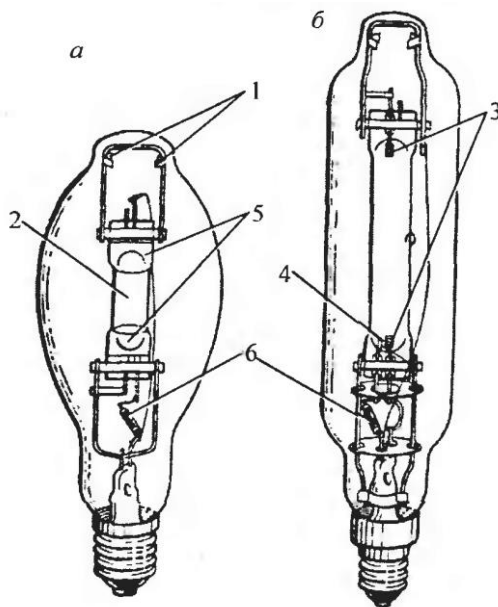


Рис. 5.3. Общий вид осветительных металлогалогенных ламп: а – лампа 400 Вт в эллипсоидальной прозрачной внешней колбе; б – лампа 2000 Вт в цилиндрической прозрачной форме; 1 – пружинные распорки; 2 – разрядная трубка; 3 – основные электроды; 4 – зажигающий электрод; 5 – утепляющее покрытие; 6 – ограничительное термостойкое сопротивление

В прозрачной колбе находится разрядная трубка, с обеих сторон которой впаяны электроды. В основании колбы установлен экран. В качестве внешней колбы применяются либо стандартная колба лампы ДРЛ без люминофорного покрытия (в типе лампы указана модификация 5), либо колба цилиндрической формы (модификация 6). Лампы модификации 5 предназначены для работы в любом положении, а модификации 6 – преимущественно в горизонтальном.

В лампах типа ДРИ в разрядную трубку помимо ртути и аргона (или другого инертного газа) дополнительно вводят галогенные соединения различных металлов (обычно с йодом, так как иодиды металлов практически не взаимодействуют с кварцевым стеклом). Эти соединения в горячей зоне распадаются на атомы йода и металла. Из горячей зоны они перемещаются в холодную к стенкам и воссоединяются в первоначальное состояние. Таким образом, в лампе осуществляется замкнутый цикл.

Излучаемый свет зависит от используемого металла, что позволяет отказаться от люминофора. Например, введение иодида таллия дает зеленоватый цвет, натрия – желтоватый цвет, а индия – голубоватый оттенок света. В лампах типа ДРИ в качестве галогенидов широко используются иодиды натрия.

Лампы ДРИ имеют световую отдачу до 90 лм/Вт, внешне отличаются от ламп ДРЛ только отсутствием люминофора на колбе и дают достаточно белый свет. Лампы включаются в сеть через ПРА, состоящего из дросселя и зажигающего устройства, генерирующие импульсы высокого напряжения. Коэффициент мощности при некомпенсированных ПРА равен в среднем 0,5.

Пульсации светового потока значительно меньше (коэффициент пульсации 30%), и разгораются лампы ДРИ несколько быстрее, чем лампы ДРЛ. С точки зрения применения металлогалогенные лампы разделяются на лампы для общего освещения, лампы с улучшенным качеством цветопередачи для общего и специального применения, а также лампы для специальных применений.

Вопрос 4. Ксеноновые лампы

В этих лампах дуговой разряд происходит в тяжелом инертном газе ксеноне, в результате чего испускаются лучи в близкой к ультрафиолетовой, видимой и близкой к инфракрасной областям спектра электромагнитного излучения. Излучаемый свет имеет ровный белый свет ($T_c = 6000 \text{ K}$) и хорошую цветопередачу ($R_a = 98$).

Лампа представляет собой трубку из кварцевого стекла диаметром 22 – 42 мм и длиной 640 – 2610 мм, заполненной ксеноном.

Различают ксеноновые лампы с естественным и водяным охлаждением (трубчатые), а также сверхвысокого давления с естественным и принудительным воздушным или водяным охлаждением (шаровые).

Лампы с шаровой колбой (рис. 5.4) представляют собой толстостенный баллон из кварца с впаянными в него двумя электродами, изготовленными из торированного вольфрама. Токопроводящими контактами служат цилиндрические выводы, конструкция которых предусматривает как возможность крепления ламп, так и присоединение питающих проводов.

Баллон лампы наполняется ксеноном до давления 8 - 9 атм, которое при работе лампы возрастает до 20 - 25 атм.

Трубчатая ксеноновая лампа с естественным охлаждением (рис.5.5) представляет собой толстостенную трубку из кварцевого стекла, по концам которой сварены электроды из торированного вольфрама. Вводы лампы изготавливаются из молибденовой фольги. Внешние выводы изготовлены из стали, а переходные втулки из титана. Колба лампы заполняется ксеноном с холодным давлением от 2000 до 46662 Па. Величина давления ксенона определяется напряжением зажигания пускового устройства, а так же зависит от выбранного внутреннего радиуса трубки и падения напряжения на единицу длины разряда.

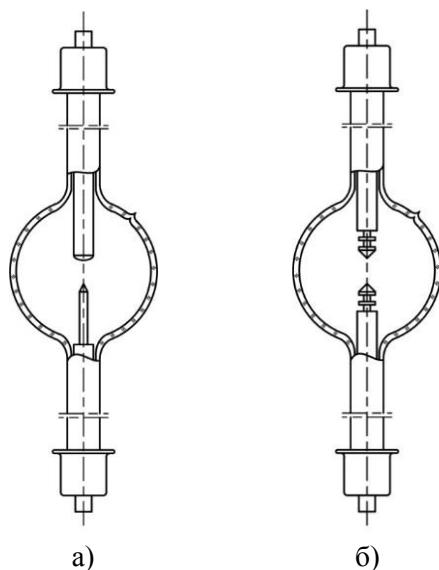


Рис. 5.4. Ксеноновые лампы с шаровой колбой:

а) на постоянном токе; б) на переменном токе

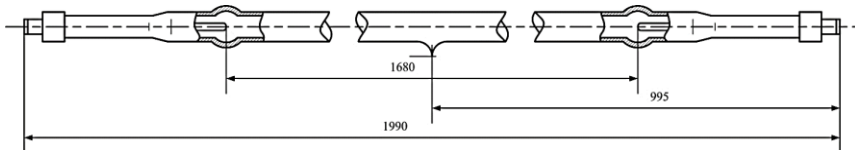


Рис. 5.5. Общий вид ксеноновых трубчатых ламп типа ДКсТ 10000, ДКсТ 20000, ДКсТ 50000

В лампах с водяным охлаждением разрядная трубка из кварца помещается внутри стеклянного цилиндра (рис. 5.6) в зазоре между разрядной трубкой и цилиндром циркулирует вода, которой придается винтообразное движение благодаря некоторому сдвигу входного патрубка по отношению к плоскости, проходящей через ось лампы. Концы стеклянного цилиндра помещаются в сборные латунные муфты и уплотняются резиновыми прокладками. Для охлаждения ламп используется дистиллированная вода, циркулирующая в замкнутой системе. Нормальная работа лампы возможна, если стеклянный цилиндр полностью заполняется водой. Максимальная температура охлаждающей воды не должна превышать температуры, при которой образуется сплошная паровая рубашка (не более 50 °С на выходе из лампы). Из этих соображений определяется расход охлаждающей воды. Применение водяного охлаждения позволяет увеличить почти в 10 раз удельную нагрузку на кварц по сравнению с естественным охлаждением, что дает возможность уменьшить размеры ламп и при этом повысить на 30 - 40% их световую отдачу.

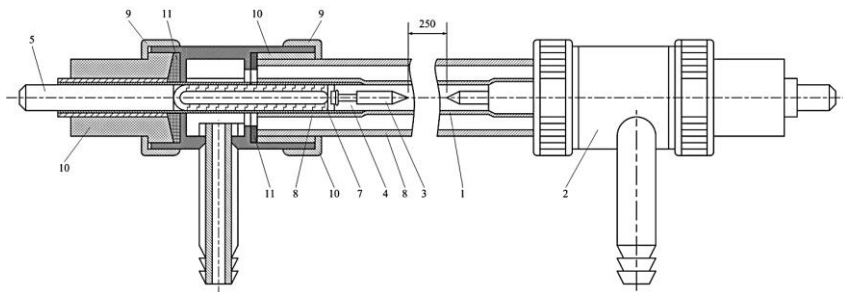


Рис. 5.6. Конструкция ксеноновой лампы

с водяным охлаждением:

1 – разрядная трубка; 2 – корпус охлаждающей рубашки; 3 – электрод; 4 – втулка; 5 – вывод; 6 – цилиндр из молибденовой фольги; 7 – вкладыш; 8 – стеклянный цилиндр; 9 – гайка; 10 – уплотняющий вкладыш; 11 – уплотняющие прокладки

Электрический дуговой разряд в ксеноновой лампе возникает при высоком напряжении зажигания (до 50 кВ). При этом время загорания лампы составляет менее секунды, так как в отличие от ламп, в которых разряд происходит в газах с парами ртути или натрия, плотность ксенона остается практически постоянной при изменении теплового режима. Такие лампы имеют возрастающую вольт-амперную характеристику при больших плотностях тока. Это позволяет стабилизировать разряд с помощью небольших балластных сопротивлений или же вообще обойтись без них, что имеет место при использовании трубчатых ламп значительной длины.

Так как напряжение зажигания ксеноновых ламп значительно превышает напряжение питающей сети, поэтому поджигающее устройство основано на принципе искрового генератора. На рисунке 5.7 приведены схемы зажигания лампы с помощью искрового генератора.

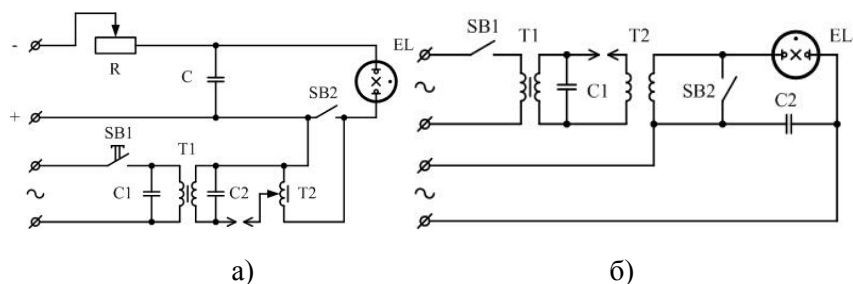


Рис. 5.7. Схемы включения ксеноновых ламп

Для зажигания ламп имеют важное значение не только величина поджигающего импульса и число подаваемых на лампу импульсов, но и сдвиг фаз между напряжением питания лампы и пускового устройства. При питании лампы и пускового устройства от одной и той же фазы сети напряжение зажигания лампы выше, чем при питании от различных фаз. Поэтому к пусковому устройству и к лампе подаются различные фазы сети. Нажатием кнопки *SB1* либо нормально замкнутыми блок-контактами, должна быть выбрана из расчета на номинальное напряжение 15-20 кВ. При отключении лампы от сети ее повторное включение возможно только после достаточного остывания, на что требуется 5-10 мин. Повторное включение неостывшей лампы может ее вывести из строя, поэтому этого

следует избегать. Повторное включение неостывшей лампы может ее вывести из строя, поэтому этого следует избегать. Kontakтами контактора $R1$ в случае автоматического управления зажиганием ламп на первичную обмотку трансформатора $T1$ подается сетевое напряжение. Конденсатор $C1$ включенный во вторичную обмотку трансформатора, заряжается, и, когда на нем напряжение достигает величины напряжения пробоя воздушного разрядника, он почти мгновенно разрядится на первичную обмотку импульсного трансформатора $T2$. Во вторичной обмотке трансформатора $T2$ индуцируется высоковольтный, высокочастотный импульс, который будет приложен к электродам лампы. Под воздействием этого импульса разрядный промежуток лампы пробьется, что вызовет его первоначальную ионизацию.

Если величина и число подаваемых импульсов окажется достаточными, то в лампе создадутся необходимые условия для развития дугового разряда, и лампа зажигается. После того как лампа зажглась, необходимо, чтобы искровой генератор продолжал работать в течение некоторого промежутка времени. Если отключить искровой генератор раньше положенного времени, то лампа может погаснуть. Время, в течение которого искровой генератор должен продолжать работать, зависит от напряжения и полного сопротивления сети. Необходимая выдержка времени обеспечивается введением в схему реле времени (на схеме не показано). Когда процесс зажигания лампы закончится, то поджигающее устройство отключается

от лампы. Для этого размыкается кнопка *SB1*, а вторичная обмотка импульсного трансформатора замыкается накоротко кнопкой *SB2*. В случае автоматического управления реле времени включает контактор (не показан на схеме), который своими контактами отключает трансформатор *T1* и замыкает накоротко вторичную обмотку трансформатора *T2*. Конденсатор *C2* служит для защиты сети от попадания в нее высокого напряжения.

После пробоя разрядного промежутка напряжение на лампе снижается до нескольких сотен вольт и течение кратковременного периода нагрева концов электродов и достижения ими температуры, обеспечивающей начало термоэлектронной эмиссии, напряжение резко падает до 18 - 35 Вв зависимости от типа лампы.

Вопрос 5. Натриевые лампы высокого давления типа ДНаТ

Натриевые лампы высокого давления типа ДНаТ (рис. 5.8) представляют собой горелку из светопропускающей поликристаллической керамики (окись алюминия), полость которой заполнена ксеноном с добавками натрия, придающего излучаемому свету желто-оранжевый оттенок, и ртути в виде амальгамы (амальгама – металлическая система, в состав которой в качестве одного из компонентов входит ртуть). Горелка размещена в колбе, которая имеет цилиндрическую или эллиптическую форму и оснащена резьбовым цоколем. При работе

лампы дуговой разряд в горелке осуществляется в парах ртути и натрия, что способствует его стабилизации.

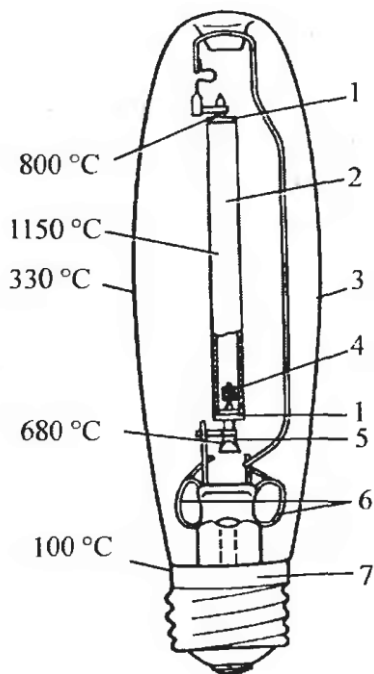


Рис. 5.8. Общий вид натриевой лампы высокого давления:

- 1- керамическая горелка; 2 – керамическая светопропускающая трубка; 3 – внешняя колба из тугоплавкого стекла; 4 – электрод; 5 – ниобиевый штенгель; 6 – бариевый геттер (газопоглотитель); 7 – цоколь

Для откачки воздуха и наполнения ламп инертными газами в процессе изготовления используется штенгель. Во

время работы лампы он выполняет роль вакуумно-плотного токовода и держателя электрода, а его наружная часть служит холодной зоной, которая является резервуаром амальгамы натрия. Штенгель представляет собой бесшовную трубочку из ниобия, конец которой, входящий внутрь лампы, имеет специальную форму для крепления электрода.

Натриевые лампы высокого давления малочувствительны к температуре окружающей среды и работоспособны при ее изменении в диапазоне от -60 до $+40$ °С. Колебания напряжения электрической сети существенно сказывается на световых и электрических параметрах натриевых ламп. Кроме того, эти лампы требуют соблюдения установленного положения горения: цоколем вверх или вниз с нормированным отклонением от вертикального положения.

Световая отдача ламп достигает 140 лм/Вт при сроке службы до 20000 ч. Цветовые характеристики натриевых ламп высокого давления относительно невысокое: лампа излучает свет желто-оранжевого цвета ($T_c = 2000$ К) и обладает плохой цветопередачей ($R_a = 20 - 30$). Улучшение качества цветопередачи при использовании натриевых ламп может быть достигнуто за счет их совместного применения с ртутными люминесцентными лампами высокого давления.

Лампы включаются в сеть так же, как лампы ДРИ – через последовательно включенный дроссель, рассчитанный на рабочий ток и напряжение лампы.

Масса дросселя примерно на 30% больше, чем у дросселя для лампы ДРЛ той же мощности из-за большого рабочего тока. Зажигание стандартных ламп выполняется с помощью импульсного зажигающего устройства (ИЗУ) (рис. 5.9), создающего импульсы высокого напряжения (2 – 3 кВ), которые подключаются непосредственно параллельно лампе или через часть обмотки дросселя. Коэффициент мощности комплекта «лампа – ПРА» в среднем 0,5. Пульсации светового потока достигают 70%.

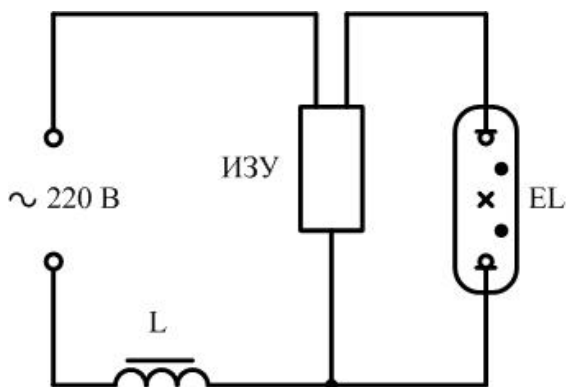


Рис. 5.9. Схема включения лампы ДНаТ

Лекция 6

Светильники, маркировка и классификация

Вопрос 1. Светильники с лампами накаливания

Светильники с лампами накаливания, в том числе и с галогенными, рассчитаны на работу в сети переменного тока с номинальным напряжением 220 в и частотой 50 Гц. Для общего освещения они могут применяться в следующих случаях:

- для освещения помещений с тяжелыми условиями окружающей среды и взрывоопасных зон, если отсутствуют средства освещения с газоразрядными лампами;

- в помещениях, где выполняются работы VI и VIII разрядов при технико-экономической целесообразности;

- в помещениях (независимо от выполняемых в них работ), где необходимо исключение радиопомех;

- для эвакуационного и аварийного освещения, когда болеее освещение выполнено газоразрядными лампами высокого давления. При этом если единичная мощность лампы составляет 1000 Вт и более, рекомендуется использовать светильники с галогенными лампами накаливания типа КГ;

- для освещения тоннелей, галерей, площадок, помещений с вредным пребыванием людей, если осветительные установки с лампами накаливания технико-экономически обоснованы.

Светильники типов НПП03 и НПП05 используются для освещения низких вспомогательных производственных помещений с тяжелыми условиями среды, причем светильник

НПП03 – для освещения низких сырых производственных помещений, а светильник НПП05, кроме того, для эксплуатации под навесом, а также для освещения сельскохозяйственных помещений без химически активной среды.

Для производственных помещений с повышенным содержанием пыли могут применяться светильник типа НСП02 и НСП03, а светильники типа НСП03, кроме того, и для помещений с повышенной относительной влажностью.



а)

б)

Рис. 6.1. Светильники: а) НПП03; б) НПП05

При необходимости освещения пыльных и влажных производственных помещений (запыленность до 10 мг/м^3), а также взрывоопасных помещений классов В-Ia и В-Iб и пожароопасных помещений целесообразно предусматривать светильники типа НСП11.



а)



б)

Рис. 6.2. Светильники: а) НСП02; б) НСП03



а)



б)

Рис. 6.3. Светильники: а) НСП11; б) НСП17

Светильник типа НСП17 применяются для освещения различных по высоте производственных помещений с нормальными и тяжелыми условиями окружающей среды. Конструкция светильников предусматривает установку их на крюк, трубу и монтажный профиль.

При наличии в помещениях нетокопроводящей и негорючей пыли (запыленность до 10 мг/м^3) для их освещения могут быть рекомендованы светильник типа НСП21 и НСП 22.

Пыле- и брызгозащищенный светильник типа НСП01 используется для освещения подземных выработок и угольных шахт, не опасных по газу и пыли, а светильник типа ИСП04 с галогенными лампами – для освещения реакторных отделений атомных электростанций.



а)



б)

Рис. 6.4. Светильники: а) НСП 21; б) НСП22

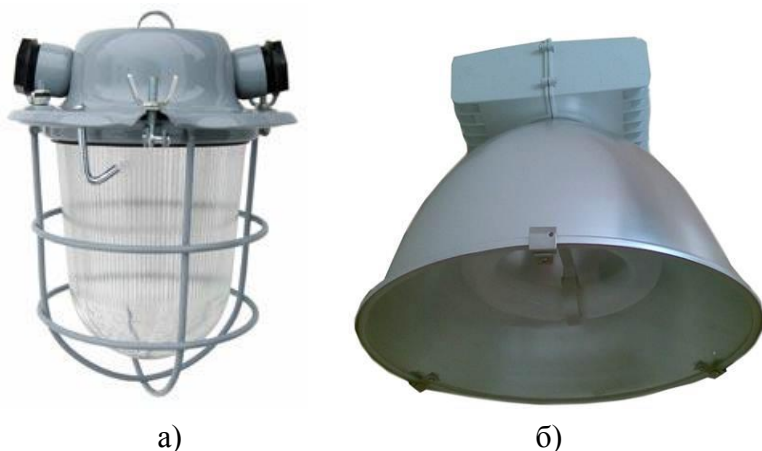


Рис. 6.5. Светильники а)НСР01; б) ИСП04

Вопрос 2 Светильники с люминесцентными лампами

Светильники с люминесцентными лампами рассчитаны на работу в сети переменного тока с номинальным напряжением 220 в, частотой 50 Гц с применением соответствующей пускорегулирующей аппаратуры.

Для указания путей эвакуации людей предназначены светильники с пиктограммой «Выход» типа ЛБО22-6, имеющие степень защиты *IP54* с люминесцентной лампой мощностью 6 Вт, и типа ЛБО 01-11 (13, 18, 26) со степенью защиты *IP20* и компактной люминесцентной лампой мощностью соответственно 11, 13, 18, 26 Вт. Кроме того, эти светильники укомплектованы автономными источниками питания (аккумуляторной батареей) для работы в аварийных режимах. Светильники типа ЛБО (без пиктограмм) могут применяться так же для

освещения лестничной площадок, коридоров и т.п. Для этой же цели используются светильники типа ЛПБЗ1-11 со степенью защиты *IP40* и компактной люминесцентной лампой КЛ-11 мощностью 11 Вт и светильники ЛББЗ1-11 с такой же лампой и степенью защиты *IP54*.



Рис. 6.6. Светильник ЛБО22-6



Рис. 6.7. Светильник ЛБО 01-11

Светильники типов ЛПО, ЛСО предназначены для общего освещения учебных классов школ и дошкольных учреждений, аудиторий вузов и других общественных помещений.

Школьные доски учебных заведений, стены выставочных залов могут быть освещены специально предназначенными для этих целей светильниками типа ЛБО12.

Светильники типа ЛСО20, ЛПП12 (рис. 6.8), ЛПП20 могут работать как с энергоэкономичными люминесцентными лампами Т8, так и с лампами последнего поколения Т5.



Рис. 6.8. Светильник ЛПП12

Встраиваемые светильники типа ЛВП04, ЛВП05, ЛВП06 могут применяться для общего освещения производственных помещений имеющих технический этаж, с которого и производится обслуживание светильников. При этом светильники типа ЛВП04 предназначены для помещений как с нормальной, так и с повышенной запыленностью и влажностью.

Светильники типа ЛВП05, ЛВП06 предназначены для общего освещения производственных помещений с нормальными условиями среды, а также помещений с технологическим микроклиматом. При этом рассеивать свет светильника типа

ЛВП06 может быть изготовлен из светотехнического органического стекла (модификации 001 и 002) или выполнен в виде светорассеивающей решетки из полистирола (модификации 0030). Конструкция светильников предусматривает использование энергоэкономичных люминесцентных ламп мощностью 58 Вт.

В производственных помещениях с нормальными условиями среды используются светильники типа ЛСП02(рис. 6.9) и ЛСП13, которое могут устанавливаться либо по отдельности, либо стыковаться в непрерывную линию.



Рис. 6.9. Светильник типа ЛСП02

При этом светильники ЛСП13 с КСС типа Л применяют для освещения относительно низких помещений (высотой до 4,5 м), в которых требуется создавать высокие отношения вертикальной освещенности к горизонтальной, а также для локализованного освещения конвейеров с двухсторонним расположением рабочих мест. Светильники с КСС типа Г служат для

освещения помещений высотой до 12 м и создания высоких уровней освещенности при хорошем качестве освещения (механообработка, сборка и т.п.).

Светильники типа ЛСП18 предназначены для общего освещения помещений с тяжелыми условиями среды, в том числе пожароопасных всех классов (степень защиты 5'4), а со степенью защиты IP65 – еще и взрывоопасных помещений классов В-Іб и В-Іа.

Для освещения сырых и пыльных производственных помещений применяются светильники типа ЛСП22. В обозначении модификации этого типа светильника первая цифра означает наличие или вид отражателя (0 – без отражателя, 1 – отражатель без отверстий, 2 – отражатель с отверстиями); вторая цифра – наличие экранирующей решетки; (0 – без экранирующей решетки, 1 – с экранирующей решеткой); третья цифра – способ установки светильников (1 – на штангах, 2 – на полке).

Вопрос 3 Светильники под лампы ДРЛ и ДРИ

Светильник с газоразрядными лампами высокого давления для производственных помещений выпускаются унифицированными сериями на основе корпуса и отражателей различного профиля. Как правило, их выполняют подвесными. При этом используются три светотехнических варианта, определяемые положением лампы и наличием отражателя или рассеивателя. Первый вариант характеризуется вертикальным расположением лампы и круглосимметричным или асимметричным

отражателем диффузного (рассеивающего) или зеркального типа. Второй вариант характеризуется горизонтальным расположением лампы и цилиндрическим отражателем, а третий – вертикальным расположением лампы и рассеивателя. Первый и второй варианты, благодаря отражателям различного профиля, позволяют получать разнообразные типы КСС.

Во всех светильниках используются керамические патроны с резьбовой гильзой E40 или E27 и нагревостойкие провода марки ПРКА, имеющие предельную температуру нагрева изоляции до 180 – 200 °С.

Выбор светильников с газоразрядными лампами высокого давления зависит от нормируемой освещенности и строительных параметров освещаемого помещения. Для осветительных установок с нормируемыми освещенностями от 150 до 500 лк можно воспользоваться следующими обобщенными рекомендациями:

– светильник с лампами ДРЛ мощностью от 250 до 2000 Вт, имеющие КСС типа Д, целесообразно применять в помещениях высотой 6 – 7 м при строительном модуле 6 х 6 м и высотой до 9 – 12 м при строительных модулях 6 х 12, 6 х 18 и 6 х 24 м;

– светильники с лампами ДРЛ мощностью от 250 до 2000 Вт, имеющие КСС типа Г, целесообразно использовать в более высоких помещениях: при строительном модуле 6 х 6 м – до высот 10 – 11 м, при модуле 6 х 12 м – до 12 – 13 м, при модулях 6 х 18, 12 х 18 и 6 х 24 м – до 18 – 20 м;

– при необходимости освещения более высоких помещений надо использовать светильники с КСС типа К;

– светильники с лампами ДРИ (мощностью от 250 до 2000 Вт), имеющие КСС типа Д, целесообразно применять в помещениях высотой 6 – 7 м при строительных модулях 6 х 6, 6 х 12, 6 х 18, 6 х 24 м и высотой до 9 м при строительном модуле 12 х 18 м;

– светильники с лампами ДРИ (мощностью от 250 до 2000 Вт), имеющие КСС типа Г, целесообразно использовать в соответственно более высоких помещениях: при строительных модулях 6 х 6 м – до высоты 11 м, при строительных модулях 6 х 12 м – до высоты 14,5 м, при модулях 6 х 18, 12 х 18 и 6 х 24 м – до высоты 16 – 20 м;

– при необходимости освещения более высоких помещений следует использовать светильники с лампами типа ДРИ, имеющие КСС типа К.

Светильники типа РПП01 (рис. 6.10) предназначены для освещения низких производственных помещений с тяжелыми условиями среды: пыльных, влажных, сырых, с химически агрессивными парами, а также для взрывоопасных помещений классов В-Иб и В-Па.

При нормальных условиях окружающей среды используются светильники типа РСР05, РСР08, РСР13 (рис. 6.11).

Для освещения пыльных и влажных помещений производственных помещений предназначены светильники типа РСР12 и РСР14, причем светильник типа РСР12 (рис. 6.12)

обеспечивают освещение помещений пожароопасных классов П-I и П-II, а светильник типа РСП14 со степенью защиты IP60 – помещений взрывоопасных классов В-Iб и В-IIа и пожароопасных классов П-I и П-II.



Рис. 6.10. Светильник типа РПП01-125 под лампу ДРЛ -125 E27



а)

б)

в)

Рис. 6.11. Светильники серии РСП:

а) светильник типа РСП05, б) светильник типа РСП08,
в) светильник типа РСП13



Рис. 6.12. Светильник типа РСП12

Светильники типа РСП21 могут применяться в помещениях с нормальными и тяжелыми условиями среды, в пожароопасных помещениях класса П-Па, а в случаях исполнения светильников со степенью защиты IP53 – в помещениях всех классов пожароопасности.

Для освещения помещений сельскохозяйственного назначения промышленностью выпускаются светильник типа РСП26-125.

Светильники типа ГПП01 предназначены для освещения низких производственных помещений с тяжелыми условиями среды: пыльных, влажных, сырых, с химически агрессивными парами, а также для взрывоопасных помещений классов В-Іб и В-Іа.

В пыльных и влажных помещениях применяются светильник типа ГСП15 (рис. 6.13), если они имеют степень защиты 5°0. Эти же светильники со степенью защиты IP60 могут

использоваться во взрывоопасных зонах классов В-Іб и В-Іа и пожароопасных зонах классов П-І и П-Іа.



Рис. 6.13. Светильник типа ГСП15

Светильники типа ГСП17 предназначены для общего освещения высоких производственных помещений (выше 12 м) с нормальными условиями среды, когда применяются лампы типа ДРИ700 и степень защиты IP20. Если светильники имеют степень защиты 5'0, то они могут использоваться для освещения пыльных, влажных и пожароопасных помещений класса П-Іа. Эти же светильники с лампами ДРИ2000 предназначены для общего освещения высоких помещений (свыше 20 м) с нормальными условиями среды, то есть механических, механических сборочных с сборочных цехов.

При высоте производственных помещений 6 м и более с нормальными условиями среды рекомендуются к установке светильники типа ГСП18.

Лекция 7

Облучательные установки

Вопрос 1. Общие сведения и классификация облучательных установок

В светотехнике помимо видимого излучения используется также и инфракрасное и ультрафиолетовое излучения. Невидимые инфракрасные лучи являются тепловыми и участвуют в переносе теплоты от одного тела к другому. Они появляются при нагреве какого-либо тела (например, куска металла) до температуры не выше 800 К. На шкале электромагнитных волн они занимают достаточно широкий диапазон между красным концом видимого спектра излучения света и коротковолновым радиоизлучением. Инфракрасное излучение находит широкое применение в дефектоскопии, в приборах ночного видения и ночного фотографирования, в средствах скрытой сигнализации и т. д.

Для перераспределения потока излучения в пространстве применяют отражатели. Источник ИК и УФ излучения совместно с арматурой называется облучатель.

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.

На рисунке 7.1 представлены три верхних уровня классификации облучательных светотехнических установок.

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

Устройство, служащее для передачи лучистой энергии определенного спектрального состава и интенсивности от источника излучения объекту облучения, называют облучательными установками. Поглощенная телом энергия излучения частично преобразуется в фотопродукты, вызывая качественные изменения в фотоприемнике.

В сельскохозяйственном производстве применяют облучательные установки для ультрафиолетового, инфракрасного и местного обогрева.

В воде и в воздухе бактерицидное УФИ снижает содержание бактерий; ВИ в зеленом листе растения накапливается в виде углеводов; под действием ИКИ нагреваются поверхности.

Энергия излучения, преобразованная фотоприемником в другие виды энергии, отнесенная к величине площади облучаемой поверхности фотоприемника, называется *дозой облучения* или *экспозицией*. В общем случае доза облучения H определяется как произведение эффективной облученности $E_{эф}$ на время облучения τ

$$dH = E_{эф}(\tau)d\tau \quad \text{или} \quad H = \int_0^{\tau} E_{эф}(\tau)d\tau \quad (7.1)$$

В стационарных процессах

$$H = E_{эф} \cdot \tau, \quad (7.2)$$

$$E_{эф} = \frac{\Phi_{эф}}{A}. \quad (7.3)$$

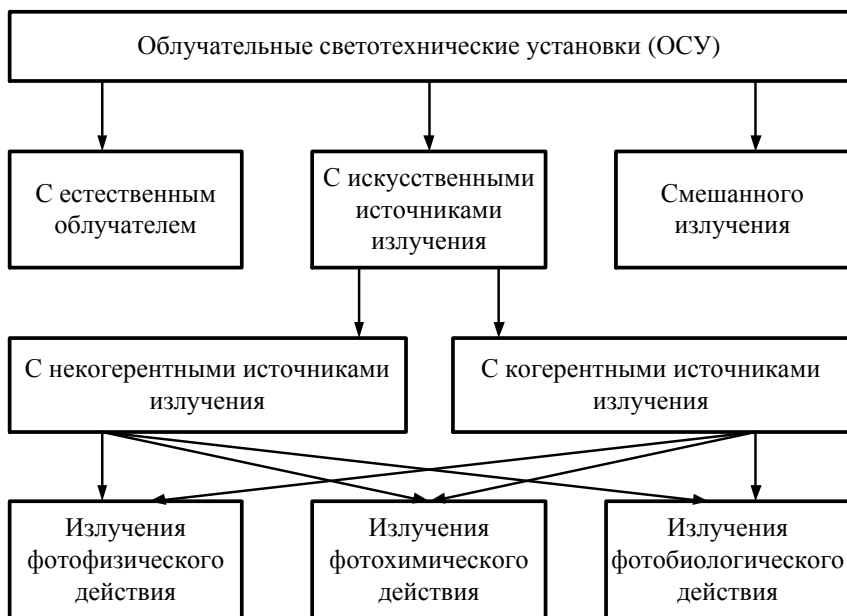


Рис.7.1. Три уровня классификации ОСУ

Из (7.2) следует, что одинаковая доза облучения может быть получена при различных соотношениях облученности и времени действия

$$H = E_{\text{эф1}} \cdot \tau_1 = E_{\text{эф2}} \cdot \tau_2 = E_{\text{эф3}} \cdot \tau_3, \quad (7.4)$$

причем $E_{\text{эф1}} \neq E_{\text{эф2}} \neq E_{\text{эф3}}$.

В предположении, что реакция приемника согласуется только с дозой облучения, получен закон аддитивности Бунзена-Роско, который гласит, что реакция приемника зависит только от поглощенной энергии излучения, а различие в

сомножителях (облученность и время) существенного значения не имеет. Закон этот условный и пригоден для относительно небольших уровней облученности.

Все облучательные установки классифицируются по следующим признакам: назначению; типу применяемого источника; взаимному расположению источника и приемника излучения.

По назначению. Оптические излучения охватывают область электромагнитных колебаний от 1,0 нм до 1,0 мм. Эта область делится на три зоны: ультрафиолетовое излучение, видимое излучение, охватывающее всю цветовую гамму от фиолетового до красного цвета, и инфракрасное излучение. Каждой зоне или ее части соответствуют свои излучательные установки:

– УФ–С – $\lambda = 100 - 280$ нм (бактерицидное излучение). В этом диапазоне работают установки обеззараживания воды, воздуха, тары и других материалов и поверхностей;

– УФ–В – $\lambda = 280 - 315$ нм (зона сильного биологического действия). В этом диапазоне работают установки эритемного (витального) облучения, стимуляции и лечения живых организмов;

– УФ–А – $\lambda = 315 - 380$ нм (эффективная люминесценция). В этом диапазоне работают установки для люминесцентного анализа;

– УФ – $\lambda = 100 - 380$ нм (зона всего ультрафиолета). В этом диапазоне работают установки ультрафиолетовой обработки семенного материала для повышения посевных качеств и получения мутантов, установки для борьбы с летающими насекомыми.

– ФАР – $\lambda = 360 - 720$ нм (физиологически активная радиация). В этом диапазоне работают установки для облучения рассады тепличных культур и взрослых растений;

– ВИ – $\lambda = 380 - 760$ нм (зона видимого излучения). Эта зона используется для осветительных установок как рабочего, так и технологического характера;

– ИКБ – $\lambda = 760 - 10\,000$ нм (ближнее инфракрасное излучение). В этой зоне работают установки нагрева, обогрева, сушки, борьбы с насекомыми и их личинками (инсектицидные) и инфракрасной обработки семенного материала.

Комбинированные установки включают в себя различные зоны оптического излучения. В них используются как одинаковые лампы, например ДРТ, имеющие излучение по всей ультрафиолетовой зоне и в зоне видимого излучения, так и комбинации из различных ламп, например в установках ИКУФ (инфракрасные и ультрафиолетовые).

По типу применяемого источника излучения. Практически для всех зон оптического излучения выпускаются соответствующие источники излучения. В таблице 7.1 приведены типы ламп, используемых для освещения и облучения в сельском хозяйстве.

По взаимному расположению источника и приемника излучения. **Стационарные установки** отличаются неизменностью взаимного расположения источника и приемника. Установки для обогрева и облучения животных, люминесцентного анализа, обеззараживания, как правило, выполняются стационарными. К таким установкам относятся ОБУ, ББП, ЭО, УФ-зоны, все облучатели для растениеводства, инфракрасные и комбинированные облучатели.

Передвижные установки отличаются от стационарных тем, что в течение одного рабочего цикла облучатели занимают два и более положений. Переносные установки также относятся к передвижным. Возможна замена приемника под облучателем, например в сушильных установках; в камере сушки заменяют обрабатываемые детали.

Подвижные установки отличаются тем, что в них либо облучатель движется непрерывно над приемником излучения (установки УОК, УО-4, УО-4М), либо приемник непрерывно движется под облучательной установкой, например зерно на транспортере, обрабатываемое оптическим излучением.

В подвижной установке облученность изменяется во времени достаточно медленно. Такое изменение облученности может быть получено изменением подводимой к источнику мощности (установки переменной облученности).

Импульсные установки. В таких установках энергия от источника к приемнику передается периодически, с определенной частотой, причем паузы в передаче энергии значительно больше времени облучения (импульса).

Таблица 7.1

Области применения источников оптического излучения

Зоны ОИ		Тип лампы	Наименование и расшифровка типа ламп
Наименование	Интервал волн, нм		
1	2	3	4
УФ-С	100 – 280	ДБ ДРТ	Дуговая бактерицидная низкого давления Дуговая ртутная трубчатая высокого давления
УФ-В	280 – 315	ЛЭ ДРТ	Люминесцентная эритемная низкого давления
УФ-А	315 – 380	ЛУФ ЛУФТ ЛУФЩ ДРТ	Лампа ультрафиолетовая для люминесцентного анализа То же с колбой-фильтром То же щелевая
УФ	100 – 380	ДРТ	
ФАР	360 – 720	ЛФ ДРИ ДНаТ ДРЛФ ДКсТ	Фитолампа растениеводческая низкого давления Дуговая ртутная иодированная Дуговая натриевая трубчатая Дуговая ртутная люминесцентная фитолампа высокого давления Дуговая ксеноновая трубчатая лампа сверхвысокого давления

Продолжение табл. 7.1

1	2	3	4
ВИ	380 – 760	В, Г, Б, БК ЛБ ЛДЦ ЛД ЛХБ ЛТБ ДРЛ ДРИ ДНаТ	Лампы накаливания осветительные: вакуумные (В), газополные (Г), биспиральные (Б), биспиральные криптоновые (БК) Люминесцентные осветительные лампы низкого давления Дуговая ртутно-люминесцентная лампа высокого давления
ИКБ	760 – 5000 1200 – 7000	ИКЗ ИКЗК КИ КГ ТЭН	Инфракрасные зеркальные То же с красным фильтром Кварцевая иодированная Кварцевая галогенная Термоэлектрический нагреватель

Вопрос 2 Установки инфракрасного излучения

Из существующих способов обогрева 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.

Источником инфракрасного излучения могут служить 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. Промышленностью выпускаются для сельского хозяйства лампы-термоизлучатели типа ИКЗ-220-500 со светлой колбой и ИКЗК-220-250 (рис. 7.2) с окрашенной в красный цвет колбой, а также электрообогреватель инфракрасный ЭИС-0,25И1 "Ирис". В отдельных облучателях используется галогенная лампа накаливания типа КГ-220-1000.

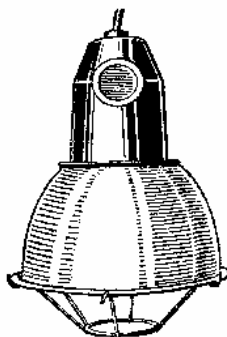


Рис. 7.2. Облучатель ССП-01-250-001-У3 с инфракрасными лампами типа ИКЗК-220-250

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 подержках.

Вопрос 3 Установки ультрафиолетового излучения

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

Ультрафиолетовый облучатель Э01-30м предназначен для облучения поросят, телят, коров, быков, а также цыплят и кур при напольном содержании. Источником ультрафиолетового облучения служит 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 включается в сеть напряжением 220 В. Габаритные размеры: высота - 680 мм, длина - 1035 мм, ширина - 267 мм. Масса - около 7,5 кг.

Светильник-облучатель ОЭСП 02-2x40/П53-01 предназначен для общего освещения животноводческих и птицеводческих помещений с одновременным ультрафиолетовым облучением животных и птицы. 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 и включаются раздельно, что позволяет за счет отдельной цепи управления регулировать дозу ультрафиолетового облучения животных и птиц.

Эритемно-осветительная установка КСО-3 "Кулон" 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 (дроссели 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 располагается ионизатор воздуха.

Облучатель имеет шнур со штепсельным разъемом на конце, которым он подключается к питающей сети.

Облучатель может быть двухламповым (с эритемной ЛЭ-30 и осветительной ДБ-30 лампами) с ионизаторами 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 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 подводится 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, т.е. через 10...15 мин после включения. Установка обеспечивает облучение площади размерами 60x12 м. Станция управления обеспечивает автоматически заданное время облучения.

Вопрос 4 Комбинированные облучательные установки

Установки ИКУФ-1М. Они предназначены 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.

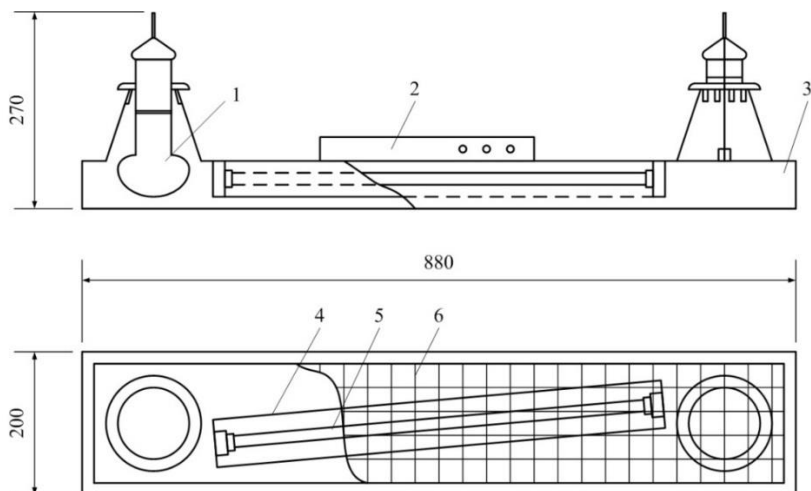


Рис. 7.3. Внешний вид облучательной установки ИКУФ-1М:
 1 – ИКлампа типа ИКЗК; 2 – пускорегулирующая аппаратура включения эритемной лампы; 3 – корпус облучателя; 4 – отражатель;
 5 – эритемная лампа типа ЛЭ-15; 6 – решетка

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 2 x 250 Вт;
- номинальная мощность ультрафиолетовых ламп – 20 Вт;
- количество ИК ламп – 2 шт;

- тип ИК ламп – ИКЗК–220–250;
- мощность – 2 х 250 Вт;
- рабочее напряжение ламп – 220 В;
- доза излучения – 70%;
- срок службы ламп – 5000 ч;
- количество УФ ламп – 1 шт;
- тип УФ лампы – ЛЭ–15;
- номинальное напряжение лампы – 127 В;
- мощность лампы – 15 Вт;
- эритемный поток лампы – 300 мэр;
- срок службы лампы – 3000 ч.

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.

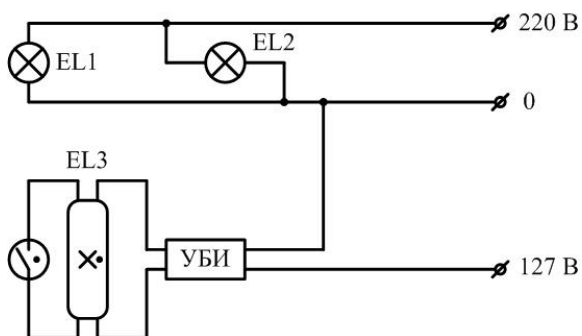


Рис. 7.4. Электрическая схема ИКУФ-1М

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 лампы 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 свиарника.

Ультрафиолетовое облучение проводят три раза в сутки по 40 мин. И управление им осуществляется по одной программе реле 2РВМ.

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

При монтаже установки ИКУФ-1М блоки управления устанавливают на стене в отдельном помещении или 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 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 ламп типа ЛЭ-15 используются лампы 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 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 ручного управления.

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

Питание установки осуществляется 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.

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 аппарата 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 (рис. 7.5). В арматуре облучателя установлены пускорегулирующий аппарат ультрафиолетовой лампы ЛЭ-15, устройство для подвески облучателя и вводное устройство для питающего кабеля.

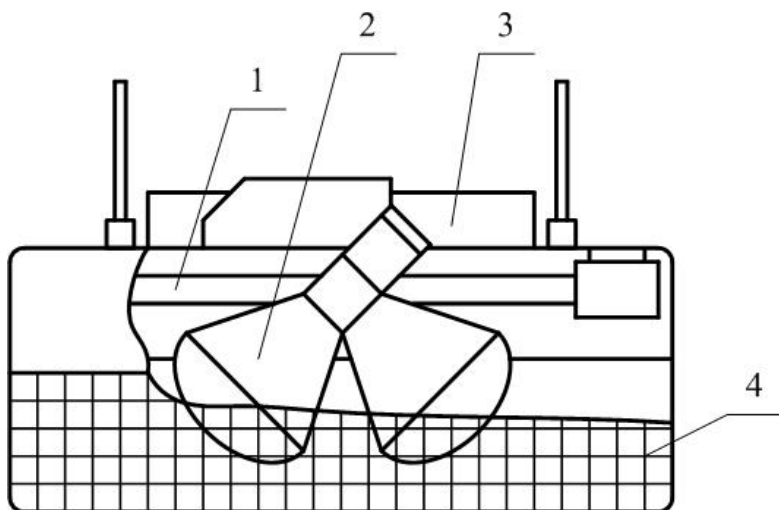


Рис.7.5. Облучательная установка «Луч»:

1 – эритемная лампа; 2 – ИК-лампа; 3 – ПРА; 4 - решетка

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 (рис. 7.6).

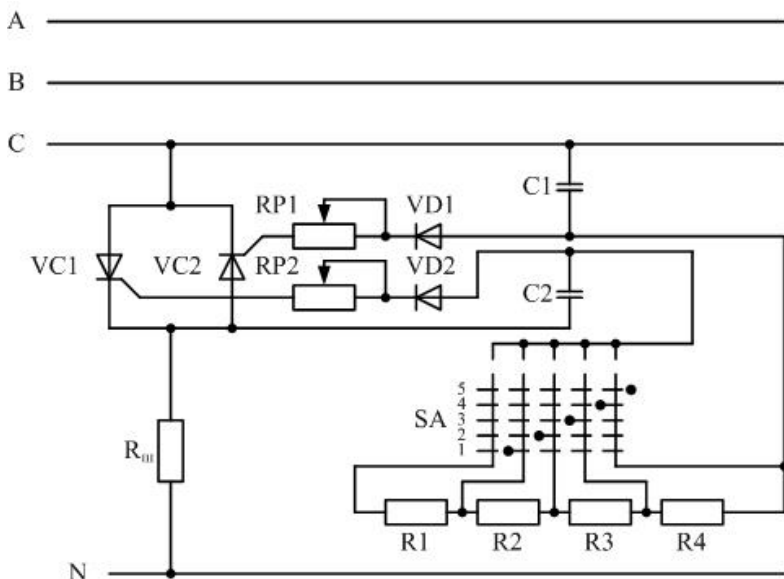


Рис.7.6. Тиристорный регулятор напряжения облучательной установки «Луч»

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 и птиц.

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

Практическая работа № 1

Расчет осветительной установки. Метод коэффициента использования светового потока

Метод применяется для нахождения равномерного освещения. Для расчета локализованного освещения, освещения наклонных и вертикальных поверхностей использовать его нельзя из-за большой погрешности получаемых результатов.

Расчетное значение светового потока в каждом светильнике определяется по формуле

$$\Phi_{лр} = \frac{E_n \cdot k_z \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta_{oy}}, \quad (1.1)$$

где E_n – нормируемое значение освещенности, лк;

k_z – коэффициент запаса (табличные данные);

S – освещаемая площадь, м²;

η_{oy} – коэффициент использования светового потока осветительной установки, о.е.;

z – отношение средней освещенности к минимальной.

Коэффициент z характеризует неравномерность освещенности и в значительной степени зависит от соотношения λ . Если это соотношение находится в диапазоне рекомендуемых значений, то можно принять:

$z = 1,15$ – для ламп накаливания и газоразрядных ламп типов ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и т.п.;

$z = 1,1$ – для люминесцентных ламп, расположенных в виде светящей линии.

Под коэффициентом использования светового потока понимают отношение светового потока, падающего на расчетную поверхность, к световому потоку источника света. Его значение принимается по табличным данным в зависимости от коэффициентов отражения поверхностей помещения: потолка – ρ_n , стен – ρ_c [1], расчетной поверхности – ρ_p (обычно принимается равным 0,1), марки используемого светильника [1] и от индекса помещения

$$i_n = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)}, \quad (1.2)$$

По найденным значениям $\Phi_{лр}$ выбирается лампа ближайшей стандартной мощности, значение светового потока которой отличается от $\Phi_{лр}$ не более чем на $-10 \leq \Phi_{лр} \leq 20\%$.

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{л(табл)} - \Phi_{лр}}{\Phi_{лр}} \cdot 100\% \leq 20\% \quad (1.3)$$

Действительная освещенность E_d , лк, площади при выбранном источнике света определяется по формуле

$$E_d = E_n \cdot \frac{\Phi_{л(табл)}}{\Phi_{лр}}, \quad (1.4)$$

Пример расчета:

Задача: Рассчитать осветительную установку в помещении кузнечно-прессовый цех предназначен для подготовки металла к обработке. Данный цех имеет малое выделение влаги и

пыли, помещения относятся к пожаро- и взрывозащищённым. Высота помещения равно 10 м. Норма освещенности принять равным 100лк. Исходя из характеристик данного цеха принимаем $k_3 = 1,3$, т.к. помещение содержит средний уровень влаги и низкий уровень пыли.

Решение:

Потолок и стены побелены белой краской, пол бетонный, поэтому принимаем коэффициенты отражения, % 50, 30 и 10 соответственно. Коэффициент минимальной освещенности принимается равным 1,15, т.к. высота помещения $H = 10$ м, поэтому в цех устанавливаются лампы ДРЛ.

Исходя из параметров данного помещения, в цехе устанавливаются светильники РСП05, имеющий КСС Д-2, который соответствует значению $\lambda_3 = 1,6$.

Таблица 1 – Данные для расчета

А, м	В, м	Н, М	Ен, лк	k_3	z	h_c , м	h_{py} , м	λ_3	$\rho_{п}$, %	ρ_c , %	$\rho_{пол}$, %
48	32	10	100	1,3	1,15	0,5	0,8	1,6	50	30	10

Светотехнический расчёт установки

Расчетная высота установки светильника h_p , м, определяется по формуле

$$h_p = H - h_c - h_{py}, \quad (1.5)$$

где H – высота помещения, м;

h_c – высота свеса, м;

h_{py} – высота рабочей поверхности, м.

$$h_p = 10 - 0,5 - 0,8 = 8,7 \text{ м.}$$

Расстояние между светильниками L , м

$$L \approx \lambda_{c(\text{э})} \cdot h_p, \quad (1.6)$$

где λ – относительное расстояние между светильниками;

$$L \approx 1,6 \cdot 8,7 = 13,9 \text{ м.}$$

Количество светильников в ряду N_A , шт.

$$N_A = \frac{A}{L}, \quad (1.7)$$

где A – длина помещения, м.

$$N_A = \frac{48}{13,9} = 3,45 \approx 4 \text{ шт.}$$

Количество рядов светильников в помещении N_B , шт.

$$N_B = \frac{B}{L}, \quad (1.8)$$

где B – ширина помещения, м.

$$N_B = \frac{32}{13,9} = 2,03 \approx 3 \text{ шт.}$$

Общее количество светильников $N_{\text{общ}}$, шт.

$$N_{\text{общ}} = N_A \cdot N_B, \quad (1.9)$$

$$N_{\text{общ}} = 4 \cdot 3 = 12 \text{ шт.}$$

Определяем индекс помещения i

$$i = \frac{A \cdot B}{h_p (A + B)}, \quad (1.10)$$

$$i = \frac{48 \cdot 32}{8,7 \cdot (48 + 32)} = 2,02.$$

Определив индекс помещения, с учетом коэффициентов отражения стен, потолка и рабочей поверхности, определяем коэффициент использования светового потока по приложению 2: при $i = 2,02$, $\eta = 0,55$.

Расчётный световой поток Φ , лм определяется по формуле

$$\Phi_p = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot z}{N_{\text{общ}} \cdot \eta} \quad (1.11)$$

где E_n – норма освещенности, лк;

S – площадь помещения, м²;

k_z – коэффициент запаса;

z – коэффициент минимальной освещенности;

$N_{\text{общ}}$ – общее число светильников, шт;

η – коэффициент использования светового потока.

$$\Phi_p = \frac{100 \cdot 1596 \cdot 1,3 \cdot 1,15}{12 \cdot 0,55} = 36151 \text{ лм.}$$

По справочной таблице выбираем лампу ДРЛ700 со световым потоком $\Phi=37000$ лм.

Проверяем допустимое отклонение освещенности

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{табл}} - \Phi_{\text{р}}}{\Phi_{\text{р}}} \cdot 100\% \leq +20\%, \quad (1.12)$$

$$-10\% \leq \frac{37000 - 36151}{36151} \cdot 100\% \leq +20\%,$$

$$-10\% \leq 2,3\% \leq +20\%.$$

Полученное значение входит в диапазон допустимых отклонений освещенности, отсюда следует, что расчет произведен верно.

Действительная освещенность $E_{\text{д}}$, лк площади при выбранном источнике света

$$E_{\text{д}} = E_{\text{н}} \cdot \frac{\Phi_{\text{табл}}}{\Phi_{\text{р}}}, \quad (1.13)$$

$$E_{\text{д}} = 100 \cdot \frac{37000}{36151} = 102,3 \text{ лк.}$$

Практическая работа № 2

Точечный метод расчета на горизонтальную поверхность

Освещенность элемента поверхности определяется в соответствии с формулой

$$L = \frac{I_{\alpha}}{S \cdot \cos \alpha}, \quad (2.1)$$

В случае расчета освещенности на горизонтальной поверхности расстояние от источника света до контрольной точки А (рис. 2.1) определяется как гипотенуза прямоугольного треугольника по выражению

$$l = \frac{h_p}{\cos \alpha} \quad (2.2)$$

Освещенность элемента поверхности на горизонтальной плоскости можно рассчитать по формуле

$$E = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}{h_p^2 \cdot k_\zeta} \quad (2.3)$$

где k_ζ – коэффициент запаса;

μ – коэффициент дополнительной освещенности, учитывающий освещенность, создаваемую от неучтенных светильников, стен и потолка (принимается равным 1.1 – 1,2).

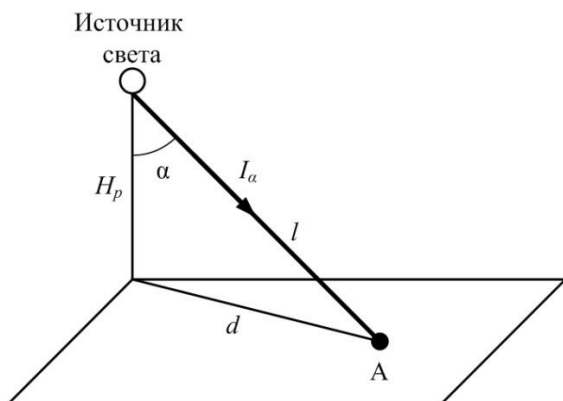


Рис. 3.1. Освещенность элемента поверхности горизонтальной плоскости в точке А:

I_α – сила света светильника в направлении в точке А, кд; α – угол между направлением силы света и осью симметрии светильника, град; l – расстояние от светильника до расчетной точки А, м; d – расстояние от расчетной точки А до проекции оси симметрии светильника на плоскость, ей перпендикулярную и проходящую через расчетную точку, м

Расчет освещенности на горизонтальной плоскости с использованием формулы (2.3) осуществляется в следующем порядке:

– определяется тангенс угла падения светового луча в расчетную точку

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{h_p}, \quad (2.4)$$

где d – расстояние от расчетной точки до проекции оси симметрии светильника на плоскость, ей перпендикулярную и проходящую через расчетную точку, м.

– по найденному значению $\operatorname{tg} \alpha$ определяется угол α и $\cos^3 \alpha$;

– по КСС принятого светильника с условной лампой со световым потоком 1000 лм для найденного угла α определяется сила света $I_{\alpha(1000)}$ по приложению 1 и рассчитывается значение освещенности, создаваемой этим светильником

$$E_{(1000)} = \frac{I_{\alpha(1000)} \cdot \cos^3 \alpha}{h_p^2}. \quad (2.5)$$

– искомая освещенность от светильника со световым потоком Φ_n

$$E = \frac{E_{(1000)} \cdot \Phi_{л} \cdot \mu}{k_3 \cdot 1000}, \quad (2.6)$$

В случае, когда расчетная точка освещается несколькими источниками света, необходимо рассчитать освещенность от каждого источника, а искомая освещенность определяется как их сумма

$$\sum_{i=1}^n E = E_1 + E_2 + \dots + E_n. \quad (2.7)$$

Если задана нормируемая освещенность E_n и требуется определить мощность лампы, необходимую для обеспечения этой освещенности на горизонтальной поверхности, расчетное значение светового потока лампы выражается из формулы (2.6)

$$\Phi_{лр} = \frac{E_n \cdot k_3 \cdot 1000}{\sum E_{(1000)} \cdot \mu}. \quad (2.8)$$

Подставляя в эту формулу значение освещенности $E_{(1000)}$, создаваемой условной лампой со световым потоком 1000 лм, получим

$$\Phi_{лр} = \frac{E_n \cdot k_3 \cdot 1000 \cdot h_p^2}{I_{\alpha(1000)} \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}. \quad (2.9)$$

По найденному значению светового потока выбирается лампа стандартной мощности и светового потока, значение которого отличается от $\Phi_{лр}$ не более чем на $-10 \leq \Phi_{лр} \leq 20\%$.

При наличии большого количества светильников, освещающих расчетную точку, можно использовать приближенный точечный метод расчета освещенности по пространственным изолюксам.

В данном случае расчет производится в следующей последовательности. Первоначально принимается, что поток лампы (при многоламповом светильнике – суммарный поток ламп) в каждом светильнике равен 1000 лм. Создаваемая в этом случае освещенность называется условной. Ее величина зависит от светораспределения светильника и расстояний d и h_p .

Определение e для каждой точки производится с помощью пространственных изолюкс условной горизонтальной освещенности. Если заданные значения d и h_p выходят за пределы шкал, то можно эти координаты увеличить (уменьшить) в a раз так, чтобы точка оказалась в пределах графика, и определенное по графику значение e увеличить (уменьшить) в a^2 раз. При наличии n светильников

$$e = \sum_{i=1}^n e_i \quad . \quad (2.10)$$

Для получения в расчетной точке заданной освещенности E_n лампы в каждом светильнике должны иметь поток

$$\Phi_{лп} = \frac{E_n \cdot k_z \cdot 1000}{\mu \cdot \sum_{i=1}^n e_i} \quad . \quad (2.11)$$

Формула (2.11) может быть использована также для определения освещенности в расчетной точке при известном значении Φ_l

$$E = \frac{\Phi_l \cdot \mu \cdot \sum_{i=1}^n e_i}{k_3 \cdot 1000} . \quad (2.12)$$

Пример расчета

Задача 1. В помещении, план которого показан на рисунке 2.2, требуется обеспечить освещенность $E_n = 50$ лк. Светильники НСП-17 имеют кривую силы света типа Г-1 и расположены на расчетной высоте $h_p = 5,5$ м. Расстояние между рядами светильников 8 м, между светильниками в ряду – 6 м. Коэффициент запаса принять равным 1,4.

Решение.

Расстояние d определяется обмером по плану помещения. Например, расстояние от проекции светильника 1 на горизонтальную плоскость до точки А:

$$d_{A-1} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{8^2 + 6^2} = 5$$

Определив расстояние d_{A-1} и зная расчетную высоту h_p по формуле (2.4) вычисляется $\operatorname{tg} \alpha$ для данного светильника, по которому находится значение угла α .

$$\operatorname{arctg} \alpha = \frac{5}{5,5} = 42,3^\circ$$

Зная угол α и кривую силы света светильника (Г-1), по приложению __, интерполируя значения силы света для углов 40° и 45° , находим значения силы света $I_\alpha = 295,9$ кд. По формуле (2.5) определяется освещенность E_{1000} в точке А, от светильника 1 с условной лампой в 1000 лм:

$$E_{1000} = \frac{295,9 \cdot \cos^3 42,3^\circ}{5,5^2} = 3,91 \text{ лк.}$$

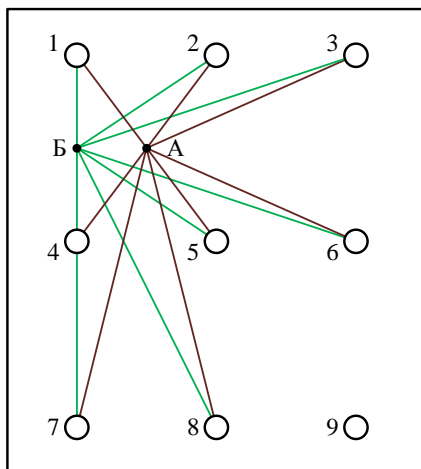


Рис. 2.2. План помещения с расположением светильников и контрольных точек А и Б.

Светильник 2, 4 и 5 находятся на таком же расстоянии до точки А, как и светильник 1, поэтому они будут создавать в точке А такую же освещенность, как и светильник 1, и полная освещенность в точке А от светильников 1, 2, 4 и 5 будет равна их сумме, то есть 15,64 лк. Аналогично рассчитывается освещенность в точке А от светильников 3, 6, 7, 8 и в точке Б от этих же светильников. Полученные результаты сводятся в таблицу 14.1 и определяется суммарная освещенность в точках А и Б от всех светильников с условной лампой в 1000 лм. Наихудшей по освещенности оказывается точка Б, для которой суммарная освещенность $\Sigma E_{1000} = 16,52$ лк.

По формуле (2.11) определяется необходимый поток лампы, принимая коэффициент $\mu = 1,1$:

$$\Phi_{лр} = \frac{50 \cdot 1,4 \cdot 1000}{1,1 \cdot 15,02} = 4237,3 \text{ лм.}$$

По справочным данным по данному $\Phi_{лр}$ выбирается компактная люминесцентная лампа мощностью 85 Вт типа 4U-85 ($\Phi_{л} = 4950$ лм), которая подходит для данного светильника по максимально допустимой мощности и световой поток которой больше $\Phi_{лр}$ на 16,8%, что укладывается в допустимый диапазон -10%...+20%.

Таблица 2.1

Результаты расчета освещенности для точек А и Б

Контрольная точка	№ светильника	d , м	α , град	I_a , кд	Освещенность E_{1000} в точках А и Б от светильника с условной лампой в 1000 лм, лк	
					от одного светильника	от всех светильников
А	1, 2, 4, 5	5,0	42,3	295,9	3,91	15,64
	3, 6	9,8	61,0	99	0,36	0,72
	7, 8	12,4	66,0	43,3	0,08	0,16
					$\Sigma E_{1000} = 16,52$	
Б	1, 4	4,0	36,0	344,8	6,04	12,08
	2, 5	7,2	53,0	181,5	1,32	2,64
	3, 6	12,6	66,5	38,6	0,07	0,14
	7	12,0	65,4	48,8	0,11	0,11
	8	13,4	67,7	31,2	0,05	0,05
				$\Sigma E_{1000} = 15,02$		

Задача 2. Рассчитать точечным методом освещение помещения (рис. 2.3) с рабочими поверхностями у стен светильниками типа УПД при следующих условиях: расчетная высота $h_p = 4$ м, нормированная освещенность $E_n = 75$ лк, коэффициент запаса $k_z = 1,5$ и коэффициент добавочной освещенности $\mu = 1,2$.

Решение.

Светильник УПД имеет глубокое светораспределение, то для него $\lambda = 1$.

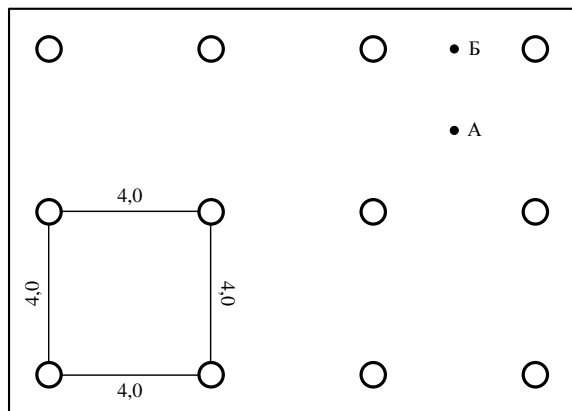


Рис. 2.3. План размещения осветительного оборудования

Расстояние между светильниками определяется по формуле

$$L = 1 \cdot \lambda, \quad (2.13)$$

$$L = 4 \cdot 1 = 4 \text{ м.}$$

Размещаем светильники по вершинам квадрата $4 \times 4 \text{ м}^2$. Расстояние от крайних светильников до стен $0,25 \cdot L = 1 \text{ м}$.

На плане помещения намечаются контрольные точки А и Б, в которых освещенность может оказаться наименьшей. Рассчитывается расстояние d от этих точек до проекций ближайших светильников (рис. 2.4 и рис. 2.5).

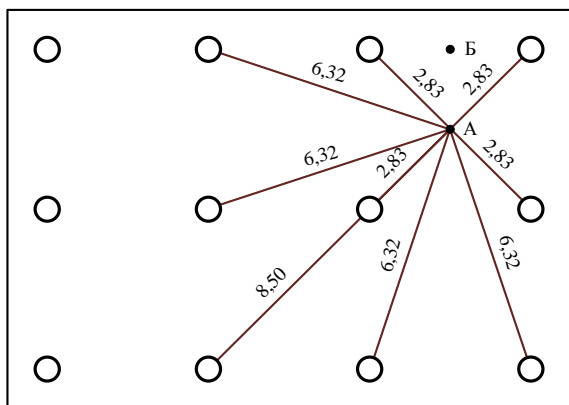


Рис. 2.4. Определение расстояние от точки А до проекции ближайших светильников

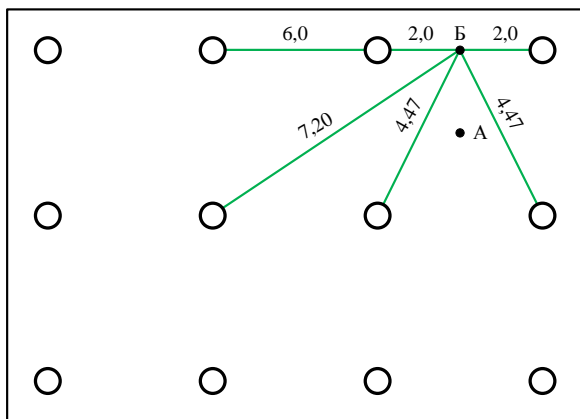


Рис. 2.5. Определение расстояние от точки Б до проекции ближайших светильников

По кривым изолюкс [1] для светильника УПД определяются условные освещенности e в контрольных точках от каждого ближайшего (учитываемого) светильника. Результаты представляются в виде таблицы 3.2.

Таблица 2.2
Результаты расчета освещенности для точек А и Б

Количество светильников	d , м	e , лк	Количество светильников	d , м	e , лк
Для точки А			Для точки Б		
4	2,83	30	2	2,0	24,0
2	6,32	2,4	2	4,47	8,0
2	6,32	2,4	1	6,0	1,5
1	8,50	0,3	1	7,20	0,6
$\Sigma e_A = 35,1$ лк			$\Sigma e_B = 34,1$ лк		

За расчетную принимается точка Б как точку с меньшей освещенностью. Значение Σe_B для точки Б подставляется в формулу (2.8) расчета потока источника точечным методом и определяется необходимый световой поток лампы

$$\Phi_{лр} = \frac{1000 \cdot 75 \cdot 1,5}{1,2 \cdot 34,1} = 2749 \text{ лм.}$$

По справочным данным выбирается ближайшая стандартная лампа 4U-45, световой поток которой равен 2700 лм. Данная лампа подходит для данного светильника по максимально допустимой мощности и световой поток которой меньше $\Phi_{лр}$ на 1,78%, что укладывается в допустимый диапазон -10%...+20%.

Практическая работа № 3

Расчет освещенности от светящей линии

Светящей считается линия, длина которой превышает половину расчетной высоты h_p . Для расчета светящей линии чаще всего пользуются графиками линейных изолюкс, которые дают относительную горизонтальную освещенность e при $h_p = 1$ и $\Phi' = 1000$ лм/м, где Φ' – плотность светового потока в ряду, то есть отношение суммарного потока ламп к длине светящей полосы.

Линейные изолюксы строятся для случая, когда расчетная точка совпадает с проекцией конца светящего элемента на расчетную плоскость.

Расчет светящей линии с помощью линейных изолюкс осуществляется в следующем порядке:

1) производится расчет высоты h_p , принимается тип светильников и люминесцентных ламп в них, осуществляется размещение светильников в линии и линии в помещении;

2) определяют геометрические размеры (рисунке 3.1): l – длина светящей линии, м; d – расстояние от проекции светящей линии на плоскость, проходящую через расчетную точку, до расчетной точки, м. После этого рассчитываются их относительные значения

$$l' = \frac{l}{h_p}, \quad d' = \frac{d}{h_p}, \quad (3.1)$$

3) если расчетная точка лежит против конца ряда светильников (точка A_1), то по графикам линейных изолуэкс для точки с координатами l' и d' определяется условная освещенность ε .

4) вычисляется $\sum \varepsilon$ от ближайших рядов или их частей;

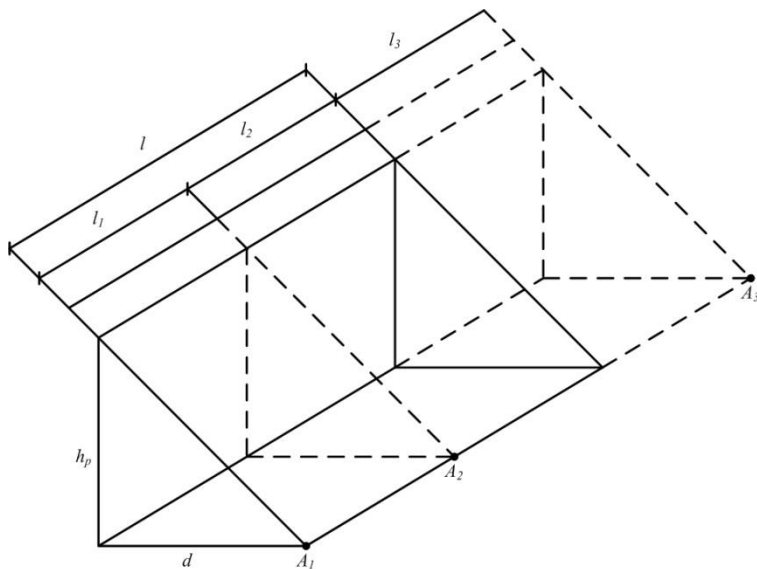


Рис. 3.1. К расчету светящей линии

5) если расчетная точка не лежит против конца ряда светильников, то этот ряд разбивается на две части (точка A_2) или дополняется условным отрезком (точка A_3). При этом условная освещенность в точке A_2

$$\varepsilon(A_2) = \varepsilon(l_1) + \varepsilon(l_2), \quad (3.2)$$

а в точке A_3

$$\varepsilon(A_3) = \varepsilon(l) - \varepsilon(l_3), \quad (3.3)$$

где $\varepsilon(l_1), \varepsilon(l_2), \varepsilon(l_3)$ - условные освещенности от участков светящегося элемента длиной соответственно l_1, l_2, l_3 , определяемые по графикам линейных изолюкс;

б) рассчитывается необходимая линейная плотность светового потока в линии

$$\Phi' = \frac{E_n \cdot k_3 \cdot h_p \cdot 1000}{\mu \cdot \sum \varepsilon}, \quad (3.4)$$

7) суммарный расчетный световой поток ламп в светильнике определяется следующим образом:

$$\Phi_{лп} = \frac{\Phi' \cdot (l + \lambda)}{N_R}, \quad (3.5)$$

где l - длина светящей линии, м;

λ - суммарная длина равномерно распределенных разрывов ($\lambda \leq 0,5 h_p$), м;

N_R - число светильников в ряду.

8) при заданном потоке Φ_l можно определить фактическую освещенность

$$E = \frac{\Phi_l \cdot \mu \cdot \sum \varepsilon}{k_3 \cdot h_p \cdot 1000}. \quad (3.6)$$

Пример расчета

Задача. Рассчитать осветительную установку, показанную на рисунке 3.2. Оборудование размещено в середине потолка и поэтому между светильниками сделаны разрывы.

Расчетная высота $h_p = 3$ м, нормированная освещенность $E_n = 300$ лк, коэффициент запаса $k_3 = 1,5$, светильники типа ЛДР с лампами ЛБ.

Решение

Каждый из четырех полурядов светильников имеет длину, значительно превосходящую $0,5h_p = 1,5$ м. Принять эти полуряды принять за точечные источники уже нельзя из-за большой погрешности результатов расчета. Поэтому расчет необходимо проводить по линейным изолуксам.

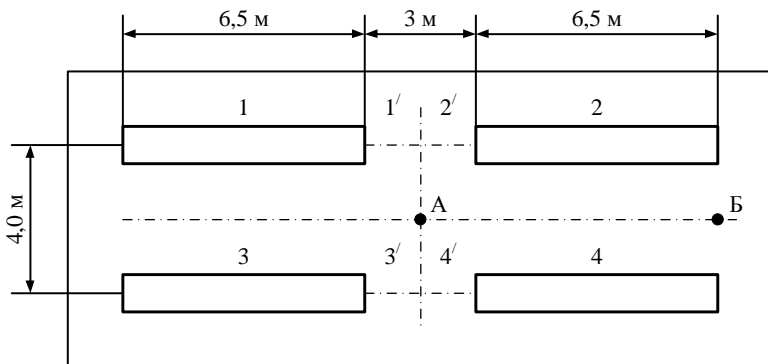


Рис. 3.2. Размещение осветительной установки к расчету освещенности от линейных источников

На плане помещения намечаются контрольные точки А и Б, в каждой из них находится условные освещенности.

Точка А освещается четырьмя одинаковыми полуярдами светильников от 1 до 4. Каждый из этих полуярдов дополняется отрезками от 1' до 4' длиной 1,5 м до перпендикуляра, проведенного из точки А. По формуле (3.1) определяются относительные значения в точках А и Б.

$$d' = \frac{2}{3} = 0,67 \quad ; \quad l' = \frac{8}{3} = 2,67$$

По линейным изолюксам для светильника ЛДР [1] определяется $e_1 = 110$ лк. Из этого значения вычитается освещенность $e_2 = 60$ лк от добавленных несуществующих отрезков светильников при $d' = 0,67$ и $l' = 0,5$.

Значения d, l, d', l' и найденные по линейным изолюксам [1] значения освещенности e для точки А сводятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Расчетные значения освещенности в точке А

Полуряд	$d, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	d'	l'	$e, \text{ лк}$
(1+1'), (2+2'), (3+3'), (4+4')	2	8,0	0,67	2,67	$110 \cdot 4$
1', 2', 3', 4'	2	1,5	0,67	0,50	$60 \cdot 4$

Суммарная условная освещенность в точке А

$$\Sigma e_A = 110 \cdot 4 - 60 \cdot 4 = 200_{\text{лк}}$$

Точка Б освещается четырьмя одинаковыми полурядами 1, 3 и 2, 4. Расчет производится аналогично расчету в точке А. Результаты сводятся в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Расчетные значения освещенности в точке Б

Полуряд	d , м	l , м	d'	l'	e , лк
2 и 4	2	6,5	0,67	2,17	$110 \cdot 2$
$(1+1'+2'+2)$ и $(3+3'+4'+4)$	2	16,0	0,67	5,33	$115 \cdot 2$
$(1'+2'+2)$ и $(3'+4'+4)$	2	9,5	0,67	3,17	$112 \cdot 2$

Суммарная условная освещенность в точке А

$$\Sigma e_B = 110 \cdot 2 + 115 \cdot 2 - 112 \cdot 2 = 226_{\text{лк.}}$$

За расчетную берется точка А с меньшей освещенностью. Приняв коэффициент добавочной освещенности $\mu = 1,1$, подставив в формулу (3.4) светового потока единицы длины свещающей линии значение величин, получим

$$\Phi_{\text{лр}} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 3 \cdot 1000}{1,1 \cdot 200} = 6136_{\text{лм.}}$$

Принимается лампа ЛБ 40 со световым потоком 300 лм. С учетом того, что в светильнике располагаются две лампы, суммарный световой поток светильника будет равен 6000 лм.

Световой поток одного полуряда

$$\Phi_v = \Phi_{\text{лр}} \cdot L, \quad (3.7)$$

$$\Phi_v = 6136 \cdot 6,5 = 39884_{\text{лм.}}$$

Определяется число светильников в свещающей линии по формуле

$$N' = \frac{\Phi_v}{\Phi_{табл} \cdot 2}, \quad (3.8)$$

$$N' = \frac{39884}{3000 \cdot 2} = 6,64 \approx 7 \quad \text{шт.}$$

Проверяется возможность установки светильников в ряд.
Для всех светильников

$$L' = l_{св} \cdot N', \quad (3.9)$$

где $l_{св}$ - длина светильника, м.

Для данного светильника с учетом ламп длина составляет 1,24 м.

$$L' = 1,24 \cdot 7 = 8,68 \text{ м.}$$

Светильники не размещаются в ряд, так как их длина более 6,5 м.

Примем светильник с лампами ЛБ80. Световой поток одной лампы составляет 5220 лм. Поэтому число светильников будет равно

$$N' = \frac{39884}{5220 \cdot 2} = 3,82 \approx 4 \quad \text{шт.}$$

Длина четырех светильников будет равно

$$L' = 1,54 \cdot 4 = 6,16 \text{ м.}$$

Между светильниками небольшие разрывы:

$$(6,5 - 6,16)/3 = 0,113 \text{ м} = 0,11 \text{ м.}$$

Окончательно принимаем для каждого полуряда четыре светильника типа ЛДР с лампами ЛБ80, установленные с разрывом 0,11 м.

Практическая работа № 4

Расчет освещения методом удельной мощности

Метод расчета по удельной мощности является одним из упрощенных вариантов расчета освещенности с применением коэффициента использования.

Удельная мощность p_y , Вт/м², осветительной установки определяется по формуле

$$p_y = \frac{P_l \cdot N}{S}, \quad (4.1)$$

где P_l – мощность одной лампы, Вт;

N – число ламп, шт;

S – площадь освещаемой поверхности, м².

Приняв удельную мощность в соответствии с заданными условиями, можно определить расчетное значение требуемой мощности одной лампы

$$P_{pl} = \frac{p_y \cdot S}{N}, \quad (4.2)$$

по которому выбирается лампа ближайшей стандартной мощности.

В [1] приводятся данные об удельной мощности для светильников прямого света с типовыми КСС.

Расчет по удельной мощности допускается производить только для общего равномерного освещения при отсутствии

крупных затенений и в пределах тех данных, для которых составлены таблицы. При пользовании следует учитывать следующие особенности:

– если значения освещенности и коэффициента запаса, принятых для расчета, отличаются от указанных в таблице, следует произвести пропорциональный перерасчет значения удельной мощности;

– если значения коэффициентов отражения поверхностей помещения отличаются от принятых в таблице (помещения более темные или более светлые), допускается соответственно увеличить или уменьшить удельную мощность на 10%;

– значения удельной мощности для ламп накаливания указаны для напряжения 220 В;

– в таблицах указаны значения удельной мощности для КПД светильника 100 %; для получения значения удельной мощности при меньшем КПД следует табличное значение разделить на выраженный в долях единицы КПД светильника;

– при использовании для освещения помещения энергосберегающих люминесцентных ламп мощностью 36 Вт допускается определять удельную мощность по таблице для стандартных люминесцентных ламп мощностью 40 Вт;

Перерасчет удельной мощности с учетом фактических исходных данных можно производить по выражению

$$P_y = \frac{P_{y.m.} \cdot k_z \cdot E_n}{k_{z.m.} \cdot \eta \cdot 100}, \quad (4.3)$$

где $P_{y.m.}$ – табличное значение удельной мощности освещения;

k_z и $k_{z.m.}$ – фактический и табличный коэффициенты запаса;

E_n – величина нормированной освещенности, лк;

η – КПД выбранного светильника в относительных единицах ($\eta = 0,5 - 0,8$).

Приложения 1 рассчитывались для светильников прямого света при отношении расстояний между ними или между их рядами к высоте подвеса $L/H_p = 0,4$ для КСС типов Г-3, К-1, К-2; $L/H_p = 1,0$ для КСС типов Д-3, Г-1, Г-2; $L/H_p = 1,5$ для КСС типов Д-1, Д-2, а также при полном совпадении данных, для которых составлены эти таблицы.

Пример расчета

Задача: Рассчитать методом удельной мощности освещение помещения для кормления поросят в возрасте 4..6 мес. Размеры помещения $20 \times 12 \times 3 \text{ м}^3$. В качестве источника света взять лампу накаливания со светильником типа ППД. Принять коэффициент запаса равным 1,3.

Решение:

У светильника ППД косинусное светораспределение. Оптимальное относительное расстояние между светильниками $\lambda = 1,6$. Примем высоту свеса светильников $h_c = 0,4 \text{ м}$. Расчетная высота подвеса при $h_{py} = 0$.

$$h_p = 3 - 0,4 - 0 = 2,6 \text{ м.}$$

Оптимальное расстояние между светильниками

$$L = 2,6 \cdot 1,6 = 4,16 \text{ м.}$$

Число рядов светильников

$$n_B = \frac{12}{4,16} = 2,88 \approx 3 \text{ шт.}$$

Число светильников в ряду

$$n_A = \frac{20}{4,16} = 4,8 \approx 5 \text{ шт.}$$

Общее число светильников в помещении

$$N = 3 \cdot 5 = 15 \text{ шт.}$$

Расстояние между светильниками составляет 4,16 м, расстояние от светильников до стены 2,08 м. Нормированная освещенность в помещении равна 30 лк.

По [1] для светильников ППД находим удельную мощность, равная $P_{уд} = 6,1 \text{ Вт/м}^2$.

Расчетная электрическая мощность всей осветительной установки

$$P' = \frac{6,1 \cdot 240}{15} = 97,6 \text{ Вт.}$$

По справочным данным выбирается ближайшая стандартная лампа накаливания Б-215-225-95 со световым потоком 1350 лм.

Практическая работа № 5

Электротехнический расчет осветительной установки

Пример расчетной схемы внутренней электропроводки при определении площади поперечного сечения проводника показан на рисунке 5.1

Момент нагрузок на вводимом участке определяется с учетом всех влияющих на данный участок нагрузок.

$$M_{0-1} = \sum P \cdot L_{0-1} \text{ кВтм м}$$

где : ΣP – суммарная нагрузка на всех ответвлениях.

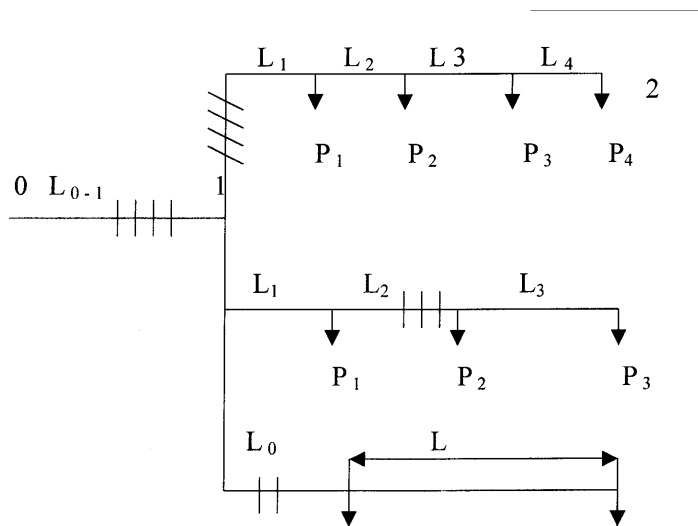


Рис.5.1. Расчетная схема внутренней электропроводки для определения $S \text{ мм}^2$.

При определении моментов нагрузок на ответвлениях учитывается число фаз (количество проводов) и равномерность распределения нагрузки. Так как на участке (1-2) ответвление имеет такое же число фаз и количество проводов, как и вводный участок. Момент нагрузок определится как M (кВт м) с учетом того, что нагрузка на данном участке распределена не равномерно.

$$M_{1-2} = L_1 \cdot \sum P_{1-4} + L_2 \cdot \sum P_{2-4} + L_3 \cdot \sum P_{3-4} + L_4 \cdot P_4 \quad \text{кВт м} \quad , (5.2)$$

Расчетный участок (1-3) имеет аналогично с участком (1-2) неравномерно распределенную нагрузку по длине линии, но отличное число фаз и количество проводов от вводного участка. Момент нагрузок определится как малый m (кВт м).

$$m_{1-3} = L_1 \cdot \sum P_{1-3} + L_2 \cdot \sum P_{2-3} + L_3 \cdot P_3 \quad \text{кВт м}$$

Ответвление(расчетный участок 1-4) имеет равномерно распределенную нагрузку по всей длине линии, так же отличное число фаз и количество проводов от вводного участка, следовательно момент нагрузок в данном случае определится как m кВт м с учетом приведенной длины $L_{пр}$.

$$m_{1-4} = L_{пр} \cdot P_4 = \left(L_0 + \frac{L}{2} \right) \cdot P_4 \quad \text{кВт м} \quad , (5.4)$$

Исходя из выше сказанного площадь поперечного сечения для приведенной расчетной схемы на вводном участке (0-1) определится

$$S = \frac{M_{0-1} + M_{1-2} + m_{1-3} \cdot \alpha_{пр} + m_{1-4} \cdot \alpha_{пр}}{C \cdot \Delta U_{0,0}} \quad , (5.5)$$

Для того, чтобы определить площадь поперечного сечения на одиночных участках (ответвлениях) необходимо произвести расчет истинных отклонений напряжения на вводимом участке.

Истинные отклонения напряжения на вводе определяются

$$\Delta U_{уст} = \frac{M_{0-1}}{S_{0-1} \cdot C} \% \quad (5.6)$$

Оставшаяся часть отклонений напряжения, которая распределяется на ответвления определяется

$$\Delta U_{отв} = \Delta U_{д.д.} - \Delta U_{уст} \%$$

Следовательно, площадь поперечного сечения на ответвлениях определяется, как площадь поперечного сечения для отдельно взятого участка с использованием расчетных моментов нагрузок непосредственно в каждом отдельно взятом участке (ответвлении).

Площадь поперечного на ответвлении определяется

$$S = \frac{M_{уч.} (m_{уч.})}{C_{уч.} \cdot \Delta U_{отв}} \text{ мм}^2 \quad (5.8)$$

После выполнения всех основных расчетов по определению площади поперечного сечения, производится проверка выбранного сечения по длительно допустимому току на каждом отдельно взятом участке.

Расчет сети на допустимые отклонения напряжения

Расчет сетей на длительно допустимые отклонения напряжения является проверочным для существующих электропроводок при монтаже дополнительных электронагрузок и предмонтажных расчетах площади поперечного сечения проводникового материала.

Отклонением напряжения называют разность между фактическим напряжением сети и номинальным напряжением электроприемника, Отнесенная к номинальному напряжению сети.

$$\pm \Delta U = \frac{U_{\phi} - U_{н.нр.}}{U_{н.с.}} \cdot 100 \% \quad (5.9)$$

Отклонения напряжения могут определяться как по значению тока, так и по значению мощности в сети.

Отклонения напряжения для двухпроводной линии однофазного переменного тока определяется

$$\Delta U = \frac{200}{U_n} \cdot IL(r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \% \quad (5.10)$$

Для трехфазной линии переменного тока отклонения напряжения определяются

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_n} \cdot IL(r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \% \quad (5.11)$$

где IL – момент нагрузки по значениям номинального тока в сети

r_0 и x_0 активное и индуктивное сопротивление проводника на километр линии, зависящее от сечения и материала провода.

По значениям нагрузки в сети отклонения напряжения для однофазной системы определяется

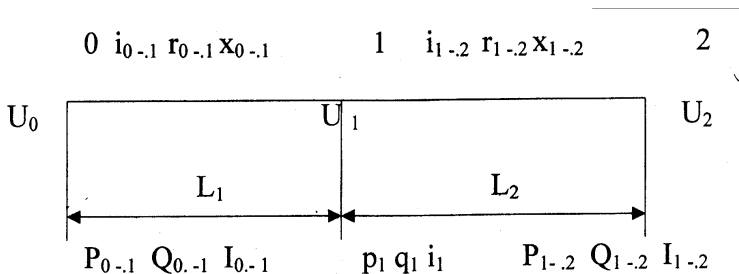
$$\Delta U = \frac{2 \cdot 10^5}{U_n^2} \cdot P \cdot L(r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi) \quad \% \quad (5.12)$$

Для трехфазной линии переменного тока по значениям нагрузки отклонения напряжения определяются

$$\Delta U = \frac{10^5}{U_n^2} \cdot P \cdot L(r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi) \quad \% \quad (5.13)$$

где $P \cdot L$ момент нагрузки по значениям мощности на длину участка линии.

Отклонения напряжения в линии с несколькими нагрузками определяются, как сумма отклонений на отдельных участках



где L – длина участка км.

p_1, q_1, i_1 – узловые нагрузки в точках присоединения к сети;

P_{0-1}, P_{1-2} – мощность, которая определяется, как Σ узловых нагрузок в сторону источника питания.

При данной расчетной схеме следует обратить внимание на следующие особенности при расчете отклонений напряжения. Участок (1-2) монтаж электропроводки выполнен в трубах, следовательно индуктивное сопротивление в расчетах можно не учитывать $x_0 = 0$.

Учвасток (1-3) линия освещения, нагрузка равномерно распределена и $U_n=220$ В

Равномерно распределенная нагрузка на линии считается в том случае, когда электроприемники имеют одинаковую номинальную мощность P_n и монтируют на одинаковом расстоянии друг от друга. Участок (1-4) имеет не равномерно распределенную нагрузку и следовательно момент нагрузки на данном участке определится как сумма моментов на отдельно взятом участке.

Определение моментов нагрузок на участках производится аналогично определению моментов.

$$\text{Участок (0-1)} \quad \Delta U = \frac{10^5}{U_n^2} \cdot \sum PL(r_0 + x_0) \%, \quad (5.14)$$

$$\text{Участок (1-2)} \quad \Delta U = \frac{10^5}{U_n^2} \cdot (L_1 \cdot P_{1-3} + L_2 \cdot P_{2-3} + L_3 \cdot P_3) \cdot r_0 \%, \quad (5.15)$$

$$\text{Участок (1-3)} \quad \Delta U = \frac{2 \cdot 10^5}{U_n^2} \cdot L_{np.} \cdot P_{1-3} (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi) \%, \quad (5.16)$$

$$L_{np.} = L_0 + L/2, \quad (5.17)$$

$$\Delta U = \frac{10^5}{U_n^2} \cdot (L_1 \cdot P_{1-5} + L_2 \cdot P_{2-5} + L_3 \cdot P_{3-5} + L_4 \cdot P_{4-5} + L_5 \cdot P_5) \cdot (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi)$$

Участок (1-4)

$$\Delta U = \frac{10^5}{U_n^2} \cdot \sum PL(r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi) \quad \%, \quad (5.19)$$

где $\sum PL$ сумма моментов нагрузок на отдельно взятых участках.

$\operatorname{tg} \varphi$ определяется исходя из значения $\cos \varphi$ – коэффициент мощности сети. При прокладке проводов в каналах и трубах индуктивным сопротивлением можно пренебречь. В этом случае активное сопротивление проводника определится

$$r_0 = \frac{1}{\gamma S} \cdot 10^3 \text{ Ом/км} \quad , \quad (5.20)$$

участок линии имеет распределенную равномерно по длине нагрузку, то сумму моментов можно заменить моментом одной нагрузки с длиной линии равной приведенной длине.

$$L_{np} = L_0 + L/2 \quad \text{м} \quad , \quad (5.21)$$

где: γ – удельная проводимость;

S – площадь поперечного сечения.

Для АЛ – $\gamma = 34 \text{ См/м}$ (Сименс/метр)

СУ - $\gamma = 57 \text{ См/м}$

Отсюда следует, что отклонение напряжения с учетом проводимости и сечения проводника определяется

$$\Delta U = \frac{10^5}{U_n^2 \gamma S} (\sum PL) \quad \%, \quad (5.22)$$

Произведение PL или IL называется моментом нагрузок по P_n либо по I_n Отсюда следует:

$$\Delta U = \frac{\sum M}{CS} \quad \% \quad (5.23)$$

где C – коэффициент зависящий от U_n и материала провода.
Если

Площадь поперечного сечения проводника на вводном участке определится

$$S = \frac{\sum M + \sum m \cdot \alpha_{np}}{C \Delta U_{o.d.}} \quad \text{мм}^2 \quad (5.24)$$

где $\sum M$ – сумма моментов нагрузок вводного участка и всех последующих с таким же числом проводов (кВт м)

$\sum m$ – сумма малых моментов всех ответвлений с другим числом проводов (кВт м).

α_{np} – коэффициент приведения малых моментов к больши́м, зависящий от числа проводов на участке (таб.1)

C – Коэффициент, зависящий от напряжения и материала провода. На ответвлении (одиночный участок) площадь поперечного сечения определится

$$S = \frac{M_{уч.} (m_{уч.})}{C_{уч.} \cdot \Delta U_{отв}} \quad \text{мм}^2$$

где $M_{уч.} (m_{уч.})$ – момент нагрузки на участке.

$C_{уч}$ - коэффициент зависящий от материала провода и напряжения в сети (таб.2)

Если участок линии имеет равномерно распределенную нагрузку, то $\sum M$ можно заменить моментом одной нагрузки с

длиной линии равной приведенной длине. Расчетная схема определения приведенной длины показана на рисунке 1.

L-длина участка с равномерно распределенной нагрузкой, где: L_0 – длина линии от источника питания до первой нагрузки.

При чисто активной нагрузке на участке (лампа накаливания, нагревательные приборы), когда $\cos\varphi$ стремится к 1, а $\sin\varphi$ к 0 индуктивное сопротивление при расчетах не учитывается и составляющая $X_0 \cdot \operatorname{tg}\varphi = 0$

В этом случае отклонения напряжения на участке с активной нагрузкой определяется

$$\Delta U = \frac{10^5}{U_n^2} \cdot \sum PL(r_0 + 0) \% \quad , \quad (5.26)$$

Пример расчета отклонений напряжения в сети

Изначальным этапом в данном расчете является определения марки провода, которым выполнена электропроводка, номинального напряжения в сети и характера нагрузки. Далее необходимо составить расчетную схему, учитывая нагрузку электроприемников, расстояния между ними и число отходящих линий.

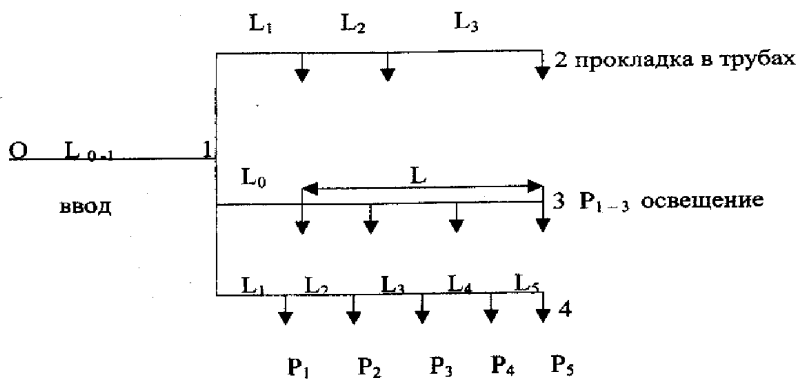


Рис 5.3 Расчетная схема

$$L_{np} = L_0 + L/2 \quad \text{м} \quad (5.27)$$

где L_0 – длина участка до первой нагрузки (от источника).

L – длина участка с равномерной нагрузкой (от первой до конечной)

После определения площади поперечного сечения проводника на вводимом участке с учетом допустимых отклонений напряжения для определенных групп электрооборудования, производится расчет истинных отклонений напряжения, используя при этом стандартный ряд сечений.

Истинные отклонения напряжений на вводимом участке определяются

$$\Delta U_{ист} = \frac{M_{\text{вв}}}{CS} \% \quad (2.28)$$

Отклонения напряжения на ответвлениях определяются

$$\Delta U_{отв} = \Delta U_{д.д.} - \Delta U \quad \% , \quad (5.29)$$

Проверка расчетного сечения по длительно допустимому току. На вводном участке $I_{д.д.}$ определится

$$I_{д.д.} = \frac{\sum P}{U_n \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \phi} \quad A , \quad (5.30)$$

Для однофазной линии $I_{д.д.}$ определится.

$$I_{д.д.} = \frac{P}{U \cdot \cos \phi} \quad A , \quad (5.31)$$

ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ ПО РАЗДЕЛУ 1

1. Простейшим фотоэлектрическим (объективным) люксметром являются

- а) светофильтры;
- б) селеновый фотоэлемент;
- в) стрелочный гальванометр.

2. Для каких целей в лампу накаливания добавляют йод?

- а) для улучшения световых характеристик лампы;
- б) для регенерации вольфрамовой нити;
- в) для уменьшения энергопотребления лампы.

3. Укажите состав газового наполнения люминесцентных ламп

- а) аргон + кислород;
- б) аргон + пары ртути;
- в) аргон + неон + гелий;
- г) пары ртути + неон.

4. В качестве балласта к люминесцентным лампам можно применять...

- а) только индуктивное сопротивление;
- б) только емкостное сопротивление;
- в) только индуктивное и емкостное сопротивление;
- г) активное, индуктивное и емкостное сопротивление.

5. Срок службы лампы типа ДРЛ составляет...

- а) 10 000 – 12 000 ч;
- б) 12 000 – 20 000 ч;
- в) 20 000 – 45 000 ч.

6. Для чего служит дроссель на входе в цепи электрической схемы КЛЛ

- а) для увеличения напряжения;
- б) для защиты от помех;
- в) для стабилизации напряжения.

7. Светильник – это ...

- а) прибор, излучающий свет в пространство;
- б) прибор, отражающий солнечные лучи;
- в) прибор, перераспределяющий свет.

8. Что называют светящей линией?

- а) длина, которая равна половине ряда светильников;
- б) длина, которая превышает половину расчетной высоты;
- в) длина ряда светильников.

9. К «темным» ИК излучателям относятся ...

- а) ИК лампы зеркальные, в колбе красного цвета;
- б) трубчатые электронагреватели (ТЭН);
- в) пленочные электронагреватели (ПЛЭН).

10. Границы видимого диапазона длин волн?

- а) 240...380 нм;
- б) 420...760 нм;
- в) 600...6000 нм;
- г) 320...1200 нм;
- д) 380...760 нм.

Раздел 2 ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Лекция 1

Понятие электротехнологии. Общие вопросы.

Роль и классификация электротермических установок

Для анализа существующей проблемы необходимо произвести системно-аналитический обзор электротехнологических процессов сельскохозяйственного производства с детальной классификацией по различным показателям этих процессов.

Электрификацию вообще, и в том числе сельского хозяйства можно представить в виде трех больших групп: производство, применение и распределение электрической энергии.

Рассмотрим более подробно область применения электрической энергии в сельскохозяйственном производстве. В этой области кроме традиционных способов использования электроэнергии в животноводстве, птицеводстве и растениеводстве выделился особый раздел, в котором электроэнергия применяется не только как энергоноситель, но и как технологический фактор, т.е. электротехнология.

Под **электротехнологией** понимают область науки и техники, охватывающую изучение и использование технологических процессов, в которых электрическая энергия участвует непосредственно в технологическом процессе, преобразуясь в рабочей зоне и в объекте обработки в тепловую, электромагнитную, химическую, механическую и (или) другие виды энер-

гии. В зависимости от вида преобразованной энергии различают процессы электротермии, электрохимии, электрофизики, электробиологии и процессы электронно–ионной технологии, протекающие в различных средах и специфически воздействующие на продукт обработки. В сельском хозяйстве объектами электротехнологической обработки являются продукты растениеводства, полеводства и животноводства, корма, животные, почва, растения, жидкие, газообразные и пастообразные среды и т.д.

Большинство объектов электротехнологической обработки характеризуется ионной проводимостью, что позволяет интенсифицировать процессы массообмена в электрических полях, так как ионы – это не только заряженные частицы, но и частицы, обладающие значительной по сравнению с электроном массой. Процессы массообмена – движение ионов под воздействием электрического поля – играют важную роль при электротехнологической обработке растительных материалов.

Рассмотрим классификацию электротехнологических процессов с точки зрения воздействующего фактора (электрическое поле в качестве энергетического воздействия), базирующуюся на основных положениях электродинамики сплошных сред при различной интенсивности воздействия электромагнитного поля на обрабатываемый продукт. Непрерывность спектра электромагнитных волн может служить основой классификации электротехнологических методов обработки материала. Основопологающее уравнение Планка устанавливает взаимосвязь длины волны излучения и энергии кванта. Любой из этих указанных показателей может быть взят за основу

предлагаемой классификации электротехнологических методов обработки растительных материалов, (длина волны характеризует действующий фактор, а энергия кванта – возможность различных превращений, в том числе физических, биологических и химических).

Приведенные в классификации технологические процессы [2] не претендуют на полное освещение вопроса, они являются примером возможностей и областей применения электротехнологических методов. Следует учесть, что приведенная классификация не может отразить возможности химического действия излучения, так как здесь вероятно возникновение вторичных факторов. Так при искрении, электрическом пробое, коронировании, то есть при проявлении вторичных явлений, энергия кванта может быть выше энергии химических связей, нарушение которых и приводит к изменению свойств обрабатываемого материала. Выбор действующего фактора для конкретного процесса представляет собой довольно сложную задачу. Для одного и того же процесса можно использовать ряд методов, а также комбинировать различные методы обработки, а идентичных результатов обработки можно получить при использовании различных методов.

Следовательно, здесь особенно четко необходимо представлять механизм воздействия подводимой энергии с точки зрения изменения структуры материала, его структурно–механических и энергетических свойств, цели обработки, и весьма тщательно рассматривать энергетические и экономические затраты на реализацию того или иного способа обработки.

Для успешной реализации электротехнологических способов обработки сельскохозяйственных материалов необходимо как можно более точно математически описать технологический процесс. Построение математических моделей должно основываться на основополагающей информации об электрофизических свойствах исследуемого объекта обработки и силового воздействия ЭМП на обрабатываемый материал. Однако в настоящее время отсутствуют универсальные методики расчета этих параметров, позволяющие построить математические модели исследуемых процессов и решить оптимизационные задачи такой технологии. В тоже время достоверно известно, что использование ЭМП различного диапазона частот дает возможность реализовать разнообразные технологии обработки биологических материалов. Успешная реализация конкретной электротехнологии определяется основными техническими и технологическими параметрами обработки: электрофизическими свойствами обрабатываемого материала и частоты ЭМП, удельной энергии (мощности), способа подвода и экспозиции электрической энергии.

В сельскохозяйственном производстве применяют различные виды воздействия электрических полей на помещенные в них объекты: тепловое, силовое, биологическое, электрохимическое, электрофизическое [2]. Каждое воздействие электрического поля на биологический объект обработки характеризуется различными действующими электрическими факторами, которые необходимо выявлять и, в зависимости от цели обработки, конкретизировать.

В настоящее время следует считать доказанным практическую возможность интенсификации электротехнологических процессов путем использования электроконтактного метода, высокочастотных и сверхвысокочастотных полей. Применение этих методов резко ускоряет течение процессов, повышает производительность труда, снижает потребность в производственных площадях. Кроме того, повышается качество продукции, а также резко улучшаются санитарно-гигиенические условия труда. Специфическим преимуществом указанных методов перед традиционными методами является возможность достаточно равномерного распределения подводимой энергии по всему объему обрабатываемого материала и, что особенно важно, за достаточно короткие промежутки времени. Приведенная классификация [2] носит условный характер, так как во многих случаях воздействие на обрабатываемый материал является комплексным, и отнесение процесса к той или иной группе определяется характером приложения энергии и ее величиной. Однако такая классификация позволяет рассматривать исследуемый процесс как единую систему взаимодействия электромагнитного поля с биологическим объектом, который подвергается обработке

Лекция 2

Классификация электротермических установок по различным признакам и их термический и электрический КПД

Способы электронагрева (способы преобразования электрической энергии в тепловую) различают по следующим основным признакам:

- 1) виду «греющего» электрического тока или электромагнитной волны;
- 2) способу создания (возбуждения) электрического тока или электромагнитной волны;
- 3) частоте тока или поля.

По этим признакам различают следующие способы электрического нагрева.

1. Электронагрев сопротивлением характеризуется тем, что электрическая энергия в твердых или жидких проводниках, включенных в электрическую цепь, при протекании по ним электрического тока преобразуются в тепловую. Причиной нагрева является взаимодействие носителей электричества (электронов или ионов) с кристаллическими решётками или атомами и молекулами нагреваемой среды. Различают *прямой* электронагрев, когда электрический ток протекает непосредственно по нагревательному телу (среде), и *косвенный* нагрев, когда электрическим током нагреваются специальные устройства – электрические нагреватели, а уже от них тепло путем

теплопроводности, конвекции, излучения или их сочетания передается нагреваемой среде.

2. Дуговой электронагрев заключается в том, что электрическая энергия преобразуется в тепло в дуге, горящей в газовой среде. Различают прямой и косвенный электродуговой нагрев. В с.г. производстве применяется лишь прямой электродуговой нагрев в электросварочных установках

3. Индукционный электронагрев состоит в том, что электрическая энергия преобразуется в тепло в твердых или жидких проводниках, помещенных в быстропеременное магнитное поле. Нагрев происходит под действием наводимых (индуцируемых) в проводнике вихревых токов при пересечении его магнитными силовыми линиями.

4. Диэлектрический электронагрев характеризуется тем, что электрическая энергия преобразуется в тепло в твердых и жидких непроводящих материалах (диэлектриках), помещаемых в быстропеременное электрическое поле. Нагрев происходит за счет токов электрического смещения, наводимых в материале.

5. Электронный электронагрев состоит в том, что электрическая энергия преобразуется в тепловую при встрече потока электронов, ускоренных в электрическом поле, с нагреваемым телом. Отличием и обязательным условием этого способа нагрева является необходимость глубокого вакуума в камере нагрева. Поток электронов может концентрироваться в виде узкого пучка, который используется как инструмент для

размерной обработки деталей в электронно-лучевых установках.

Особенность нагрева состоит в высокой концентрации энергии, составляющей примерно $5 \cdot 10^8$ кВт/см², что в тысячи раз выше, чем при электродуговом нагреве. Принцип электронного нагрева используется в различных по назначению установках промышленности для получения сплавов особой чистоты из тугоплавких металлов (молибден, ванадий, тантал), сварки очень мелких деталей, размерной обработки деталей, выполнения термопластических операций и др., а также в научных исследованиях.

6. Световой (лазерный) электронагрев происходит под действием усиленного индуцированного излучения оптических квантовых генераторов (лазеров). Излучение представляет собой пучок когерентных лучей оптического диапазона, отличающийся чрезвычайно малым расхождением, не зависящим от размера излучающего тела. Энергия лучей преобразуется в тепло при встрече с поверхностью нагреваемого тела. При световом нагреве достигается наибольшая из всех известных способов нагрева концентрация мощности. Лазеры обычно работают в импульсном режиме. Энергия светового импульса невелика (до 30 Дж), но благодаря очень малым диаметрам луча (1 – 8 мкм) и малой длительности импульса (миллионные доли секунды) тело успевает нагреться до нескольких тысяч градусов, что достаточно для расплавления и испарения самых тугоплавких материалов.

Иногда к самостоятельным способам электронагрева относят **плазменный нагрев**, который в действительности является косвенным электродуговым или диэлектрическим нагревом.

Электрический нагреватель (электронагреватель) – тепловыделяющий источник, преобразующий электрическую энергию в тепловую. В соответствии со способами электронагрева различают электронагреватели сопротивления, индукционные (индукторы), диэлектрические (конденсаторы).

Электронагревательная установка (ЭНУ) – агрегат или оборудование, включающее электрические нагреватели, рабочую камеру и другие элементы, связанные в единый конструктивный комплекс и предназначенные для совершения определенного технологического процесса.

В основу классификации ЭНУ положены следующие признаки:

1. Способ электрического нагрева. Это основной классификационный признак, по которому различают следующие основные группы электронагревательных установок:

- 1) сопротивления;
- 2) электродугового нагрева;
- 3) индукционного нагрева;
- 4) диэлектрического нагрева;
- 5) электронного нагрева;
- 6) лазерного нагрева;
- 7) смешанного нагрева.

2. Принцип нагрева. По этому признаку каждая из основных классификационных групп подразделяется на установки прямого и косвенного электронагрева.

3. Принцип работы. По этому признаку различают установки периодического действия и непрерывного действия.

4. Род тока и частота. По частоте используемого для нагрева электрического тока различают установки:

- 1) постоянного тока;
- 2) низкой (промышленной) частоты (50 Гц);
- 3) средней (повышенной) частоты (до 10 кГц);
- 4) высокой частоты (до 100 МГц);
- 5) сверхвысокой частоты (свыше 100 МГц).

5. Способ теплопередачи. Установки косвенного электронагрева различают по способу передачи тепла от нагревателей к нагреваемому материалу. По этому признаку различают такие установки:

- 1) контактного нагрева (теплопроводностью);
- 2) конвективного нагрева;
- 3) лучистого (инфракрасного) нагрева;
- 4) смешанного нагрева.

Лекция 3

Динамика процесса нагрева. Электродный нагрев воды.

Косвенный нагрев сопротивлением.

Трубчатые электронагреватели

Вопрос 1. Электродный нагрев воды

Электродный способ применяется для нагрева проводников второго рода: воды, молока, фруктовых и ягодных соков, сочных кормов, почвы и др. Материал помещают между электродами и нагревают электрическим током, протекающим по материалу от электрода к электроду. Как и при электроконтактном нагреве, здесь происходит прямой нагрев – сам материал является средой, в которой электрическая энергия преобразуется в тепловую. Электродный нагрев представляет собою наиболее простой и экономичный способ нагрева материалов, не требующий ни понижающих трансформаторов, ни специальных нагревателей из дорогостоящих сплавов. Electroды выполняют лишь функцию подвода тока к нагреваемой среде и сами током практически не нагреваются. Изготавливают электроды из недефицитных материалов, чаще всего металлов, но они могут быть и неметаллическими (графитовыми, угольными).

Для электродного нагрева во избежание электролиза используют только переменный ток.

Наибольшее распространение в сельском хозяйстве получил электродный нагрев в водогрейных и паровых электродкотлах.

Электропроводность воды. Вода без примесей практически не проводит электрический ток. Ее проводимость при 20°C составляет около $0,3 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ (для сравнения проводимость меди $0,6 \cdot 10^6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$). Проводимость обычной воды обусловлена наличием растворенных солей, кислот и щелочей, молекулы которых в воде диссоциируют на ионы. Содержание 0,5 мг/кг солей повышает проводимость воды на $1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. При малых концентрациях зависимость проводимости воды от содержания солей с достаточной для практики точностью может быть принята линейной в виде

$$\sigma = 1,9 \cdot 10^{-6} x$$

где x – солесодержание мг/кг.

Наиболее химически чиста атмосферная вода. Ее солесодержание не превышает 50 мг/кг. Подземные воды содержат от 100 мг/кг до нескольких г/кг солей.

Вопрос 2. Косвенный нагрев

Электрические нагреватели сопротивления. Косвенный электронагрев наиболее распространен в низко- и среднетемпературных процессах, а также в некоторых высокотемпературных процессах ремонтного производства и промышленности. Достоинствами этого способа являются возможность нагрева любых, проводящих и непроводящих, материалов (в области температур до 1500°C), отсутствие воздействия электрического тока на нагреваемый материал, возможность использования как переменного, так и постоянного тока.

Электрические нагреватели сопротивления просты по устройству и по стоимости уступают лишь электродным нагревателям. Установки косвенного нагрева достаточно безопасны в эксплуатации, что очень важно при отсутствии постоянного обслуживающего персонала. Регулирование мощности нагрева во многих случаях легко достигается простым переключением нагревателей.

К недостаткам косвенного нагрева можно отнести следующие:

- 1) дефицитность и сравнительно низкий срок службы нагревателей;
- 2) затруднительность или зачастую невозможность ремонта нагревателей (главным образом трубчатых);
- 3) более высокий по сравнению с прямым нагревом удельный расход электроэнергии.

В сельскохозяйственном производстве косвенный электронагрев наиболее распространен, особенно в сравнительно мелких потребительских установках.

Основным элементом ЭНУ сопротивления является электрический нагреватель – тепловыделяющий источник, преобразующий электрическую энергию в тепловую. Нагреватель представляет собой высокоомное сопротивление, оборудованное вспомогательными устройствами для подвода тока, электроизоляции, защиты от механических повреждений, крепления и др. Расчету нагревателей предшествует выбор питающего напряжения, разработка способа регулирования мощности и электрической схемы включения.

Вопрос 3. Типы нагревателей

Типы нагревателей. Конструкции нагревателей отличаются большим разнообразием, которое объясняется разнообразием условий работы, назначения, мощности и других условий. В большинстве случаев нагреватели выполняют с электрической изоляцией и защитными устройствами, поэтому они безопасны в работе и могут применяться для нагрева любых, в том числе и агрессивных сред. Герметизация нагревательных сопротивлений от воздуха и нагреваемых сред позволяет значительно удлинить срок службы сопротивлений и не влиять на сами среды. По исполнению различают открытые, закрытые и герметические нагреватели.

В **открытых** нагревателях (рис. 3.1) нагревательные сопротивления открыты для доступа воздуха или нагреваемой среды. Такие нагреватели применяются в электрических печах, электробрудерах, калориферах, обогревателях почвы в парниках и других установках, если это допускается технологией нагрева, условиями безопасности, сроками службы. Открытые нагреватели применяются также в высокотемпературных установках с преимущественно лучистой теплоотдачей (электрические печи ремонтных предприятий). Достоинством таких нагревателей являются простота устройства, хорошие условия теплоотдачи. Для увеличения механической прочности проволоочные нагреватели размещают на керамических трубках или стержнях.

В **закрытых** нагревателях (рис. 3.2) нагревательные сопротивления размещены в защитном кожухе, предохраняющем их от механических воздействий и от нагреваемой среды,

а в герметических – и от доступа воздуха. В закрытых и герметических нагревателях нагревательные сопротивления изолируются от защитного кожуха термостойкой электроизоляцией (фарфор, кварцевый песок, периклаз, термостойкий миканит), которая одновременно служит для фиксации, а иногда и герметизации нагревательных сопротивлений.

В настоящее время широко распространены унифицированные герметические трубчатые электронагреватели (ТЭНы) (рис. 3.3), которые удовлетворяют условиям большинства тепловых процессов сельскохозяйственного производства.

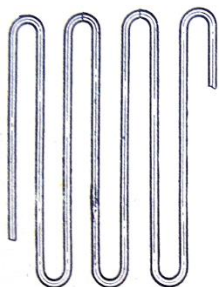


Рис. 3.1. Открытый ленточный нагреватель в виде зигзагообразной радиационной трубы

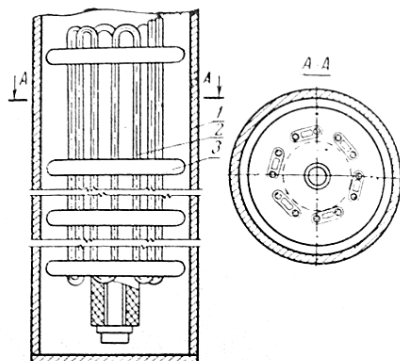


Рис. 3.2. Закрытый нагреватель: 1 – труба; 2 –нагреватель; 3 – изоляционная шайба

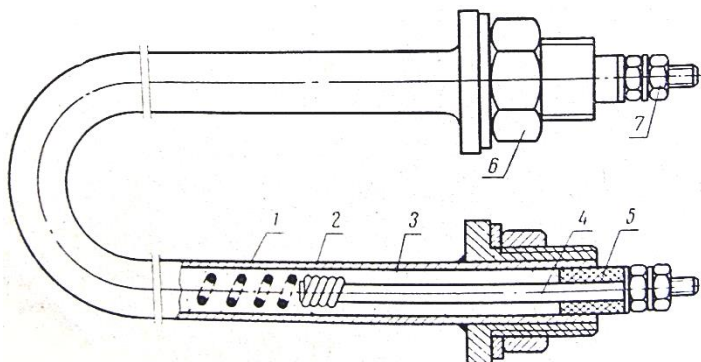


Рис. 3.3. Трубчатый электронагреватель (ТЭН) герметического исполнения: 1 – нихромовая спираль; 2 – трубка; 3 – наполнитель; 4 – выводная шпилька; 5 – герметизирующая уплотнительная втулка; 6 – гайка для крепления; 7 – выводы

Материалы для электрических нагревателей. Основным и наиболее ответственным элементом электрического нагревателя является тело нагрева - нагревательное сопротивление, которому приходится работать в тяжелых температурных условиях. Стойкость нагревательного сопротивления определяет срок службы нагревателя. Даже правильно рассчитанные и эксплуатируемые нагреватели имеют срок службы не более 5 - 10 тыс. часов, тогда как конструкционные части установок служат 5 - 10 лет. Поэтому к материалам для нагревательных сопротивлений предъявляется ряд требований, основные из которых следующие:

1) жаростойкость устойчивость к окислению при высоких температурах. Окисление ведет к уменьшению попереч-

ного сечения, увеличению сопротивления и прогрессирующему разрушению;

2) жаропрочность - способность выдерживать механические нагрузки при высоких температурах. Нагревательные сопротивления механически не нагружаются, но должны выдерживать собственный вес;

3) большое удельное электрическое сопротивление. Масса материала, расходуемого на нагревательное сопротивление, определяется выражением

$$M = \frac{PD}{j^2 \cdot \rho},$$

где D – плотность материала, кг/м³,

j – плотность тока в нагревателе, А/м².

Из уравнения видно, что с увеличением ρ уменьшаются затраты материалов, а следовательно, габариты и стоимость нагревательных устройств;

4) малый температурный коэффициент сопротивления. Для любой температуры t удельное сопротивление металлических проводников определяется формулой

$$\rho_t = \rho_{20}(1 + \alpha \cdot \theta)$$

Изменение сопротивления происходит вследствие линейного расширения проводника при нагреве. Температурный коэффициент сопротивления α является функцией температуры. Для чистых металлов α имеет довольно большое значение, порядка 0,004° С⁻¹. Следовательно, при нагреве на 100° С сопротивление нагревателя вырастет на 40%, а при нагреве на

1000°С – в 5 раз против первоначального. Значительное изменение сопротивления приводит к перерасходу цветных металлов на токопроводы, затрудняет расчет и поддержание температурных режимов;

5) постоянство электрических свойств (удельного электросопротивления);

6) постоянство размеров. Некоторые сплавы с течением времени «растут», линейные размеры изменяются на 30 – 40%, что приводит к изменению мощности;

7) хорошая обрабатываемость;

8) невысокая стоимость.

Электрические нагреватели бывают металлическими и неметаллическими. Из неметаллических нагревателей наиболее распространены карборундовые, силитовые, карбидные, графитовые, угольные, из окислов тория, циркония, титана. Неметаллические нагреватели обладают высоким удельным сопротивлением, поэтому их выполняют в виде трубок, стержней, пластинок или крошки (криптол). Неметаллические нагреватели применяются в высокотемпературных установках (печах) с рабочей температурой до 1300°С. При более высоких температурах используются металлокерамические (дисилицид-молибденовые) нагреватели, выдерживающие температуру до 1600°С.

К недостаткам неметаллических нагревателей относятся сильная зависимость их сопротивления от температуры и высокая окисляемость, особенно во влажной среде. Срок службы

неметаллических нагревателей колеблется в пределах от 500 до 2000 ч.

Из чистых металлов в нагревательных устройствах находят ограниченное применение вольфрам, молибден, тантал, ниобий, которые используются главным образом в высокотемпературных лабораторных печах для изготовления экранов, подставок и др.

В наибольшей степени перечисленным требованиям отвечают специальные хромоникелевые сплавы – нихромы. Различают двойные и тройные нихромы. Двойные нихромы содержат около 20% хрома и 80% никеля (X20H80-H, X20H80T) и являются наиболее высококачественными, но наиболее дорогими сплавами для нагревательных сопротивлений. Тройные сплавы содержат 13–15% хрома, около 60% никеля, остальное – железо (X15H60-H). Это менее дорогие материалы.

Помимо двойных и тройных сплавов, распространены нихромы с пониженным содержанием дефицитного никеля и добавкой алюминия (например, X15H60Ю3А), обладающие высокой жаростойкостью. Взамен нихромов используются еще более дешевые железохромоалюминиевые сплавы, среди которых наиболее известен фехраль (X13Ю4), содержащий 13% хрома, 83% железа и 4% алюминия. Применяются также нагреватели из нержавеющей сталей, например 1X18H9Т и другие.

Нихромы обладают высокой жаростойкостью с допустимой рабочей температурой 1000–1200° С. Жаростойкость обеспечивается поверхностной пленкой окиси хрома, которая имеет более высокую жаростойкость, чем основной материал, и препятствует окислению и разрушению глубинных слоев материала. Удельное электросопротивление нихромов высокое (1-1,2) 10^{-4} Ом·см, а температурный коэффициент сопротивления низок – в десятки раз меньше, чем у углеродистых сталей. Нихромы являются немагнитными материалами.

В установках с невысокими температурами нагрева (до 350°С) можно использовать реостатный сплав константан, содержащий около 40% никеля и 60% меди.

В сельскохозяйственном производстве в некоторых случаях нагреватели выполняют из стальной оцинкованной проволоки. Углеродистая сталь как нагревательный сплав представляет собой дешевый и доступный материал, который хорошо обрабатывается. К недостаткам стальных нагревателей относятся низкая жаростойкость (допустимые рабочие температуры не более 300–350°С), низкое удельное сопротивление, высокий температурный коэффициент сопротивления, что при включении вызывает толчки тока, достигающие 4–5-кратного значения от установившегося.

Основная область применения стальных нагревательных элементов – обогрев почвы и воздуха в парниках и теплицах, обогрев пола в животноводческих и птицеводческих помещениях.

Вопрос 4. Трубчатые электронагреватели

Трубчатые электронагреватели (ТЭНы) применяются в водонагревателях, калориферах, установках лучистого нагрева, электрообогреваемых полах и пр. Нагреватель (рис. 3.3) состоит из металлической трубки 2, в которую вмонтирована нихромовая спираль 1. Концы спирали приварены к выводным шпилькам 4, которые служат для подключения ТЭНа к сети. Материал трубки выбирают в зависимости от ее рабочей температуры и условий работы. Это может быть углеродистая сталь (стали 10–20), нержавеющая сталь (X18H10T), медь, латунь и др. Спираль изолируется от стенок трубки наполнителем 3 из периклаза (кристаллическая окись магния MgO), обладающего хорошими электроизоляционными свойствами и хорошо проводящего тепло. После засыпки наполнителя трубку спрессовывают. Под большим давлением периклаз превращается в твердый монолитный материал, надежно фиксирующий и изолирующий спираль внутри трубки. Опрессованная трубка может быть изогнута для придания нагревателю необходимой формы. Торцы трубки герметизированы огнеупорным составом и изолирующими втулками 3.4.

К достоинствам ТЭНов относятся их универсальность, надежность и безопасность обслуживания. Нагревательная спираль изолирована от наружной трубки, поэтому ТЭН можно помещать непосредственно в нагреваемую среду (воду,

молоко, обрат, соли, металлы). Вследствие герметизации спиралей от воздуха срок службы нагревателей заводского изготовления составляет до 10000 ч, они ударо-вибропрочные. Рабочая температура наружной поверхности ТЭНов может достигать 700° С, что удовлетворяет требованиям подавляющего большинства сельскохозяйственных тепловых процессов.

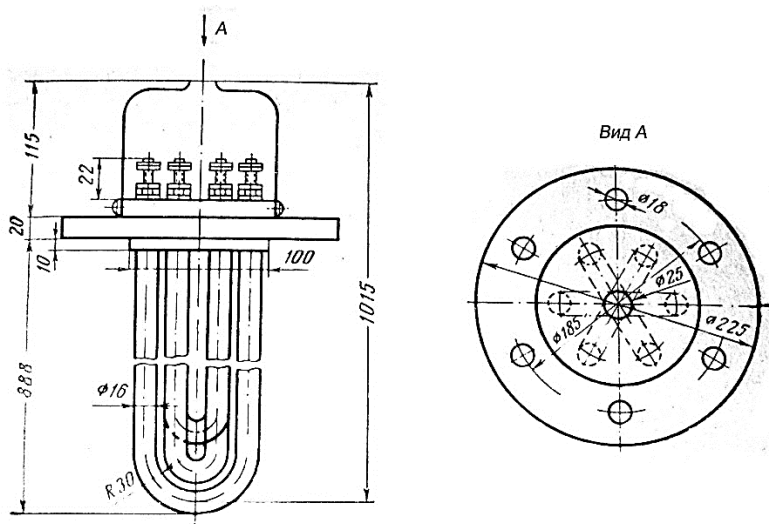


Рис. 3.4 Трубчатый электронагреватель из трех элементов НВ-5,4/9,0

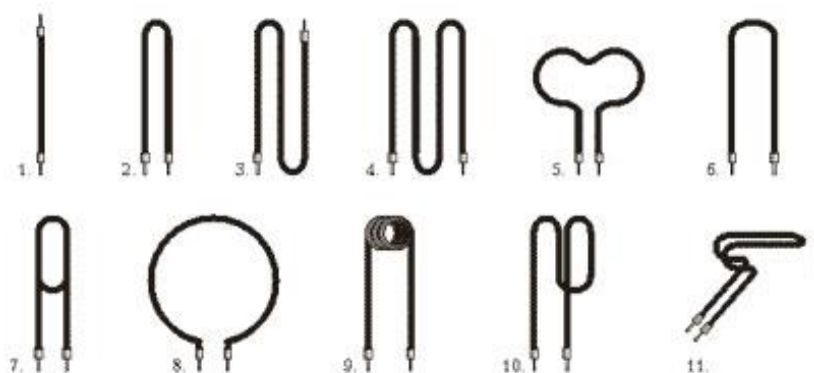


Рис. 3.5. Типовые формы ТЭН

ТЭН (трубчатые электронагреватели) предназначены для преобразования электрической энергии в тепловую и применяются в качестве комплектующих изделий в промышленных установках и бытовых нагревательных приборах. Нагрев различных сред осуществляется путем конвекции, теплопроводности и излучения. ТЭН по сравнению с другими типами нагревателей отличается: -возможностью эксплуатировать их при непосредственном контакте с нагреваемыми средами, которые могут быть газообразными и жидкими при давлении до 4,5 атм, а также твердыми; -надежностью при вибрациях и значительных ударных нагрузках; -различные конфигурации, отсутствием напряжения на оболочке ТЭН.

Средняя наработка до отказа: ТЭН для нагрева воздушных сред – не менее 10000 часов; ТЭН для нагрева жидкостных сред – не менее 5000 часов.

Лекция 4

Индукционный нагрев. Диэлектрический нагрев. Основы термоэлектрического нагрева

Вопрос 1. Индукционный нагрев

Индукционный нагрев осуществляется в переменном магнитном поле. Проводники, помещенные в поле, нагреваются вихревыми токами, наводимыми в них по законам электромагнитной индукции.

Интенсивный нагрев можно получить лишь в магнитных полях высокой напряженности и частоты, которые создаются специальными устройствами – индукторами (индукционными нагревателями), питаемыми от сети или индивидуальных генераторов токов высокой частоты (рис. 4.1). Индуктор является как бы первичной обмоткой воздушного трансформатора, вторичной обмоткой которого служит нагреваемое тело.

В зависимости от применяемых частот установки индукционного нагрева разделяются следующим образом:

- а) низкой (промышленной) частоты (50 Гц);
- б) средней (повышенной) частоты (до 10 кГц);
- в) высокой частоты (свыше 10 кГц).

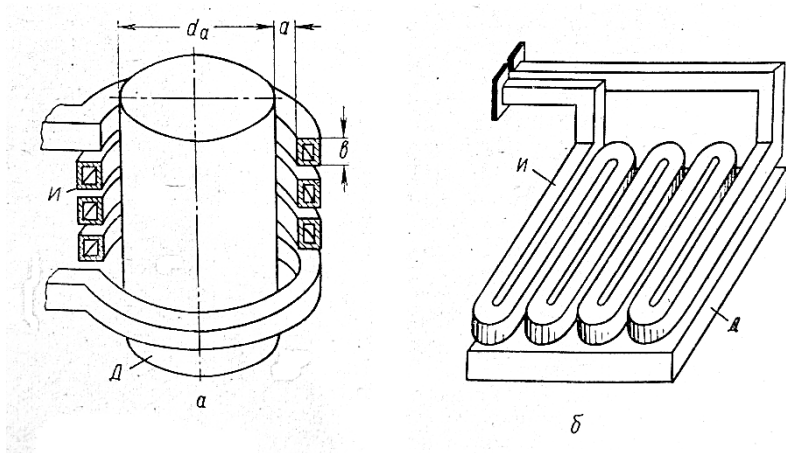


Рис. 4.1. Индукторы: а – цилиндрический; б – петлевой для нагрева плоских деталей; И – индуктор; Д – деталь

Индукторы (индукционные нагреватели).

Индуктор – это рабочий орган установки индукционного нагрева. Эффективность нагрева тем выше, чем ближе вид испускаемой индуктором электромагнитной волны к форме нагреваемой поверхности. Вид волны (плоская, цилиндрическая и др.) определяется формой индуктора.

Конструктивное оформление индукторов зависит от формы нагреваемых тел, целей и условий нагрева. Простейший индуктор представляет собой изолированный проводник, помещенный внутрь металлической трубы, вытянутый или свернутый в спираль. При пропускании по проводнику тока промышленной частоты в трубе наводятся греющие ее вихревые токи. В сельском хозяйстве предпринимались попытки использовать этот принцип для обогрева почвы в закрытом грунте, насестов для птицы и др.

Индуктор является основным нагревательным элементом установки индукционного нагрева. От формы и параметров индуктора зависит равномерность или локализация нагрева.



Рис. 4.2. Примеры индукторов для конкретных технологий, с учетом особенностей нагрева, например, пайка твердосплавного инструмента или плавка во взвешенном состоянии (ливнотирующая плавка)

В индукционных водонагревателях и пастеризаторах молока (работы по ним не вышли пока за рамки экспериментальных образцов) индукторы выполняют по типу статоров трехфазных электродвигателей. Внутри индуктора помещен металлический сосуд цилиндрической формы. Вращающееся (или пульсирующее при однофазном исполнении) магнитное поле, создаваемое индуктором, наводит в стенках сосуда вихревые токи и нагревает их. От стенок тепло передается находящейся в сосуде жидкости.

При индукционной сушке древесины штабель досок перекладывают металлическими сетками и помещают (закатывают на специальной тележке) внутрь цилиндрического индуктора из проводников большого сечения, намотанных на каркас из изоляционного материала. Доски нагреваются от металлических сеток, в которых индуктируются вихревые токи.

Приведенные примеры поясняют принцип установок косвенного индукционного нагрева. К недостаткам таких установок относятся низкие энергетические показатели и малая интенсивность нагрева. Низкочастотный индукционный нагрев достаточно эффективен при прямом нагреве массивных металлических заготовок и определенном соотношении между их размерами и глубиной проникновения токов.

Индукторы высокочастотных установок выполняют неизолированными, они состоят из двух основных частей – индуктирующего провода, при помощи которого создается переменное магнитное поле, и токоподводов для подключения индуктирующего провода к источнику электрической энергии.

Конструктивное выполнение индуктора может быть весьма разнообразным. Для нагрева плоских поверхностей используются плоские индукторы, цилиндрических заготовок – цилиндрические (соленоидные) индукторы и т. п. (рис. 16). Индукторы могут иметь сложную форму (рис. 17), обусловленную необходимостью концентрации электромагнитной энергии в нужном направлении, подвода охлаждающей и закалочной воды и пр.

Для создания полей высокой напряженности по индукторам пропускают большие токи, исчисляемые сотнями и тысячами ампер. В целях снижения потерь индукторы изготавливают с возможно малым активным сопротивлением. Несмотря на это, они все же интенсивно нагреваются как собственным током, так и за счет теплопередачи от заготовок, поэтому их оборудуют принудительным охлаждением. Индукторы обычно выполняют из медных трубок круглого или прямоугольного сечения, внутри которых пропускается проточная вода для охлаждения.

Применение индукционного нагрева. Установки индукционного нагрева весьма распространены на ремонтных заводах и предприятиях «Сельхозтехники».

В ремонтном производстве токи средней и высокой частоты применяются для сквозного и поверхностного нагрева деталей из чугуна и стали под закалку, перед горячей деформацией (ковкой, штамповкой), при восстановлении деталей методами наплавки и высокочастотной металлизации, при пайке твердыми припоями и др.

Особое место занимает поверхностная закалка деталей. Возможность концентрации мощности в заданном месте детали позволяет получать сочетание наружного закаленного слоя с пластичностью глубинных слоев, что значительно повышает износостойкость и устойчивость к знакопеременным и ударным нагрузкам.

Достоинства поверхностной закалки при помощи индукционного нагрева заключаются в следующем:

1) возможность закаливать детали и инструмент на любую необходимую толщину, при необходимости обрабатывая только рабочие поверхности;

2) значительное ускорение процесса закаливания, что обеспечивает высокую производительность установок и снижает стоимость термообработки;

3) обычно меньший по сравнению с другими способами нагрева удельный расход энергии вследствие избирательности нагрева (только на заданную глубину) и быстротечности процесса;

4) высокое качество закаливания и уменьшение брака;

5) возможность организации поточности производства и автоматизации процессов;

6) высокая культура производства, улучшение санитарно-гигиенических условий труда.

Установки индукционного нагрева выбирают по следующим основным параметрам: назначению, номинальной рабочей мощности, рабочей частоте. Выпускаемые промышленностью установки имеют стандартную шкалу мощностей

со следующими ступенями: 0,16; 0,25; 0,40; 0,63; 1,0 кВт и далее при умножении этих чисел на 10, 100 и 1000.

Установки для индукционного нагрева имеют мощности от 1,0 до 1000 кВт, в том числе с ламповыми генераторами до 250 кВт, а выше – с машинными генераторами. Рабочую частоту, определяемую расчетом, уточняют по шкале частот, разрешенных для применения в электротермии.

Высокочастотные установки для индукционного нагрева имеют единую индексацию: ВЧИ (высокочастотные индукционные).

После букв через тире обозначается в числителе колебательная мощность (кВт), в знаменателе – частота (МГц). После цифр пишутся буквы, обозначающие технологическое назначение. Например: ВЧИ-40/0,44-ЗП – высокочастотная установка индукционного нагрева, колебательная мощность 40 кВт, частота 440 кГц; буквы ЗП – для закалки поверхностей (НС – для сквозного нагрева, СТ – сварки труб и т. п.).

Вопрос 2. Диэлектрический нагрев

Особенности диэлектрического нагрева. Токи высокой частоты (ТВЧ) значительно расширили технологические возможности и области применения электрического нагрева в различных отраслях народного хозяйства, медицине, биологии, быту, научных исследованиях. Особенно велико значение ТВЧ для нагрева электрически не проводящих и плохо проводящих материалов – диэлектриков и полупроводников.

Диэлектрический нагрев осуществляется в высокочастотном электрическом поле.

Нагрев токами высокой частоты наиболее целесообразен для материалов с плохой теплопроводностью. В сельскохозяйственном производстве к ним относится большинство продуктов и кормов, подлежащих сушке: зерно, хмель, чай, табак, концорма, – а также пищевые жидкости: молоко, фруктовые соки и др.

При обычных (внешних) способах подвода тепла процесс сушки или тепловой обработки затягивается. Длительное пребывание продуктов в температурном поле отрицательно влияет на их качества, возрастают потери тепла, производительность установок невысока.

При нагреве в поле конденсатора тепло выделяется одновременно по всему объему однородного по электрофизическим свойствам материала, вследствие чего продолжительность нагрева резко сокращается. В процессах сушки быстрый нагрев внутренних слоев материала приводит к созданию градиентов температуры и давления, направленных к наружной поверхности тела, что способствует быстрому удалению излишней влаги. Если материал неоднороден, становится возможным избирательный нагрев отдельных компонентов, имеющих различную спектральную чувствительность к ТВЧ. Интенсивность нагрева практически ограничивается лишь технологическими условиями и целостностью материала.

Интенсивный нагрев диэлектриков возможен лишь в электрическом поле высокой частоты. Нагрев в поле конденсатора (собственно диэлектрический нагрев) осуществляется на

частотах от 0,5 до 100 МГц. Область более высоких частот, от 100 до 300 МГц, составляют токи сверхвысокой частоты (СВЧ). Нагрев токами СВЧ (волнами дециметрового и сантиметрового диапазона) осуществляется в объемных резонаторах или путем направленного излучения электромагнитной энергии. Этот вид диэлектрического нагрева имеет свои особенности как по принципу генерирования токов СВЧ, так и по характеру нагрева. На этих частотах уже заметно проявляется поверхностный эффект вследствие затухания электромагнитной волны в диэлектрике.

Основные особенности высокочастотного нагрева диэлектриков состоят в следующем.

1. Нагрев токами высокой частоты является прямым нагревом – электрическая энергия преобразуется в тепло непосредственно в полупроводниках или диэлектриках, помещенных в быстропеременное электрическое поле. Во многих случаях это позволяет коренным образом изменять технологию процессов, повышать качество продукции и производительность труда. Примерами этому могут служить опыт применения ТВЧ для сушки зерна и других сельскохозяйственных продуктов и кормов, пастеризация и стерилизация молока и др. При ВЧ нагреве расход электроэнергии непосредственно на изменение теплосодержания материалов наименьшей по сравнению с другими способами, а к. п. д. выше, хотя общий расход электроэнергии с учетом потерь в генераторах и вспомогательных устройствах нередко оказывается больше.

2. Токи высокой частоты позволяют осуществлять избирательный нагрев благодаря возможности концентрации мощности в нужном направлении и использованию спектральной чувствительности неоднородных по физическим свойствам материалов. Это свойство используется в процессах сушки, дезинсекции зерна, замаривания коконов тутового шелкопряда и др.

3. При ВЧ нагреве достигается высокая концентрация мощности в единице объема нагреваемой среды, что позволяет значительно интенсифицировать производственные процессы. Появляется возможность использовать механические воздействия, - возникающие в материалах при быстром неравномерном нагреве, например при диэлектрическом разрушении камней, вспучивании материалов органического происхождения и др. Кроме того, ВЧ нагрев диэлектриков позволяет снизить отходы продукции, осуществить поточность и широкую автоматизацию производства.

В сельском хозяйстве диэлектрический нагрев имеет большие возможности применения для сушки зерна, семян трав, овощей, фруктов, чая, хлопка, дезинсекции зерна, замаривания шелковичных коконов. Не менее важно применение ТВЧ для пастеризации, стерилизации молока и молочных продуктов, фруктовых и ягодных соков, в процессах консервирования.

К недостаткам диэлектрического нагрева следует отнести высокую стоимость оборудования, более высокий (во многих случаях) удельный расход электроэнергии, необходимость в квалифицированном обслуживающем персонале. Поэтому его

применение экономически целесообразно там, где это ведет к коренному усовершенствованию технологии процессов и где высокие капитальные и эксплуатационные затраты компенсируются повышением качества и увеличением выхода продукции, значительным ростом производительности труда.

К установкам диэлектрического нагрева предъявляются следующие основные требования:

1) обеспечить заданные технологические условия (по температурным режимам, скорости нагрева и т. п.);

2) полностью сохранить материал и его качества, не допускать электрического пробоя материала;

3) возможность согласования электрических параметров нагрузки с параметрами источника питания;

4) обеспечить устойчивый режим работы в конденсаторе без искрения;

5) максимальное значение к. п. д.

Лекция 5

Основы термоэлектрического нагрева. Электрические холодильные установки и тепловые насосы

Вопрос 1 Термоэлектрический нагрев

Электротепловые насосы. Принцип получения «тепла» (для отопления помещений) или «холода» (для охлаждения помещений) из теплого окружающего воздуха или воды с использованием полупроводников в схеме теплового насоса основан

на явлении, открытом в 1814 г. Пельтье и объясненном русским ученым Ленцем в 1838 г.

Эффект Пельтье заключается в том, что если через разнородные соединенные друг с другом материалы (например, полупроводники, где этот эффект особенно выражен) пропустить постоянный электрический ток, то в месте контакта положительного (+) (дырочного, p-тип) полупроводника с отрицательным (-) (электронным, n-тип) при направлении тока от положительного проводника к отрицательному происходит выделение тепла, а при направлении тока от отрицательного проводника к положительному происходит поглощение тепла в месте контакта (спае).

Если электрическую цепь (рис. 5.1), состоящую из большого числа положительных и отрицательных полупроводников (термоэлементов), расположить так, чтобы спаи где происходит выделение тепла (нагрев), и спаи, где происходит поглощение тепла (охлаждение), образовали изолированные друг от друга каналы, то при пропускании электрического тока из одного канала можно получить тепло, а из другого – холод. После перемены направления тока теплый канал становился холодным, холодный – горячим. Если между холодным и горячим каналами создать разность температур, большую, чем между наружным воздухом и помещением то можно холодный воздух или воду охлаждать еще сильнее в холодном канале, то есть

отнимать тепло от холодной среды, а в горячем, канале нагревать теплый воздух помещения в основном за счет тепла, отнятого от холодного воздуха.

Таким образом, используя эффект Пельтье, зимой при низкой температуре наружного воздуха, охлаждая его еще сильнее, можно извлекать из холодного воздуха тепло для отопления помещения, а летом при высокой температуре наружного воздуха, нагревая его еще сильнее, можно отводить тепло от него, охлаждая за счет этого помещение. Физический смысл рассматриваемого процесса заключается в том, что происходит как бы перекачивание тепла от холодной среды к горячей за счет электрической энергии.

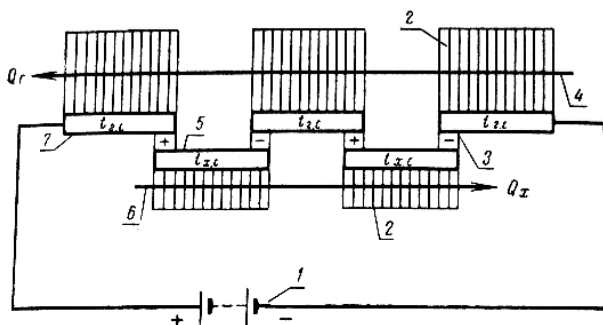


Рис. 5.1. Принципиальная схема полупроводникового электротеплового насоса: 1-источник постоянного тока; 2-радиатор (теплообменник); 3-полупроводник; 4-нагреваемая среда; 5-холодный спай; 6-охлаждаемая среда; 7-горячий спай

В таблице 5.1 приведены технические характеристики отечественных тепловых насосов типа ТН.

Таблица 5.1

Характеристики насосов

Марки тепловых насосов	Номинальная производительность, кДж/ч		Производительность, м ³ /ч	Расход воды, л/ч	Общая потребляемая мощность, Вт	Число электродвигателей мощностью 25 Вт	Число термобатарей
	По теплу	По холоду					
ТН-1,5	6300	4200	180	100	600	1	16
ТН-3	12600	8400	360	200	1200	2	32
ТН-5	21000	13800	720	400	2000	4	64
ТН-7,5	31400	21000	900	500	3000	5	80

Вопрос 2 Холодильные машины

Принцип работы холодильной установки. Холодильные агенты и хладоносители.

Рефрижерация - это процесс, при котором температура помещения снижается ниже температуры наружного воздуха. *Кондиционирование воздуха* - это регулирование температуры и влажности в помещении с одновременным осуществлением фильтрации воздуха, циркуляции и частичной его замены в помещении. *Вентиляция* - это циркуляция и замена воздуха в помещении без изменения его температуры. За исключением специальных процессов, таких как замораживание рыбы, воздух обычно используется как промежуточное рабочее тело, передающее теплоту. Поэтому для осуществления рефрижерации, кондиционирования и вентиляции применяют вентиляторы и воздухопроводы. Три названные выше процесса тесно связаны

между собой и совместно обеспечивают заданный микроклимат для людей, машин и груза.

Для снижения температуры в холодильных камерах при рефрижерации применяют систему охлаждения, работа которой обеспечивается холодильной машиной. Отобранная теплота передается другому телу – холодильному агенту при низкой температуре. Охлаждение воздуха при кондиционировании представляет собой аналогичный процесс.

В простейших схемах холодильных установок передача теплоты осуществляется дважды: сначала в испарителе, где холодильный агент, имеющий низкую температуру, отбирая теплоту от охлаждаемой среды, снижает ее температуру, затем в конденсаторе, где холодильный агент охлаждается, отдавая теплоту воздуху или воде. (рис. 5.2) В компрессоре давление пара холодильного агента повышается и соответственно повышается его температура.

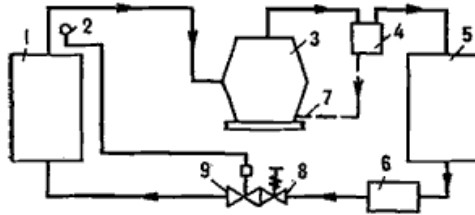


Рис. 5.2. Схема паровой компрессорной холодильной установки: 1 - испаритель; 2 - термочувствительный баллон; 3 - компрессор; 4 - маслоотделитель; 5 - конденсатор; 6 - осушитель; 7 - трубопровод для масла; 8 - регулирующий вентиль; 9 - терморегулирующий вентиль

Этот горячий пар, имеющий повышенное давление, нагнетается в конденсатор, где в зависимости от условий применения установки пар охлаждается воздухом или водой. Ввиду того что этот процесс осуществляется при повышенном давлении, пар полностью конденсируется. Жидкий холодильный агент направляется по трубопроводу к регулирующему вентилю, который регулирует подачу жидкого холодильного агента в испаритель, где поддерживается низкое давление. Воздух из охлаждаемого помещения или кондиционируемый воздух проходит через испаритель, вызывает кипение жидкого холодильного агента и сам, отдавая теплоту, при этом охлаждается. Подача холодильного агента в испаритель должна быть отрегулирована так, чтобы в испарителе весь жидкий холодильный агент выкипел, а пар слегка перегрелся перед тем, как он снова поступит при низком давлении в компрессор для последующего сжатия. Таким образом, теплота, которая была передана от воздуха к испарителю, переносится холодильным агентом по системе до тех пор, пока не достигнет конденсатора, где она будет передана наружному воздуху или воде. В установках, где применяется конденсатор с воздушным охлаждением, как, например, в малой провизионной холодильной установке, должна быть предусмотрена вентиляция для отвода теплоты, выделенной в конденсаторе. Конденсаторы с водяным охлаждением с этой целью прокачивают водой или рассолом.

Холодильные агенты и хладоносители. Охлаждающие рабочие тела делятся в основном на первичные - холодильные агенты и вторичные - хладоносители.

Холодильный агент под воздействием компрессора циркулирует через конденсатор и испарительную систему. Холодильный агент должен обладать определенными свойствами, отвечающими предъявленным требованиям, например кипеть при низкой температуре и избыточном давлении и конденсироваться при температуре, близкой к температуре заборной воды, и умеренном давлении. Холодильный агент также должен быть нетоксичен, взрывобезопасен, негорюч, не вызывать коррозии. Некоторые холодильные агенты имеют низкую критическую температуру, т. е. температуру, выше которой пар холодильного агента не конденсируется. Это один из недостатков холодильных агентов, в частности углекислоты, которая применялась много лет. Кроме того, к недостаткам углекислоты относится очень высокое давление, при котором система работает, что в свою очередь приводит к увеличению массы машины в целом. После углекислоты в качестве холодильных агентов определенное распространение имели хлористый метил и аммиак. В настоящее время хлористый метил не применяется из-за его взрывоопасности. Аммиак имеет некоторое применение до сих пор, но ввиду высокой токсичности при его использовании необходимы специальные вентиляционные системы. Современные холодильные агенты - это соединения фторированного углеводорода, имеющие различные формулы,

за исключением холодильного агента R502 (в соответствии с международным стандартом (МС) HCO 817 - для обозначения холодильных агентов применяется условное обозначение холодильного агента, которое состоит из символа R (refrigerant) и определяющего числа. В связи с этим при переводе введено обозначение холодильных агентов R.), который представляет собой азеотропную (с фиксированной точкой кипения) смесь (специфическая смесь различных веществ, обладающая свойствами, отличными от свойств каждого вещества в отдельности.) холодильных агентов R22 и R115. Эти холодильные агенты известны под названием фреоны (Согласно ГОСТ 19212–73 (изменение 1) для фреона установлено название хладон), а каждый из них имеет определяющее число.

Холодильный агент R11 имеет очень низкое рабочее давление, для получения значительного охлаждающего эффекта необходима интенсивная циркуляция агента в системе. Преимущество этого агента особенно проявляется при использовании в установках кондиционирования воздуха, поскольку для воздуха требуются относительно малые затраты мощности.

Первым из фреонов, после того как они были открыты и стали доступны, получил широкое практическое применение фреон R12. К его недостаткам относится низкое (ниже атмосферного) давление кипения, в результате чего из-за любых неплотностей в системе появляется подсос в систему воздуха и влаги.

В настоящее время наиболее распространенным холодильным агентом является R22, благодаря которому обеспечивается охлаждение на достаточно низком температурном уровне при избыточном давлении кипения. Это позволяет получить некоторый выигрыш в объеме цилиндров компрессора установки и другие преимущества. Объем, описываемый поршнем компрессора, работающего на фреоне R22, составляет примерно 60% по сравнению с описываемым объемом поршня компрессора, работающего на фреоне R12 при тех же условиях.

Примерно такой же выигрыш получается при применении фреона R502. Кроме того, из-за более низкой температуры нагнетания компрессора уменьшается вероятность коксования смазочного масла и поломки нагнетательных клапанов.

Все названные холодильные агенты не вызывают коррозии и могут применяться в герметических и бессальниковых компрессорах. В меньшей степени воздействует на лаки и пластические материалы применяемый в электродвигателях и компрессорах холодильный агент R502. В настоящее время этот перспективный холодильный агент стоит еще достаточно дорого и поэтому не получил широкого применения.

Хладоносители применяются в крупных установках кондиционирования воздуха и в холодильных установках, охлаждающих грузы. В этом случае через испаритель циркулирует хладоноситель, который затем направляется в помещение, под-

лежащее охлаждению. Хладоноситель применяется тогда, когда установка велика и разветвлена, для того чтобы исключить необходимость в циркуляции в системе большого количества дорогостоящего холодильного агента, который имеет очень высокую проникающую способность, т. е. может проникать через малейшие неплотности, поэтому очень существенно свести к минимуму число соединений трубопроводов в системе. Для установок кондиционирования воздуха обычным хладоносителем является пресная вода, которая может иметь добавку раствора гликоля.

Наиболее распространенным хладоносителем в больших рефрижераторных установках является рассол – водный раствор хлористого кальция, к которому для уменьшения коррозии добавляют ингибиторы.

Вопрос 3. Абсорбционная холодильная машина

Абсорбционная холодильная машина – промышленная холодильная установка, предназначена для отбора и удаления избыточного тепла и поддержания заданного оптимального температурного и теплового режимов при работе различного рода производственного оборудования, технологических устройств, инструмента, оснастки, а также технологических процессов, связанных с повышенными тепловыми нагрузками. В качестве абсорбента в них используются различные растворы, например, бромида лития (LiBr) в воде.



Рис. 5.3. Абсорбционная холодильная машина на 14МВт

К абсорбционным холодильным машинам относятся также аммиачные холодильные установки абсорбционного принципа действия.

История создания АБХМ

- Первое документированное использование искусственного охлаждения в 1756 году было осуществлено английским ученым Вильямом Калленом^[1]

- В 1810г Джоном Лесли создана первая искусственная ледоделка на основе поглощения сернистого газа водой.

- В 1834г английским врачом Джейкобом Перкинсом (Jacob Perkins (англ.)) (1766–1844) была построена холодильная машина с использованием насоса (компрессора) на диэтиловом эфире.

- Французским учёным Фердинандом Карре (Ferdinand Carre (фр.)) (1824–1900) и его братом Эдмондом Карре (Edmond Carre) в 1846 году была изобретена аммиачная абсорбционная холодильная машина. Несмотря на то, что его способ был очень удачным, об изобретении забыли на несколько десятилетий.

- В 1871 году была построена машина, работающая на метиловом эфире.

- В 1923 году австралийцем Эдвардом Халлстромом изобретён оригинальный аммиачный абсорбционный холодильник упрощённой конструкции – Ice Ball (англ. ледяной шар).

- В 1926 году физики Альберт Эйнштейн и Лео Силард изобретают так называемый холодильник Эйнштейна, который был запатентован в США 11 ноября 1930 года^[2].

- В начале XX века в Москве была открыта фирма, которая предлагала всем желающим агрегат под названием «Эскимо». Данный агрегат был изготовлен по принципу, предложенному Фердинадом Карре. При своих больших габаритах, агрегат не издавал громкого шума и был универсальным. Для работы необходимы были уголь, дрова, керосин или спирт. Один цикл работы «Эскимо» позволял получить 12 кг льда.

- Применение абсорбции в промышленном кондиционировании началось в конце 1950-х годов.

- В 1985 году были разработана и запатентована более эффективная АБХМ – трехступенчатая абсорбционная холодильная машина с тремя конденсаторами и тремя генераторами.

- В 1993 году был запатентован альтернативный цикл трехступенчатой абсорбционной холодильной машины с двойным конденсатором.

Типы абсорбционных охладителей

Тип АБХМ	Источник тепла	Мощность
Охладители прямого нагрева (Direct-fired Chiller/heaters)	Природный газ, дизельное топливо, отходящие дымовые газы.	По холоду от 17 кВт до 12 МВт, по теплу – от 17 кВт до 8 МВт.
Охладители парового нагрева	Пар с температурой 75-200°C	По холоду от 200 кВт до 15 МВт.
Охладители нагрева горячей водой (Hot water-fired chillers)	Горячая вода с температурой 75-95°C на входе/до 65°C на выходе)	По холоду от 105 кВт до 12 МВт.
Охладители нагрева выхлопными газами (Exhaust-fired chillers/heaters)	Выхлопные газы с температурой 250–600°C на входе/до 150°C на выходе	По холоду от 200 кВт до 12 МВт.

Принцип действия

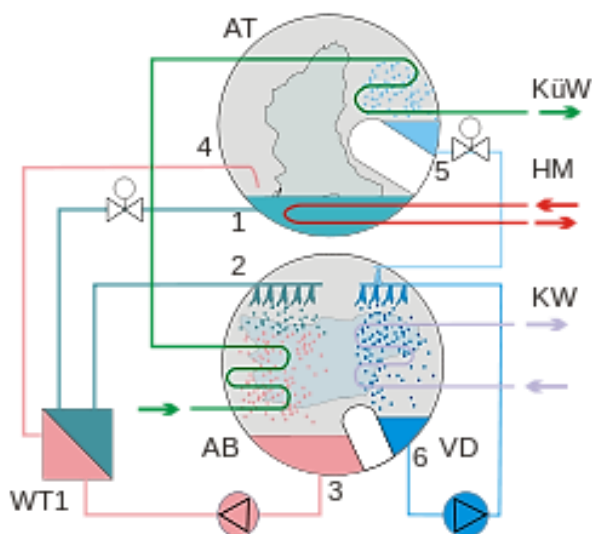


Рис. 5.4 Схема установки

На представленной схеме Бромид-Литиевой абсорбционной холодильной машины охладитель состоит из двух камер.

- Верхняя – генератор (**АТ**). Это горячая камера с относительно высоким давлением.
- Нижняя – испаритель (**VD**) и абсорбер (**AB**). Это холодная камера с очень низким давлением (2мБар).

Под действием тепла (**HM**) в генераторе из раствора бромида лития выделяются пары воды (хладагента), которые переносятся в конденсатор. Водяной пар конденсируется, отдавая тепло воде охлаждающего контура **KüW**. Охлажденная

вода по линии 5 поступает в испаритель, где при низком давлении закипает при температуре +6 °С и забирает тепло от охлаждаемого контура чиллер-фанкойл (**KW**). Насос **VD** прокачивает воду на форсунки, что способствует более интенсивному теплообмену. В других типах АБХМ охлаждаемый контур не обрызгивается, а погружается в ванну хладагента.

Оставшийся концентрированный раствор бромид лития по линии 1-2 через растворный теплообменник/гидравлический затвор **WT1** переходит в абсорбер. Для улучшения абсорбции раствор разбрызгивается форсунками и поглощает водяной пар из испарителя. Процесс абсорбции связан с выделением теплоты, которая отводится охлаждающим контуром **KüW** в абсорбере **AB**. Полученный раствор воды и бромид лития перекачивается по линии 3-4 в генератор через регулятор/теплообменник **WT1**, и цикл повторяется снова.

Преимущества

По сравнению с компрессионными холодильниками, АБХМ обладают следующими преимуществами:

- Минимальное потребление электроэнергии. Электроэнергия требуется для работы насосов и автоматики.
- Минимальный уровень шума.
- Экологически безопасны. Хладагентом является обычная вода.
- Утилизируют тепловую энергию сбрасываемой горячей воды, дымовых газов или производственных процессов.
- Длительный срок службы (не менее 20 лет).
- Полную автоматизацию.
- Пожаро- и взрывобезопасность.

- Абсорбционные машины не подведомственны Ростехнадзору.

Недостатки

Абсорбционные охладители, по сравнению с компрессионными охладителями отличаются:

- Более высокая цена оборудования, примерно в 2 раза выше чем цена обычного охладителя.
- Необходимость наличия дешевого (бесплатного) источника тепловой энергии с достаточно высокой температурой.
- Относительно низкая энергетическая эффективность – тепловой коэффициент (отношение подведенной тепловой энергии к полученному холоду), равный 0,65-0,8 – для одноступенчатых машин, и 1–1,42 – для двухступенчатых машин.
- Существенно больший вес, чем у обычного охладителя.
- Необходимость использовать открытые охладители – градирни, что увеличивает водопотребление системы.

Лекция 6

Технико-экономическое обоснование использования электрической энергии для теплотехнических и электротехнических нужд в сельском хозяйстве

Применение электротермических установок для любых тепловых процессов требует строгого технико-экономического обоснования с последующими выводами о целесообразности использования электрической энергии для рассматриваемого объекта в качестве теплоснабжения.

Необходимо представить в пояснительной записке курсового проекта суточные графики работы установок (электродного водонагревателя и электроотопительной установки), то есть распределение потребления мощности установками в течение суток (24 часа). Для электроотопительной установки необходимо с учетом сезонности ее работы привести также и годовой график нагрузки, учитывая при наличии ступенчатость регулировки мощности ЭТУ.

При расчете электрообогреваемых полов, площадок следует также учитывать их высокую теплоаккумулирующую способность, что ведет к значительной экономии электроэнергии.

Число часов работы с максимальной рабочей мощностью P_{max} , кВт определяется назначением установки и суточным графиком работы потребителей. С учетом графиков нагрузок определить время работы установок в год.

Рекомендуется определять годовой расход электроэнергии разработанных ЭТУ и затраты на электроэнергию в общем и удельные (на одну голову в год). В задачу расчета входит определение общего расхода энергии W , кВт·ч в год

$$W = P_{cp} \cdot \tau_z, \quad (6.1)$$

где P_{cp} - средняя мощность установки за время работы, кВт;
 τ_z - время работы установки в год, ч.

Мощность P_{cp} , кВт определяется для водонагревателя в соответствии с расчетами (средняя за период нагрева мощность ЭТУ); для электроотопительной установки - по графику

зависимости $P_{от} = f(t_{нар})$ для температуры $t_{ср}$, °С (средняя температура отопительного периода).

Продолжительность отопительного периода для данного региона принять равной $n_{от.сут.} = 200$ суток.

Расход энергии $W_{уд}$, кВт·ч на одну голову в год

$$W_{уд} = \frac{W}{N}. \quad (6.2)$$

Стоимость общих C , тыс.руб. и удельных $C_{уд}$, тыс.руб./гол. затрат энергии

$$C = W \cdot c ; \quad (6.3)$$

$$C_{уд} = W_{уд} \cdot c , \quad (6.4)$$

где c – стоимость единицы электрической энергии, руб./(кВт·ч); принимается в соответствии с действующими тарифами на электроэнергию.

В соответствии с проведенными расчетами сделать выводы о целесообразности использования электротермических установок для рассмотренных технологических процессов.

Практическая работа № 1

Определение мощности электродного водонагревателя

1.1 Обоснование выбора типа установки

Выбор типа установки зависит от технологического процесса, нагрузки энергосистемы по мощности во времени, требований надежности и быстродействию. Также при выборе типа установки необходимо учитывать преимущества и недостатки различных типов относительно друг друга.

В сельскохозяйственном производстве используются проточные (быстродействующие) и непроточные (емкостные или аккумулялирующие) водонагреватели.

Аккумуляционные нагреватели воды имеют ряд преимуществ по сравнению с проточными:

– возможность аккумуляирования теплоты и способность работать в часы провалов в графиках нагрузки электрических подстанций, что обеспечивает высокие экономические показатели электроподогрева воды;

– благодаря большой емкости установок обеспечивается гораздо больший расход горячей воды;

– в связи с большой длительностью нагрева происходит снижение потребляемой мощности.

Вместе с тем аккумуляционные водонагреватели имеют существенные недостатки:

– занимают значительно большие производственные площади:

- существенно увеличивается продолжительность нагрева;

- при равномерной тепловой нагрузке (водяной обогрев, подогрев питьевой воды и т.д.) мощность аккумуляционной установки будет та же, как и проточной.

Преимущества проточных установок по сравнению с аккумуляционными:

- во много раз меньше размеры, ниже стоимость, практически не занимает производственных площадей;

- большое быстродействие (через несколько минут после включения температура достигает заданного значения);

- возможность широкого изменения температуры воды путем изменения подачи (открытия вентиля на входном трубопроводе).

Недостатки проточных водонагревателей:

- как правило, проточные водонагреватели имеют высокую установленную мощность на единицу тепла;

- могут работать только по свободному графику, то есть в часы водопотребления, независимо от графика нагрузки энергосистемы, имеют низкий коэффициент использования;

- не допускают перерывов в электроснабжении.

Достоинствами аккумуляционных и проточных установок обладают установки проточного типа с дополнительными баками-аккумуляторами горячей воды. Однако при этом требуются дополнительные капитальные затраты на создание бака-аккумулятора.

Паровые электродные котлы, обеспечивающие конкретный технологический процесс, как правило, бывают только установками непрерывного действия из-за невозможности аккумуляирования теплоты в виде пара.

1.2 Расчет и выбор основных параметров ЭТУ

Основным параметром ЭТУ является мощность, которая определяется на основе уравнения теплового баланса. Для установок периодического действия определяется количество теплоты Q , кДж, требуемое для нагрева одной порции материала

$$Q = \frac{Q_{пол}}{\eta_T}, \quad (1.1)$$

где $Q_{пол}$ – полезное количество теплоты, кДж;
 η_T – термический КПД ЭТУ; для электродных водонагревателей периодического действия $\eta_T = 0,85 \dots 0,95$.

$$Q_{пол} = m \cdot c \cdot (t_{кон} - t_{нач}), \quad (1.2)$$

где m – масса воды, нагреваемая за один цикл нагрева, кг; определяется в зависимости от требуемых норм на одну голову животного за сутки с учетом числа циклов;

c – удельная массовая теплоемкость воды, кДж/(кг·°C);

$t_{кон}$ и $t_{нач}$ – конечная и начальная температуры нагрева воды, °C.

Начальная температура воды принимается из условия использования подземных вод $t_{нач} = (3 \dots 4)^{\circ}\text{C}$. Конечная температура выбирается в соответствии с технологическим

режимом: для выполнения санитарно-гигиенических мероприятий $t_{кон} = (65...85)^{\circ}\text{C}$.

Для установок непрерывного действия определяется теплопроизводительность q , кДж/ч

$$q = \frac{q_{пол}}{\eta_T}, \quad (1.3)$$

где $q_{пол}$ – полезная теплопроизводительность, кДж/ч;
 η_T – термический КПД ЭТУ; для электродных водонагревателей непрерывного действия $\eta_T = 0,95...0,98$.

$$q_{пол} = m' \cdot c \cdot (t_2 - t_1), \quad (1.4)$$

где m' – масса воды, нагреваемая за один цикл нагрева, кг; определяется в зависимости от требуемых норм на одну голову животного за сутки с учетом числа циклов;

c – удельная массовая теплоемкость воды, кДж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$);

t_1 и t_2 – температура воды на входе в электродную систему и на выходе из нее соответственно, $^{\circ}\text{C}$.

Для электроводяного отопления температура воды на входе в систему принимается $t_{нач} = (60...70)^{\circ}\text{C}$.

Исходя из полученной теплопроизводительности или потребного количества теплоты, определяется расчетная мощность установки $P_{расч}$, кВт

– для установок периодического действия

$$P_{расч} = \frac{Q_{пол}}{3600 \cdot \tau \cdot \eta_T} \cdot K_3, \quad (1.5)$$

где τ – время нагрева одной порции воды, ч; определяется технологическим процессом с учетом периодичности

проведения мероприятий;

η_T – термический КПД ЭТУ;

K_3 – коэффициент запаса; для электродных ЭТУ $K_3 = 1,1 \dots 1,5$.

– для установок непрерывного действия

$$P_{расч} = \frac{Q_{пол}}{3600 \cdot \eta_T} \cdot K_3 \quad (1.6)$$

1.2.1 Определение мощности ЭТУ для тепловой обработки корма

Расчетная мощность парового электродного котла $P_{расч}$, кВт для обработки продукции паром (1.7) и для нагрева материала (1.8)

$$P_{расч} = \frac{m}{\tau} \cdot a \quad ; \quad (1.7)$$

$$P_{расч} = \frac{m}{\tau} \cdot a' \cdot \Delta t \quad , \quad (1.8)$$

где m – масса корма, подлежащего обработке за один цикл нагрева, кг;

a - удельный расход электрической энергии на обработку единицы массы материала, кВт·ч/кг (табл. 1.1);

τ - время обработки материала, ч; принимается в пределах одного часа;

a' - удельный расход электрической энергии при нагреве материала на $1^\circ C$, кВт·ч/(кг· $^\circ C$) (табл. 1.1);

Δt – разность температур в конце и вначале нагрева, $^\circ C$.

Общая масса обрабатываемых паром кормов за сутки

$m_{\text{сут}}$, кг

$$m_{\text{сут}} = m'_{\text{сут}} \cdot N, \quad (1.9)$$

где $m'_{\text{сут}}$ - суточная норма кормов, подлежащих обработке, на одно животное, кг/гол (прил. 12);

N - число животных на ферме, гол.

Таблица 1.1
Удельный расход электрической энергии
на некоторые технологические процессы

Процессы	Удельный расход Эл.эн.
Нагрев воды в водонагревателях аккумуляционного типа	1,3 кВт·ч/(м ³ ·°С)
Пастеризация молока (при 71 °С)	0,07 кВт·ч/кг
Запаривание картофеля	0,12 кВт·ч/кг
Термическая обработка грубых кормов	0,14 кВт·ч/кг

Масса кормов m , кг, подлежащих термической обработке за 1 цикл нагрева

$$m = \frac{m_{\text{сут}}}{n}, \quad (1.10)$$

где n - количество кормлений данным кормом в сутки.

1.2.2 Определение мощности водонагревателя для горячего водоснабжения

Горячее водоснабжение предусматривает обеспечение всех тепловых процессов на ферме, кроме отопления: обеспечение санитарно-гигиенических нужд, подогрев

питьевой воды, тепловая обработка кормов. В случае непрерывной подачи питьевой воды (например, в коровниках) этот процесс из горячего водоснабжения допускается исключить и разрабатывать установку периодического действия.

Расход теплоты на санитарно-гигиенические нужды представлен в таблице 1.2.

Таблица 1.2
Нормы суточного расхода горячей воды на фермах

Статьи расхода	Температура воды, °С	Нормы расхода воды на одну голову в сутки, кг/(гол.·сут.)	Нормы расхода тепла, кДж/(гол.·сут.)
Подмывание вымени	40	3	440
Мытье фляг	70	1,66	452
Мытье молочных танков	80	3	943
Промывка молокопроводов	60	4,4	1380
Промывка доильных аппаратов	50...80	5,34	1090
Промывка оборудования молочной	50	1,48	260

Нормы поения сельскохозяйственных животных определяются в соответствии с зоотехническими нормами.

Общее потребное количество теплоты Q , кДж на все технологические процессы

$$Q = Q_{c-z} + Q_{o.k.} + Q_{n.v.}, \quad (1.11)$$

где Q_{c-z} - расход теплоты за сутки на санитарно-гигиенические мероприятия, кДж;

$Q_{o.k.}$ - суточный расход теплоты на обработку кормов, кДж;

$Q_{n.v.}$ - расход теплоты на подогрев питьевой воды, кДж.

Если в справочных данных не приведены нормы расхода теплоты на какие-либо процессы, то расчет для каждого из них ведется по выражению (1.2). Мощность установки определяется по (1.5).

1.2.3 Определение мощности ЭТУ для обеспечения местного электроводяного обогрева пола

Мощность установок местного обогрева $P_{м.о.}$, кВт

$$P_{м.о.} = F \cdot P_{уд.}, \quad (1.12)$$

где F – общая площадь обогреваемого пола, м²;

$P_{уд.}$ – удельная поверхностная мощность обогрева (прил. 8), кВт/м².

$$F = f \cdot N, \quad (1.13)$$

где f - норма обогреваемой площади на одно животное (прил. 8), м²/гол;

N – число обогреваемых животных, гол.; зависит от группы животных: в помещениях для содержания молодняка обогрев ведется для 100% поголовья; для взрослого поголовья КРС местный обогрев предусматривается для 10%.

Мощность электродного водонагревателя, обеспечивающего местный обогрев, P , кВт

$$P = \frac{P_{MO}}{\eta} \cdot K_3, \quad (1.14)$$

где η – КПД системы отопления с учётом КПД электроводонагревателя; принимается $\eta = 0,6 \dots 0,7$.

Производительность установки m' , кг/ч местного обогрева по воде

$$m' = \frac{P \cdot 3600}{c \cdot (t_{вых} - t_{вх})}, \quad (1.15)$$

где $t_{вых}$ – температура воды, выходящей из нагревателя, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{вх}$ – температура воды на входе в водонагреватель, $^{\circ}\text{C}$;

c – удельная массовая теплоемкость воды, кДж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$).

В этом случае ЭТУ работает как проточная установка.

Практическая работа № 2

Расчет и построение характеристик водонагревателя

Рабочие характеристики отражают основные технические параметры ЭТУ в рабочих режимах.

Рабочие характеристики водонагревателей периодического действия

Установки периодического действия с точки зрения изменения технических параметров во времени работают только

в предельных режимах. Поэтому для них рабочие характеристики по существу являются одновременно и характеристиками переходных процессов.

В курсовом проекте необходимо рассчитать следующие рабочие характеристики аккумуляционных электродных водонагревателей:

- зависимость мощности установки от температуры воды в баке $P = f(t)$;

- зависимость температуры воды от времени нагрева $t = f(\tau)$;

- зависимость мощности установки от времени нагрева $P = f(\tau)$.

Для всех вариантов характеристику $P = f(t)$ построить для режима нагрева от 0 до 100⁰С. Определить мощность в режиме кипения с учетом парообразования $P = P_{кин}$, как последнюю точку характеристики.

Зависимость мощности ЭТУ от температуры воды в баке $P = f(t)$

$$P_t = P_{20} \cdot \frac{20+t}{40}, \quad (2.1)$$

где P_{20} - мощность электродной трехфазной системы при температуре 20⁰С, Вт.

$$P_{20} = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2}{R_{20}}, \quad (2.2)$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение электродной системы (но не сети), В;

R_{20} – фазное сопротивление электродной системы при температуре 20°C , Ом.

$$R_{20} = \frac{K_{\Gamma}}{h} \cdot \rho_{20}, \quad (2.3)$$

где K_{Γ} – геометрический коэффициент электродной системы;
 h – высота электрода, м;

ρ_{20} – удельное сопротивление воды при температуре 20°C , Ом·м.

В общем случае мощность трехфазной электродной системы при любой температуре t P_t , кВт определяется

$$P_t = \frac{3 \cdot U_{\Phi}^2}{R_{\Phi t}}, \quad (2.4)$$

где $R_{\Phi t}$ – фазное сопротивление системы при температуре t , Ом.

Фазное сопротивление электродной системы R_{Φ} , Ом зависит от температуры воды

$$R_{\Phi t} = \frac{K_{\Gamma}}{h} \cdot \rho_t. \quad (2.5)$$

В свою очередь удельное сопротивление воды при температуре t ρ_t , Ом·м

$$\rho_t = \rho_{20} \cdot \frac{40}{20 + t}. \quad (2.6)$$

Мощность в режиме кипения определяется по формуле (2.4) через удельное сопротивление пароводяной смеси, найденное методом постепенных приближений.

Эффективность работы установки оценивается по средней за период нагрева мощности P_{cp} , кВт, которая также определяется по формуле (2.4) с учетом среднего за период нагрева удельного сопротивления воды ρ_{cp} , Ом·м.

Зависимость температуры воды от времени нагрева $t = f(\tau)$, полученная на основе решения дифференциального уравнения теплового баланса, имеет следующее аналитическое выражение

$$t = (t_{нач} + 20) e^{\frac{\tau}{T_H}} - 20, \quad (2.7)$$

где $t_{нач}$ - начальная температура в момент включения установки, °С;

T_H - постоянная времени электродного нагрева, с.

Постоянная времени электродного нагрева T_H , с для установок периодического действия определяется по формуле

$$T_H = \frac{40 \cdot m \cdot c}{P_{20} \cdot \eta_T}, \quad (2.8)$$

где m - масса воды в аккумуляционной установке, кг;

c - удельная теплоемкость нагреваемого материала, кДж/(кг·°С);

P_{20} - мощность установки при температуре воды 20°С, кВт;

η_T - коэффициент полезного действия ЭТУ.

Решая зависимость $t = f(\tau)$ относительно времени нагрева, можно определить время нагрева до заданной конечной температуры τ_k , с

$$\tau_k = T_H \cdot \ln \frac{20 + t_{кон}}{20 + t_{нач}} \quad (2.9)$$

В связи с тем, что по мере нагрева возрастает температура воды, пропорционально ей возрастает и мощность. Зависимость мощности установки от времени нагрева $P = f(\tau)$ в аналитическом выражении

$$P = P_1 \cdot e^{\frac{\tau}{T_H}} \quad (2.10)$$

где P_1 - значение мощности включения, то есть мощность, соответствующая температуре включения $t_{нач}$, кВт.

Очевидно, что мощность ЭТУ ограничивается значением мощности кипения, пройдя предварительно значение $P_{макс} = P_{100}$ (мощности при температуре кипения без учета парообразования).

Рабочие характеристики проточных электродных водонагревателей

Проточные водонагреватели (при неизменном расходе $m' = const$) работают в начальный период, с момента включения в сеть, в переходном режиме, а через определенное время τ_n выходят на установившийся режим работы, при котором температура выходящей из нагревателя воды стабилизируется и одновременно стабилизируется плотность тока в различных точках электродной системы по ее высоте. Мощность установки с момента включения возрастает от минимального значения P_1 , соответствующего температуре воды в

нагревателе перед включением, до установившегося значения P_2 , соответствующего установившемуся распределению плотности тока в электродной системе. Таким образом, для проточных установок имеют место как переходные, так и установившиеся режимы работы. Рабочими характеристиками установившегося режима работы ЭТУ непрерывного действия являются:

- зависимость мощности от температуры $P = f(t)$;
- зависимость температуры от расстояния, пройденного водой в электродной системе, $t = f(x)$;
- зависимость плотности тока от высоты электродной системы (распределение плотности тока по высоте электродной системы) $j = f(x)$;
- зависимость мощности от производительности установки по воде $P = f(m')$.

Электродные паровые котлы можно рассматривать как проточные установки, работающие в режиме парообразования, и как аккумуляционные в переходных режимах с момента включения до начала парообразования. Объем корпуса парового котла должен быть таким, чтобы внутри него можно было разместить электродную систему с обеспечением необходимых изоляционных расстояний.

При расчете зависимости $t = f(x)$ расстояние x , м, пройденное водой от входной кромки электродной системы, определяется скоростью движения воды U , м/с и временем τ , с

$$X = v \cdot t; \quad \tau = \frac{X}{v}. \quad (2.11)$$

Тогда зависимость температуры воды от расстояния, пройденного ею в электродной системе, аналитически может быть представлена следующим образом

$$t = (t_{нач} + 20) \cdot e^{\frac{x}{v \cdot T_H}} - 20, \quad (2.12)$$

где T_H - постоянная времени электродного нагрева, с;

v - скорость движения воды между электродами, м/с;

x - пройденное водой расстояние (координата точки от входа в электродную систему по высоте электрода), м.

Скорость движения воды v , м/с между электродами

$$v = \frac{m'}{\gamma \cdot F_{жс}}, \quad (2.13)$$

где m' - подача воды, кг/с;

γ - плотность воды, кг/м³;

$F_{жс}$ - площадь живого сечения электродной системы (площадь сечения потока воды, обтекаемая электрическим током), м².

Площадь живого сечения в соответствии с размерами электродных систем в плане (рис. 1.1) определяется

– для плоской электродной системы

$$F_{жс} = 3 \cdot l \cdot b;$$

– для коаксиальной электродной системы

$$F_{жс} = \frac{3 \cdot \pi}{4} \cdot (d^2 - d_{\text{э}}^2);$$

– для трехстержневой электродной системы

$$F_{эс} = \pi \cdot R^2 - 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} ;$$

– для четырехстержневой электродной системы

$$F_{эс} = \pi \cdot (R^2 - d^2) .$$

Постоянная времени нагрева T'_H , с в проточных электродных водонагревателях

$$T'_H = \frac{40 \cdot m'' \cdot c}{P_{20} \cdot \eta_T} , \quad (2.14)$$

где m'' - масса воды, заключённая в электродной системе, обтекаемая током, кг;

P_{20} - мощность электродной системы при температуре 20°C , кВт;

c – удельная массовая теплоемкость воды, кДж/(кг·°C).

Зависимость температуры от расстояния, пройденного водой в электродной системе, $t = f(x)$ необходимо рассчитать при изменении подачи m' для значений 0,3; 0,6; 1,0; 1,5; 2,0 от номинальной подачи, по полученной в расчёте.

Полученное значение конечной температуры для $x = h$ по рабочим характеристикам для номинальной подачи m' должно быть близким к значению конечной температуры, заданной технологическим процессом.

Плотность тока j , А/м² между электродами

$$j = \frac{U_{\phi}}{l \cdot \rho_t}, \quad (2.15)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение электродной системы, В;

l – расстояние между электродами, м;

ρ_t – удельное сопротивление воды при температуре t , Ом·м.

Учи тывая, что удельное сопротивление воды зависит от температуры в соответствии с формулой, распределение плотности тока j , А/м² по высоте электродной системы описывается экспонентой

$$j = j_1 \cdot e^{\frac{x}{v \cdot T_n}}, \quad (2.16)$$

где j_1 – плотность тока на входе в электродную систему, то есть плотность тока, соответствующая начальной температуре воды $t_{нач}$, А/м²;

v – скорость движения воды в системе, м/с.

Зависимость плотности тока от расстояния, пройденного водой в электродной системе, $j = f(x)$ необходимо рассчитывать для тех же значений подачи m' , что и при расчете зависимости температуры воды от расстояния, пройденного водой в электродной системе.

Максимальное значение плотности тока, которое имеет место при $x = h$ для номинальной подачи, не должно превышать допустимое значение.

Зависимость мощности от производительности проточного электродного котла по воде $P = f(m')$ объясняется следующим образом. Увеличение производительности по воде ве

дёт к снижению температуры воды в электродной системе, то есть к увеличению сопротивления, что, в свою очередь, вызывает снижение мощности нагрева.

Общую мощность электродной системы можно определить интегрированием элементарных мощностей dP по высоте электродов в направлении потока воды. В результате математических расчетов аналитически зависимость мощности водонагревателя от подачи может быть определена выражением

$$P = P_{1(ног)} \cdot \frac{m' \cdot T'_H}{\gamma \cdot F_{жс}} \cdot \left(e^{\frac{h \cdot \gamma \cdot F_{жс}}{m' \cdot T'_H}} - 1 \right), \quad (2.17)$$

где $P_{1(ног)}$ - начальная погонная мощность электродной системы, соответствующая температуре воды $t_{нач}$, Вт/м;

m' - подача воды, кг/ч;

T'_H - постоянная времени нагрева в электродных установках непрерывного действия, с;

γ - удельная плотность воды, кг/м³;

$F_{жс}$ - площадь живого сечения, м²;

h - высота электродной системы, м.

Для любого типа электродной системы начальная погонная мощность $P_{1(ног)}$, кВт/м

$$P_{1(ног)} = \frac{3 \cdot U_{\Phi}^2}{K_{\Gamma}} \cdot \frac{20 + t_{нач}}{\rho_{20} \cdot 40}, \quad (2.18)$$

где U_{Φ} - фазное напряжение системы, В;

K_{Γ} - геометрический коэффициент.

Зависимость мощности от подачи воды $P = f(m')$, рассчитанная по теоретической формуле, является идеальной (не учитывает парообразование): при $m' \rightarrow 0 P \rightarrow \infty$, и поэтому ее необходимо корректировать уже рассчитанными ранее значениями мощности кипения $P_{кип}$, которая будет иметь место при отсутствии подачи ($m' = 0$), и максимально возможной мощности P_{100} , которая будет наблюдаться при некоторой подаче m'_{max} , соответствующей максимально возможной теплопроизводительности ($q = q_{max}$) установки. График зависимости $P = f(m')$ приведен на рисунке 2.1.

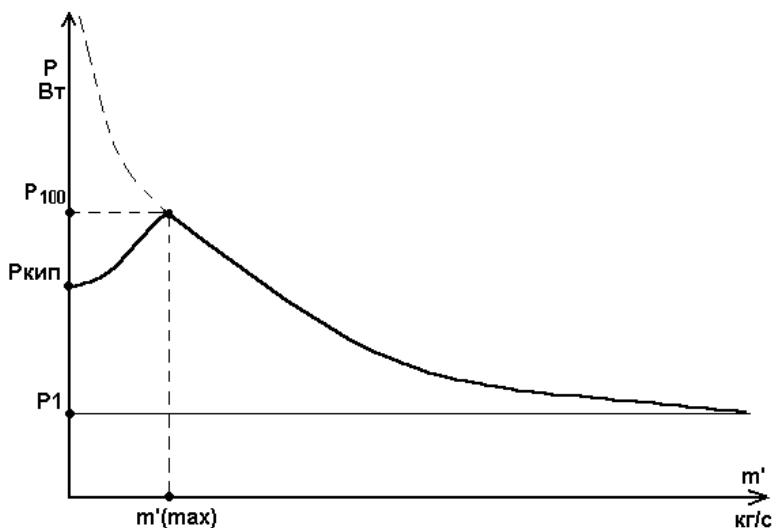


Рис. 2.1. Зависимость мощности нагрева проточной ЭТУ от подачи

Практическая работа № 3

Расчет отопительной установки

Выбор типа и алгоритма работы электрического отопления

Электрические отопительные установки (ЭОУ) в животноводческих помещениях служат для поддержания оптимальных параметров микроклимата, оговоренных зоотехническими нормами и требованиями, и по способу распределения теплоты подразделяются на установки местного обогрева и комбинированные, представляющие собой сочетание общего и местного обогрева.

Для общего отопления могут быть использованы электрокалориферы, электродные котельные, электрические обогреваемые полы, установки с твёрдым теплоаккумулирующим веществом. Для обоснования выбора типа установки необходимо дать описание ее достоинств и недостатков по сравнению с другими возможными вариантами общего отопления.

ЭОУ местного обогрева могут быть различными по способу передачи теплоты: контактными, лучистыми, конвективными или смешанными, представляющими разные комбинации контактных, лучистых или конвективных установок. Наиболее часто смешанные ЭОУ местного обогрева сочетают в себе контактные и лучистые установки. ЭОУ комбинированного отопления представляют собой самые разные сочетания устройств общего и местного обогрева. В качестве примера можно привести такие сочетания: общее электрокалориферное

отопление плюс электрообогреваемые коврики (полы, установки ИК-облучения); общее отопление от электродвигательной плюс электрообогреваемые площадки для части животных и т.д.

Вполне очевидно, что электрокалориферные установки являются установками непрерывного действия, поскольку в них невозможно аккумулирование теплоты. То же самое можно сказать и об установках инфракрасного нагрева.

Электродные котельные и электрообогреваемые полы, которые обладают большими аккумуляционными возможностями, могут работать как в непрерывном режиме, так и в режиме аккумулирования теплоты. Для этих установок необходимо предусматривать работу в обоих режимах. Установки с твердым аккумулирующим веществом, как правило, работают в режиме периодического накопления теплоты и непрерывной ее отдачи для отопления помещения.

Определение мощности электроотопительной установки

Теплопроизводительность электрокалорифера $Q_{от}$, кДж/ч для отопительной системы животноводческого помещения определяется из уравнения теплового баланса

$$Q_{от} = Q_{огр} + Q_{в} + Q_{исп} + Q_{инф} - Q_{ж} - Q_{эу}, \quad (3.1)$$

где $Q_{огр}$ – потери теплоты через ограждения, кДж/ч;

$Q_{в}$ – потери теплоты с удаляемым воздухом (на вентиляцию), кДж/ч;

$Q_{исп}$ – потери теплоты на испарение влаги, кДж/ч;

$Q_{инф}$ – потери теплоты на инфильтрацию, кДж/ч;
 $Q_{ж}$ – поток теплоты, выделяемый животными, кДж/ч;
 $Q_{эу}$ – тепловыделения работающих в помещении электроустано вок (электропривод, освещение, установки местного обог рева), кДж/ч.

Потери теплоты через ограждения $Q_{огр}$, кДж/ч

$$Q_{огр} = q_o \cdot V \cdot (t_{вн} - t_{нар}), \quad (3.2)$$

где q_o – удельная тепловая характеристика помещения, кДж/(м³·°С·ч);

V – объем помещения, м³; находится по количеству животных (птицы) и объему, приходящемуся на одну голову;

$t_{вн}$ – оптимальная температура воздуха внутри помещения, °С;

$t_{нар}$ – самая низкая температура воздуха, зафиксированная для данного региона, °С.

Оптимальная температура внутри помещения оговаривается зоотехническими нормами и требованиями.

Потери теплоты на испарение $Q_{исп}$ и инфильтрацию $Q_{инф}$, кДж/ч принимаются прибли женно в пределах 10...20% от тепловых потерь через ограждения

$$Q_{инф} \approx Q_{исп} \approx (0,1...0,2) \cdot Q_{огр}. \quad (3.3)$$

Потери теплоты с вентилируемым воздухом Q_v , кДж/ч

$$Q_v = L \cdot \gamma \cdot c \cdot (t_{вн} - t_{нар}), \quad (3.4)$$

где L – вентиляционная норма помещения, м³/ч;

γ – плотность наружного воздуха, кг/м³;

c – удельная массовая теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С).

Плотность воздуха γ , кг/м³ при любой температуре определяется

$$\gamma = \gamma_{20} \cdot (1 + \alpha_t \cdot (t - 20)), \quad (3.5)$$

где γ_{20} – плотность воздуха при температуре 20°C, кг/м³; $\gamma_{20} = 1,29$ кг/м³;

α_t – температурный коэффициент, °C⁻¹; $\alpha_t = 1/273$ °C⁻¹.

Вентиляционная норма L , м³/ч помещения должна обеспечивать удаление всех вредных примесей из воздуха (углекислый газ, влагу и так далее) в такой степени, чтобы микроклимат внутри помещения был оптимальным (в соответствии с зоотехническими нормами и требованиями). Этому условию удовлетворяет неравенство

$$\begin{cases} L_{H_2O} \\ L \geq L_{CO_2}, \\ L_{min} \end{cases} \quad (3.6)$$

где L_{H_2O} – вентиляционная норма по условию удаления влаги, м³/ч;

L_{CO_2} – вентиляционная норма по условию удаления углекислоты, м³/ч;

L_{min} – минимально допустимая вентиляционная норма, определяемая зоотехническими требованиями, м³/ч.

Значение вентиляционной нормы по условию удаления влаги L_{H_2O} , м³/ч

$$L_{H_2O} = \frac{1,14 \cdot W}{d_2 - d_1}, \quad (3.7)$$

где W – влаговыделения животных, г/ч;

$$W = w \cdot N,$$

w – удельные влаговыделения животных, г/(ч·гол);

N – число животных в помещении, гол;

d_1 – влагосодержание воздуха внутри помещения для заданных параметров внутренней температуры $t_{вн}$ и влажности $\varphi_{вн}$, г/м³;

$$d_1 = d_{1H} \cdot \varphi_{вн}, \quad (3.8)$$

d_{1H} – влагосодержание насыщенного пара воздуха при $t_{вн}$ (по диаграмме $i - d$), г/м³;

$\varphi_{вн}$ – относительная влажность воздуха внутри помещения;

d_2 – влагосодержание наружного воздуха при $t_{нар}$ и $\varphi_{нар}$, г/м³;

$$d_2 = d_{2H} \cdot \varphi_{нар}, \quad (3.9)$$

d_{2H} – влагосодержание насыщенного пара воздуха при $t_{нар}$, г/м³.

Вполне очевидно, что значения $\varphi_{нар}$ и $t_{нар}$ в природе непрерывно меняются и, следовательно, изменяется величина d_1 , тогда как величина d_2 остается неизменной (так как поддерживается постоянной). Величина d_1 будет оказывать значительное влияние на вентиляционную норму при изменении параметров наружного воздуха. Поэтому в курсовом проекте необходимо рассчитать зависимость $L = f(t_{нар})$, для получения которой следует принять 5...6 значений наружной температуры в пределах от заданной до 0⁰С и рассчитать L_{H_2O} для этих значений.

Значение вентиляционной нормы L_{CO_2} , м³/ч по условию удаления углекислоты

$$L_{CO_2} = \frac{1,2 \cdot K_{CO_2}}{c_1 - c_2}, \quad (3.10)$$

где K_{CO_2} – количество углекислоты, выделяемой животными в помещении, л/ч (прил. 1);

$$K_{CO_2} = k \cdot N, \quad (3.11)$$

k – выделение углекислоты одним животным, л/(ч·гол) (прил. 1);

c_1 – допустимое содержание углекислоты в воздухе помещения, л/м³; (обычно принимается равным 0,25%);

c_2 – содержание углекислоты в наружном воздухе, л/м³; принимается равным $c_2 = 0,3 \dots 0,4$ л/м³.

Значение L_{CO_2} неизменно при изменении наружной температуры.

Минимально допустимый воздухообмен L_{min} , м³/ч зависит от вида и массы жи вотных

$$L_{min} = \frac{l \cdot m \cdot N}{100}, \quad (3.12)$$

где l – минимально допустимый воздухообмен на 100 кг живого веса животного, м³/ч;

m – масса одного животного, кг;

N – число животных в помещении, гол.

После определения значения вентиляционной нормы помещения L , м³/ч определяется кратность воздухообмена K_o , ч⁻¹

$$K_o = \frac{L}{V}, \quad (3.13)$$

где V – объем помещения, м³.

Допустимая кратность воздухообмена в животноводческих помещениях, при которой целесообразно применение принудительной вентиляции, $K_o = 4 \dots 15$ ч⁻¹. При меньших значениях величины достаточно естественной вентиляции.

Выделение теплоты животными зависит от вида и возраста животных, температуры воздуха внутри помещения и относительной влажности и определяется выражением

$$Q_{жс} = q_{уд} \cdot N \cdot K_{\phi} \cdot K_t, \quad (3.14)$$

где $q_{уд}$ – удельные тепловыделения животных (поток свободной теплоты) при стандартных условиях, кДж/(ч·гол);

N – число животных, гол;

K_{ϕ} и K_t – коэффициенты, учитывающие влияние влажности и температуры воздуха внутри помещения на тепловыделения животных.

Выделение теплоты $Q_{эу}$, кДж/ч работающими в помещении электрическими установками

$$Q_{эу} = Q_{э.д.} + Q_{э.о.} + Q_{м.о.}, \quad (3.15)$$

где $Q_{э.д.}$ – тепловой поток, выделяемый электрическими двигателями (следует учитывать только работающие круглосуточно

электрические двигатели, например, привод вентиляторов вытяжной вентиляции), кДж/ч;

$$Q_{э.д.} = P \cdot 3600,$$

где P – суммарная мощность электродвигателей, кВт;

$Q_{э.о.}$ – тепловой поток, выделяемый источниками света (следует учитывать только источники, работающие круглосуточно, например, лампы дежурного освещения), кДж/ч;

$Q_{м.о.}$ – поток теплоты от средств местного обогрева, кДж/ч.

Число двигателей вытяжной вентиляции принимается в соответствии с типовым проектом животноводческого помещения. Единичную мощность двигателя принять 0,75 или 1,1 кВт.

Мощность светильников дежурного освещения принять в пределах 10% от мощности общего освещения, которую можно определить по удельной мощности освещения, рекомендуемой для животноводческих помещений в пределах 12...15 Вт/м².

Поток теплоты от средств местного обогрева учитывается в тех вариантах, где принята система местного или комбинированного обогрева. Определение мощности ведется в соответствии с пунктом 1.3.

Общая мощность P_{om} , кВт системы отопления

$$P_{om} = \frac{Q_{om}}{\eta_T \cdot 3600}, \quad (3.16)$$

где η_T – термический КПД электроотопительной установки; зависит от места размещения установки: при размещении непосредственно в производственном помещении $\eta_T = 0,95 \dots 0,98$; при передаче тепла по теплотрассе $\eta_T = 0,6 \dots 0,65$; при размещении в отдельном помещении $\eta_T = 0,8 \dots 0,9$.

Результаты расчета уравнения теплового баланса необходимо свести в таблицу 3.1 и построить зависимости вентиляционной нормы помещения (рис. 3.1), требуемой теплопроизводительности и мощности отопления (рис. 3.2) от наружной температуры: $L = f(t_{нар})$; $Q_{от} = f(t_{нар})$; $P_{от} = f(t_{нар})$.

На основе этих зависимостей выбираются пределы регулирования температуры, определяются значения температуры наружного воздуха, при которых будет изменяться число включенных секций отопительной установки. На рисунке 3.2 пример приведен для трех секций с мощностью одной секции P_1 .

Как видно из графика $P_{от} = f(t_{нар})$, одна секция установки включается при температуре наружного воздуха $t'_3 \geq t_{нар} \geq t'_2$, две секции – при $t'_2 \geq t_{нар} \geq t'_1$ и три секции – при $t_{нар} \leq t'_1$. При температуре $t_{нар} > t'_3$ ЭОУ должна быть отключена полностью.

Необходимо учитывать, что в животноводческих помещениях устанав ливается не менее двух (для обеспечения равномерности обогрева и на слу чай выхода из строя одной из установок) уста новок.

Следовательно, мощность одного электрокалорифера

P_{kl} , кВт

$$P_{kl} = \frac{P}{Z}, \quad (3.17)$$

где Z – количество электроотопительных установок.

Для вариантов с электрокалориферной установкой типа СФОЦ по мощности P_{kl} выбирается стандартная установка (прил. 4). В случае варианта расчета проволочного электрокалорифера или электрокалорифера с водяными ТЭНами для электроотопительной установки производится выбор электродвигателя привода вентилятора.

Таблица 3.1

К расчету мощности электроотопительной установки

тнар, 0С	LH2O , м3/ч	LCO2 , м3/ч	Lmin, м3/ч	L, м3/ч	QВ, кДж/ ч	0,5QВ , кДж/ ч	Qогр, кДж/ ч	Qисп +Qин ф, кДж/ ч	Qж, кДж/ ч	Qзу, кДж/ ч	Qот, кДж/ ч	Рот, кВт
тнар (мин) 0 твн		Постоянная	Постоянная				Qmax Q=0		Постоянная	Постоянная		

Требуемая подача вентилятора L_{B1} , м³/ч с учетом потерь и подсосов воздуха в воздуховодах определяется по формуле

$$L_{B1} = \frac{L}{Z} \cdot K_1, \quad (3.18)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий потери или подсос воздуха в воздуховодах; $K_1 = 1,1$ для стальных, асбоцементных и пластмассовых воздуховодов длиной до 50 м.

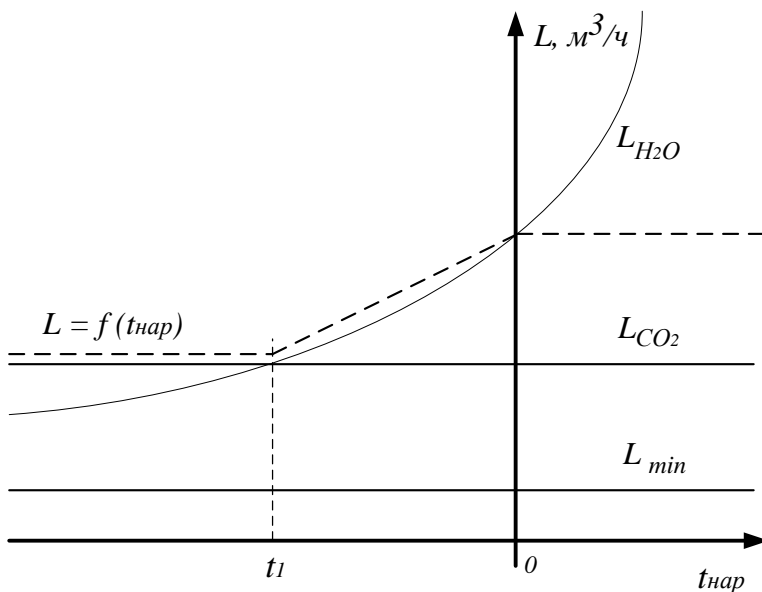


Рис. 3.1. К определению вентиляционной нормы помещения

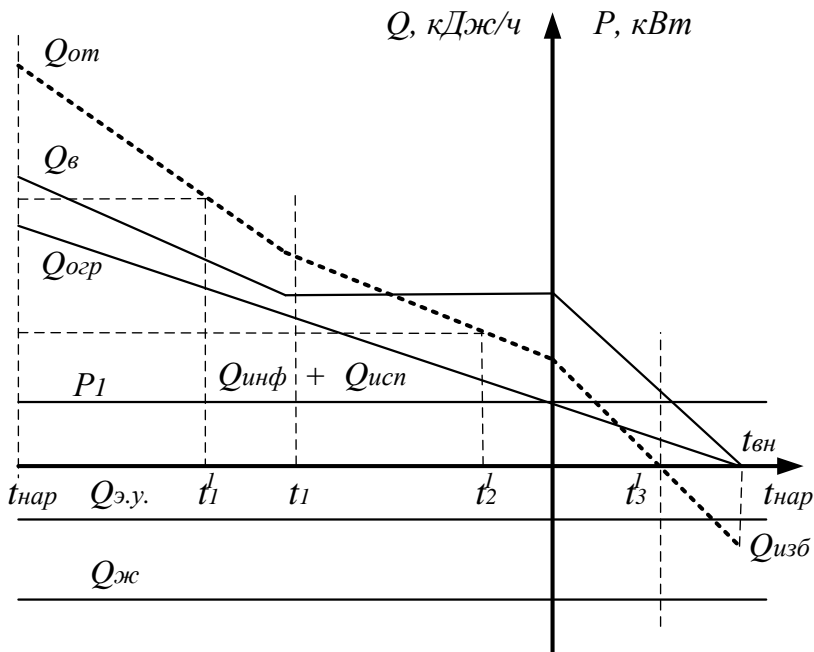


Рис. 3.2. Зависимость мощности отопления от температуры наружного воздуха

Для электрокалориферов, работающих в животноводческих помещениях, рекомендуется использовать центробежные вентиляторы, способные развивать высокое давление при достаточно большой подаче. Наилучшими аэродинамическими свойствами обладают вентиляторы типа Ц4-70. Зная подачу и давление, по аэродинамическим характеристикам определяют рабочую точку выбранного вентилятора. Эта точка характеризуется КПД вентилятора и

скоростью, с которой нужно вращать вентилятор, чтобы обеспечить требуемый расход и напор.

Мощность электродвигателя $P_{расч}$, кВт для привода вентилятора

$$P_{расч} = \frac{L_{В1} \cdot H_{В} \cdot K_3}{10^3 \cdot \eta_{В} \cdot \eta_{П}}, \quad (3.19)$$

где $L_{В1}$ – подача вентилятора, м³/с;

$H_{В}$ – полный напор воздуха, Н/м²;

$\eta_{В}$ – КПД вентилятора;

$\eta_{П}$ – КПД передачи;

K_3 – коэффициент запаса; принимается равным $K_3 = 1,1 \dots 1,5$.

Вентиляторы рекомендуется комплектовать трехфазными асинхронными двигателями серий 4А, 5А, АИР.

Если скорости вращения выбранного вентилятора и электродвигателя совпадают, то применяют непосредственное соединение вала электродвигателя и вентилятора. В этом случае КПД передачи $\eta_{П} = 1$. Если непосредственное присоединение неосуществимо, применяют клиноременную передачу, и в этом случае $\eta_{П} = 0,95$.

ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ ПО РАЗДЕЛУ 2

1. Как изменится глубина проникновения тока в материал при увеличении частоты питающей сети в 9 раз?

1. Уменьшится в 9 раз
2. Уменьшится в 3 раза
3. Никак
4. Увеличится в 9 раз

2. Что не является характеристикой ЭТУ периодического действия?

1. Время нагрева
2. Производительность по нагреваемому материалу
3. Масса нагреваемого материала

3. За счет чего происходит нагрев материала в установках диэлектрического нагрева?

1. Вихревыми токами.
2. За счет теплопередачи.
3. Токами высокой частоты.

4. В какой зоне электрической дуги выделяется максимальное количество теплоты?

1. Равномерно по всей длине дуги
2. На катоде
3. На аноде

5. Каково соотношение сопротивлений постоянному и переменному токам в нагревательных элементах из сплавов?

1. Сопротивление постоянному току больше сопротивления переменному току.
2. Сопротивление постоянному току равно сопротивлению переменного тока.
3. Сопротивление постоянному току меньше сопротивления переменному току.

6. Как зависит мощность нагревателя от величины приложенного напряжения?

1. Прямо пропорционально.
2. Обратно пропорционально.
3. Квадратично.
4. Никак.

7. При каком условии проявляется поверхностный эффект в установках электрического нагрева?

1. При достижении напряженности пробоя
2. При превышении частоты сети граничного значения
3. Поверхностный эффект не проявляется в УДН

8. Что такое постоянная времени нагрева?

1. Время нагрева электротермической установки до конечной заданной температуры
2. Время нагрева электротермической установки до установившейся температуры без учета потерь в окружающую среду

3. Время нагрева электротермической установки до конечной заданной температуры без учета потерь в окружающую среду

9. Как осуществляется плавное регулирование сварочного тока в трансформаторе с повышенным магнитным рассеянием?

1. Переключением обмоток
2. Изменением длины дугового промежутка
3. Включением дросселя в цепь дуги
4. Изменением расстояния между обмотками

10. Определить полезную мощность электротермической установки для нагрева воды массой 100 кг от 10⁰С до 60⁰С, если установка будет включена в течение часа.

1. 5,82 кВт.
2. 20,95 кВт.
3. 1,4 кВт.

ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

1. Абсорбционные холодильные установки. Схема, принцип действия.
2. Диэлектрический нагрев: принцип действия, устройство установок, КПД, достоинства и недостатки, области применения.
3. Классификация индукционных нагревательных установок, параметры и разновидности нагрева в зависимости от частоты питающей сети.
4. Классификация нагревательных элементов: их назначение и материалы.
5. Классификация установок диэлектрического нагрева. Поверхностный эффект.
6. Классификация электрической дуги. Особенности горения дуги при питании от сети переменного тока. Эффекты от горения и области применения.
7. Компрессионные холодильные установки. Схема, принцип действия. Типы и области применения в сельском хозяйстве холодильных установок.
8. Косвенный нагрев сопротивлением. Достоинства и недостатки.
9. Маркировка ТЭН, основные характеристики. Принцип выбора ТЭН.

10. Нагревательные провода и кабели: маркировка, технические характеристики, области применения.

11. Неметаллические нагревательные элементы: классификация, характеристики, области применения.

12. Основы теории индукционного нагрева. Глубина проникновения электромагнитной волны в материал.

13. Понятие электротехнологии. Перспективы развития. Общий КПД электротермических установок.

14. Характеристики электродных водонагревателей и парогенераторов непрерывного и периодического действия. Зависимость температуры воды от времени нагрева

15. Способы нагрева и их электрический КПД. Способы теплопередачи. Определение тепловых потерь в ЭТУ.

16. Средства лучистого обогрева. Расчет ЭТУ с использованием средств лучистого обогрева.

17. Теоретические основы электродного нагрева воды: электрические свойства, влияние парообразования, удельное сопротивление.

18. Типы сварочных трансформаторов, их конструкционные особенности. Требования к источникам питания электродуговых установок, их параметры.

19. Электродные водогрейные и паровые установки, выпускаемые промышленностью, их параметры, области применения. Недостатки и достоинства электродных ЭТУ.

20. Электрозерноочистительные машины. Классификация, устройство, принцип действия.

21. Электроконтактная сварка как разновидность электроконтактного нагрева. Виды электроконтактной сварки. Формирование сварного соединения. Преимущества и недостатки.

22. Электронно-ионная технология: понятие, возникновение коронного разряда, ток короны. Взаимодействие электрического поля коронного разряда с частицами диэлектриков разной формы.

ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Задание на курсовую работу

1. Согласно заданию, произвести светотехнический расчет осветительной установки с размещением осветительного оборудования на плане помещения.
2. Произвести расчет и выбор искусственных источников света по методу коэффициента использования светового потока
3. Произвести проверочный расчет выбранного источника света точечным методом расчета.
4. Произвести расчет осветительного оборудования методом удельной мощности.
5. Произвести электротехнический расчет с выбором проводникового материала и автоматических выключателей.
6. Вычертить план сельскохозяйственного объекта в масштабе с размещением осветительного оборудования и выбранным проводниковым материалам.
7. Составить на чертеже расчетную схему осветительной сети.

Задание на курсовую работу

№ варианта	Наименование объекта проектирования
1	Коровник на 200 голов привязного содержания
2	Коровник на 400 голов беспривязного содержания
3	Коровник на 200 голов привязного содержания
4	Здание ремонтного молодняка на 300 голов беспривязного содержания
5	Помещение для содержания ремонтных телок
6	Здание откорма на 334 головы КРС на жоме
7	Здание для содержания ремонтных телок
8	Здание на 334 – 356 гол. молодняка КРС беспривязного содержания
9	Здание на 648 голов телят с беспривязным содержанием
10	Здание для 564 голов телят с беспривязным содержанием
11	Здание на 336 голов молодняка КРС привязного содержания
12	Здание для 468 голов телят с беспривязным содержанием
13	Свинарник на 500 поросят-отъемышей и 100 голов ремонтного молодняка
14	Свинарник-откормочник на 3000 голов
15	Свинарник-откормочник на 2700 голов отъема
16	Свинарник на 1000 поросят-отъемышей и 600 голов холостых маток
17	Свинарник-маточник на 100 основных маток
18	Свинарник-маточник на 100 свиноматок

№ варианта	Наименование объекта проектирования
19	Здание на 468 голов телят с беспривязным содержанием
20	Здание на 2289 голов молодняка КРС беспривязного содержания
21	Коровник на 200 голов с комбибоксовым содержанием
22	Свинарник-откормочник на 1000 голов с кормлением внутри здания
23	Здание для выращивания молодняка КРС
24	Телятник на 270 голов
25	План здания для содержания телят от 3 до 6 месячного возраста
26	План здания для содержания телят от 18 до 23 месячного возраста
27	Родильное отделение на 120 коров
28	Здание для содержания молодняка от 9 до 13 месячного возраста
29	План коровника с привязным содержанием
30	План коровника на 200 голов

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баев, В. И. Светотехника [Электронный ресурс] : практикум по электрическому освещению и облучению : учеб. пособие для СПО / В. И. Баев. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2018. – 195 с. – Режим доступа : www.biblio-online.ru/book/873C7D61-1BBC-43AE-875F-70335B683A4C.

2. Воробьев, В. А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования и средств автоматизации [Электронный ресурс] : учебник и практикум для СПО / В. А. Воробьев. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2017. – 338 с. – Режим доступа : <https://www.biblio-online.ru/book/D6340A41-ED76-4F03-AFD7-775F329B8978>.

3. Сивков, А. А. Основы электроснабжения [Электронный ресурс] : учебное пособие для СПО / А. А. Сивков, А. С. Сайгаш, Д. Ю. Герасимов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2017. – 173 с. – Режим доступа : <https://www.biblio-online.ru/book/892D4BAВ-999E-4B8F-B2C6-F391EE9DAA7C>

4. Дайнеко, В.А. Эксплуатация электрооборудования и устройств автоматики [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.А. Дайнеко, Е.П. Забелло, Е.М. Прищепова. – Электрон. дан. – Минск : Новое знание, 2014. – 333 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/49457>.

5. Полуянович, Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс] : учеб. пособие – Электрон. дан. – Санкт-Петербург : Лань, 2017. – 396 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91900>.

Учебное издание

СВЕТОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Учебно-методическое пособие

*для подготовки специалистов среднего звена
по направлению*

*35.02.08 – Электрификация и автоматизация
сельского хозяйства*

Составитель – Максим Валерьевич Шевченко

Лицензия ЛР 020427 от 25.04.1997 г. Подписано к печати 09.01.2019 г.
Формат 60×90/16. Уч.-изд.л. – 5,9. Усл.-п.л. – 15,8. Тираж 50 экз. Заказ 22.

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии
издательства Дальневосточного государственного аграрного университета
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86