

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.10 Светотехника и электротехнология

Направление подготовки: 35.03.06 Агроинженерия

Профиль образовательной программы: «Электрооборудование и электротехнологии»

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций	4
1.1 <i>Лекция № 1 Физические основы и характеристики оптического излучения</i>	4
1.2 <i>Лекция № 2 Историческая справка. Фотометрия. Законы теплового оптического излучения излучения</i>	7
1.3 <i>Лекция № 3 Тепловые и полупроводниковые источники излучений излучения</i>	9
1.4 <i>Лекция № 4 Разрядные источники излучений излучения</i>	12
1.5 <i>Лекция № 5 Разрядные источники излучений излучения</i>	12
1.6 <i>Лекция № 6 Особенности осветительных приборов и их классификация излучения</i>	17
1.7 <i>Лекция № 7 Нормирование параметров освещения. Проектирование осветительных установок излучения</i>	21
1.8 <i>Лекция № 8 Классификация облучательных установок и общие принципы их расчета. Излучения</i>	24
1.9 <i>Лекция № 9 Проблемы энергосбережения и экологии излучения</i>	27
1.10 <i>Лекция № 10 Электротехнология в сельскохозяйственном производстве</i>	28
1.11 <i>Лекция № 11 Энергетические основы электротехнологии</i>	30
1.12 <i>Лекция № 12 Тепловой расчет электротермического оборудования</i>	32
1.13 <i>Лекция № 13 Электрический нагрев сопротивлением, расчет мощности источников питания</i>	35
1.14 <i>Лекция № 14 Индукционный и диэлектрический нагревы</i>	39
1.15 <i>Лекция № 15 Термоэлектрический нагрев и охлаждение, электродуговой нагрев</i>	45
1.16 <i>Лекция № 16 Электронно-лучевой, лазерный и ионный нагревы</i>	49
1.17 <i>Лекция № 17 Электротермическое оборудование для сельского хозяйства</i>	52
2. Методические материалы по выполнению лабораторных работ	56
2.1 <i>Лабораторная работа № 1 Вводное занятие</i>	56
2.2 <i>Лабораторная работа № 2 Исследование электрических и светотехнических характеристик лампы накаливания</i>	58
2.3 <i>Лабораторная работа № 3 Исследование эксплуатационных и вольтамперных характеристик разрядной лампы низкого давления</i>	59
2.4 <i>Лабораторная работа № 4 Исследование эксплуатационных характеристик различных видов ламп</i>	62
2.5 <i>Лабораторная работа № 5 Исследование разрядной лампы высокого давления типа ДНаТ</i>	63
2.6 <i>Лабораторная работа № 6 Исследование разрядной лампы высокого давления типа ДРЛ</i>	66
2.7 <i>Лабораторная работа № 7 Определение освещенности помещения опытным путем и с помощью методов коэффициента использования светового потока и удельной мощности</i>	68
2.8 <i>Лабораторная работа № 8 Определение освещенности помещения опытным путем и точечным методом расчета освещенности</i>	70
2.9 <i>Лабораторная работа № 9 Исследование люминесцентных ламп высокого давления типа ДРТ</i>	71
2.10 <i>Лабораторная работа № 10 Исследование автомата для управления наружным освещением. Исследование автомата управления освещения проходных помещений</i>	73
2.11 <i>Лабораторная работа № 11 Исследование электрокалориферной установки</i>	75

2.12 Лабораторная работа № 12	<i>Изучение устройства и принципа действия электродугового нагрева.....</i>	78
2.13 Лабораторная работа № 13	<i>Изучение устройства и принципа действия электродных водонагревателей.....</i>	81
2.14 Лабораторная работа № 14	<i>Изучение устройства и исследование характеристик брудера БП-1.....</i>	85
2.15 Лабораторная работа № 15	<i>Электрическая контактная сварка металлов.....</i>	86
2.16 Лабораторная работа № 16	<i>Исследование индукционного нагрева</i>	88

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. 1 Лекция №1 (2 часа).

Тема: «Физические основы и характеристики оптического излучения»

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Светотехника как область науки и техники.
2. Распределение энергии оптического излучения по спектру
3. Величины оптических излучений и единицы их измерений
4. Системы световых, фотосинтезных величин

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Светотехника как область науки и техники

Светотехника – это наука, объектом изучения которой является оптическое излучение. В настоящее время наблюдается глобализация в светотехнической промышленности, означающая охват рынков крупными фирмами-производителями светотехнической продукции. Это обеспечивается наличием новых технологий, позволяющих быстро производить новые качественные товары.

Светотехника – это область науки и техники, предметом которой являются исследование принципов и разработка способов генерирования, пространственного перераспределения и измерения характеристик оптического излучения, а также преобразование его энергии в другие виды энергии и использовании в различных целях. Светотехника включает в себя также конструкторскую и технологическую разработку источников излучения и систем управления ими, осветительных, облучательных и светосигнальных приборов, устройств и установок, нормирование, проектирование, монтаж и эксплуатацию светотехнических установок. В современное время светотехника — это наука о свойствах света, возможностях и принципах его использования, а также о новых альтернативных источниках света. Светотехника как наука плотно связана с энергетикой, электроникой, оптикой, дизайном и архитектурой. Наиболее востребованные и популярные направления светотехники — изучение и разработка световых приборов на основе светодиодов и световой дизайн.

Осветительные установки предназначены для создания необходимых условий освещения, обеспечивающих зрительное восприятие (видение), дающее человеку около 90 % информации об окружающем мире.

Оптическое излучение широко используют в современных технологических процессах в промышленности, а также в сельском хозяйстве для повышения продуктивности животноводства и птицеводства, урожайности растительных культур.

Эффективное использование излучения с помощью достижений современной светотехники — важнейший резерв повышения производительности труда и качества продукции, снижения травматизма и сохранения здоровья людей.

Главная задача современной светотехники — эффективное применение оптического излучения в технологических процессах в рациональном использовании электрической энергии, а также создание комфортной световой среды для труда и отдыха человека.

2. Распределение энергии оптического излучения по спектру

По современным научным представлениям **свет** — это электромагнитное излучение с определенными параметрами. Электромагнитные излучения характеризуются частотой колебаний, показывающей число полных циклов колебаний в секунду, или длиной волны, то есть расстоянием, на которое распространяется излучение за время одного колебания. Оптическое излучение — это электромагнитное излучение с длинами волн от 380 до 760 миллиардных долей метра или нанометров (сокращенно нм). Излучения с разной длиной волны воспринимаются глазом по-разному: от 380 до 450 нм

— как фиолетовый цвет; от 450 до 480 — как синий; от 480 до 510 — как голубой; от 510 до 550 — как зеленый; от 550 до 575 — как желто-зеленый; от 575 до 590 — как желтый; от 590 до 610 — как оранжевый; более 610 нм — как красный цвет. Границы цветов приблизительны и у разных людей могут несколько различаться.

Белый цвет — это совокупность всех или нескольких цветов, взятых в определенной пропорции. Если луч белого света пропустить через стеклянную призму, то он разложится на цветные составляющие. Совокупность цветных составляющих сложного излучения называется **спектром излучения**.

Чувствительность глаза к излучению разных цветов неодинакова — если на глаз попадает цветной свет с одинаковой мощностью электромагнитного излучения, то желтые и зеленые цвета будут казаться гораздо более светлыми, чем синие и красные. Международный комитет мер и весов в 1933 году принял единую стандартную чувствительность глаза к излучению разных цветов для дневного зрения. На рис. 1 показана **стандартизованная кривая спектральной чувствительности глаза**, называемая в светотехнической литературе также «кривой относительной спектральной световой эффективности излучения». На основе кривой спектральной чувствительности глаза для дневного зрения построена вся система световых величин и единиц. Максимум кривой спектральной чувствительности глаза лежит в желто-зеленой области спектра и приходится на длину волны 555 нм.

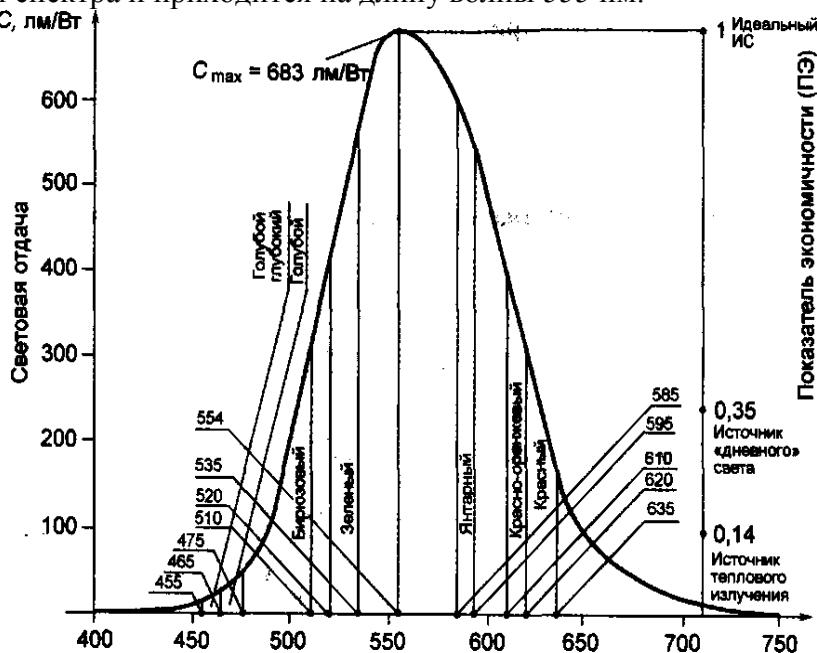


Рисунок 1. Кривая спектральной чувствительности глаза

Излучения с длинами волн короче 380 и длиннее 760 нм глазом не воспринимаются. Коротковолновое излучение, называемое **ультрафиолетовым**, оказывает сильное биологическое действие — образует загар на коже человека, убивает микробы, а также вызывает различные фотохимические реакции (превращает обычный кислород воздуха в озон, приводит к выцветанию красок и т.п.).

Длинноволновое излучение, называемое **инфракрасным**, воспринимается кожей человека как тепло. Это излучение используется для сушки лакокрасочных покрытий, нагревания предметов, в медицинских целях, в устройствах дистанционного управления радиоаппаратурой и т.п.

В совокупности видимое, ультрафиолетовое и инфракрасное излучения образуют **оптический диапазон спектра** электромагнитных колебаний или **оптическое излучение**.

3. Величины оптических излучений и единицы их измерений

Для оценки количественных и качественных параметров света разработана специальная система световых величин.

Основной мерой света можно считать световой поток, обозначаемый в светотехнической литературе буквой Φ . **Световой поток** — который характеризует количество энергии, излучаемой источником в единицу времени, измеренный в люменах (сокращенное обозначение в русскоязычной технической литературе — лм).

Люмен — это $1/683$ ватта светового монохроматического, то есть строго одноцветного, излучения с длиной волны 555 нм , соответствующей максимуму кривой спектральной чувствительности глаза.

Телесный угол — это отношение площади, вырезаемой этим углом на сфере произвольного радиуса R , к квадрату этого радиуса (см. рис. 2). В технической литературе телесные углы обычно обозначаются греческой буквой ω и измеряются в стерадианах (сокращенно ср): $\omega = S/R^2$.

Если световой поток Φ от какого-либо источника света сосредоточить в телесном угле ω , то можно говорить о силе света этого источника как об угловой плотности светового потока. Таким образом, **сила света** (обозначается буквой I) — это отношение светового потока, заключенного в каком-либо телесном угле, к величине этого угла:

$$I = \Phi/\omega.$$

Сила света измеряется в канделях (сокращенное русское обозначение $кд$, иностранное — cd).

Свет от какого-либо источника нужен, как правило, для того, чтобы осветить конкретное место — рабочий стол, витрину, улицы и т.п. Для характеристики освещения конкретных мест вводится еще одна световая величина — освещенность. **Освещенность** — это величина светового потока, приходящаяся на единицу площади освещаемой поверхности. Если световой поток Φ падает на какую-то площадь S , то средняя освещенность этой площади (обозначается буквой E) равна: $E = \Phi/S$.

Единица измерения освещенности называется люксом (сокращенное обозначение в русскоязычной литературе — $лк$, в иностранной — $/х$). Один **люкс** — это освещенность, при которой световой поток 1 лм падает на площадь в 1 квадратный метр :

$$1\text{ лк} = 1\text{ лм} / 1\text{ м}^2.$$

Яркость поверхности S — это отношение силы света I , излучаемой этой поверхностью в каком-либо направлении, к площади проекции этой поверхности на плоскость, перпендикулярную выбранному направлению. Как известно, площадь проекции какой-либо плоской поверхности на другую плоскость равна площади этой поверхности, умноженной на косинус угла между плоскостями. В технической литературе яркость обозначается буквой L :

$$L = I / S \cos a.$$

В этой формуле I — сила света поверхности в определенном направлении (например, плоскости рабочего стола или лежащих на нем предметов); S — площадь этой поверхности; a — угол между перпендикуляром к плоскости и направлением, в котором мы хотим знать яркость (например, линией зрения, то есть линией, соединяющей глаз и оцениваемую поверхность).

Способность предметов отражать падающий на них свет характеризуется коэффициентом отражения, обычно обозначаемым греческой буквой ρ . **Коэффициент отражения** — это отношение величины светового потока, отраженного от какой-либо поверхности, к световому потоку, падающему на эту поверхность от какого-либо источника света или светильника:

$$\rho = \Phi_{\text{отраженным}} / \Phi_{\text{падающий}}.$$

Но в природе нет материалов, отражающих весь падающий на них свет, то есть материалов, у которых $\rho = 1$. Та доля света, которая не отражается от материала, в общем случае делится еще на две части: одна часть проходит сквозь материал, другая поглоща-

ется в нем. Доля света, которая проходит сквозь материал, характеризуется **коэффициентом пропускания** (обозначается греческой буквой τ); а доля, которая поглощается — **коэффициентом поглощения** (обозначается α):

Соотношения между этими тремя коэффициентами — отражения, поглощения и пропускания — могут быть самыми разными, но во всех без исключения случаях сумма трех коэффициентов равна единице:

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

4. Системы световых, фотосинтезных величин

Системы световых, фотосинтезных величин

Световые величины являются производными от энергетических фотометрических величин. Фотометрическими называют такие величины и единицы, которые характеризуют оптическое излучение. Термин «фотометрия» образован из двух греческих слов: «фос» — свет и «метрео» — измеряю и означает световые измерения. Различают энергетические фотометрические и редуцированные фотометрические системы величин.

Энергетические величины — характеризуют излучение безотносительно к его воздействию на какой-либо приемник излучения. Они выражаются в единицах, образованных на основе единицы энергии (джоуль), а в их обозначениях используется дополнительный индекс «е» (We, Fe, Ie).

Редуцированные, или эффективные, фотометрические величины характеризуют излучение, падающее на заданный селективный приемник излучения. Если в качестве такого приемника служит глаз человека, то такие величины называют «световыми», а их совокупность — «системой световых величин».

Оптическое излучение соответствует электромагнитным волнам с длиной волны от 1 нм до 1мм и состоит из трех областей: ультрафиолетовой (УФ), видимой и инфракрасной (ИК).

Ультрафиолетовая область оптического излучения лежит в пределах 1...380 нм. Международная комиссия по освещению (МКО) предложила следующее деление УФ-излучений с длинами волн от 100 нм до 400 нм: УФ-А — 315...400 нм; УФ-В — 280...315 нм; УФ-С -100...280 нм.

Видимое излучение (свет), попадая на сетчатую оболочку глаза, в результате осознанного превращения энергии внешнего раздражителя вызывает зрительное ощущение. Диапазон длин волн монохроматических составляющих данного излучения соответствует 380...780 нм.

Длины волн монохроматических составляющих инфракрасного излучения больше длин волн видимого излучения (но не более 1 мм). МКО предложила следующее деление области ИК-излучений: ИК-А — 780...1400 нм; ИК-В — 1400...3000 нм; ИК-С — 3000 нм (3 Мкм)...106 нм (1 мм).

Мощное ультрафиолетовое и инфракрасное излучение оказывают на человека вредное воздействие: ультрафиолетовое вызывает ожоги кожи и глаз, а инфракрасное затрудняет работу из-за большого количества выделяемого тепла.

Система фотосинтезных величин.

Из всех растений только зелёные растения могут самостоятельно преобразовывать энергию органических веществ. К.А Тимирязев впервые установил, что хромофор, поглощая энергию излучения, вступает в окислительно-восстановительную реакцию с углекислым газом и водой, в результате которой образуются углеводы и свободный кислород, которым растения обогащают воздух. Процесс создания в растениях, богатых химической энергией, органических веществ из минералов под воздействием энергии излучения называют фотосинтезом.

Поглощенная растениями энергия излучения идет на фотосинтез и частично на нагрев и испарение воды. Фотосинтетическим действием обладают только излучения с

длинами волн от 300 до 750 нм. Поглощение листьями излучения зависит от его спектрального состава, толщины листа, внутреннего строения и состояния его поверхности.

В листьях растений происходит фотосинтез, а также образуются различные физиологически активные вещества.

В системе фотосинтезных величин за единицу эффективного фотосинтезного потока Φ_ϕ , оцененного по реакции на облучение зеленого растения, принят один фит (фт) - поток излучения в 1 Вт при длине волны 680 нм.

1. 2 Лекция №2 (2 часа).

Тема: «Историческая справка. Фотометрия. Законы теплового оптического излучения».

1.2.1 Вопросы лекции:

1. История светотехники
2. Основы измерений световых величин
3. Фотометрия
4. Законы теплового оптического излучения

1.2.2 Краткое содержание вопросов:

1. История светотехники

В 1666 г. И.Ньютон разложил луч (с помощью стеклянной трубы) солнечного света на 7 составляющих.

В 1800 г. Гершель с помощью термометра обнаружил невидимые лучи, расположенные за красным спектром (ИК).

1801 г. немецкий ученый Риттер обнаружил УФ лучи, расположенные за фиолетовым спектром ВИ.

Инфро – ниже; Ультро – сверх.

Частота колебаний оптических лучей от $3 \cdot 10^{15}$ до $3 \cdot 10^{11}$ Гц.

$\lambda = 1 - 10^9$ нм.

1873 г. - А.Н.Лодыгин-первая лампа, нагревательный элемент, который имеет угольный стрежень.

Яблочкив – 1876 г.-дуговая безрегуляторная лампа.

Эдисон – усовершенствовала лампу Лодыгина, довел ее до промышленного образца.

1879 г. – лампа снабжается резьбовым патроном, цоколем и

1978 г. – создание первых КЛЛ.

1909 г. – Лодыгин вольфрамовал нить.

2. Основы измерений световых величин

Практически все световые величины, которые необходимо экспериментально определять при выполнении лабораторных работ, измеряют косвенным путем по освещенности. Поэтому на практике определяют освещенность, а по ней уже рассчитывают остальные световые параметры.

Для измерения освещенности используют специальные приборы, показывающие величину непосредственно в люксах и называемые люксметрами. Самое широкое распространение получили переносные люксметры, состоящие из селенового фотоэлемента и чувствительного электроизмерительного прибора.

При измерении освещенности необходимо следить за тем, чтобы на приемную часть фотоэлемента не падали случайные тени от человека или оборудования. Положение гальванометра должно быть горизонтальным. Учитывая влияние напряжения питания на поток источников света, его следует каждый раз контролировать.

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

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

Уфиметр типа УФМ предназначен для измерения ультрафиолетовой облученности, создаваемой искусственными источниками излучения. Прибор имеет диапазон измерения эритемной облученности $1\dots3000 \text{ мэр/м}^2$

Фотометр (радиометр) РОИ – 82 и автоматический *дозиметр* ДАУ – 81 предназначены для измерения излучений в ультрафиолетовой и фотосинтезно – активной областях спектра.

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

Болометр преобразует поглощенную энергию излучения в электрический сигнал. Болометры используют в приборах для регистрации излучения в инфракрасной части спектра.

Пиранометр преобразует поглощенную энергию излучения при помощи термоэлемента в электрический сигнал (термоЭДС). Примером такого прибора служит пиранометр Янишевского, предназначенный для измерения облученности с длиной волны от 300 до 2500 нм. Указанным прибором можно измерять энергетическую облученность как в отдельных областях спектра (УФ, ИК, видимой), так и в совокупности.

3.Фотометрия

Фотометрия- это наука об изменении ОИ, измерение величин, характеризующих излучение по проводимому им зрительному ощущению.

Физический приемник излучения - это приемник, в котором под действием поглощающего излучения изменяется один из его параметров, поддающихся измерению.

Фотометрическая тело света – это область пространства, ограниченная поверхностью, являющейся геометрическим местом концов радиусов векторов, выходящим из светового центра светильника в соответствии с направлением.

Первый из законов фотометрии — закон обратных квадратов — был сформулирован Иоганном Кеплером в 1604 году.

$$E = (I/r)^2 \cos i$$

Где: E — освещённость

- r — расстояние от источника до объекта
- I — сила света точечного источника
- $\cos i$ — угол падения лучей относительно нормали к поверхности.

Фотометрия как наука началась в 1760-х с работ Ламберта, сформулировавшего закон диффузного отражения света (закон Ламберта) и Бугера, сформулировавших закон поглощения света (закон Бугера — Ламберта — Бера).

Использование термина «свет» применительно к описанию поля излучения в любой области спектрального диапазона оптического излучения, а не только в видимой его области, в настоящее время является общепризнанным («скорость света», «луч света»)

Указание на применение в каждом конкретном случае энергетических или световых единиц устраняет все поводы к добросовестным недоразумениям. Иными словами Фотометрия — раздел оптики, в котором исследуются энергетические

характеристики света при его испускании, распространении и взаимодействии с телами. Определяет фотометрическими величинами.

Монохромомагнитический поток (состоит из однородных излучений одной длины) излучения, падающий над телом, делится на 3 части, отраженную, поглощенную, пропускания.

Отношение каждого из этих частей к падающему потоку называется спектральным коэффициентом отражения, поглощения, пропускания.

Приломления излучения-изменений его направления при переходе из одной прозрачной среды в другую.

Отражения-возвращение излучения объектом без изменения длин волн, составляющих его монохроматических излучений.

- зеркальная-без рассеивания отраженного потока.
- равномернодиффузное
- отраженный поток распределен равномерно во всех направлениях полупространства.
- зеркальнодиффузная.
- направленнорассеянное.
- фанометрическое тело, отражанное от участка поверхности сил света представляет вытянутый эллипсоид.

Пропускание-прохождение излучения сквозь среду без изменения длин монохроматических излучений.

4.Законы теплового оптического излучения

Основные законы теплового излучения сформулированы применительно к абсолютно черному телу (условное идеальное тело, которое поглощает все падающие лучи).

Закон Планка устанавливает распределение спектральной плотности энергетической светимости «чёрного» тела в зависимости от температуры.

$$m_{\lambda T} = c_1 * \lambda^{-5} * (e^{c_2 / \lambda T} - 1)^{-1}$$

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

Закон Стефана-Больцмана-плотность излучения абсолютно «чёрного» тела зависит только от его температуры и пропорциональности четвертой степени.

$$R_T = \sigma * T^4; \sigma = 5,672 * 10^{-8} \text{ (Вт/м}^2\text{)}$$

Закон смещения Вина: при повышении температуры излучения тела максимум кривой спектральной плотности его потока излучения смещается в сторону более коротких длин волн.

$$m_{es}(\lambda T)_{max} = c_3 * T^5$$

Основные законы теплового излучения позволяют делать следующие выводы:

1. Поток излучения идеального излучателя тела пропорционален 4 степени температуры нагрева.

2. Значение спектральной плотности потока идеального излучателя тела пропорционально пятой степени температуры нагрева.

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

1. 3 Лекция №3 (2 часа).

Тема: «Тепловые и полупроводниковые источники излучений»

1.3.1 Вопросы лекции:

1. Общая классификация источников оптического излучения
2. Конструкция лампы накаливания
3. Особенности лампы накаливания
4. Устройство и принцип получения света полупроводниковых источников оптического излучения

1.3.2 Краткое содержание вопросов:

1.Общая классификация источников оптического излучения

Источником оптического излучения называют устройство, преобразующее любой вид энергии в энергию электромагнитных излучений оптического диапазона спектра. В светотехнике за источник излучения принимают не только те тела, которые являются самосветящимися, но также и тела, отражающие или пропускающие свет. Самосветящиеся тела называются первичными источниками, источники отраженного или проходящего излучения - вторичными.

Классификация источников излучения может осуществляться по различным признакам, например:

- а) по размеру источников излучения;
- б) по характеру распределения силы излучения в пространстве (по форме фотометрического тела);
- в) по спектральному распределению потока излучения (световому потоку);
- г) по времени действия излучения;
- д) по цветовой температуре.

Источники делятся на искусственные и естественные.

Искусственные источники света - технические устройства различной конструкции и различными способами преобразования энергии, основным предназначением которых является получение светового излучения (как видимого, так и с различной длиной волны, например, инфракрасного). В источниках света используется в основном электроэнергия, но так же иногда применяется химическая энергия и другие способы генерации света (трибolumинесценция, радиolumинесценция, биolumинесценция).

Естественные источники света - это природные материальные объекты и явления, основным или вторичным свойством которых является способность испускать видимый свет. В отличие от естественных источников света, искусственные источники света являются продуктом производства человека или других разумных существ. К естественным или природным источникам света прежде всего относят: Солнце, Луну, планеты, кометы, полярные сияния, атмосферные электрические разряды, биolumинесценцию живых организмов, свет звезд и иных космических объектов, свечение окисляющихся органических продуктов и минералов, и проч. Естественные источники света играют первостепенную роль в существовании жизни на земле и других планетах, и оказывают значительное воздействие на окружающую среду.

Все параметры источников излучения можно разбить на две группы: технические и эксплуатационные. Технические параметры - это те, которые характеризуют сам источник света безотносительно к условиям его применения. К техническим относятся все электрические, световые и механические параметры ламп.

2. Конструкция лампы накаливания

Лампы накаливания относятся к тепловым источникам ОИ и делятся на вольфрамовые и галогенные.

Главный элемент-тело накала - вольфрамовая нить, для уменьшения распыления вольфрама при высокой температуре свечения, тело накала делают спирали или биспирали, которые подвешивают на держателях, и при помощи двух электродов, соединённых с цоколем и помещена в вакуумированную колбу. Электрический ток, проходя по нити накала, нагревает её до температуры 2500-3000 К, что вызывает свечение. Для включения ЛН в электрическую цепь на колбе установили цоколь.

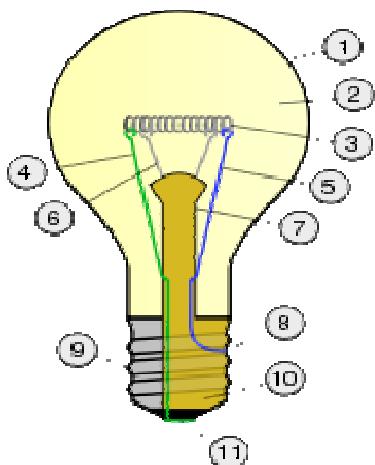


Рисунок 2. Конструкция современной лампы. 1 — колба; 2 — полость колбы (вакуумированная или наполненная газом); 3 — тело накала; 4, 5 — электроды (токовые вводы); 6 — крючки-держатели тела накала; 7 — ножка лампы; 8 — внешнее звено токоввода, предохранитель; 9 — корпус цоколя; 10 — изолятор цоколя (стекло); 11 — контакт донышка цоколя.

В зависимости от особенностей конкретного типа лампы могут применяться держатели тела накала различной конструкции. Крючки-держатели тела накала ламп накаливания (в том числе ламп накаливания общего назначения) изготавливаются из молибдена. Лампы могут изготавливаться бесцокольными или с цоколями различных типов, иметь дополнительную внешнюю колбу и иные дополнительные конструктивные элементы.

В конструкции ламп общего назначения предусматривается предохранитель — звено из ферроникелевого сплава, вваренное в разрыв одного из токовводов и расположенное вне колбы лампы — как правило, в ножке. Назначение предохранителя — предотвратить разрушение колбы при обрыве нити накала в процессе работы. Дело в том, что при этом в зоне разрыва возникает электрическая дуга, которая расплавляет остатки нити, капли расплавленного металла могут разрушить стекло колбы и послужить причиной пожара. Предохранитель рассчитан таким образом, чтобы при зажигании дуги он разрушался под воздействием тока дуги, существенно превышающего номинальный ток лампы. Ферроникелевое звено находится в полости, где давление равно атмосферному, а потому дуга легко гаснет.

Колба защищает тело накала от воздействия атмосферных газов. Размеры колбы определяются скоростью осаждения материала тела накала.

Колбы первых ламп были вакуумированы. Большинство современных ламп наполняются химически инертными газами (кроме ламп малой мощности, которые по-прежнему делают вакуумными). Потери тепла, возникающие при этом за счёт теплопроводности, уменьшают путём выбора газа с большой молярной массой.

Формы тел накала весьма разнообразны и зависят от функционального назначения ламп. Наиболее распространённым является из проволоки круглого поперечного сечения, однако находят применение и ленточные тела накала (из металлических ленточек).

Тело накала первых ламп изготавливалось из угля (температура возгонки 3559 °C). В современных лампах применяются почти исключительно спирали из вольфрама, иногда осмиеово-вольфрамового сплава. Для уменьшения размеров тела накала ему обычно придаётся форма спирали, иногда спираль подвергают повторной или даже третичной спирализации, получая соответственно биспираль или триспираль. КПД таких ламп выше за счёт уменьшения теплопотерь из-за конвекции (уменьшается толщина ленгмюровского слоя).

Форма цоколя с резьбой обычной лампы накаливания была предложена Джозефом Уилсоном Суоном. Размеры цоколей стандартизованы. У ламп бытового применения наиболее распространены цоколи Эдисона E14 (миньон), E27 и E40 (число обозначает

наружный диаметр в мм). Также встречаются цоколи без резьбы (удержание лампы в патроне происходит за счёт трения или нерезьбовыми сопряжениями — например, байонетным) — британский бытовой стандарт, а также бесцокольные лампы, часто применяемые в автомобилях.

- 3. Особенности лампы накаливания**
- высокий индекс цветопередачи, R_a 100
 - налаженность в массовом производстве
 - низкая цена
 - небольшие размеры
 - отсутствие пускорегулирующей аппаратуры
 - нечувствительность к ионизирующей радиации
 - чисто активное электрическое сопротивление (единичный коэффициент мощности)
 - мгновенное зажигание и перезажигание
 - невысокая чувствительность к сбоям в питании и скачкам напряжения
 - отсутствие токсичных компонентов и как следствие отсутствие необходимости в инфраструктуре по сбору и утилизации
 - возможность работы на любом роде тока
 - нечувствительность к полярности напряжения
 - возможность изготовления ламп на самое разное напряжение (от долей вольта до сотен вольт)
 - незаметность мерцания (10 % для 60 Вт, при больших мощностях коэффициент пульсаций меньше) при работе на переменном токе (важно на предприятиях).
 - отсутствие гудения при работе на переменном токе
 - непрерывный спектр излучения
 - приятный и привычный в быту спектр
 - устойчивость к электромагнитному импульсу
 - возможность использования регуляторов яркости
 - не боятся низкой и повышенной температуры окружающей среды, устойчивы к конденсату

4. Устройство и принцип получения света полупроводниковых источников оптического излучения

В светодиодах используется принцип генерации света при прохождении электрического тока через границу полупроводникового и проводящего материалов. Прохождение электрического тока можно представить как поток электронов в определенном направлении, движущийся под действием напряжения между концами проводника. Проводящие материалы или проводники можно сравнить с каналом, по которому течет поток воды, а полупроводники — с порогом на пути потока. В одну сторону («сверху вниз») поток без проблем преодолевает порог, при этом даже выделяя какое-то количество энергии. Но чтобы заставить этот поток преодолеть порог в обратную сторону, надо затратить какое-то усилие, необходимое для подъема потока на высоту порога. В настоящее время достигнуты следующие параметры светодиодов массового производства: световая отдача белых до 25 $лм/Bт$, красных и зеленых — более 30 $лм/Bт$; срок службы — 50000 часов.

Основу светодиодов составляет полупроводниковый кристалл, расположенный на проводящей подложке. К кристаллу и подложке подводится электрическое напряжение через вводы. Кристалл окружен отражателем, направляющим свет в одну сторону. От внешних воздействий кристалл защищен корпусом из прозрачной эпоксидной смолы или поликарбоната. Верхняя часть корпуса, как правило, делается в виде купола с

определенной кривизной, и исполняет роль линзы, формирующей световой пучок. Иногда вместо купола делаются «линзы Френеля», то есть наборы концентрических микролинз на общем плоском основании.

1. 4 Лекция № 4,5 (4 часа).

Тема: «Разрядные источники излучений»

1.4.1 Вопросы лекции:

1. Особенности зажигания разрядных источников излучения
2. Устройство газоразрядных ламп низкого давления
3. Схема включения и принцип получения света люминесцентных ламп
4. Устройство газоразрядных ламп высокого давления
5. Схемы включения газоразрядных ламп высокого давления
6. Основные характеристики газоразрядных ламп высокого давления
7. Специальные источники оптического излучения

1.4.2 Краткое содержание вопросов:

1. Особенности зажигания разрядных источников излучения

Особенность зажигания разрядных источников излучения состоит в том, что он снабжен резистивным нагревателем электродов разрядной горелки. Разрядные источники обеспечивает уменьшение времени выхода источника излучения на рабочий режим при его использовании в составе устройства активной защиты.

Разрядные источники излучения относятся к источникам излучения на основе электрического разряда в парах цезия, которые используются в устройствах активной защиты от высокоточного ракетного оружия с оптико-электронной системой наведения инфракрасного (ИК) диапазона.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому источнику ИК излучения является источник излучения на основе электрического разряда в парах цезия с модуляцией потока излучения за счет модуляции разрядного тока. В состав источника излучения, выбранного в качестве прототипа, входит наполненная излучающим веществом разрядная горелка с прямой трубчатой оболочкой из лейкосапфира, на противоположных концах которой установлены электродные узлы. Излучающее вещество содержит цезий, который служит плазмообразующей средой, и ксенон, который предназначен для обеспечения зажигания источника ИК излучения. Указанный источник позволяет получить излучение, основные характеристики которого, а именно, спектральный состав, пиковая сила излучения, глубина модуляции и временная структура, соответствуют требованиям к помеховому излучению, необходимому для активной защиты от высокоточного ракетного оружия. Следует отметить, что эффективность использования устройства активной защиты тем выше, чем длительнее воздействие помехового излучения на подавляемый объект (ракету), т.е. чем меньше время выхода устройства на рабочий ("боевой") режим.

Отличительная особенность источников излучения на основе электрического разряда в парах щелочных металлов (в том числе цезия) заключается в том, что время окончательного формирования разряда, т.е. время в течение которого происходит установление рабочего давления паров щелочного металла, сопровождающегося соответствующим ростом напряжения на разрядной горелке от некоторого начального, обусловленного давлением буферного газа (ксенона), до рабочего, обусловленного давлением паров щелочного металла (цезия), составляет не менее 2-3 мин.

Таким образом, недостаток конструкции разрядного источника ИК излучения при его использовании в составе устройства активной защиты от высокоточного оружия с оптико-электронной системой наведения состоит в невозможности увеличения времени

активного воздействия помехового излучения за счет минимизации времени выхода источника ИК излучения на рабочий режим.

Разрядный источник ИК излучения содержит наполненную излучающим веществом разрядную горелку с прямой трубчатой оболочкой из лейко-сапфира, на противоположных концах которой герметично установлены электродные узлы.

Зажигание источника ИК излучения осуществляется подачей импульса поджига с блока, а поскольку имело место предварительное тепловое воздействие на излучающее вещество, то:

- напряжение зажигания снижается, т.к. пробой осуществляется по парам металла;
- градиент температур по толщине стенки оболочки горелки снижается, т.к. оболочка прогрета;
- установление номинального режима питания источника излучения после поджига сразу переводит источник излучения в рабочее состояние.

2. Устройство газоразрядных ламп низкого давления

Люминесцентная лампа — это типичный разрядный источник света низкого давления, в котором разряд происходит в смеси паров ртути и инертного газа, чаще всего — аргона. Колба лампы — это всегда цилиндр из стекла с наружным диаметром 38, 26, 16 или 12 мм. В торцевые концы цилиндра герметично впаяны стеклянные ножки, на которых с внутренней стороны смонтированы электроды.

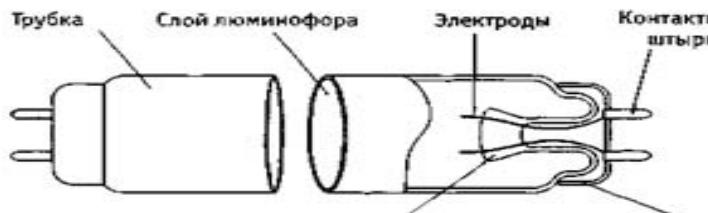


Рисунок 3. Устройство люминесцентной лампы

Электроды по конструкции подобны биспиральному телу накала ламп накаливания и также делаются из вольфрамовой проволоки. С наружной стороны электроды подпаяны к штырькам цоколя.

Как и в лампах накаливания, из колб люминесцентных ламп воздух тщательно откачивается через штенгель, впаянный в одну из ножек. После откачки объем колбы заполняется инертным газом и в него вводится ртуть в виде небольшой капли (масса ртути в одной лампе обычно около 30 мг) или в виде так называемой амальгамы, то есть сплава ртути с висмутом, индием и другими металлами.

Если к лампе приложено напряжение большее, чем напряжение зажигания, то в ней между электродами возникает электрический разряд, ток которого обязательно ограничивается какими-либо внешними элементами. Хотя колба наполнена инертным газом, в ней всегда присутствуют пары ртути, количество которых определяется температурой самой холодной точки колбы. Атомы ртути возбуждаются и ионизируются в разряде гораздо легче, чем атомы инертного газа, поэтому и ток через лампу, и ее свечение определяются именно ртутью.

Вся цилиндрическая часть колбы с внутренней стороны покрыта тонким слоем именно такого люминофора, который и превращает ультрафиолетовое излучение атомов ртути в видимое.

Электроды в люминесцентных лампах выполняют функции источников и приемников электронов и ионов, за счет которых и протекает электрический ток через разрядный промежуток.

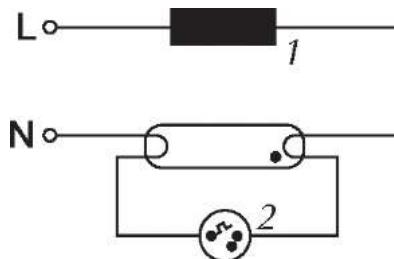


Рисунок 4. Схема включения люминесцентных ламп

3. Схема включения и принцип получения света люминесцентных ламп

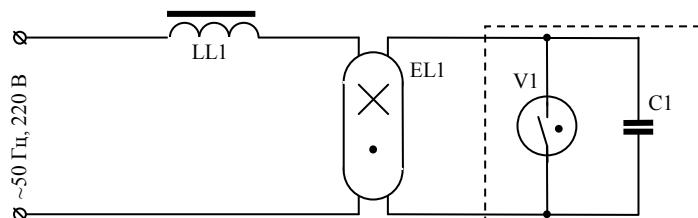


Рисунок 5. Схема включения люминесцентной лампы

Напряжение сети через дроссель LL1 прикладывается к электродам лампы EL1 и электродам стартера V1. Поскольку расстояние между электродами стартера мало, между ними возникает тлеющий разряд силой тока около 5 мА. Электрод (биметаллическая пластина) нагревается, разгибается и касается неподвижного электрода, в результате чего разряд в стартере прекращается. Ток через дроссель, электроды лампы (спирали) и стартер увеличивается до 0,5...1 А, электроды лампы разогреваются, а электроды стартера, наоборот, остывают. Электрод в виде U-образной биметаллической пластины снова сгибается и размыкает цепь тока. Это приводит к возникновению ЭДС самоиндукции в дросселе, под действием которой между электродами лампы возникает разряд и лампа загорается. Разряд сопровождается выделением потока ультрафиолетовых лучей, которые, попадая на люминофор, заставляют его испускать видимые лучи. Сами же ультрафиолетовые лучи через стекло трубки не проходят.

При горящей лампе на дросселе в результате прохождения тока теряется часть напряжения сети и на лампу приходится только около 120 вольт. Эта же величина напряжения и на электродах стартера, так как лампа и стартер соединены параллельно. Разряд в стартере может существовать только при напряжении не менее 170 вольт, поэтому при горящей лампе разряд в стартере не возникает и стартер после загорания лампы автоматически выходит из работы.

Лампа и дроссель образуют последовательную цепь переменного тока, подключённую на синусоидальное напряжение электрической сети. Поэтому, как и во всякой последовательной цепи переменного тока, вектор сетевого (суммарного) напряжения равен сумме векторов падений напряжений на лампе и дросселе. При этом, так как лампа обладает активным сопротивлением, вектор падения напряжения на ней совпадает по фазе с током, а вектор падения напряжения на дросселе, как и на любом активно-индуктивном сопротивлении, опережает по фазе ток.

Люминесцентная лампа 100 раз в секунду в моменты прохождения сетевого напряжения через нуль гаснет и снова загорается. Однако глаз человека ввиду его инерционности воспринимает свет лампы как непрерывный. Но при наблюдении вращающихся предметов может наступить явление ложного представления о движении, так называемый стробоскопический эффект. Например, вращающийся маховик со спицами может показаться неподвижным. Для борьбы с ним применяют двухламповые схемы. В двухламповой схеме напряжение на лампы подаётся со сдвигом по фазе в результате этого, если одна лампа погашена, другая горит и световой поток не прерывается.

Колебания напряжения на зажимах люминесцентной лампы приводят к изменению её электрических и световых характеристик. С ростом напряжения ток в цепи увеличивается. Напряжение на лампе падает в соответствии с её ВАХ. Мощность лампы возрастает, так как напряжение на лампе снижается медленнее, чем повышается ток в рабочей части ВАХ, т. е. сопротивление лампы уменьшается значительно быстрее нарастания тока. (рис 5). Мощность лампы равна произведению напряжения и тока. Если один из сомножителей увеличивается быстрее, чем уменьшается другой, то их произведение возрастает.

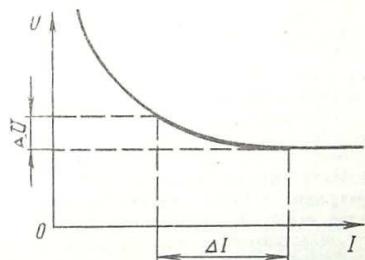


Рисунок 6. Вольтамперная характеристика лампы

Следовательно, мощность лампы повышается с ростом напряжения на зажимах схемы.

Световой поток лампы с увеличением напряжения также возрастает, но медленнее, чем мощность. Это объясняется насыщением люминесцентного покрытия. Все частицы люминофора участвуют в процессе преобразования ультрафиолетового излучения разрядного промежутка в видимые лучи уже при номинальном напряжении. Поэтому повышение мощности разряда увеличивает ультрафиолетовый поток, но видимый поток возрастает медленнее мощности. Световая отдача лампы, в связи со сказанным, будет уменьшаться с ростом напряжения.

Наибольший срок службы лампы будет при номинальном напряжении. При напряжении, меньшем номинального, пуск её в работу становится ненадёжным. Для зажигания лампы требуется тем большее число срабатываний стартера, чем меньше напряжение в сети. Каждое срабатывание стартера вызывает импульсное воздействие тока на оксидное покрытие электродов лампы, разрушающее это покрытие и снижающее срок его службы. Следовательно, срок службы уменьшается при напряжении ниже номинального. При сверхноминальном напряжении ток лампы и его плотность на поверхности электродов возрастают, что приводит к быстрому разрушению оксидного покрытия. Поэтому и при напряжении больше номинального, срок службы лампы меньше[1].

4. Устройство газоразрядных ламп высокого давления

Дуговая ртутная лампа ДРЛ обладает высокой светоотдачей (до 55 лм/Вт), большим сроком службы (10000 ч), компактностью, устойчивостью к понижению температуры, но в ее спектре преобладают сине-зеленые лучи, ухудшающие цветопередачу. Поэтому используется она для освещения открытых помещений, где отсутствуют высокие требования и различию цветов. Промышленностью освоены двухэлектродные и четырех электродные лампы, однако наибольшее распространение получили четырех электродные лампы, поскольку комплектуются более простым пускорегулирующим устройством.

Лампа состоит из толстостенной кварцевой трубы, способной пропускать ультрафиолетовые лучи и выдерживать повышенную (до 350 С) рабочую температуру, внутри трубы находится под давлением инертный газ аргон и дозированное количество ртути в капельном состоянии. С торцов трубы имеет по одному рабочему и одному вспомогательному электроду из вольфрама, активированных слоем оксида (вещества легко испускающего при нагреве электроны). Трубка размещена внутри стеклянной колбы

эллиптической формы, покрытой с внутренней стороны люминофором и заполненной для сохранения свойств люминофора углекислым газом. Каждый вспомогательный электрод подсоединен к основному, расположенному с противоположенного конца трубы, через резистор. Конструкцию лампы можно рассмотреть на стенде в аудитории.

На основные электроды через дроссель (катушку с ферромагнитным сердечником) подается переменное напряжение сети. Под действием напряжения на концах трубы между основными и вспомогательными электродами, так как они расположены рядом, легко возникает тлеющий разряд малой силы тока в связи с тем, что ток протекает через дополнительные сопротивления. Разряд ионизирует газ внутри трубы и перебрасывается на основные электроды. Ток разряда при этом возрастает в результате резкого уменьшения сопротивления газа в трубке, вызванного в свою очередь возрастанием тока. Таким образом, вольтамперная характеристика лампы падающая. Поэтому, если лампу не включить через балластное сопротивление (дроссель), она выйдет из строя из-за неограниченного нарастания тока.

В качестве балластного сопротивления можно было бы использовать емкость (конденсатор) или активное сопротивление (резистор). Но в этих случаях время горения лампы в течение полупериода сетевого напряжения занимало бы меньшую долю от времени всего полупериода. В случае использования в качестве балласта дросселя это время составляет 80...90% от времени полупериода, конденсатора - 10...20 % и активного сопротивления 40...60%. Следовательно, и светоотдача лампы с дросселем в качестве балластного сопротивления выше. Кроме того, при использовании в качестве балласта активного сопротивления, в нем терялась бы активная энергия, ухудшая энергетические показатели лампы.

В начальный период времени после зажигания давление газа в трубке мало, а, как известно, сопротивление его при этом также мало и ток, потребляемый лампой, большой. Спустя несколько минут, по мере нагрева трубы испаряется находящаяся в ней ртуть, давление возрастает, возрастает и сопротивление межэлектродного промежутка, и поэтому ток падает. Дуговой разряд при этом переходит в пары ртути и сопровождается выделением потока ультрафиолетовых лучей, которые свободно проходят через стенки трубы, попадают на люминофор и заставляют его испускать видимые лучи.

В горячем состоянии (сразу же после отключения) лампа не загорается, так как давление газа в трубке и, следовательно, его сопротивление большое, что затрудняет запуск.

Для нормального зажигания и горения лампы ДРЛ подводимое к ней напряжение не должно снижаться больше чем на 15 % от номинального. Отклонение подводимого напряжения на 1 % вызывает изменение светового потока лампы в ту же сторону в среднем на 2,2 %. Лампа нормально работает при температуре окружающего воздуха от - 40 до +80 С.

Задача лампы от воздействия окружающей среды и перераспределение в нужном направлении светового потока, излучаемого ею, осуществляется путем размещения лампы в светильник. При этом часть светового потока лампы поглощается светильником. Отношение светового потока, излучаемого светильником, к световому потоку лампы называется световым коэффициентом полезного действия светильника.

Разрядная трубка («горелка») из кварца держателями из достаточно толстой никелевой проволоки закреплена на ножке (у мощных ламп горелка поддерживается еще и пружинящим держателем, упирающимся во внешнюю колбу). Ножка герметично впаяна во внешнюю колбу, покрытую изнутри слоем люминофора. В ртутных лампах высокого давления используются самокалиющиеся электроды в виде спирали, навитой на вольфрамовый стержень (керн) и покрытой активирующим веществом. Кроме основных электродов, в лампах имеются поджигающие электроды, расположенные вблизи основных и электрически соединенные с противоположными электродами через ограничительные сопротивления. На внешней колбе с помощью высокотемпературной мастики крепится

стандартный резьбовой цоколь. Между горелкой и цоколем крепится тепловой экран (обычно из слюды). Внутренний объем горелки заполнен инертным газом аргоном с давлением от 10 до 50 мм ртутного столба (в зависимости от мощности лампы) и ртутью.

В отличие от люминесцентных ламп, в которых ртуть всегда находится в жидким состоянии, в лампах высокого давления количество ртути строго дозировано, и при работе ламп ртуть в горелках находится только в газообразном состоянии при давлении паров 1000 - 1500 мм ртутного столба (1,5 - 2 атмосферы). Для получения таких высоких давлений паров ртути температура стенок горелки должна быть не менее 500 °С. Поэтому горелки ламп высокого давления делают только из кварца. Пространство между горелкой и внешней колбой заполняется газом (техническим аргоном).

Дуговая ртутная лампа ДРЛ обладает высокой светоотдачей (до 55 лм/Вт), большим сроком службы (10000 ч), компактностью, устойчивостью к понижению температуры, но в ее спектре преобладают сине-зеленые лучи, ухудшающие цветопередачу. Поэтому используется она для освещения открытых помещений, где отсутствуют высокие требования и различию цветов. Промышленностью освоены двухэлектродные и четырехэлектродные лампы, однако наибольшее распространение получили четырехэлектродные лампы, поскольку комплектуются более простым пускорегулирующим устройством.

Лампа состоит из толстостенной кварцевой трубки, способной пропускать ультрафиолетовые лучи и выдерживать повышенную (до 350 °С) рабочую температуру, внутри трубки находится под давлением инертный газ аргон и дозированное количество ртути в капельном состоянии. С торцов трубка имеет по одному рабочему и одному вспомогательному электроду из вольфрама, активированных слоем оксида (вещества легко испускающего при нагреве электроны). Трубка размещена внутри стеклянной колбы эллиптической формы, покрытой с внутренней стороны люминофором и заполненной для сохранения свойств люминофора углекислым газом. Каждый вспомогательный электрод подсоединен к основному, расположенному с противоположенного конца трубки, через резистор. Конструкцию лампы можно рассмотреть на стенде в аудитории.

На основные электроды через дроссель (катушку с ферромагнитным сердечником) подается переменное напряжение сети. Под действием напряжения на концах трубки между основными и вспомогательными электродами, так как они расположены рядом, легко возникает тлеющий разряд малой силы тока в связи с тем, что ток протекает через дополнительные сопротивления. Разряд ионизирует газ внутри трубки и перебрасывается на основные электроды. Ток разряда при этом возрастает в результате резкого уменьшения сопротивления газа в трубке, вызванного в свою очередь возрастанием тока. Таким образом, вольтамперная характеристика лампы падающая. Поэтому, если лампу не включить через балластное сопротивление (дроссель), она выйдет из строя из-за неограниченного нарастания тока.

В качестве балластного сопротивления можно было бы использовать емкость (конденсатор) или активное сопротивление (резистор). Но в этих случаях время горения лампы в течение полупериода сетевого напряжения занимало бы меньшую долю от времени всего полупериода. В случае использования в качестве балласта дросселя это время составляет 80...90% от времени полупериода, конденсатора - 10...20% и активного сопротивления 40...60%. Следовательно, и светоотдача лампы с дросселям в качестве балластного сопротивления выше. Кроме того, при использовании в качестве балласта активного сопротивления, в нем терялась бы активная энергия, ухудшая энергетические показатели лампы.

В начальный период времени после зажигания давление газа в трубке мало, а, как известно, сопротивление его при этом также мало и ток, потребляемый лампой, большой. Спустя несколько минут, по мере нагрева трубки испаряется находящаяся в ней ртуть, давление возрастает, возрастает и сопротивление межэлектродного промежутка, и поэтому ток падает. Дуговой разряд при этом переходит в пары ртути и сопровождается

выделением потока ультрафиолетовых лучей, которые свободно проходят через стенки трубы, попадают на люминофор и заставляют его испускать видимые лучи.

В горячем состоянии (сразу же после отключения) лампа не загорается, так как давление газа в трубке и, следовательно, его сопротивление большое, что затрудняет запуск.

Для нормального зажигания и горения лампы ДРЛ подводимое к ней напряжение не должно снижаться больше чем на 15 % от номинального. Отклонение подводимого напряжения на 1 % вызывает изменение светового потока лампы в ту же сторону в среднем на 2,2 %. Лампа нормально работает при температуре окружающего воздуха от - 40 до +80 С.

Защита лампы от воздействия окружающей среды и перераспределение в нужном направлении светового потока, излучаемого ею, осуществляется путем размещения лампы в светильник. При этом часть светового потока лампы поглощается светильником. Отношение светового потока, излучаемого светильником, к световому потоку лампы называется световым коэффициентом полезного действия светильника.

Схема включения ртутных ламп высокого давления проще, чем люминесцентных ламп. Благодаря наличию поджигающих электродов, расположенных очень близко к основным, между этими электродами разряд возникает при напряжениях ниже сетевого. Этот разряд очень слаб, так как ток его ограничен сопротивлениями 9, но он создает начальную ионизацию газа в горелке, за счет которой разряд переходит на основные электроды. Ток основного разряда ограничивается только дросселем, и величина его в первое время после включения в 2 - 3 раза больше, чем после полного разгорания лампы. Из-за большого тока разряда начинают разогреваться стенки горелки, находящаяся на них ртуть постепенно полностью испаряется, и процессы в лампе стабилизируются. Процесс разгорания длится достаточно долго — от 7 до 10 минут.

5. Схемы включения газоразрядных ламп высокого давления

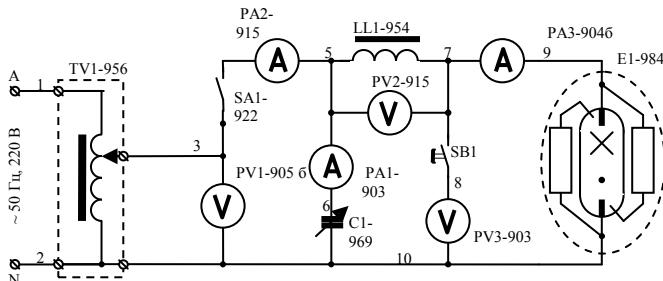


Рисунок 7. Схемы включения газоразрядных ламп высокого давления

6. Основные характеристики газоразрядных ламп высокого давления

Основные характеристики газоразрядных ламп

-Срок службы от 3000 часов до 20000.

-Эффективность от 40 до 150 лм/Вт.

-Цвет излучения: тепло-белый (3000 K) или нейтрально-белый (4200 K)

-Цветопередача: хорошая (3000 К: Ra>80), отличная (4200 К: Ra>90)

-Компактные размеры излучающей дуги, позволяют создавать световые пучки высокой интенсивности.

Таблица 1. Характеристики лампы ДРЛ

Название	Рабочее Напряжение, В	Мощность Вт	Длина, мм	Диаметр мм	Тип Цоколя	Световой Поток, лм	Срок службы, ч
ДРЛ 125	125	125	178	76	E27	5900	12000
ДРЛ 250	130	250	228	91		13500	
ДРЛ 400	135	400	292	122		24000	15000
ДРЛ 700	140	700	357	152		41000	20000
ДРЛ 1000	145	1000	411	167		59000	18000

7.Специальные источники оптического излучения

ЛЛ специального назначения для облучения животных УФ лучами.

Лампы разрядные типа ДРТ являются эффективными источниками ультрафиолетового излучения. Лампы применяются в медицине (физиотерапия), биологии, в сельском хозяйстве для облучения животных и птиц, в полиграфической промышленности в специальных приборах для облучения декораций, написанных специальными светящимися красками. Мощные потоки бактерицидного излучения позволяют использовать ртутные лампы высокого давления для целей обеззараживания воды и других веществ. Лампы не применяются для освещения из-за плохой цветопередачи.

Лампы предназначены для работы от сети переменного тока частотой 50 Гц напряжением 220 и 380 В с соответствующей пускорегулирующей аппаратурой.

1.5 Лекция №6 (2 часа).

Тема: Особенности осветительных приборов и их классификация

1.5.1 Вопросы лекции:

1. Устройство осветительных приборов
2. Основные параметры осветительных приборов и их обозначение
3. Классификация осветительных приборов
4. Виды и системы освещения

1.6.2 Краткое содержание вопросов:

1. Устройство осветительных приборов

Осветительная установка должна обеспечивать требующие условия видения с наименьшими затратами денежных средств и электроэнергии. Условия видения определяются уровнем и распределением яркостей в поле зрения. Однако расчет измерения яркости в практике довольно сложно. Поэтому нормирование уровня освещенности на рабочей поверхности при соответствующей регламентации ее коэффициента отражения. Читать можно при освещении 0,1 лк, однако это приводит к быстрому утомлению глаз. Повышенная освещенность, утомляемость при чтении резко снижается и оказывается в пределах допускаемой. Для выполнения любой производственной операции можно найти наилучшую освещенность, которая при прочих равных условиях обеспечит наименьшую себестоимость производимой продукции. Повышенная освещенность можно достичь зрительного комфорта, т.е. такого уровня освещенности, которая субъективно оценивается как вполне достаточный для выполнения любой операции.

Нормы освещенности, установленные в нашей стране, являются обязательными для организаций и ведомств, и устанавливает минимальную освещенность на рабочую поверхность, т.е. освещенность, свойственную точке с наихудшими условиями освещения. Основным нормативным документом при выборе освещенности является СНИП, отраслевые нормы освещенности.

Кол-во освещения определяется также следующими условиями:

1. Равномерность распределения освещенности на рабочей поверхности.
2. Отсутствие теней на рабочей поверхности.

3. Постоянства освещенности во времени.
4. Отсутствие в поле зрения слепящих яркостей.
5. Спектральный состав излучения - определяет собой физиологический и психологический эффект освещения, цветопередачу.

2. Основные параметры осветительных приборов и их обозначение

Осветительные приборы (ОП) — это устройства, перераспределяющие световой поток источников света в пространстве требуемым образом. По общепринятой классификации все ОП делятся на три класса: светильники, прожекторы и проекторы.

Проекторы — это ОП, концентрирующие световой поток источника света на определенной четко ограниченной площади или в определенном объеме.

Проекторы и светильники — это световые приборы, предназначенные для освещения определенных объектов как внутри, так и вне помещений.

Прожекторами обычно называются ОП, сосредотачивающие световой поток источников света в достаточно малых телесных углах и освещдающие объекты, находящиеся от ОП на расстояниях, значительно превышающих размеры самих ОП.

Светильники — это ОП, в которых световой поток источников света распределяется внутри больших телесных углов. Как правило, светильники освещают поверхности или предметы, находящиеся от них на достаточно близких расстояниях, соизмеримых с размерами самих светильников. Любой ОП — это устройство, перераспределяющее в пространстве световой поток источника света. Обычно источники света излучают его во всех направлениях, а нам часто надо осветить какое-то конкретное место, например, рабочий стол. В этом случае полезным является световой поток, попадающий на нужное место, а остальной — практически бесполезным. Таким образом, можно говорить о *коэффициенте полезного действия* (кпд) ОП. Так как задача любого ОП — это перераспределение светового потока источника света требуемым образом, то под кпд ОП принято понимать отношение светового потока, выходящего из ОП, к световому потоку источника света:

$$\text{кпд} = \Phi_{\text{оп}} / \Phi_{\text{ис}}$$

Кривая сил света (КСС) ОП — это графическое изображение зависимости силы света прибора от направления распространения света. Обычно КСС изображаются в полярных координатах, однако для ОП с очень малыми углами излучения иногда используется и прямоугольная система координат. Для удобства пользования в каталогах ОП приводятся условные КСС, рассчитанные для источника света со световым потоком 1000 лм.

3. Классификация осветительных приборов

По основному назначению ОП делятся на ряд групп:

- ОП для освещения производственных помещений;
- ОП для освещения административных, офисных, культурно-просветительских и других помещений общественного назначения;
- ОП для освещения бытовых помещений;
- ОП для освещения сельскохозяйственных помещений;
- ОП для освещения спортивных сооружений;
- ОП для функционального наружного освещения;
- ОП для декоративного наружного освещения;
- ОП для внутреннего освещения средств транспорта;
- ОП для архитектурно-художественного освещения зданий, памятников, фонтанов и т.п.;
- ОП аварийного освещения.

Каждая из этих групп, в свою очередь, делится на более мелкие подгруппы. Так, в группе ОП для освещения производственных помещений можно выделить:

1. ОП для освещения помещений с нормальной средой;
2. ОП для освещения помещений с тяжелой средой (пыльных, влажных, с агрессивнымиарами);
3. ОП для освещения взрывоопасных помещений;
4. ОП для освещения пожароопасных помещений.

В группе осветительных приборов функционального наружного освещения выделяются ОП: для улиц, дорог и площадей; для больших открытых пространств; для автотранспортных туннелей и подземных пешеходных переходов; для автозаправочных станций

и

т.п.

Классификация ОП по основному назначению определяет преимущественные области их применения. Однако эта классификация довольно условна, так как часто один и тот же светильник может использоваться в самых разных ситуациях.

Классификация осветительных приборов по основному назначению
В основу этой классификации положен, прежде всего, способ установки ОП на их «законных» местах. По способу установки ОП делятся на следующие группы (в скобках указано обозначение по ГОСТ 17677):

- встраиваемые (В);
- потолочные (П);
- подвесные (С);
- настенные (Б);
- напольные (Т);
- настольные (Н);
- венчающие (Т);
- консольные (К);
- переносные (Р).

В литературе иногда еще встречаются старые названия типов светильников: настенные светильники называются «бра», напольные — «торшеры», потолочные — «плафоны». В соответствии с ГОСТ 17677 использование таких названий в официальной технической документации не допускается.

В каталогах потолочные светильники иногда называются накладными. В ГОСТ 17677 такого термина нет, однако можно сказать, что он имеет право на существование, так как характеризует конструктивную особенность ОП: они действительно как бы накладываются на опорную поверхность. При этом опорной поверхностью для таких ОП может быть не только потолок, но и стены, наклонные плоскости сводов и т.п.

Классификация осветительных приборов по степени защиты от пыли и влаги
Существует международная система классификации и обозначения ОП и другого электротехнического оборудования по степени их защищенности от воздействия влаги (воды) и твердых частиц (пыли). Степень защиты обозначается буквами IP (Ingress Protection — защита от проникновения) и двумя цифрами. Первая цифра показывает степень защищенности ОП от проникновения в него пыли и посторонних тел и может принимать значения от 2 до 6:

2 — специальной защиты от пыли нет; обеспечена защита от проникновения твердых тел с максимальным размером в поперечном сечении более 12 мм, что исключает возможность прикосновения пальцами к токоведущим элементам;

3 — защиты от пыли также нет, но исключена возможность прикосновения к токоведущим элементам твердым телом с максимальным размером в поперечном сечении более 2,5 мм (например, отверткой);

4 — защиты от пыли нет, исключена возможность прикосновения к токоведущим элементам твердыми телами с максимальным размером в поперечном сечении 1 мм (например, проволокой диаметром 1 мм);

5 — обеспечена защита от попадания пыли на токоведущие элементы и колбы ламп. Полная защита от соприкосновения с токоведущими деталями;

6 — полная защита от попадания пыли во внутренний объем ОП (пыленепроницаемые приборы) и от соприкосновений с токоведущими деталями.

Вторая цифра в обозначении показывает степень защиты от проникновения воды внутрь ОП. Эта цифра может быть от 0 до 8 и означает:

- 0 — никакой защиты от попадания воды нет;
- 1 — в классификации степени защищенности не используется;
- 2 — обеспечена защита от капель воды, падающих сверху под углом не более 15° к вертикали (каплезащищенные ОП);
- 3 — защита от капель и брызг, падающих сверху под углом к вертикали до 60° (дождезащищенные);
- 4 — защита от капель и брызг, попадающих на прибор с любого направления (брязгозащищенные);
- 5 — защита от водяных струй, падающих с любого направления (струезащищенные);
- 6 — защита от проникновения воды при непостоянном попадании на ОП больших ее масс (волнозащищенные);
- 7 — защита от проникновения воды внутрь ОП при погружении его на определенную глубину и заданное время (водонепроницаемые);
- 8 — защита от проникновения воды при погружении ОП в воду на неограниченное время (герметичные).

Классификация осветительных приборов по электробезопасности
Электробезопасность ОП должна обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током. Степень безопасности определяется наличием и качеством электрической изоляции токоведущих элементов (проводов, клеммных колодок, патронов), наличием заземления и величиной электрического напряжения, на которое включен ОП.

4. Виды и системы освещения

При проектирование электрического освещения основной задачей является определение потребления мощности ИС для обеспечения заданных условий видения.

К началу расчёта должны быть выбраны следующие параметры:

- 1) нормы освещённости
- 2) виды и система освещения
- 3) источник света
- 4) тип светильника и его размещение ламп.

В результате расчёта определяют требующийся световой поток светильников, по которому в справочных таблицах находится мощность ближних стандартов лампы.

Виды освещения:

Рабочее - является основным видом освещения, предназначено для создания нормальных условий видения в данном помещении.

Аварийное освещение (АО) - предназначено для продолжение работы или эвакуации при погасании рабочего освещения. Для аварийного освещения используются надежные источники света. АО для эвакуации устраивают в производственных помещениях с числом рабочих больше 50 человек и в непроизводственные - где в помещениях могут находиться более 100 чел. Освещенность, создающая аварийное освещение должна быть не менее 0,5 лк, в наружных установках 0,2 лк.

Существуют системы общего, местного и комбинированного освещения.

Общее - предназначено для создания надлежащих условий видения на всей освещаемой площади, различают равномерное и локализованное.

Равномерное - обеспечивает распределение освещения заданного уровня по всей площади, выполняется светильниками одного типа и мощности, расположенные на одинаковой высоте.

Локализованное – создает неодинаковую освещенность на разных участках освещенной поверхности. Тип, расположение и мощность выбирается в соответствии с расположением и особенностями рабочих мест.

Местное освещение для обеспечения надлежащего уровня освещенности только в пределах рабочей поверхности. Применяется в дополнении к общему освещению.

Комбинированное освещение создает надлежащее условие видения в рабочей поверхности совместным действием общего и местного освещения, а по всей остальной площади – общим.

Предпосылки к применению комбинированного освещения:

1. Высокой уровень требуемой освещенности.
2. Неплотное и фиксированное расположение рабочих мест.
3. Потребление в определенном или переменном напряжении светового потока.
4. Недостаточность рабочих поверхностей для общего освещения.

Вид освещения – охранное, устанавливается по линии ограждения при наличии постоянной охраны или сигнализации.

Дежурное освещение минимального уровня в с/х производстве предназначено для осмотра животных в ночное время.

1.6 Лекция №7 (2 часа).

Тема: «Нормирование параметров освещения. Проектирование осветительных установок»

1.6.1 Вопросы лекции:

1. Принципы нормирования освещенности
2. Выбор светильников и расчет их размещения
3. Методы светотехнических расчетов осветительных установок
4. Электротехническая часть осветительных установок

1.6.2 Краткое содержание вопросов:

1. Принципы нормирования освещенности

Целью нормирования освещения является создание таких норм его, которые обеспечивали бы надлежащий уровень видимости и наибольшую работоспособность зрения при длительной работе и минимальном его утомлении. На основании рассмотренных выше условий видимости в зависимости от качественных и количественных характеристик освещения представляется возможным определить следующие основные гигиенические требования к освещению: достаточность уровня освещенности или яркости фона; равномерность распределения яркости в поле зрения; ограничение слепящего действия от источников света; устранение резких и глубоких теней; приближение спектра излучения искусственных источников к спектру дневного света. Для зрительных работ различной точности и ответственности необходимо нормировать различные уровни освещенности. Чем меньше угловые размеры объектов, а также контраст объекта с фоном и коэффициент отражения освещаемой поверхности, тем выше должен быть уровень нормируемой освещенности. Основная задача при определении уровня освещенности — установить нормируемую величину, определяемую характеристикой объекта различения и фона и рядом дополнительных показателей: сложностью и продолжительностью зрительной работы; санитарными требованиями; требованиями безопасности работы и передвижения. При нормировании устанавливаются минимальные гигиенические величины освещенности. Снижение их наносит ущерб работоспособности и вызывает повышенное утомление зрения. Устранение и ограничение слепящего действия источников света и отражающих поверхностей предусмотрены

регламентацией минимально допустимых высот подвеса светильников (не ниже 2,8 м от пола) и предельно допустимых яркостей светящихся поверхностей светильников (от 2000 до 5000 нт). Рядом дополнительных мероприятий — матовой окраской поверхностей и оборудования, устраниением из поля зрения глянцевых и полированных предметов — достигается ослабление отраженной блескости.

2. Выбор светильников и расчет их размещения

Осветительные приборы могут быть ближнего действия (до 20 - 30 м) - светильники и дальнего - прожекторы.

Факторы, определяющие выбор светильников

Выбранные светильники должны быть расположены и установлены таким образом, чтобы обеспечивалось:

- а) безопасность и удобный доступ к светильникам для обслуживания;
- б) создание нормированной освещенности наиболее экономичным путем;
- в) соблюдение требований к качеству освещения (равномерность освещения, направление света, ограничение вредных факторов: теней, пульсаций освещенности, прямой и отраженной блескости);
- г) наименьшая протяженность и удобство монтажа групповой сети;
- д) надежность крепления светильников.

Основными факторами, определяющими выбор светильников являются:

а) условия окружающей среды (наличие пыли, влаги, химической агрессивности, пожароопасных и взрывоопасных зон);

б) строительная характеристика помещения (перепланировка жилых помещений, в том числе высота, наличие ферм, технологических мостиков, размеры строительного модуля, отражающие свойства стен, потолка, пола и рабочих поверхностей);

в) требования к качеству освещения.

Выбор конкретного типа светильника осуществляется по конструктивному исполнению, светораспределению и ограничению слепящего действия, экономическим соображениям.

Выбор светильников по их светотехническим параметрам

Правильный выбор светильника по светораспределению обуславливает экономичное использование светового потока источника света, приводит к снижению установленной мощности светильниковой установки. При равных условиях предпочтительнее выбирать светильники с более высоким КПД, несмотря на их более высокую стоимость. Эти дополнительные затраты окупаются за счет экономии электроэнергии. В производственных помещениях с низкими коэффициентами отражения стен, потолков целесообразно применение светильников прямого света класса П со светораспределением типа К (концентрированная) при высоких потолках (более 6-8 м), с меньшей высотой потолков — со светораспределением типа Д (косинусная), реже Г (глубокая). С увеличением высоты помещения применяемый светильник должен иметь большую степень концентрации светового потока (К, Г) и наоборот, в низких помещениях рекомендуется использовать светильники с более широким светораспределением (Д, Г). При высоких отражающих свойствах стен и потолков производственных помещений (светлые потолки и стены) целесообразно применение светильников преимущественно прямого света класса Н. При высоких отражающих свойствах пола или рабочих поверхностей преимущество получают светильники класса П, поскольку в этом случае за счет отражения в верхнюю полусферу попадает достаточно светового потока для создания приемлемого зрительного комфорта. Светильники преимущественно прямого света класс П и рассеянного света класса Р с кривыми светораспределения Д (косинусная) и Л (полуширокая) целесообразно применять для освещения административных, учебных помещений, лабораторий и т.п. Светильники классов В (преимущественно отраженного света) и О (отраженного света) применяют для создания архитектурного освещения

производственных помещений, гражданских зданий. Для наружного освещения – светильники с кривой силы света Ш (широкая).

Учет при выборе светильников слепящего их действия осуществляется по показателю ослепленности, который нормируется и сравнивается с фактическим показателем ослепленности. На практике при проектировании осветительных установок в связи с трудностью расчета этого показателя эта характеристика учитывается косвенно минимально допустимой высотой подвеса светильников.

3. Методы светотехнических расчетов осветительных установок

В практике светотехнических расчетов наиболее широко применяют точечный метод, метод коэффициента использования светового потока и метод удельной мощности.

Точечный метод – даёт возможность определить световой поток ламп, необходимый для создания заданной освещённости в любой точке произвольного расположения плоскости.

Метод применяется при расчёте:

- 1) общего локализованного освещения
- 2) местного освещения
- 3) освещение негоризонтальной плоскости
- 4) наружного освещения

Сущность метода – потребный световой поток осветительной установки определяет исходя из условий, что в любой точке освещённой поверхности освещения не должно быть меньше нормированного. На плане помещения намечаются контрольные точки, освещение которых кажется наименьшим, и вычисляется освещенность в этих точках. Выбираем точку с наименьшей освещенностью и принимаем ее за расчётную.

Выбирают коэффициент запаса и коэффициент добавочной освещенности. По расчётной формуле вычисляют значение требующего светового потока лампы для светильника. По найденному световому потоку, пользуясь справочными таблицами, определяют мощность лампы.

Метод коэффициента использования светового потока – применим при расчёте общей равномерной освещённости горизонтальной поверхности. Порядок расчета:

- 1) определяют применимость метода;
- 2) выбирают тип источника света и тип светильника;
- 3) определяет уровень нормируемой освещенности;
- 4) определяет коэффициент отражения освещаемых поверхностей;
- 5) определяет индекс помещения;
- 6) коэффициент использования светового потока $\eta_i = \Phi_i / \Phi_{oy}$
- 7) коэффициент запаса и коэффициент минимальной освещённости
- 8) определяют световой поток осветительной установки по расчётной формуле
- 9) подбирают по таблице ближнюю стандартную лампу. Если световой поток стандартной лампы отличается на $-10\% \dots +20\%$, то суммарную мощность светильников, выбирают лампу с большим световым потоком, и решают относительно числа N светильников.

Для упрощения пользуются справочными кривыми пространственных (семейство кривых является геометрическим местом точек, имеют равную горизонтальную освещённость).

Метод удельной мощности – применяют для расчета мощности осветительных установок при общем равномерном освещении горизонтальных поверхностей. Выбирают источник света, тип светильника и размещают их на плане, определяют нормированную освещенность, по справочным данным – удельную мощность, и находят мощность осветительной установки или мощность одной лампы и по справочным данным подбирают ближайшую стандартную лампу. По мощности стандартной лампы окончательно рассчитывают мощность всей осветительной установки.

Метод удельной мощности по сравнению с методом коэффициента использования светового потока дает погрешность расчета до +/- 20 %, что допустимо при определении мощности всей осветительной установки.

4.Электротехническая часть осветительных установок

В электротехническом расчете осуществляют выбор напряжения и схемы питания, марки кабелей и способы прокладывания электрической сети, расчет и проверку сечения кабелей, защиты сети от аварийных режимов, определяют мероприятия по повышению коэффициента мощности, меры защиты от поражения электрическим током. Электрическая часть заканчивается составлением принципиальной схемы электрической сети.

Электротехнический расчет осветительных установок включает в себя решение следующих основных вопросов:

- а) выбор схемы питания осветительной установки и определение нагрузок;
- б) выбор типа и числа групповых щитков и определение мест их расположения;
- в) выбор трасс прокладки осветительной сети;
- г) выбор марки проводов и способов прокладки сети в зависимости от характеристики помещения;
- д) расчет электрической сети по величине допустимой потери напряжения с последующей проверкой выбранного сечения по току нагрузки и механической прочности;
- е) выбор аппаратуры для защиты осветительных сетей и управления ими.

10 % - у ламп 12 ... 36 В, считая от выводов низкого напряжения: понижающего трансформатора.

Выбор автоматических выключателей.

По номинальному напряжению $U_{na} \geq U_{n,сети}$

По номинальному току $I_{na} \geq I_{расч}$

Для осветительных проводок с лампами накаливания расчетный ток определяют:

$$\text{Для однофазной линии: } I_p = \frac{P_p}{U_\phi}$$

Если к осветительной проводке присоединены светильники с люминесцентными лампами, то расчетный ток определяют по формулам:

$$\text{Для однофазной линии: } I_p = \frac{1,25P_p}{U_\phi \cos \varphi}$$

По номинальному току теплового расцепителя $I_{up} \geq K_{up} \cdot I_{раб}$

где K_{up} – коэффициент надежности срабатывания теплового расцепителя, $K_{up}=1,1 \dots 1,3$;

$I_{раб}$ – рабочий ток

$$I_{раб} = K_3 * I_{расч}$$

K_3 – коэффициент загрузки (для осветительной сети $K_3=1$)

Выбор сечение проводов и кабелей проводят исходя из двух условий:

- по условию нагрева длительным расчетным током:

$$I_{don} \geq I_p K_3$$

- по условию соответствия аппаратуры защиты:

$$I_{don} \geq K_3 I_3$$

Выбранное сечение провода проверяют на потери напряжения. Снижение напряжения по отношению к номинальному у наиболее удаленных ламп не должно превышать 2,5%. Расчетная потеря напряжения:

$$\Delta U_p = \frac{M}{C \cdot S}$$

где M – момент нагрузки, кВт·м;

C – расчетный коэффициент, учитывающий величину напряжения питания, материал проводника и систему сети;

S – сечение провода, мм^2 .

Согласно требованиям ПУЭ ток защитных аппаратов на групповых линиях не должен превышать 25 А, а при газоразрядных лампах 125 Вт и выше и ламп накаливания 500 Вт и выше - 63 А. При этом число ламп на группу не должно превышать 20, а при питании люминесцентных светильников на 2 и более лампы - не более 50.

1. 7 Лекция №8 (2 часа).

Тема: «Классификация облучательных установок и общие принципы их расчета»

1.7.1 Вопросы лекции:

1. Классификация облучательных установок
2. Использование облучательных установок в сельскохозяйственном производстве
3. Установки ультрафиолетового, инфракрасного облучения
4. Принципы расчета облучательных установок

1.7.2 Краткое содержание вопросов:

1. Классификация облучательных установок

Облучение сельскохозяйственных объектов: рассады и плодоносящих растений, животных и птицы при обогреве и ультрафиолетовом облучении, при дезинфекции и дезинсекции особенно необходимо в осенне-зимне-весенний период, который выполняет продление светового дня. Основной параметр источника излучения - фитопоток. Уровень облучаемости требуется для нормального развития и формирования, рассматриваемых в световых величинах 6-8тысяч лк. Облучательными установками является любой источник излучения с длиной волны 300-750нм, могут быть стандартные и передвижные, подвижные.

Специальные требования к ОБУ, установленные в теплицах:

- 1) спектральный состав энергии излучения должен быть благоприятным для осуществления процесса фотосинтеза и не создать излучений, оказывающие угнетённые действия на развитие растений.
- 2) облучение должно распространяться равномерно по поверхности растений.
- 3) Установки не должны перегревать растения.

Источники ИК излучения, используемые в сельскохозяйственном производстве, делятся на «светлые» и «тёмные».

«Светлые» - конструкция и принцип действия как у ЛН, однако тела накала ниже (увеличение ИК поток и уменьшение светового потока) $\lambda=1000-1400$ нм. Промышленность выполняет ИК зеркальные лампы ИКЗ 220-500, ИКЗК 220-250 ИК, кварцу – галогенные КГ 220-1000. ИКЗК – колба покрыта красным термостойким лаком. Срок службы за счёт уменьшения светового излучения 5000л.

«Тёмные» источники – металлическая трубка, в которой помещён нагреватель в виде спирали ($\lambda = 1400-10000$ нм). Трубчатые электронагреватели (ТЭИ). $P=400-800$ Вт, $I=220$ В, $t=10$ 000 г.

Облучательные светотехнические установки

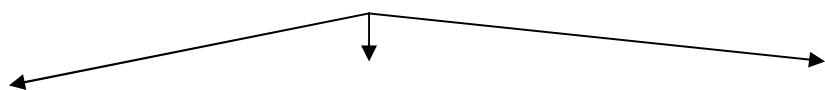




Рисунок 8. Облучательные светотехнические установки

В сельскохозяйственном производстве применяют ОБУ для УФ и ИК-облучения, а также местного обогрева.

УФ излучение оказывает шокирующее терапевтическое действие.

УФ-В-вызывает покраснение облучением кожи, антирахитным действием, образуется витамин Д -регулирует обмен веществ.

УФ-С-оказывает бактерицидное действие.

УФ-А-оказывает положительное (наименьшее) терапевтическое действие.

Под действием УФ лучей увеличивается молочная, мясная, яичная, шерстяная продуктивность, усиливается производительная функция, устойчивость к заболеваниям.

В осенне-зимний период количество естественного УФ излучения сокращается. Восполняют ее в животных и в птицах, помещениях различными способами:

1. Добавление в кормовой рацион витаминных добавок.
2. УФ облучение кормов с целого обогащения их витамином Д.
3. УФ облучение непосредственно животных и птицы, испытывающих УФ недостаточность.

Доза облучения рекомендована основами биологических исследований, количество облучения, воздействия которого на объект вызывает требуемый элемент.

Количество эритемного облучения $A_e = E_e * t$

E_e – эритемная облученность

t – продолжительность облучения.

По основному назначению осветительные приборы делят на следующие группы:

- для функционального наружного освещения;
- для освещения производственных помещений;
- для освещения бытовых помещений;
- для декоративного наружного освещения;
- для внутреннего освещения транспорта;
- для освещения офисных, административных и других общественных помещений;
- для архитектурно-художественного освещения сооружений, памятников, зданий, фонтанов и т.п.;
- для освещения сельскохозяйственных помещений;
- для аварийного освещения.
- для освещения спортивных сооружений;

По классификации осветительных приборов по основному назначению определяется преимущественная область их использования. Однако такая классификация слишком условна, в виду того, что светильник может использоваться в различных ситуациях.

Так же осветительные приборы классифицируются по конструктивному исполнению

Так осветительные приборы делят на следующие группы (ГОСТ 17677):

- настенные (Б);

- напольные (Т);
- встраиваемые (В);
- настольные (Н);
- консольные (К);
- потолочные (П);
- переносные (Р);
- подвесные (С);
- венчающие (Т);

2.Использование облучательных установок в сельскохозяйственном производстве

При содержании животных и птицы в искусственных условиях, световое излучение также играет важную роль в их развитии и жизнедеятельности. Основные параметры оптического излучения, оказывающие действие на животных, являются периодичность светового дня, уровень освещённости и спектральный состав. В животноводческих помещениях нормированная освещённость должна быть обеспечена на протяжении светового дня длительностью 10-16 часов.

Предусматривают 2 вида освещения: рабочее (технологическое) и дежурное. Рабочее может быть 2-х режимным – создающее повышенную освещённость при дойке, кормлении, уборке помещений. Дежурное помещение 10 % от рабочего – в помещениях содержание животных, 15% - родильные отделения. Выбор типа светильников определяется их светораспределением, конструктивными особенностями освещённого помещения, характеристиками среды. Светильники располагают рядами параллельно стенам со световыми проёмами.

3.Установки ультрафиолетового, инфракрасного облучения

Источники УФ излучения ДРТ (230,400, 1000 Вт), эритемные трубчатые НД ЛЭ (Р=15; 30 Вт), ЛЭР (40Вт), ДБ (30,60 Вт).

Бактерицидный облучатель ОБУ-1-30 для создания стерильной среды в животноводческих и молочных помещениях ИО 5-Д5-30.

УФ облучатель ЭО-1-30 – облучение поросят, телят, кур, коров, птиц при накопленнос соединении. Источник света – одна витальная лампа АЭ-30.

Светильник- облучатель ОЭСП 02-2*40: для освещения помещений с одновременным облучением животных и птиц. Источники света ЛБР-40, ЛЭР-40.

Эритемно – осветительная установка КСО-3 – для комбинированного УФ облучения ионизации, бактерицидного обеззараживания и освещения.

Трёхламповая (эрitemная, осветительная, бактерицидная).

Механизированная установка УО-4М для облучения КРС на откорм.

Состоит из приводной станции 4 облучателя (ДРТ-4 ОС) устройство для подвески, перемещения, питания.

Облучатель ССП 01-250-001-УЗ для ИК облучения, обогрева (ИКЗК -220-250).

Облучатель ОРИ-1 для обогрева облучения животных (ИКЗ -220-500).

Установка ИКУФ-1 М для ИК обогрева и УФ- облучения, коробчатая конструкция на обоих концах размещены ИКЗК-220-250 и УФ лампа ЛЭ-15 называется лампой установки – отражатель.

Комбинированная установка ЭРИКО-1-для ИК, УФ-облучения и освещения. Облучатель ОТ-440-для облучения рассады, тип лампы ДРЛФ-400. Облучатель ССП-0,3-750-для дополнительного облучения растений, ДРВ-750.

4.Принципы расчета облучательных установок

Основная функция ОБУ-передать заданное количество лучистой энергии приемнику. Для каждой ОБУ доза облучения лимитируют нормированной дозой или нормой облучения (биодоза).

Принимая во внимание весьма малые значения коэффициентов отражения эмали в УФ области спектра, эритемные освещенности от таких светильников рассчитываются, как от голых ламп. Относительные кривые распределения эритемной силы света лампы выражаются также как и кривые для обычных люминесцентных ламп уравнениями:

$I\alpha = Io \cos \alpha$ – для продольной плоскости,

$Io = \text{const}$ – для поперечной плоскости.

Искомая эритемная освещенность, создаваемая светильниками с эмалированными отражателями, определяется по формуле

$$Eg = \frac{m \cdot Io}{100 \cdot h^2 \cdot k} \cdot \sum \varepsilon \quad (1)$$

где $m = 0,8$ – поправочный коэффициент, учитывающий экранирующее действие решетки,

Io – максимальная эритемная сила света мэр/ср,

k – коэффициент запаса $k = 1,5$,

h – расчетная высота $h = 2,1$ м,

ε – относительная освещенность.

Исходя из полученных результатов, и нормируемой дозы за сутки выбираем продолжительность работы ОБУ – 5 часов в сутки.

Установленная мощность ОБУ.

$$(\text{Руст})\text{оу} = n \cdot P_{\text{л}} \cdot 1,25 = 4 \cdot 30 \cdot 1,25 = 150 \text{ Вт}$$

Удельная мощность ОБУ.

$$\omega = \frac{P_{\text{уст}}}{A} = \frac{150}{31,6} = 4,7 \text{ Вт/м}^2$$

1.8 Лекция №9 (2 часа).

Тема: «Проблемы энергосбережения и экологии»

1.8.1 Вопросы лекции:

- 1 Эксплуатация и контроль качества работы светотехнического оборудования
- 2 Средства и методы снижения энергоемкости осветительных и облучательных установок
- 3 Охрана окружающей среды

1.8.2 Краткое содержание вопросов:

1 Эксплуатация и контроль качества работы светотехнического оборудования

Оптическое излучение является разновидностью электромагнитных колебаний. Ультрафиолетовое (УФ) излучение занимает участок спектра от 1 нм до 0,4 мкм и делится на области УФ-А (0,315 ..,0,4 мкм), УФ-В (0,28...0,315 мкм) и УФ-С (1 нм.. .0,28 мкм). Эти области принято называть соответственно мутагенной, терапевтической или витальной (эритемной) и бактерицидной. Небольшой участок в средней части спектра занимает видимое излучение с длинами волн 0,38..0,76 мкм.

Основную часть оптической области занимает инфракрасное (ИК) излучение. Весь диапазон инфракрасного излучения принято разделять на три области: ИК-А (0,76....1,5 мкм), ИК-В (1,5..3мкм) и ИК-С (3 мкм...1мм).

По своей природе каждая часть оптического спектра по - разному воздействует на живые организмы.

Инфракрасный обогрев сельскохозяйственных животных и птицы в начальный период выращивания повышает сохранность и продуктивность молодняка. Действие излучения основывается на поглощательной способности кожи животных, зависящего от влажности, густоты шерстного и пухо- перьевого покрова и пигментации. Ультрафиолетовое излучение - необходимый фактор внешней среды. Поэтому при содержании животных и птицы в закрытых помещениях у них возникает «ультрафиолетовое голодание», которое ослабляет иммунобиологические свойства организма и вызывает авитаминоз, функциональные расстройства нервной системы и другие отрицательные явления.

Кроме этого УФ излучение образует в воздухе озон, окислы азота, аэроионы положительно влияющие на организм животных и птицы. Доказано, что наиболее перспективно использование ИК обогрева в комплексе с УФ облучением. Их совместное воздействие позволяет получить результаты, недостижимые при воздействии каждого фактора в отдельности. Внедрение установок ИК обогрева и УФ облучения позволяют увеличить сохранность молодняка до 98% и получить привес до 20%, позволит снизить отход молодняка на 10... 15%.

2 Средства и методы снижения энергоемкости осветительных и облучательных установок

Для питания ОБУ используют системы напряжения 380/220 В или системы 660/380 В с нулевым проводом. Общая схема питания осуществляют от внешнего трансформатора.

Если облучаемое помещение не взрывоопасно, то выбирают алюминиевые провода с ПВХ изоляцией марки АПВ. Прокладка проводов в помещении осуществляется над уровнем навесного потолка в лотке. Для ввода в здание используем кабель с алюминиевыми жилами с ПВХ оболочкой и ПВХ изоляцией марки АВВГБ. Кабель прокладывается в земле.

Кроме выключателей установленных на щитке (централизованно), в качестве аппаратов управления выбирают еще однополюсные выключатели, устанавливаемые конкретно в облучаемом помещении (местное управление).

Потери напряжения во всей сети равны $\Delta U = 2.5 \%$

Рассчитывают моменты каждого участка сети

$$M_{AB} = P \cdot l$$

3 Охрана окружающей среды

Расчет сечений производится по формуле

где $\sum M_i$ - сумма моментов всех следующих за i – м участков, которые имеют такое же число проводов.

$\sum (\alpha m)$ - сумма моментов всех следующих за i – м участков, которые имеют другое число проводов.

α - коэффициент приведения моментов (для линии 3ф + 0 и ответвления 1ф + 0 $\alpha = 1.85$).

C – коэффициент, зависящий от материала провода и числа проводов на участке (для А1 провода $C4 = 46$, $C2 = 7.7$)

Округляют полученное сечение до ближайшего по ГОСТу , рассчитывают потери на участках с данным сечением.

С точки зрения защиты сети выбор таких сечений не целесообразен, поэтому увеличиваем сечения до ближайших по ГОСТу:

Проверка сети по току нагрева и механической прочности.

Все проводники электрической сети должны удовлетворять соотношению:

$I_h > I_p$,

где I_p – рабочий ток в линии,

I_h – ток нагрева (определяется по таблице из [4])

Для однофазной сети:

$$I_p = \frac{P \cdot 10^3}{U_\phi \cdot \cos(\varphi)}$$

Для трехфазной сети:

$$I_p = \frac{P \cdot 10^3}{3 \cdot U_\phi \cdot \cos(\varphi)}$$

То есть по току нагрева сеть удовлетворяет требованиям ГОСТа.

По таблице 3-13 [4] видно, что по механической прочности наименьшее сечение провода должно составлять 2.5 мм^2 , что соответствует расчетным значениям.

1.9 Лекция №10 (2 часа).

Тема: ««Электротехнология в сельскохозяйственном производстве»

1.9.1 Вопросы лекции:

- 1 Современный уровень развития электротехнологии в сельскохозяйственном производстве.
- 2 Основные проблемы и перспективы развития в условиях дефицита энергетических и материальных ресурсов.
- 3 Классификация электротехнологических процессов сельскохозяйственного производства.
- 4 Особенности сельскохозяйственных предприятий

1.9.2 Краткое содержание вопросов:

1 Современный уровень развития электротехнологии в сельскохозяйственном производстве.

В настоящее время наблюдается глубочайший спад производства сельскохозяйственной продукции. Это положение вызвано как объективными, так и субъективными причинами. Высокая энергоемкость производства сельскохозяйственной продукции, как показывает анализ таблицы 1.1, в 2-5 раз выше, чем в странах ЕЭС, низкая энерго- и электропотребность труда в сельском хозяйстве, а также низкое годовое потребление электрической энергии в расчете на одного сельского жителя - вот основные энергетические показатели сельскохозяйственного производства в настоящее время. Однако для выхода из кризисного состояния сельского хозяйства разработаны и начинают, правда, очень низкими темпами и со скучным финансированием, реализовываться программы фундаментальных исследований, государственные научно-технические программы, Федеральная государственная программа развития АПК. Эти программы наряду с развитием сельскохозяйственного производства предусматривают создание и освоение энергосберегающих технологий производства сельскохозяйственной продукции, новых электрофизических методов воздействия на биологические объекты и технических средств комплексной механизации, электрификации, теплофикации, электромеханизации процессов производства, первичной обработки и хранения сельскохозяйственной продукции.

Несбалансированность молочного производства, дефицит ресурсов, отсутствие экономической заинтересованности производителей сельскохозяйственной продукции, научноемкость высокопродуктивного молочного и мясного животноводства приводят к

сокращению поголовья, количества животноводческих ферм и, соответственно, к значительному снижению производства мяса и молока.

Электротехнология, как современное направление в производстве, основанное на непосредственном воздействии электромагнитного поля на обрабатываемый материал, находит все большее применение в сельском хозяйстве.

Весьма перспективно использование в сельскохозяйственной электротехнологии токов средней, высокой и сверхвысокой частот. Сказанное особенно относится к ВЧ и СВЧ-энергии. Преимуществом электромагнитного поля этих частот является возможность сквозного прогрева на определенную глубину практически без перепада температуры. Отсутствие непосредственного контакта токоподводящих устройств с обрабатываемым материалом делает данный вид энергии особенно перспективным для пищевой и перерабатывающей электротехнологии. Токи средней и высокой частоты используются для обработки молока, размораживания плодов, дефростации, варки, обеззараживания, сушки. Токи СВЧ нашли применение в процессах сушки, пастеризации и стерилизации, приготовления пищи, дезинфекции и дезинсекции различных материалов, предпосевной обработки семян и пр. Приведенный перечень примеров применения электрической энергии в технологических целях далеко не охватывает весь спектр возможного использования, однако в достаточной мере свидетельствует о тенденции проникновения электротехнологии в сельскохозяйственные процессы и другие сферы производства.

2. Основные проблемы и перспективы развития в условиях дефицита энергетических и материальных ресурсов.

Агропромышленный сектор представляет собой крупного потребителя тепловой энергии, основная часть которой тратится на различные технологические нужды. Низкотемпературный нагрев в сельском хозяйстве является наиболее перспективной отраслью электротермии. Однако проблема использования электроэнергии для

теплофикации технологических процессов в сельскохозяйственном производстве и быту остается одной из наиболее актуальных производственных задач. Рост производства сельхозпродукции сопровождается возрастанием энергоемкости технологий её производства. Так, прирост сельскохозяйственной продукции на 1% требует увеличения расхода энергоресурсов на 2...3%.

На ферме с поголовьем 1200 коров установленная мощность технологического оборудования составляла в 80-х годах 21,3%, централизованное отопление и горячее водоснабжение - 28%, электрокалориферы в системах вентиляции - 46,4%, то есть большая часть энергобаланса приходилась на тепловые процессы.

По данным ВИЭСХ в общем балансе энергии, затрачиваемой на получение сельскохозяйственной продукции в расчёте на одного человека, доля тепловой энергии составляет до 90%. Из общей потребности сельского хозяйства страны в различных видах энергии на долю тепловой приходится порядка 65%.

3. Классификация электротехнологических процессов сельскохозяйственного производства.

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 энергии. 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.

Рассмотрим классификацию электротехнологических процессов с точки зрения действующего фактора (электрическое поле в качестве энергетического воздействия), базирующейся 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. Основополагающее 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.

4 Особенности сельскохозяйственных предприятий

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

- низкая плотность тепловых нагрузок и большая рассредоточенность потребителей, что обуславливает широкое распространение децентрализованных систем теплоснабжения от топливных котельных, обладающих целым рядом известных недостатков (большие транспортные расходы на доставку топлива, потери топлива при транспортировке и хранении, значительные затраты ручного труда на обслуживание большого количества маломощных топливных установок по причине сложности автоматизации, “перетопы” в связи с недостаточной гибкостью топливных установок и неполным сгоранием топлива из-за плохого состояния оборудования и нередким применением низкокалорийного топлива (бурый уголь, дрова и т.п.), что снижает КПД топливных установок до 0,08...0,15 вместо расчетных – 0,35...0,5;
- большая неравномерность нагрузки и малый коэффициент использования максимума, что сопровождается перерасходом топлива в периоды провалов нагрузки;
- для нормальной жизнедеятельности животных, птиц и растений необходимы оптимальные параметры микроклимата, не допускающие резких колебаний.

Электротермические установки применяют в тех случаях, если:

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

Вообще, масштабы использования электрической энергии для теплоснабжения меняются во времени. Для каждого этапа развития науки и техники, электротехнической промышленности, энерго- и электроснабжения существует наиболее эффективный оптимальный уровень электрификации тепловых процессов в сельском хозяйстве. Данный уровень для конкретного отрезка времени определяется на основании технико-экономического расчета с учетом сложившихся цен.

1.10 Лекция №11 (2 часа).

Тема: «Энергетические основы электротехнологии»

1.10.1 Вопросы лекции:

1 Энергетические основы и методы электротехнологий.

2 Закономерности преобразования энергии электромагнитного поля в другие виды энергии.

3 Взаимодействие биологических объектов и электромагнитного поля

1.10.2 Краткое содержание вопросов:

1 Энергетические основы и методы электротехнологий.

Реализацию большинства процессов электротехнологии связывают прежде всего с проявлением электромагнитного поля. Распространение электромагнитного поля сопровождается движением электромагнитной энергии, представляющей собой сумму энергий электрического или магнитного полей влечет за собой превращение электрической энергии в магнитную или магнитной в электрическую.

Электромагнитное поле проявляется в различных формах: электрического или магнитного поля, электромагнитных волн, электрического тока и др. Каждая из этих форм несет соответствующую ей энергию: электростатическую, магнитную, электромагнитную, электрическую. Наибольшее практическое применение получила электрическая энергия из-за относительной простоты ее производства, передачи и преобразования в другие электрические и неэлектрические виды.

Энергия электромагнитного поля обладает способностью поглощаться в различных средах и превращаться в тепловую, механическую, химическую или биологическую энергию. Воздействие их на предметы труда в сельскохозяйственных процессах и определяет эффективность электротехнологии.

2 Закономерности преобразования энергии электромагнитного поля в другие виды энергии.

Превращение энергии электромагнитного поля и другие виды происходит при ее поглощении различными средами. Интенсивность поглощения зависит от электрофизических свойств сред и частоты поля. Необходимое условие поглощения – это наличие в веществе тела свободных или связанных или связанных элементарных электрических зарядов, имеющих собственную частоту колебаний, мало отличающуюся от частоты колебаний поля. Поглощение энергии поля будет тем больше, чем ближе собственная частота колебаний частиц тела к частоте колебаний поля.

В проводниках при низких частотах поля приходят в движение свободные электроны и ионы, в результате образуется ток электронной или ионной проводимости. Связанные заряды металлов слабо реагируют на низкие частоты, а электромагнитные волны частотой выше 1МГц отражаются металлическими телами. В диэлектриках приемниками электромагнитной энергии на высоких частотах становятся связанные заряды, образуя токи электрического смещения и т.д.

Превращение поглощенной электромагнитной энергии в другие виды происходит в результате взаимодействий электрических и магнитных полей с элементарными частицами тел, с наведенными в средах токами, с электрически заряженными телами и т.д.

Таким образом, можно сказать, что результат всех указанных взаимодействий – это различные технологические проявления или действия поля и тока. Основные из них: тепловое, магнитное, механическое, химическое, биологическое действия тока.

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

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

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

3) Электрическое поле в диэлектрике, находящемся в конденсаторе, вызывает движение связанных зарядов, которые под влиянием электрического поля смещаются один относительно другого только в некоторых пределах. Смещение происходит с «трением», что приводит к выделению теплоты. С точки зрения термодинамики, теплота – это мера внутренней энергии системы, связанная с молекулярным (тепловым) движением, не зависящая от механического движения тел или их взаимного расположения. Изменение внутренней энергии происходит под действием внешних факторов и может осуществляться либо затратой работы, либо путём теплообмена. Преобразование электрической энергии в тепловую сопровождается затратой работы (энергии) электромагнитного поля.

Существуют два термодинамических обратных пути или две схемы преобразования электрической энергии в тепловую: схема прямого преобразования и схема косвенного преобразования.

Прямое преобразование. Принцип прямого преобразования энергии электромагнитного поля в тепловую состоит в том, что энергия поля тем или иным способом передаётся (сообщается) атомам или молекулам нагреваемой среды и расходуется на повышение интенсивности их теплового движения.

Косвенное преобразование. Принцип косвенного преобразования состоит в том, что электрическая энергия в тепловую энергию не превращается, а используется лишь для переноса теплоты от одной среды (источника теплоты) к другой (потребителю теплоты), причём температура источника теплоты может быть ниже температуры приёмника.

3 Взаимодействие биологических объектов и электромагнитного поля

Влияние физических, особенно электромагнитных, полей на биосферу разнообразно и многогранно. В результате антропогенной деятельности увеличивается общий электромагнитный фон окружающей природной среды не только в количественном, но и качественном отношении. В результате широкого использования в современном производстве и технологии ЭМП, и других физических полей появились источники техногенного происхождения, отличающиеся по своим характеристикам от традиционных источников, к которым живые организмы биосферы адаптировались в процессе длительной эволюции. Например, миллиметровые волны, некоторые участки радиодиапазона, УФ, рентгеновские излучения, инфразвуковые и ультразвуковые колебания, сильные электростатические и магнитные поля и т.д. в существенной степени изменяют естественный фон. При этом возможно не простое наложение техногенных физических полей на естественный фон, а происходит их более сложное взаимодействие друг с другом, что существенно может влиять на устойчивость экосистем.

Процессы взаимодействия электромагнитных полей с живой клеткой, живым организмом довольно сложные и в настоящее время в полной мере не исследованы. Взаимодействия электромагнитных полей с биологическим объектом определяется:

- параметрами излучения (частотой или длиной волны, когерентностью колебания, скоростью распространения, поляризацией волны);
- физическими и биохимическими свойствами биологического объекта, как среда распространения электромагнитных полей (диэлектрической проницаемостью, электрической проводимостью, длиной электромагнитной волны в ткани, глубиной проникновения, коэффициентом отражения от границы воздух - ткань).

Живые организмы, состоящие из множества клеток, имеющих, в свою очередь, огромное число молекул, атомов, заряженных частиц, сами являются источниками электромагнитных колебаний в широком диапазоне частот – от ультравысоких до инфразвуковых. Эти колебания могут иметь случайный и периодический характер.

Эволюция биообъектов происходила под действием внешних (экзогенных) и внутренних (эндогенных) электромагнитных полей. В процессе жизнедеятельности организмов возникают волновые и колебательные процессы, отображающие, например, электроэнцефалограммой, обусловленной электрической активностью мозга, электрокардиограммой, характеризующей работу сердца и т.п.

Чувствительность биологических систем к внешним электромагнитным полям зависит от диапазона частот и интенсивности излучений. Влияние электромагнитных полей на человеческий организм может быть как полезным (лечебным), так и вредным. Лечебное воздействие электромагнитных полей используется в гипертермии, лазерной хирургии, физиотерапии, диатермии и т.д. Полезное действие электромагнитных полей используется в медицинской диагностике. Исключительный интерес представляют миллиметровые волны с точки зрения воздействия на биологические объекты, представляющие собой термодинамически неравновесные системы (диссипативные структуры).

В основе биологического действия УФ излучения лежат фотохимические процессы молекул биополимеров, которые возникают в организмах при поглощении верхними слоями тканей растений или кожи животных и человека (11-13) падающего излучения.

В зависимости от интенсивности и длины волны УФ излучение действует двояко на живые организмы. С одной стороны, малые дозы УФ облучения оказывают благотворное влияние на человека и животных, способствуя образованию витаминов группы D. С другой стороны, УФ облучение оказывает вредное (губительное) действие на живые организмы. Установить границу дозволенного и губительного в ряде случаев бывает очень сложно.

1.11 Лекция №12 (2 часа).

Тема: «Тепловой расчет электротермического оборудования»

1.11.1 Вопросы лекции:

1. Способы преобразования электрической энергии в тепловую.
2. Классификация электротермических установок.
3. Задачи и содержание проектирования электротермических установок.
4. Тепловой и электротехнический расчеты электротермических устройств.

1.11.2 Краткое содержание вопросов:

1. Способы преобразования электрической энергии в тепловую.

В энергопотреблении сельскохозяйственного производства тепловая энергия занимает более половины общего баланса. Это объясняется тем, что все основные технологические процессы в сельском хозяйстве связаны с использованием тепловой энергии.

Электронагрев применяют в сельскохозяйственном производстве для получения различных видов тепловой энергии, используемой в технологических целях для нагрева всевозможных материалов, средств и объектов, в том числе биологических.

Существуют два термодинамических обратных способа или две схемы преобразования электрической энергии в тепловую: схема прямого преобразования и схема косвенного преобразования.

Прямое преобразование. Принцип прямого преобразования энергии электромагнитного поля в тепловую состоит в том, что энергия поля тем или иным способом передаётся (сообщается) атомам или молекулам нагреваемой среды и расходуется на повышение интенсивности их теплового движения.

Косвенное преобразование. Принцип косвенного преобразования состоит в том, что электрическая энергия в тепловую энергию не превращается, а используется лишь для переноса теплоты от одной среды (источника теплоты) к другой (потребителю).

теплоты), причём температура источника теплоты может быть ниже температуры приёмника.

Классификация ЭТУ по способу преобразования электрической энергии в тепловую: 1) нагрев сопротивлением прямой и косвенный; 2) нагрев электрической дугой; 3) нагрев в переменном магнитном поле – индукционный способ; 4) нагрев в переменном электрическом поле – диэлектрический способ; 5) нагрев электронным пучком; 6) нагрев квантами (инфракрасный, лазерный способы нагрева); 7) плазменный нагрев; 8) термоэлектрический нагрев.

2. Классификация электротермических установок.

Электротермические установки (ЭТУ) классифицируются по роду тока, частоте, способам теплопередачи, технологическому назначению, способу превращения электрической энергии в тепловую (табл. 2).

Существуют и другие способы нагрева, например, электронным пучком, инфракрасный и лазерный нагрев. Однако в таблице 2 представлены основные способы нагрева, широко использующиеся в агропромышленном производстве.

По особенностям нагрева различают ЭНУ прямого и косвенного нагрева. ЭНУ прямого нагрева преобразуют электрическую энергию в тепловую непосредственно в самом нагревательном веществе, ЭНУ косвенного нагрева – вне его, а теплота нагреваемому веществу передается теплопроводностью, конвекцией, излучением или промежуточным циркулирующим веществом. За счет меньших тепловых потерь ЭНУ прямого нагрева имеют большее значение теплового КПД, однако не для всех веществ они могут быть использованы с целью нагрева в отличие от более универсальных ЭНУ косвенного нагрева.

Таблица 2. Основные способы нагрева

Способ нагрева	Этапы преобразования электрической энергии в тепловую	Область применения и электротермическое оборудование
Сопротивлением (прямой и косвенный)	Электрическая энергия превращается в тепловую при пропускании тока через проводящие материалы	Нагрев металлов под ковку и термообработку: плавка металлов; нагрев привоздуха, воды, пищевых продуктов. Электрические печи сопротивления; электрокалориферные установки; электродные котлы и парогенераторы; электродные установки для термообработки кормов; электрические панели и коврики
Электрической дугой	Электрическая энергия превращается в тепловую в дуговом разряде	Плавка металлов; электросварка; нагрев газов, резка металлов. Электрические дуговые печи прямого и косвенного действия, плазменные дуговые установки
Индукционный (в переменном магнитном поле)	Электрическая энергия превращается в тепловую в проводящих материалах	Плавка металлов; нагрев металлов под термообработку и ковку; нагрев металлов для передачи теплоты жидкости магнитного поля, а затем газу. Индукционные плавильные печи; нагревательные индукционные установки, панели, водонагреватели

	в это поле	
Диэлектрический (в переменном электрическом поле)	Электрическая энергия превращается в под пластическую деформацию и энергию переменного электрического поля, а продукцию; предпосевная обработка затем в тепловую в ди-семян. электриках и полупроводниках	Нагрев диэлектриков и пластмасс энергия превращается в под пластическую деформацию и полимеризацию; сушка древесины и с.-х. электрического поля, а продукцию; предпосевная обработка затем в тепловую в ди-семян. электриках и полупроводниках

По характеру нагрева ЭНУ бывают периодического действия и непрерывного. В ЭНУ периодического действия последовательно чередуются операции загрузки нагреваемого материала, его нагрева и выгрузки. В ЭНУ непрерывного действия нагреваемый материал непрерывно проходит через установку и за время движения от входа до выхода нагревается от начальной до конечной температуры.

По режиму электропотребления различают ЭНУ, работающие по свободному графику и по принудительному. ЭНУ, работающие по режимному графику, оборудуют устройствами аккумулирования теплоты.

По температуре нагрева ЭНУ подразделяют на низкотемпературные (до 600 С) и высокотемпературные (свыше 1250 С). Среднетемпературные и высокотемпературные ЭНУ называют часто электротермическими установками (ЭТУ). В сельскохозяйственном производстве преимущественно используют низкотемпературные ЭНУ.

По технологическому использованию выделяют универсальные и специальные ЭНУ. Универсальные ЭНУ используют для различных технологических процессов, чаще всего это установки косвенного нагрева.

Специальные ЭНУ предназначены для конкретных технологических процессов (обогрев парников, пастеризация молока, сушка зерна и т. п.) имеют соответствующее исполнение.

Классифицируют электротермические установки по частоте тока: 1) промышленной частоты (50 Гц); 2) повышенной частоты; 3) высокой частоты; 4) сверхвысокой частоты.

По виду нагрева электротермические установки можно разделить на 2 группы: 1) прямого нагрева; 2) косвенного нагрева.

Электротермические установки по режиму работы делят на 2 группы: 1) непрерывного действия; 2) периодического действия.

По рабочей температуре электротермические установки классифицируют на: 1) низкотемпературные (до 500...6000С); 2) среднетемпературные (до 12500С); 3) высокотемпературные (свыше 12500С).

Электротермические бывают напряжением: 1) до 1кВ; 2) выше 1кВ; 3) безопасного напряжения.

По технологическому назначению электротермические установки классифицируют на: 1) универсальные; 2) специальные.

3. Задачи и содержание проектирования электротермических установок.

ЭТУ предназначены для выполнения определённых технологических операций и, следовательно, при их проектировании определяющими являются именно технологические требования.

Задача такого проектирования – создание действующей ЭТУ, которая обеспечивает технологический процесс с максимальным использованием своих возможностей и минимальными приведёнными затратами, создаёт условия для наибольшей производительности труда обслуживающего персонала, соответствует правилам техники электробезопасности, правилам устройства и эксплуатации электроустановок.

Приступая к проектированию ЭТУ, необходимо иметь, прежде всего, техническое задание, совместно разработанное и согласованное с технологами и инженерами. В техническом задании оговаривается назначение электротермической установки, её производительность, температурные режимы, скорость нагрева, условия эксплуатации, требования техники безопасности, особенности окружающей среды, условия электроснабжения, требования к автоматизации, пределы регулирования мощности или производительности.

Различают поверочный и конструктивный (проектный или полный) расчёт электротермических установок.

Поверочный расчёт выполняют для определения паспортных данных электротермической установки при их отсутствии или для установления возможности использования готовой установки в конкретных, отличающихся от паспортных, условиях эксплуатации.

Полный расчёт электротермической установки включает в себя тепловой, электрический, аэродинамический, гидравлический и механический.

Аэродинамический расчёт связан с нахождением расхода воздуха (газа), проходящего через установку, выбором вентиляторов, определением сечения воздуховодов и размеров распределительных решёток. От правильности решения этого вопроса зависит теплоотдача нагревательных элементов, а, следовательно, срок службы, тепловой и электрической КПД.

Гидравлический расчёт выполняют для определения расхода жидкости через установку, выбора насоса и сечения трубопровода.

Механический расчёт проводят с целью определения геометрических размеров установки, массы, материоёмкости и её механической прочности

4. Тепловой и электротехнический расчёты электротермических устройств.

Тепловой расчёт проводят с целью определения технических данных установок (мощности, температуры поверхности нагревательных элементов, интенсивности теплоотдачи, параметров тепловой изоляции, теплового КПД), обеспечивающих технологические требования, которые определяют по единой для всех электротермических установок методике.

Электрический расчёт тесно связан с тепловым и состоит в выборе напряжения питания, рода тока, частоты, в определении геометрических размеров нагревателя, электрического КПД и коэффициента мощности, разработке схемы управления и способа регулирования мощности.

Основные параметры любой ЭНУ – тепловая мощность установки, род тока и напряжение питания, КПД и электрическая мощность установки, коэффициент мощности и массогабаритные показатели.

1.12 Лекция №13 (2 часа).

Тема: «Электрический нагрев сопротивлением, расчет мощности источников питания»

1.12.1 Вопросы лекции:

- 1 Способы электрического нагрева сопротивлением.
- 2 Электроконтактный нагрев.
- 3 Установки электроконтактного нагрева.
- 4 Электроконтактная сварка.
- 5 Электродный нагрев

1.12.2 Краткое содержание вопросов:

1. Способы электрического нагрева сопротивлением.

В электротермических процессах широкое распространение получил электрический нагрев сопротивлением, при котором электрическая энергия преобразуется в тепловую непосредственно в проводящем материале, являющемся элементом электрической цепи.

При подключении проводящего материала к источнику ЭДС в нем создаётся электрическое поле, под действием которого свободные заряды (ионы, электроны) начинают перемещаться. Столкнувшись с нейтральными атомами и молекулами, они сообщают им запас кинетической энергии, который расходуется на увеличение теплового движения частиц, что приводит к повышению температуры вещества.

В электротермических установок низкотемпературного нагрева (до 673...873 К) теплообмен происходит в основном за счёт теплопроводности и конвекции. Такие установки применяют для нагрева воздуха, воды, сушки с.х. материалов и других процессов.

Электротермические установки средне – и высокотемпературного нагрева используют для закалки, отжига, термической обработки металлов и т.д. В этих установках температура нагреваемого материала или среды может достигать 1473...1523 К, а процессы теплообмена осуществляются за счёт конвекции и излучения.

Количество теплоты, выделенное в нагреваемом материале, пропорционально квадрату силы тока проводимости I и зависит от сопротивления нагреваемого материала R и времени нагрева t .

$$Q = I^2 R t \text{ (Дж).}$$

Электронагрев сопротивлением – наиболее простой и экономический способ преобразования электрической энергии в тепловую. По способу выделения и передачи тепловой энергии нагреваемой среде или материалу различают прямой и косвенный нагрев.

Прямой нагрев сопротивлением применяют для электропроводящих сред и материалов. Нагрев осуществляется за счёт пропускания электрического тока непосредственно через нагреваемую среду или материал.

Прямой нагрев сопротивлением, в свою очередь подразделяется на два способа: а) прямой нагрев сопротивлением металлических тел, называемый электроконтактным; б) прямой нагрев проводящих материалов, обладающих ионной проводимостью, который называется электродным.

С другой стороны, прямой нагрев проводников первого рода, переносчиками тока в которых являются электроны (ферромагнитные материалы), называется электроконтактным.

Косвенный нагрев сопротивлением используется для проводящих и непроводящих материалов. При данном способе нагрев среды или материала осуществляется за счёт теплопроводности, конвекции и излучения от специальных нагреваемых элементов при протекании по ним электрического тока.

Сопротивление проводника постоянному току определяется по формуле:
$$r = \rho \cdot l / S (\text{Ом}),$$

где ρ - удельное электрическое сопротивление проводника, Ом м;

l - длина проводника, м;

S - площадь поперечного сечения, м^2 .

Удельное электрическое сопротивление металлических проводников (проводников первого рода) зависит от материала, химического состава.

2. Электроконтактный нагрев.

В основе электроконтактного способа нагрева лежит закон *Джоуля - Ленца*. В настоящее время есть возможность нагревать электроконтактным способом заготовки до 75 мм в диаметре. Для заготовок диаметром более 75 мм этот способ не применяется не применяется из экономических соображений, так как при больших размерах заготовок чрезвычайно возрастают размеры силовых трансформаторов. КПД электроконтактных установок колеблется от 60 до 80%. Удельный расход электроэнергии при нагревании углеродистых сталей составляет $0,325 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}$, что в полтора раза меньше чем при индукционном нагреве.

Электроконтактный нагрев связан с преобразованием электрической энергии в теплоту непосредственно в металлическом нагреваемом изделии (детали) и применяется при нагреве заготовок или деталей из чёрных и цветных металлов, для термической обработки (закалка, отпуск, отжиг), а так же с целью контактной электрической сварки давлением.

Электроконтактный нагрев деталей простой формы (валов, осей, лент) используют при их термической и механической обработке. Деталь (заготовку) включают в электрическую цепь и нагревают протекающим по ней электрическим током. Так как сопротивление детали мало, то для нагрева необходим ток большой силы, который подводят к ней при помощи массивных медных или бронзовых зажимов (контактов).

Так как сопротивление металлических тел с хорошей проводимостью небольшое, для прямого их нагрева требуются значительные токи (сотни и тысячи ампер) при напряжении всего $U = 5 \dots 25$ В. Поэтому для этих целей применяют переменный ток благодаря относительной простоте получения низкого напряжения. Но при протекании переменного тока у металлических деталей появляется поверхностный эффект, заключающийся в неравномерном распределении плотности тока по сечению проводника, которая экспоненциально уменьшается по направлению к его оси, т.е.

Основными недостатками электроконтактного нагрева является:

- ограниченность размеров заготовок;
- сравнительно малая устойчивость зажимных контактов;
- сложность нагрева заготовок переменного сечения.

При применении электроконтактного нагрева технологию деформации (*штамповки*) рекомендуется проектировать так, чтобы из одной заготовки одновременно изготавливались несколько поковок; это позволило бы вести нагрев с большим к. п. д. установки.

В промышленности электроконтактный нагрев часто применяется непосредственно в штамповочных агрегатах, например в электрических изымающих машинах. На этих машинах изготавливаются, ковка стержней с головками или колец

3. Установки электроконтактного нагрева.

Установками прямого нагрева принято называть такие, в которых преобразование электрической энергии в тепловую происходит в нагреваемом материале или изделии при непосредственном подключении их к источнику питания электроэнергией за счет прохождения через них электрического тока по закону Джоуля-Ленца. Прямой нагрев эффективен для термообработки изделий, обладающих

равномерным сечением по длине и значительным омическим сопротивлением. Прямой нагрев не имеет пределов по достижимым температурам, обладает высокой скоростью, пропорциональной вводимой мощности, и высоким КПД.

Установки контактного нагрева предназначены для деталей простой формы (валов, осей, лент), нагрева заготовок под ковку, отжига труб, проволоки, пружинной проволоки под навивку. Существуют печи прямого нагрева периодического действия для спекания прутков и штабиков из порошков редких и тугоплавких металлов при температуре до 3000 К в защитной атмосфере. Деталь (заготовку) включают в электрическую цепь и нагревают протекающим по ней электрическим током. Так как сопротивление цепи мало, то для нагрева необходим ток большой силы, который подводят к ней при помощи массивных медных или бронзовых зажимов.

Нагревать можно постоянным или переменным током, однако практически применяется только переменный ток, так как необходимые для нагрева токи в сотни и тысячи ампер при напряжении от десятых долей вольт до 24 В могут быть наиболее просто получены лишь при помощи трансформаторов переменного тока. Трудность подвода тока к детали - один из существенных недостатков контактного нагрева деталей. Зажимы должны иметь хороший контакт с деталью. В промышленных установках прямого нагрева для этого применяют пневмо- и гидроприводы, для снижения температуры в контактах делают их водоохлаждаемыми.

4. Электроконтактная сварка.

В процессах электроконтактной сварки металлические детали приводятся в соприкосновение и сжимаются под давлением 5...20 МПа. Через детали пропускают электрический ток. Переходное сопротивление в месте соприкосновения деталей значительно превышает сопротивление самих деталей, в силу чего нагрев деталей непосредственно от тока незначителен, тогда как в стыках выделяется большое количество энергии.

Количество теплоты, выделяемое в местах стыка, пропорционально квадрату тока и сопротивлению контакта стыка.

После достижения в зоне стыка необходимой для сваривания температуры под влиянием сжимающего усилия осуществляется пластическая сварка контактирующих деталей. Плотность тока при электроконтактной сварке достигает $(1\dots 1,5)10^8$ А/м². Сварка принципиально может осуществляться как на постоянном, так и на переменном токе. Но на практике применяют только переменный ток, так как сила тока при сварке достигает десятков тысяч ампер при напряжении всего несколько вольт, и источники постоянного тока для этих целей были бы слишком дорогими и сложными. Различают стыковую, роликовую и точечную электроконтактную сварку.

При электроконтактной сварке нагрев производят пропусканием через место сварки тока достаточной величины. При такой сварке места соприкосновения деталей нагреваются до температуры плавления путём пропускания через них электрического тока. Переходное сопротивление в месте соприкосновения деталей значительно превосходит значения их сопротивлений, поэтому сами детали от тока нагреваются очень мало, тогда как в стыках выделяется большое количество энергии.

Количество теплоты, выделяемое в местах сварки, пропорционально сопротивлению контакта стыка.

Различают сварки: 1) стыковую; 2) точечную; 3) роликовую.

Стыковая сварка подразделяется на два вида: с оплавлением и без оплавления. При сварке без оплавления детали с обработанными концами приводят в соприкосновение и сжимают значительными усилиями. После этого через детали пропускают ток. За счет контактного сопротивления в месте стыка возникает концентрированное выделение тепла и при достижении определенной температуры пластические свойства металла становятся

достаточными для сварки. При окончании цикла сварки сначала снимают ток, потом осадочное давление.

При стыковой сварке оплавлением нагрев деталей производится до полного оплавления их поверхностей (стыков). Процесс имеет 3 стадии: предварительный подогрев, оплавление, окончательная осадка (либо только 2 последние стадии).

В начальный момент детали сжимают для обеспечения надежного контакта и пропускают электрический ток. Таким образом, обеспечивают быстрый разогрев до необходимой температуры (для стали 600-800 °C).

После этого давление некоторым образом снижают. Соответственно увеличивается сопротивление контакта и сварной ток падает. Ухудшение контакта приводит к тому, что линии тока концентрируются в этот период времени в немногих точках соприкосновения. В этих точках концентрируются большие мощности, и начинается оплавление. Контактирующие выступы разрушаются. Весьма скоро оплавляется поле свариваемой поверхности. После этого увеличивают осадочное давление и детали можно сварить. При этом избыток расплавленного металла выдавливается из контакта.

Грат (венчик) содержит большое количество окислов. Он механически непрочен и легко удаляется со сваренного стыка. Сварка плавлением имеет ряд преимуществ по сравнению со сваркой без оплавления. Она дает гораздо большую прочность шва, не требует предварительной зачистки торцов детали, позволяет сваривать сечения сложной формы, детали из разнородных металлов.

Недостатком такого вида сварки является потеря металла с гратом. Стыковая сварка применяется для сварки проволоки, арматуры, всевозможных колец, ободов, цепей, труб, рельсов. Большое значение данный вид сварки имеет в производстве твердоплавленного инструмента.

Точечная сварка. Наиболее распространенный способ контактной сварки. Применяется для сварки различных полос, листов небольшой толщины (5...6 мм). Наиболее распространен цикл, когда в течение всей сварки давление не меняется. Однако лучшие результаты получают в том случае, если в конце сварки повышается осадочное давление.

Повышение давления (перед повышением давления ток снимают) называется праковкой. Она предупреждает непровар и образование раковин в точках сварки. Машины точечной сварки имеют высокую производительность. Они могут давать до 600 точек в минуту. При такой производительности трудно коммутировать сварочный ток и выдерживать необходимую длительность его протекания. Лишь в самых простейших машинах используют механические переключатели или контакторы с эффективным дугогашением.

Применение бесконтактных силовых выключателей, построенных на газоразрядных приборах или на кремниевых тиристорах существенно повышают эффективность коммутации сварочного тока. Совокупность бесконтактного выключателя и электронного реле времени называют бесконтактным прерывателем.

Роликовая (шовная) сварка. Различают три режима такой сварки: 1) С непрерывным движением роликов и непрерывной подачей тока (не применяется, так как дает сварку низкого качества). Применение способа возможно лишь при очень больших скоростях сварки, когда в каждый полупериод питающего тока сваривается одна точка.

2) С непрерывным движением роликов и импульсной подачей тока. Наиболее распространен. 3) С прерывистым движением роликов. Ток подается только в моменты остановки.

Машины для роликовой сварки отличаются от точечных машин наличием подвижных электродов (роликов), снабженных механизмом электропривода и более напряженным режимом работы. Машины снабжают бесконтактными прерывателями.

Шовная сварка позволяет соединить плотным швом непроницаемые для жидкостей и газов листы металла небольшой толщины (от доли мм до 5...6 мм).

5.Электродный нагрев

Электродный способ нагрева применяют для нагрева проводников II рода: воды, молока, фруктовых и ягодных соков, почвы, бетона и т.д. Электродный нагрев широко распространен в электродных водонагревателях, водогрейных и паровых котлах, а также в процессах пастеризации и стерилизации жидких и влажных сред, тепловой обработки кормов.

В электродных нагревателях материал с ионной проводимостью, заключённый между электродами, образует проводник, в котором при протекании электрического тока выделяется теплота, используемая для нагрева воды, молока, почвы и т.д. Применяется в основном переменный ток, т.к. при постоянном токе возникает электролиз. Но и на переменном токе надо работать при небольших плотностях тока (т.к. при больших всё равно возникает электролиз), максимальное значение которых зависит от конфигурации применяемых электродных систем и их пространственного расположения.

Электродный нагрев отличается простотой реализации, высоким КПД, невысокой стоимостью материалов и оборудования. Но одновременно с этим он обладает и рядом недостатков:

- 1) нагреваться могут только электропроводящие материалы;
- 2) в процессе нагрева значительно изменяется мощность;
- 3) повышенная электроопасность;
- 4) под действием проходящего тока изменяется качество нагреваемого материала, что не допустимо, например, для продуктов питания.

В качестве материала электродов можно использовать различные проводники, но они должны противостоять коррозии и не давать токсичных оксидов. Поэтому используют следующие материалы: 1) для технических целей: конструкционную сталь и латунь; 2) для пищевых целей: графит, нержавеющую сталь и титан. В нагревателях небольшой мощности используют пару плоских электродов, в мощных – трёхфазные системы, состоящие из нескольких электродов.

Материал помещают между электродами и нагревают электрическим током, протекающим по материалу от одного электрода к другому. Электродный нагрев считается прямым нагревом – здесь материал служит средой, в которой электрическая энергия преобразуется в тепловую.

Электродный нагрев – наиболее простой и экономичный способ нагрева материалов, не требует специальных источников питания или нагревателей из дорогостоящих сплавов.

Электроды подводят ток к нагреваемой среде и сами током практически не нагреваются. Электроды изготавливают из недифицитных материалов, чаще всего из металлов, но и могут быть и неметаллическими (графитовыми, угольными). Во избежание электролиза для электродного нагрева используют только переменный ток.

Проводимость влажных материалов обуславливается содержанием воды, поэтому в дальнейшем электродный нагрев будем рассматривать, главным образом, к нагреву воды, но приводимые зависимости применимы и к нагреву других влажных сред.

1.13 Лекция №14 (2 часа).

Тема: «Индукционный и диэлектрический нагревы»

1.13.1 Вопросы лекции:

1. Особенности индукционного нагрева и его основные физические закономерности
2. Индукторы. Конструктивное исполнение и область применения
3. КПД и коэффициент мощности при индукционном нагреве
4. Режимы индукционного нагрева
5. Основы диэлектрического нагрева и его особенности
6. Источники питания установок индукционного и диэлектрического нагревов

1.13.2 Краткое содержание вопросов:

1 Особенности индукционного нагрева и его основные физические закономерности

Индукционный нагрев металлов основан на двух законах физики: законе электромагнитной индукции Фарадея – Максвелла и законе Джоуля – Ленца. Металлические тела (заготовки, детали и др.) помещают в переменное магнитное поле, которое возбуждает в них вихревое электрическое поле. ЭДС индукции определяется скоростью изменения магнитного потока, а сама зависимость представляет собой интегральную форму закона электромагнитной индукции:

$$e = -\frac{\delta\Phi}{\delta t}$$

Под действием ЭДС индукции в телах протекают вихревые (замкнутые внутри тел) токи, выделяющие теплоту по закону Джоуля – Ленца.

Рассмотренные превращения энергии электромагнитного поля в отличие от нагрева методом сопротивления позволяют передать электрическую энергию индуктора в нагреваемый материал бесконтактно, а также выделить теплоту непосредственно в нагреваемом предмете.

Чтобы уяснить особенности электромагнитных процессов при индуктивном нагреве и выявить факторы, определяющие распространение электромагнитного поля в проводящей среде, следует подробно разобраться, что же происходит при падении плоской электромагнитной волны на однородное металлическое тело.

Причиной затухания электромагнитной волны является превращение энергии электромагнитного поля в теплоту по закону Ленца – Джоуля, вследствие чего и происходит индукционный нагрев металла.

При нагреве немагнитных (цветных) металлов, для которых $\mu=1$, изменяется их удельное сопротивление, а при нагреве ферромагнитных металлов (сталей) изменяется и относительная магнитная проницаемость.

Глубина проникновения тока в сталь при температуре магнитных превращений изменяется скачком. В действительности удельное сопротивление и магнитная проницаемость во время нагрева зависят от температуры, а магнитная проницаемость еще и от напряженности магнитного поля. Следовательно, при нагреве изменяется коэффициент и мощность, поглощаемая металлом.

В заключении можно подчеркнуть, что индукционный нагрев – нагрев токопроводящих тел в электромагнитном поле за счёт индуктирования в них вихревых токов. При этом электрическая энергия преобразуется трижды. Сначала при помощи индуктора она преобразуется в энергию переменного магнитного поля, которая в теле, помещённом в индуктор, превращается в энергию электрического поля. И, наконец, под действием электрического поля его энергия превращается в тепловую.

Передача энергии происходит бесконтактно. Индукционный нагрев является прямым и бесконтактным. Он позволяет достигать температуры, достаточной для плавления самых тугоплавких металлов и сплавов.

Уже было отмечено, что плотность тока по сечению нагреваемого проводящего тела не одинакова. Наибольшего значения она достигает на поверхности, а по мере приближения к центру убывает. Следует напомнить ещё раз, что это явление называется поверхностным эффектом.

В зависимости от используемых частот установки индукционного нагрева подразделяют на: 1) низкочастотные (50 Гц); 2) среднечастотные (до 10 кГц); 3) высокочастотные (свыше 10 кГц).

2 Индукторы. Конструктивное исполнение и область применения

Установки индукционного нагрева широко применяют на различных ремонтных предприятиях. Токи средней и высокой частоты используют для сквозного нагрева

деталей перед горячей деформацией, при восстановлении их методами наплавки, металлизации и пайки, а также для поверхностной закалки деталей и других технологических операций.

Основным элементом такого рода устройства является индуктор. Индукторы в зависимости от назначения и формы нагреваемого изделия бывают: 1) цилиндрические; 2) овальные; 3) щелевые; 4) стержневые; 5) плоские; 6) петлевые.

Изделия прямоугольной формы нагревают в овальных, плоских и петлевых индукторах. Для цилиндрических деталей используют индукторы практически всех типов.

Цилиндрические индукторы наиболее просты по конструкции и надёжны в эксплуатации, а их общий КПД достаточно высок. Конструктивно индуктор состоит из:

- многовиткового индуктирующего провода из медной трубы или медной шинки;
- токопроводящих шин;
- контактных колодок;
- устройство для подачи воды, охлаждающий индуктор.

В индукторах для сквозного нагрева изделий используется тепловая изоляция.

В настоящее время применяют для низкотемпературного нагрева индуктор типа «многовитковый индуктор в ферромагнитной трубе». Они используются для обогрева полов, панелей и стен в животноводческих помещениях, для обогрева почвы и воздуха в парниках и теплицах.

Такой нагреватель представляет собой ферромагнитную трубу, внутри которой расположена индуктирующая одно- или многожильная обмотка, выполняемая из стержней, установочного провода или контрольного кабеля. Ферромагнитная труба является одновременно приёмником энергии магнитного поля и генератором теплоты, служит несущей конструкцией и защищает обмотку индуктора от механических повреждений. Переменный магнитный поток Φ , создаваемый индуктирующей обмоткой нагревателя, наводит в ферромагнитной трубе вихревые токи, которые нагревают её. В трубе выделяется 80...85% всей тепловой энергии, в индукторе – 15...20%. Благодаря последовательному соединению жил обмотки индуктора нагреватель может подключён на сетевое напряжение. В зависимости от материала и диаметра труб, воздушного зазора между обмоткой индуктора и трубой коэффициент мощности нагревателя составляет $\cos\phi = 0,88...0,92$.

Нагреватели с индуктором, охватывающие снаружи нагреваемое изделие, применяют для обогрева трубопроводов, нагрева воды и т.д. Нагреватель состоит из ферромагнитной трубы (или корпуса), на наружную поверхность которой наматывается индуктирующая одно- или многослойная обмотка, выполненная из провода с теплостойкой изоляцией. Нагреватели изготавливают в однофазном и трехфазном исполнении. В зависимости от технологических требований нагреватель можно подключать на пониженное или сетевое напряжение.

Используют также нагреватели трансформаторного типа, которые применяют при теплоснабжении и горячем водоснабжении животноводческих, производственных и бытовых помещений.

3. КПД и коэффициент мощности при индукционном нагреве

Электромагнитная энергия, подводимая к индуктору, расходуется на полезный нагрев детали, компенсацию тепловых потерь с ее поверхности, а также на нагрев провода индуктора током, протекающим по нему. Отношение энергии Q_1 затраченной на нагрев детали, ко всей энергии, подведенной к индуктору, называется его полным КПД.

$$\eta_i = \eta_t * \eta_e = Q_1 / (Q_1 + Q_2 + Q_3)$$

где η_i , η_t , η_e - полный, термический и электрический КПД индуктора;

Q_1 -полезно расходуемая на нагрев детали теплота, Дж; Q_2 - тепловые потери, Дж;

Q_3 - теплота, выделяющаяся в проводе индуктора, Дж.

Термический КПД, характеризующий тепловые потери с поверхности детали, равен: $\eta_t = Q_1 / (Q_1 + Q_2)$

Термический КПД растет с увеличением толщины тепловой изоляции нагреваемой детали. Тепловые потери возрастают с увеличением температуры поверхности детали и времени нагрева.

Электрический КПД, характеризующий совершенство передачи энергии из индуктора на деталь, представляет собой отношение электромагнитной энергии, поступающей в деталь, ко всей энергии, подводимой к индуктору:

$$\eta_e = Q_1 + Q_2 / (Q_1 + Q_2 + Q_3)$$

Если энергию Q_1, Q_2, Q_3 отнести к единице времени, то можно записать: $\eta_e = P_2 / P$

где P_2 - мощность, передаваемая в деталь, Вт; P - мощность, подведенная к индуктору, Вт.

КПД системы индуктор от соотношения диаметров индуктора и детали, а также удельного электрического сопротивления их материалов. Чем меньше отношение $\rho_1 / \rho_2 \mu$, тем выше КПД. Чтобы получить его значение, индукторы изготавливают из электролитической меди, имеющей низкое удельное сопротивление. Индукционный нагрев ферромагнитных материалов ($\mu_2 > 1$) с большим удельным сопротивлением более экономичен, чем нагрев цветных металлов. Например, при нагреве медного цилиндра в медном индукторе при идеальных условиях ($D_1 / D_2 = 1$)

$$\eta_e = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}}.$$

В реальных условиях при D_1 / D_2 КПД будет меньше 0,5 в начале нагрева и лишь по мере разогрева металла, когда ρ_2 значительно возрастает, КПД достигнет максимального значения.

При расчете коэффициента мощности индукционной установки учитывают активные и реактивные сопротивления в нагреваемом металле, индукторе и воздушном зазоре.

Увеличивая частоту поля, можно выделить в материале требуемую объемную плотность мощности при пониженной напряженности поля. Это повышает надежность работы нагреваемой установки, уменьшает вероятность возникновения пробоя в рабочем конденсаторе и, следовательно, порчи нагреваемого материала. Однако, повышение частоты ограничивается равномерным распределением напряженности поля по всей длине электродов рабочего конденсатора. Сложностью согласования параметров источника питания и нагрузки, а также глубиной проникновения электромагнитной энергии в материал. Первое ограничение на верхний предел частоты вызвано соотношением конструктивных параметров диэлектрического нагревательного устройства с длиной λ волны, соответствующей частоте f , между которыми существует известная связь:

4 Режимы индукционного нагрева

Установки индукционного нагрева работают в двух режимах –глубинном и поверхностном, различающихся характером распределения температуры в нагреваемых деталях.

На рисунке показано распределение температуры при нагреве детали на глубину z_k . Индекс «к» говорит о том, что на этой глубине температура металла превышает точку магнитных превращений. Эквивалентную глубину z_{0k} проникновения тока в этом случае называют горячей.

Кривая 1 соответствует режиму $z_k < z_{0k}$, называемому глубинным, так как теплота выделяется во всем слое глубиной z_{0k} . Кривая 2 соответствует поверхностному режиму $z_k > z_{0k}$. Здесь теплота выделяется лишь в поверхностном слое глубиной z_{0k} , а внутренние слои называются так главным образом за счет теплопроводности.

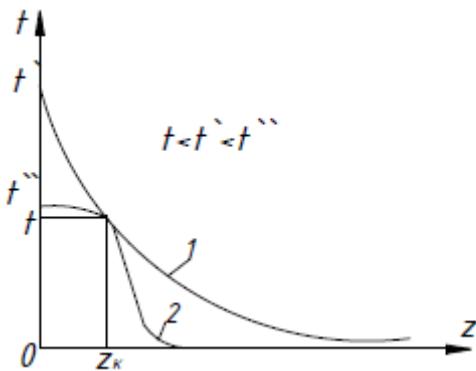


Рисунок 9. Распределение температуры по сечению нагреваемого материала при индукционном нагреве: 1 и 2 – глубинный и поверхностный нагрев.

Из анализа графиков распределения температуры видно, что при поверхностном нагреве большое количество теплоты тратится на нагрев внутренних слоев, находящихся за слоем z_k . Температура за этим слоем падает более полого, чем при глубинном нагреве, следовательно, и КПД ниже. Происходит это из-за увеличения времени нагрева, которое становится примерно таким же, как и при нагреве с внешними источниками теплоты – при плазменном нагреве, нагреве в печах сопротивления и др. Очевидно, что для повышения КПД установки следует стремиться к глубинному нагреву по всей толщине нагреваемого слоя. Чтобы обеспечить глубинный режим на требуемой толщине нагреваемого материала, необходимо правильно выбирать частоту питающего тока.

При индукционном сквозном нагреве с постоянной удельной мощностью нижний предел частоты определяется необходимостью обеспечения достаточно высокого термического КПД, а верхний – требуемой скоростью нагрева. При нагреве изделий цилиндрической формы частота тока f должна быть в следующих пределах:

$$\frac{3 \cdot 10^8 \cdot \rho_2}{d_2^2 \cdot \mu_2} < f < \frac{6 \cdot 10^8 \cdot \rho_2}{d_2^2 \cdot \mu_2}$$

где ρ_2 – удельное сопротивление нагреваемого металла, $\text{Ом} \cdot \text{см}$; μ_2 – относительная магнитная проницаемость металла; d_2 – диаметр нагреваемой детали, см.

При поверхностном нагреве под закалку частоту выбирают таким образом, чтобы глубина z_0k проникновения тока в сталь при температуре выше точки Кюри была несколько больше требуемой глубины z_k закалки.

$$\frac{150}{z_k} < f < \frac{2500}{z_k}$$

Наиболее целесообразно выбирать частоту в таком диапазоне:

В сельском хозяйстве применяют прямой и косвенный индукционный нагрев.

Прямой нагрев реализуют установки, используемые в ремонтно-механических мастерских для сквозного и поверхностного нагрева металлических деталей.

Сквозному нагреву подвергают металл перед последующей горячей деформацией (ковкой, штамповкой, прокаткой, прессовкой), а также для сварки. Поверхностный нагрев применяют для закалки трущихся поверхностей стальных деталей, чтобы уменьшить их износ. При этом в поверхностном слое повышается твердость металла, а внутренние слои не изменяют свою структуру, обеспечивая мягкость и вязкость сердцевины детали. Для закалки поверхностные слои детали необходимо нагреть до температуры выше точки магнитных превращений, а затем быстро охладить.

Конструкция индуктора для сквозного нагрева металлических деталей определяется их размерами и формой. Наиболее распространены индукторы, предназначенные для нагрева цилиндрических деталей и выполненные из индуктирующего провода в виде соленоида. Чтобы снизить электрические потери, при

изготовлении индуктора используют хороший проводниковый материал, например электролитическую медь.

При конструировании индукторов учитывают, что сила тока в индукторе достигает тысяч ампер, а электрические потери в нем составляют 25...30% полезной мощности установки. Чтобы предотвратить перегрев индуктора, его выполняют из медной, охлаждаемой водой трубы круглого и прямоугольного сечения. Многовитковые индукторы для сквозного нагрева присоединяют при помощи шин непосредственно к источнику питания.

Для питания индукторов, используемых для поверхностного нагрева с целью закалки деталей или инструмента и состоящих из одного- двух витков, требуется низкое напряжение. Поэтому их присоединяют через понижающий трансформатор.

В сельскохозяйственном производстве применяют также косвенный индукционный нагрев на частоте 50 Гц. При этой частоте сокращается расход энергии и снижаются капитальные затраты, поскольку не требуется преобразователь частоты. Косвенный индукционный нагрев используют для технологического обогрева: металлических трубопроводов и емкостей, полов животноводческих и птицеводческих помещений, почвы в парниках и теплицах.

5 Основы диэлектрического нагрева и его особенности

В инженерной практике для расчёта индукционных нагревателей применяют графоаналитические методы, основанные на экспериментальных исследованиях.

Рассмотрим пример расчёта нагревателей типа «многовитковый индуктор в ферромагнитной трубе». Для расчёта индукционных нагревателей такого типа можно использовать упрощённую методику.

Методика основана на математической обработке экспериментальных данных, полученных для труб диаметром $d_{tr} = 0,015; 0,02; 0,025$ м.

При температуре нагрева трубы до $T_p = 373$ К тепловой поток, Вт/м, приходящийся на 1 м длины нагревателя определяют по выражению:

$$\Phi_1 = k_2 \cdot \Delta T - k_1,$$

где ΔT – перепад температур между окружающей средой и трубой, К.

Напряжение, которое необходимо приложить к отрезку нагревателя длиной в 1 м, В/м, определяют по формуле:

$$U_1 = k_3 + 0.006 \cdot \Delta T,$$

где $k_1; k_2; k_3$ – коэффициенты, зависящие от диаметра трубы d

Таблица 3. Значения коэффициентов $k_1; k_2; k_3$

Диаметр трубы d , м	k_1	k_2	k_3
0.015	6.00	0.96	0.35
0.020	7.50	1.25	0.33
0.025	9.00	1.55	0.31

По расчётным значениям U_1 и Φ_1 определяют конструктивные параметры нагревателя.

$$l_{np} = \frac{U_\phi}{U_1}.$$

Определяют длину провода, м, индуктора на фазу:

Определяют длину нагревателя, м, подключаемого на фазное напряжение

$$l_\phi = \frac{P_\phi}{\Phi_1}.$$

питающей сети:

Определяют число проводов, прокладываемых в трубе:

$$n_{np} = \frac{l_{np}}{l_{\phi}} .$$

Определяют ток индуктора, A:

$$I = 1,09 \frac{P_{\phi}}{U_{\phi}} .$$

По $I_{расч}=I$ и температуре поверхности нагревателя T_n выбирают марку и сечение провода.

6 Источники питания установок индукционного и диэлектрического нагревов

При индукционном нагреве принято различать источники питания и установки низкой (промышленной) 50 Гц, средней (повышенной) $(0,15...10) \cdot 10^3$ Гц и высокой $(0,15...100) \cdot 10^5$ Гц частот. При диэлектрическом нагреве используют источники и установки высокой $(3...100) \cdot 10^6$ Гц и сверхвысокой $(0,3...220) \cdot 10^8$ Гц частот.

В индукционных установках низкой частоты в качестве источника питания применяют сеть переменного тока частотой 50 Гц. Работа таких установок отличается повышенной надежностью из-за отсутствия дополнительных преобразователей электрической энергии и имеет ряд отличительных особенностей, некоторые из которых рассмотрены в разделе 5.1.Машинные и тиристорные (статические) преобразователи – источники питания установок индукционного нагрева частоты до 10 кГц.

Машинный преобразователь частот состоит из генератора повышенной частоты и трехфазного приводного электродвигателя.



Рисунок 10. Схема индуктивного генератора: 1 – ротор; 2 – статорная обмотка; 3 – статор; 4 – обмотка возбуждения

Генератор относится к типу индукторных машин. Для их возбуждения, как и синхронных, используется постоянный ток.

В отличие от синхронных машин, в которых при вращении ротора обмотки возбуждения и рабочие обмотки переменного тока перемещаются одна относительно другой, в индукторных машинах взаимосвязь между обмотками происходит за счет вращения ферромагнитной массы ротора. У последнего нет никаких обмоток. Форма ротора зубчатая, аналогичная конфигурации ротора явнополюсных синхронных машин. Рабочая обмотка 2 и обмотка 4 возбуждения расположены на статоре 3. При вращении ротора его зубцы и впадины поочередно устанавливаются против паза статора, в котором расположена обмотка возбуждения. Вследствие этого магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения, приобретает пульсирующий характер и, пересекая витки рабочей обмотки, индуцирует в них ЭДС с частотой:

$$f = \frac{z_2 \cdot n}{60}$$

где f - частота тока генератора, Гц; z_2 - число зубцов ротора; n - частота вращения ротора, мин^{-1}

Недостатки машинных генераторов заключаются в наличии вращающихся частей, значительных габаритных размерах, шуме при работе, сравнительно невысоком КПД.

В статических преобразователях повышенную частоту получают за счет коммутации постоянного тока управляемыми вентилями (тиристорами).

Тиристорный преобразователь частоты состоит из двух основных узлов: выпрямителя 1 (рисунок 11), преобразующего переменный ток промышленной частоты в постоянный, и автономного инвертора 2, преобразующего постоянный ток в переменный высокой частоты. Сглаживающий фильтр, соединяющий эти узлы, часто является элементом схемы инвертора.

Благодаря тиристорным преобразователям можно плавно изменять рабочую частоту, что необходимо для поддержания оптимального режима при работе на нагрузку с изменяющимися параметрами. У тиристорных преобразователей более высокий КПД и более высокая надежность по сравнению с машинными преобразователями частоты.

Для питания электротермических установок индукционного нагрева на высоких частотах (от 20...30 кГц) и установок диэлектрического нагрева используют ламповые генераторы с самовозбуждением. Цифровая система управления, реализована на базе сигнального процессора фирмы Analog Device и микроконтроллера Infineon C167.

Цифровой модуль управления совместно с платой датчиков и платой дискретных входов-выходов выполняет дополнительные функции, тем самым, улучшая потребительские свойства преобразователя тока высокой частоты.

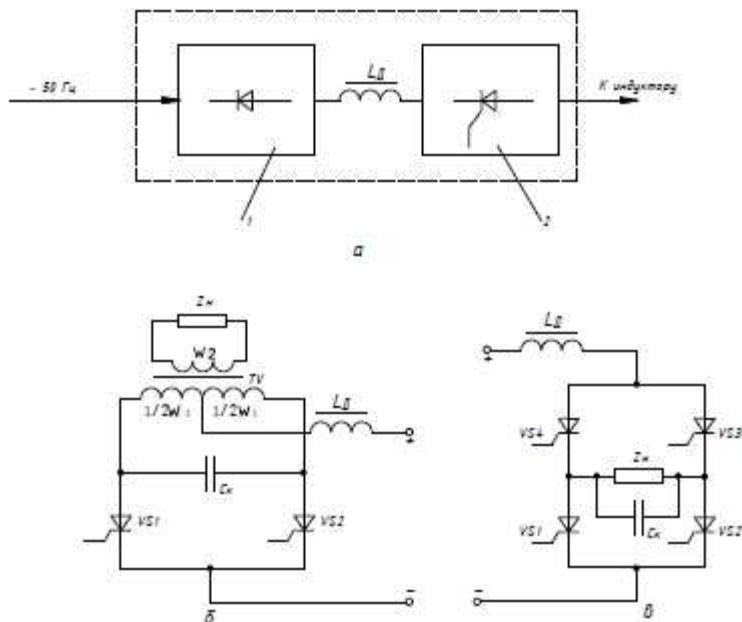


Рисунок 11. Блок – схема тиристорных преобразователей частоты принципиальная схема мостового (б) и нулевого (в) инверторов: 1 – выпрямитель; 2 – инвертор.

Наличие мощного микропроцессора фирмы Analog Devices позволяет анализировать состояние силовой схемы преобразователя в зависимости от электрических процессов, происходящих в нагрузке и в реальном масштабе времени выбрать оптимальный режим работы, а также заранее предупредить возможность создания аварийной ситуации.

Генератор имеет следующие защиты:

- от внутреннего короткого замыкания, с помощью автоматического выключателя, установленного со стороны питающей сети;
- от токов перегрузки и короткого замыкания на выходе – электронная, расположена в блоке управления;
- от превышения выходного напряжения – электронная, расположена в блоке управления;
- от перегрузки силовых транзисторов – электронная, расположена в блоке управления;
- от перегрева силового модуля, с помощью термоконтакта.

Реализация генератора по схеме "неуправляемый выпрямитель -импульсный регулятор постоянного тока - инвертор тока" обеспечивает высокий коэффициент мощности во всем диапазоне регулирования, плавный пуск, регулирование и эффективную защиту преобразователя.

Применение инвертора тока позволяет исключить протекание больших реактивных токов через полупроводниковые приборы и дает возможность транспортировать энергию до индуктора с минимальными потерями. Мягкое переключение транзисторов инвертора обеспечивает минимальные динамические потери мощности в них.

1.14 Лекция №15 (2 часа).

Тема: «Термоэлектрический нагрев и охлаждение, электродуговой нагрев»

1.14.1 Вопросы лекции:

1 Электродуговой нагрев: свойства и характеристики электрической дуги, режимы сварки и работы источников питания сварочной дуги

2 Термоэлектрический нагрев: термоэлектрические явления, термоэлектрические тепловые насосы

1.14.2 Краткое содержание вопросов:

1 Электродуговой нагрев: свойства и характеристики электрической дуги, режимы сварки и работы источников питания сварочной дуги.

Дуговой разряд – это устойчивый самостоятельный электрический разряд в газах или парах металла, характеризующийся большой плотностью тока, низким падением напряжения на катоде и высокой температурой канала разряда. В ЭТУ возбуждение дуги происходит при первоначальном касании электродов, к которым подведено напряжение. В момент короткого замыкания электроды разогреваются. При отводе электродов за счёт термоэлектронной ионизации газа возникает электрическая дуга, представляющая собой сильно ионизированную смесь газов и паров материала анода и катода. Канал дуги по длине неоднороден и состоит из трёх последовательных участков: 1) прикатодный (-); 2) основной столб дуги; 3) прианодный участок (+).

В сварочной технике электрическую дугу классифицируют по роду среды, в которой происходит разряд:

- открытая дуга, горящая в воздухе, парах металла, и т.д.;
- закрытая дуга, горящая под флюсом в парах металла и флюса;
- защищённая дуга, горящая в защитных газах (argon, гелий, двуокись углерода), ВАХ открытой дуги имеет падающий вид, а закрытой и защищённой – возрастающий.

Источники питания выбирают по следующим параметрам:

- роду тока;
- напряжению холостого хода;
- внешней характеристике;
- способам регулирования сварочного тока.

Электрическая дуга может быть как на постоянном, так и на переменном напряжении. Устойчивость дуги переменного тока снижается из-за угасания её при каждом переходе тока через ноль. Поэтому горение дуги является прерывистым и неустойчивым. Статические ВАХ на переменном и постоянном токе подобны. Напряжение зажигания дуги постоянного тока составляет 30...40В; а переменного – 50...55В.

Напряжение холостого хода источника должно быть больше напряжения зажигания на 10...50В. Дуга и источник питания образуют систему, которая будет

находиться в устойчивом равновесии, если при падающей ВАХ дуги внешняя характеристика источника будет более крутопадающей.

Устойчивость дуги с возрастающей ВАХ обеспечивается, если внешняя характеристика источника менее возрастающая. Регулирование сварочного

тока необходимо при сваривании деталей различной толщины. В качестве источников питания дуги применяют: сварочные трансформаторы; генераторы постоянного тока (преобразователи); полупроводниковые выпрямители.

Швы сварных соединений в зависимости от взаимного расположения деталей подразделяют настыковые, угловые, тавровые и нахлесточные. Форма и размеры шва зависят от режима сварки. При ручной дуговой сварке основными параметрами режима являются диаметр электрода, значения тока и напряжения, род и полярность тока, скорость сварки. Для высокой производительности сварочного процесса и получения качественного соединения дуга должна гореть устойчиво. Это зависит от многих факторов, среди которых основное значение имеют характеристики источников питания и наличие в материале свариваемых деталей и электродов – элементов с малым потенциалом ионизации. Для повышения устойчивости горения дуги переменного тока в флюсы вводят элементы с низким потенциалом ионизации – калий, кальций, натрий. Однако все же на постоянном токе дуга горит надежнее. Поэтому качество сварного шва, выполненного на постоянном токе, выше, чем на переменном.

При выборе значения сварочного тока необходимо помнить, что с его увеличением возрастает количество выделенной теплоты и повышается давление дуги. При этом глубина провара возрастает. Большой ток повышает скорость плавления электрода и приводит к образованию швов с повышенной напряженностью металла. Значение сварочного тока определяется также видом соединения: тавровые и нахлесточные соединения выполняют большим током по сравнению со стыковым.

Если для работ используют электроды диаметром 1.5...6 мм, что соответствует толщине свариваемого металла 0.5...10 мм, значение рабочего тока ориентировочно можно определить по формуле:

$$I_{св} = K \cdot d_{эл}$$

Режим работы источников питания при ручной дуговой сварке характеризуется тем, что периоды нагрузки чередуются с паузами. Источник нагружается током только во время горения дуги, длительность этого периода определяется временем расплавления одного электрода. Минимальное время паузы зависит от времени, нужного для замены электрода и повторного зажигания дуги. Длительность перерыва в горении дуги определяется также необходимостью замены деталей или передвижения сварщика с электрододержателем к новому участку сварки.

Номинальным режимом работы источников питания обычной дуговой сварки, как правило, является режим с ПР = 60% или ПВ = 65% при длительности цикла 5 мин. Общая продолжительность цикла нормируется, так как на температуру обмоток влияет абсолютное значение времени τ_1 горения дуги.

2. Термоэлектрический нагрев: термоэлектрические явления, термоэлектрические тепловые насосы

В основе термоэлектрического метода лежат термоэлектрические явления, которые обычно сопутствуют один другому и обусловлены существованием взаимосвязи между тепловыми и электрическими процессами в проводниках и полупроводниках. Под термоэлектрическими явлениями понимают три термоэлектрических эффекта – Зеебека, Пельтье и Томсона, связанные с процессом переноса теплоты между местами контакта (спаями) в проводниках и полупроводниках.

Эффект Зеебека заключается в следующем: если составить электрическую цепь (термоэлемент) из двух разнородных проводников и места контактов поддерживать при разных температурах, то на свободных концах появится термоэлектродвижущая сила или

термоЭДС (рис.9). В цепи, замкнутой на миллиамперметр, можно обнаружить электрический ток, который будет протекать до тех пор, пока температуры спаев будут различные.

Термо ЭДС, мкВ, может быть определена как: $E = e(T_2 - T_1)$

Явление Зеебека обусловлено тем, что средняя энергия электронов, участвующих в переносе тока, во всех проводниках зависит от температура, но в несходных материалах по-разному. Электроны в нагретом спае приобретают высокие скорости и устремляются на холодный спай, на котором накапливается отрицательный заряд. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока возникающая таким образом термоЭДС не уравновесит термодиффузию электронов.

Явление Зеебека широко используют в термометрии – в любой термопаре происходит непосредственное преобразование тепловой энергии в электрическую. Заметим, что коэффициент e для большинства металлов невелик и не превышает несколько микровольт на градус. В отличие от металлов коэффициент e у полупроводников значительно больше и составляет сотни микровольт на градус.

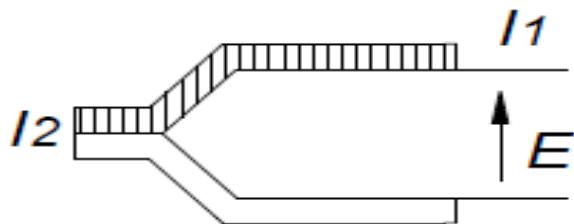


Рисунок 12. Термоэлектрическое явление Зеебека

Эффект Пельтье представляет собой явление, обратное явлению Зеебека. Если через электрическую цепь, составленную из разнородных материалов, пропустить ток, то в зависимости от его направления в дополнение к теплоте Ленца – Джоуля на одном из контактов выделяется теплота, а на другом – она поглощается, т.е. происходит охлаждение (рис. 10). Явление Пельтье можно объяснить следующим образом. Так как в различных проводниках средняя энергия электронов, участвующих в переносе электрического тока, несходна, электроны при переходе из одного проводника в другой либо пополняют свою энергию, отнимая ее в месте контакта у атомов проводника, в который они перешли, либо, наоборот, передают этим атомам избыток энергии. В первом случае теплота Пельтье поглощается, а во втором – выделяется. Особенно сильно эффект Пельтье проявляется в системах, состоящих из полупроводников с электронной и дырочной проводимостью. При этом если электрический ток направлен от дырочного полупроводника к электронному, то тепловая энергия в контакте выделяется. Когда ток протекает от электронного полупроводника к дырочному, тепловая энергия в контакте поглощается.

Теплота Пельтье, Дж, определяется выражением:

$$Q_n = \frac{\kappa_n}{\tau} \cdot I$$

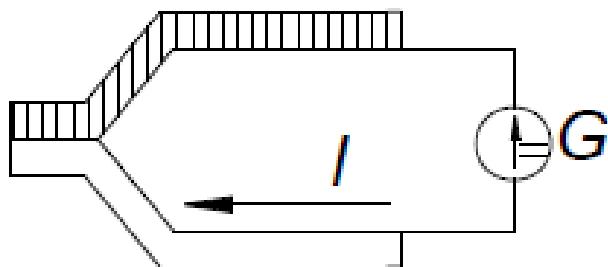


Рисунок 13. Термоэлектрическое явление Пельтье

$$K_n = e \cdot T$$

Между коэффициентами Пельтье и Зеебека существует связь:

Эффект Томсона состоит в том, что при прохождении электрического тока по однородному проводнику, в котором существует перепад температур, к теплоте Ленца-Джоуля дополнительно выделяется или из нее поглощается некоторое количество теплоты (теплота Томсона), Дж.

$$Q_{tom} = k_n \cdot I \cdot (T_2 - T_1) \cdot \tau ,$$

Эффект Томсона объясняется тем, что в более нагретом участке проводника средняя энергия носителей тока больше, чем в менее нагретом. Если носители тока перемещаются в направлении убывания температуры, то они избыток энергии отдают кристаллической решетке и выделяется теплота. Если носители тока движутся и противоположном направлении, то они пополняют свою энергию за счет энергии кристаллической решетки и теплота поглощается.

В основе работы термоэлектрических устройств нагрева и охлаждения лежит использование эффекта Пельтье. Работа теплового насоса заключается в перекачке тепловой энергии от материала с более низкой температурой к материалу с более высокой температурой. Заметим, что бытовые холодильники, по существу, являются тепловыми насосами – теплота забирается в холодильной камере (происходит охлаждение) и отдается окружающему пространству от испарителя (происходит нагрев). Распространенные компрессионные и абсорбционные агрегаты имеют значительную массу, большие габаритные размеры и потребляют много электроэнергии. Кроме того, они не могут плавно регулировать температуру. Движущиеся части и газ – фреон ограничивают срок службы компрессоров. Этих недостатков лишены термоэлектрические тепловые насосы. Чтобы понять принцип их работы, рассмотрим термоэлемент, составленный из ветвей с дырочной (р-типа) и электронной (n-типа) проводимости (рис. 11).

Ветви 1 термоэлемента соединяют, металлической пластиной 2. При пропускании тока через термоэлемент в направлении, указанном стрелкой, на n-p-переходе (холодном спае) поглощается, а на p-n-переходе (горячем спае) выделяется в единицу времени теплота Пельтье Q_P в соответствии с зависимостью (11):

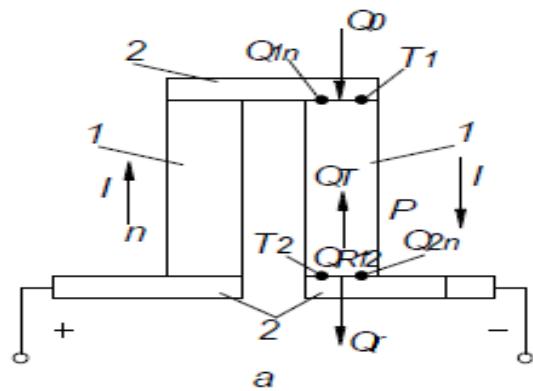


Рисунок 14. Схема термоэлемента

Если при этом температура охлаждаемого спая T_1 , а нагреваемого T_2 , то теплоту Пельтье для горячего и холодного спаев можно выразить как:

$$Q_{1n} = e \cdot T_1 \cdot I .$$

$$Q_{2n} = e \cdot T_2 \cdot I .$$

Холодному спаю от окружающей среды сообщается теплота Q_0 . Кроме того, по ветвям термоэлемента вследствие их теплопроводности от горячего спая к холодному

передается теплота QT . С некоторым приближением можно считать, что на каждом из спаев выделяется половина теплоты Ленца-Джоуля QR . Уравнение теплового баланса для холодного спая может быть записано в следующем виде:

$$Q_0 + Q_T + 0,5 \cdot Q_R = Q_{2n}.$$

Уравнение теплового баланса для горячего спая запишется так:
 $Q_{2n} + 0,5 \cdot Q_R = Q_T + Q_r$.

Так как Qr и Qo представляют собой количество теплоты в единицу времени, то работа электрических сил (потребляемая мощность)

$$P = Q_r - Q_0 \quad \text{или} \quad P = e \cdot I \cdot (T_2 - T_1) + I^2 \cdot R.$$

Из анализа уравнения видно, что потребляемая термоэлементом мощность P расходуется на преодоление термоЭДС и активного сопротивления; термоэлемент при этом работает как тепловой насос, перекачивая теплоту от окружающей среды нагреваемому объекту.

Термоэлектрические устройства могут найти применение для охлаждения питьевой воды в полевых условиях. Вода охлаждается при протекании через термобатарею или в сосуде для ее хранения. Аналогичные охладители могут быть использованы и для молока. При этом необходимо, чтобы оно стекало тонким слоем по охлаждаемым сторонам термобатареи. Такая конструкция обеспечивает хороший теплообмен с молоком и легкий доступ к поверхностям, требующим мытья после пользования.

Термоэлектрические тепловые насосы особенно перспективно применять в качестве кондиционеров в различных производственных помещениях для поддержания комфортных условий по температуре. Легкий переход с охлаждения на нагрев и, следовательно, большая гибкость по сравнению с обычными системами дают значительные преимущества термоэлектрическим кондиционерам.

1.15 Лекция №16 (2 часа).

Тема: «Электронно-лучевой, лазерный и ионный нагревы»

1.15.1 Вопросы лекции:

- 1 Электронно-лучевой нагрев
- 2 Лазерный нагрев
- 3 Ионный нагрев
- 4 Источники питания

1.15.2 Краткое содержание вопросов:

1. Электронно-лучевой нагрев

Техника электронно-лучевого нагрева (плавка и рафинирование металлов, размерная обработка, сварка, термообработка, нанесение покрытий испарением, декоративная обработка поверхности) создана на основе достижений физики, электроники, электронной оптики и вакуумной техники.

После открытия электрона и измерения его отношения заряда к массе началось широкое изучение свойств электронных потоков, их получения и взаимодействия с электрическими и магнитными полями. Электронный микроскоп был создан трудами ряда ученых, в том числе Н. Рус-ка, М. фон Арденна (Германия), В.К. Зворыкина (США) в 20-30-х годах. В нем применялись электронные пушки небольшой мощности с малыми токами и большими разгоняющими напряжениями. Тогда же были разработаны электростатические и магнитные системы управления электронным лучом.

Идея создания установки электронно-лучевого нагрева появилась еще в начале XX в., и в 1905 г М. фон Пирани получил патент Германии на использование электронного луча как источника нагрева. Однако для технологического использования требовались более мощные электронные пушки, создание которых связано с различными конструктивными трудностями, а также были необходимы исследования взаимодействия электронного луча и обрабатываемого материала изделия.

Первые электронно-лучевые установки (ЭЛУ) для плавки ниобия и тантала были созданы в 50-х годах. С 1960 г. ЭЛУ стали использоваться для нанесения покрытий, а затем и для обработки поверхности и размерной обработки, с 1970 г. - для нетермической микрообработки и химической обработки полимеров.

Электронные пушки. Электронно-лучевые установки с кольцевыми катодами вначале получили широкое распространение, в частности в США, благодаря простоте конструкции, в которой катод расположен прямо в рабочей камере. Однако из-за невозможности сохранения высокого вакуума при плавке и возникновения электрических пробоев такая конструкция оказалась ненадежной, и поэтому стали разрабатываться конструкции электронных пушек со своей вакуумной системой.

Принципы создания электронной пушки для плавки или сварки были разработаны только в 1940 г. (Дж.Р Пирц, США).

В МЭИ в 1959 г. был создан стенд с пушкой мощностью до 60 кВт, а позднее ЭЛУ мощностью 500 кВт. В 1961 г. по ВНИИЭТО изготовлена первая электронно-лучевая печь-стенд мощностью 200 кВт. Плосколучевые пушки мощностью 20-300 кВт при ускоряющем напряжении 15-20 кВ созданы ИЭС. Серию промышленных электронных пушек на мощности 60-500 кВт разработал ВЭИ.

Испарение и нанесение покрытий. Первый агрегат непрерывного алюминирования стали с использованием ЭЛУ вместо электролитического лужения был построен в США в 1965 г.

Для испарения материала (алюминий, цирконий, сталь, различные сплавы и др.) созданы специальные электронно-лучевые испарители. Промышленный испаритель подобного типа был установлен в ГДР в 1971 г. на основе разработки М. фон Арденне. На стальную ленту шириной 400 мм наносилось двустороннее покрытие алюминием толщиной 2 мкм на сторону при скорости движения ленты до 3 м/с.

Агрегаты такого типа также разрабатывала фирма «Лейбольд-Хереус» (ФРГ): общая мощность электронно-лучевых пушек 1500 кВт, испарителя 1500 кВт, ширина ленты 1000 мм, скорость ее движения до 5 м/с. Фирма «ЮС Стил» (США) изготавливала установки для ленты шириной до 1250 мм при скорости до 7,5 м/с.

Плавка тугоплавких металлов, в том числе зонная плавка - получение монокристаллов тугоплавких металлов. В конце 50-х в США ряд фирм, в том числе и «Темескал металлургикал», разработали оборудование для получения ниобия, тантала, молибдена и других тугоплавких металлов высокой чистоты. В 1959 г. появилась публикация данных о печи фирмы «Темескал ме-таллургикал», позволяющей выплавлять слитки тугоплавких металлов массой до 90 кг с двумя, электронными пушками для плавления шихты и подогрева металла в кристаллизаторе. При плавке ниобия скорость плавления достигала 110кг/ч при расходе энергии 1100 кВт-ч/т. Мощность установки 225 кВт. К 1970 г. в различных странах имелось более 100 электронно-лучевых плавильных печей мощностью до 1200 кВт, выплавлявших слитки массой до 12 т.

Уже в 60-х годах прорабатывались конструкции ЭЛУ с кольцевым катодом или тремя аксиальными пушками для вертикальной зонной плавки с целью получения монокристаллов тугоплавких металлов. Такие работы проводились в Институте металлургии им. А.А. Байкова АН СССР. В 1967 г. в США эта же технология использовалась для получения монокристаллов кремния.

Важная проблема утилизации отходов титана также была решена с Для получения порошков тугоплавких металлов (с последующим изготовлением деталей горячим

прессованием) методом центробежного распыления вращающейся оплавляемой заготовки в 70-х годах начал использоваться электронно-лучевой нагрев (США, ФРГ, СССР).

Термообработка металлов. Электронно-лучевой нагрев позволяет реализовать технологические процессы поверхностной закалки и оплавления поверхности деталей. Для деталей сложной формы и больших габаритов электронно-лучевая закалка, которая стала применяться в 70-х годах, имеет преимущества по сравнению с индукционной закалкой. Оплавление поверхности деталей позволяет улучшить механические характеристики деталей из сталей, чугунов и алюминия.

С 1961 г. фирма «Темескал» (США) эксплуатирует установку с плосколучевой пушкой для рекристаллизационного отжига металлической ленты в вакууме. Подобную установку также разработала фирма «Дегусса» (ФРГ). Изготовленная в ГДР установка для термообработки ленты была оснащена аксиальной пушкой с системой управления перемещением электронного луча.

Размерная обработка материалов. В 1938 г. электронный луч был использован для получения мельчайших отверстий в металле (использовался электронный микроскоп). С помощью ЭЛУ в обрабатываемом изделии можно получать отверстия заданного диаметра и пазы различной формы и глубины в твердых и тугоплавких материалах. В таких установках используют аксиальные пушки на рабочее напряжение 60-150 кВ. Мощности установок в непрерывном режиме 1 кВт и в импульсном режиме до 15 кВт. В 1953 г. такие установки выпускала фирма ФРГ «Штайгер-вальд-Штальтехник» для сверления и перфорации металлических листов. Фирма «Ролле - Ройс» (Великобритания) использовала ЭЛУ в производстве газотурбинных двигателей и барабанов центрифуг.

В США в 70-х годах ЭЛУ использовалась для микрообработки полупроводниковых приборов. Промышленные установки для размерной обработки электронным лучом выпускались также в Японии, ГДР и других странах.

В нашей стране в 80-е годы для электроннолучевой обработки выпускались специализированные промышленные установки типов А 306 и ЭЛУРО мощностью до 100 кВт, оборудованные системой перемещения заготовки.

2 Лазерный нагрев.

Лазеры — это генераторы света (квантовые генераторы оптического диапазона). В основу их работы положено усиление электромагнитных колебаний с помощью индукционного излучения атомов (молекул). Лазерное излучение монохроматично, распространяется очень узким пучком и характеризуется чрезвычайно высокой концентрацией энергии. Для промышленных целей применяют наиболее часто CO_2 -лазеры непрерывно-волнового типа мощностью 0,5 — 5 кВт. Применение лазеров для термической обработки основано на трансформации световой энергии в тепловую.

Под воздействием лазерного излучения за короткий промежуток времени (10^{-8} — 10^{-7} с) поверхность детали из стали или чугуна нагревается до очень высоких температур. Распространение теплоты в глубь металла осуществляется путем теплопроводности. После прекращения действия лазерного излучения происходит закалка нагретых участков, благодаря интенсивному отводу теплоты в глубь металла (самозакалка). Скорость охлаждения составляет 10^8 — 10^5 ° С/с.

Нагрев лазером для термической обработки осуществляется при удельной мощности 10^3 — 10^4 Вт/см². Для снижения отражательной способности поверхности металла и, следовательно, повышения эффективности лазерного нагрева на поверхность наносят пленки сульфидов (Fe_2S_3), фосфатов ($\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$), а также сажи, коллоидный раствор углерода в ацетоне и другие неметаллы и краски.

Нагрев может осуществляться лазерами импульсного и непрерывного излучения. При импульсном излучении зона лазерного воздействия имеет форму круга диаметром D, а при непрерывном — полосу шириной до 3 мм. Для обработки поверхности необходимо сканировать луч с взаимным перекрытием или без перекрытия зон упрочнения. При

обработке с перекрытием пятен имеются зоны многократного нагрева и зоны отпуска (нагрев ниже Ac_1) с пониженной твердостью. Толщина упрочненного слоя не превышает 0,1—0,15 мм. Метод малопроизводительный.

Лазеры непрерывного излучения более производительны и обеспечивают равномерность упрочнения. Скорость обработки поверхности составляет 10^2 — 10^4 мм/мин. При перекрытии полос также образуются зоны отпуска, поэтому в некоторых случаях полосы наносятся на некотором расстоянии друг от друга.

В зависимости от плотности мощности лазерного излучения нагрев осуществляется как с расплавлением металла, так и без него. Критическая удельная мощность, выше которой происходит оплавление поверхности, составляет $(2—6) \cdot 10^4$ Вт/см². Чем выше мощность излучения, меньше диаметр пятна и скорость перемещения, тем больше толщина упрочненного слоя. Наибольшая толщина слоя без оплавления стали не превышает 1,5—2,0 мм, а чугуна — 1,0—1,5 мм. При обработке с оплавлением толщина упрочненного слоя больше.

Структура по толщине зоны лазерного воздействия на среднеуглеродистых (0,35—0,45 % С) сталях включает:

1) зону плавления, состоящую чаще из дендритных кристаллов мартенсита, — Н800—850;

2) зону термического влияния (нагрев до температуры выше Ac_3), состоящую из белого нетравящеся слоя азотисто-углеродистого мартенсита с твердостью Н800: нижняя граница слоя определяется зоной неполной закалки (нагрев в интервале температур Ac_1 — Ac_3) со структурой мартенсит и феррит;

3) зону отпуска с пониженной твердостью (Н500—650);

4) зону исходной структуры и твердости.

Твердость после обработки лазером высокоуглеродистых сталей (У8, У10, ШХ15 и др.) достигает Н1000—1100.

Поверхностная закалка при нагреве лазером без оплавления повышает в 2—4 раза (в зависимости от стали) износостойкость, на 70—80 % предел выносливости при изгибе и на 60—70 % — предел контактной выносливости.

Лазерную обработку успешно применяют для поверхностного упрочнения отливок из перлитного серого, ковкого и высокопрочного чугунов. Благодаря оплавлению поверхности и образованию ледебуритной эвтектики (отбел чугуна) и мартенситного подслоя твердость на поверхности достигает Н750—900. Частичное оплавление ухудшает чистоту поверхности. При отсутствии оплавления твердость после нагрева лазером повышается в результате закалки тонкого поверхностного слоя.

3. Ионный нагрев.

Ионный нагрев металлических тел осуществляют потоком положительных ионов низкотемпературной плазмы, создаваемой в вакууме тлеющим электрическим разрядом. Нагреваемое тело (изделие) помещают в металлическую вакуумированную (давление порядка 10⁻³ Па) камеру и подводят к нему отрицательный полюс источника питания постоянного тока, а к стенкам камеры — положительный полюс. В камеру подают рабочие летучие вещества: газ (аммиак, бор и др.), твердые летучие вещества, пары металлов (их получают в той же камере электродуговым испарением). Между изделием и стенками камеры возбуждают тлеющий электрический разряд. Катод — изделие нагревается потоком положительных ионов летучих присадочных веществ, извлекаемых из низкотемпературной плазмы. Ионы, устремляющиеся к изделию, не только нагревают его, отдавая запасенную в электрическом поле энергию, но и вступают с поверхностью изделия в сложные взаимодействия, поэтому ионный нагрев используют в процессах химико-термической обработки металлов, таким как: — диффузное поверхностное упрочнение (азотирование, цементация, борирование и др.) металлических изделий (инструмента, шестерен, гильз двигателей внутреннего сгорания, коленчатых валов и др.)

путем насыщения легирующими элементами слоев изделий при диффузном взаимодействии ионов с изделием, сопровождаемым нагревом. Процесс протекает при скорости диффузии ионов в металл, превышающей скорость осаждения ионов; – поверхностное покрытие изделий путем ионно-плазменного напыления нитридов (молибдена, титана и др.), карбидов, карбонитридов и других веществ. Процесс протекает при скорости конденсации ионов, превышающей скорость их диффузного взаимодействия с подложкой. Преимущества ионно-плазменной обработки по сравнению с химико-термической обработкой в плазменных печах состоят в повышении производительности в 8...10 раз, уменьшении деформации и повышении износостойкости деталей в 1,5...3 раза, режущего инструмента в 2...10 раз, существенного снижения энергозатрат. Установки ионного нагрева выпускают на мощности в десятки и сотни киловатт. Для возбуждения плазмы используют источники постоянного тока с выходным напряжением от десятков вольт до 1,5 кВ.

4. Источники питания.

Источник питания — устройство, предназначенное для обеспечения различных устройств электрическим питанием.

Различают первичные и вторичные источники питания.

- К **первичным** относят преобразователи различных видов энергии в электрическую, примером может служить аккумулятор, преобразующий химическую энергию в электрическую.
- **Вторичные** источники сами не генерируют электроэнергию, а служат лишь для её преобразования с целью обеспечения требуемых параметров (напряжения, тока, пульсаций напряжения и т. п.)

Первичные источники питания

Химические источники тока

- Гальванические элементы
- Аккумуляторы
- Топливные элементы
- Редокси-элементы

Прочие первичные источники тока

- Фотоэлектрические преобразователи (солнечная батарея)
- Термоэлектрические преобразователи
- Электромеханические источники тока
- Радиоизотопные источники энергии

Вторичные источники питания

- Трансформаторы переменного напряжения и тока
- Импульсные преобразователи
- Стабилизаторы напряжения и тока
- Инверторы

- Существует четыре основных типа сетевых источников питания:
- бестрансформаторные, с гасящим резистором или конденсатором.
 - линейные, выполненные по классической схеме: понижающий трансформатор - выпрямитель - фильтр - стабилизатор.
 - вторичные импульсные: понижающий трансформатор -фильтр - высокочастотный преобразователь 20-400 кГц.

• импульсный высоковольтный высокочастотный: фильтр - выпрямитель ~220 В - импульсный высокочастотный преобразователь 20-400 кГц. Линейные источники питания отличаются предельной простотой и надежностью, отсутствием высокочастотных помех. Высокая степень доступности комплектующих и простота изготовления делает их наиболее привлекательными для повторения начинаяющими радиоконструкторами. Кроме того, в некоторых случаях немаловажен и чисто экономический расчет — применение

линейных ИП однозначно оправдано в устройствах, потребляющих до 500 мА, которые требуют достаточно малогабаритных ИП. К таким устройствам можно отнести:

- зарядные устройства для аккумуляторов;
- блоки питания радиоприемников, АОНов, систем сигнализации и т.д.

1.16 Лекция №17 (2 часа).

Тема: «Электротермическое оборудование для сельского хозяйства»

1.16.1 Вопросы лекции:

1. Электродные и элементные водонагреватели.
2. Электрокалориферные установки.
3. Устройства нагрева воздуха для систем центрального и местного воздушного отопления, установок активного вентилирования сыпучих материалов
4. Подогрев и термообработка кормов.
5. Электротермические обеззараживатели почвы.
6. Установки для борьбы с сорняками.
7. Средства для локального обогрева в сельскохозяйственных помещениях

1.16.2 Краткое содержание вопросов:

1. Электродные и элементные водонагреватели.

Электродным способом нагревают проводники второго рода, имеющие ионную проводимость. К ним относят воду, молоко, фруктовые и ягодные соки, сочные корма, почву, бетон и др. Поэтому в сельскохозяйственном производстве электродный способ используют для нагрева воды, получения пара, стерилизации и пастеризации молока, обеззараживания почвы в парниках и теплицах, обогрева и обеззараживания навоза, электрохимической обработки соломы с целью скармливания скоту и пр.

В сельском хозяйстве наиболее распространены электроводонагреватели. Принципиально они мало отличаются друг от друга. Их основные части: корпус, размещенные в нем электроды, устройство для регулирования мощности и патрубки для провода холодной и отвода горячей жидкости.

Основные преимущества электродных водонагревателей – высокая надежность в работе; простота конструкции и схемы управления; удобство обслуживания; использование неперегораемых элементов – электродов со сроком службы 7...9 лет; более высокий КПД по сравнению с элементными нагревателями, работающими на ТЭНах.

Основные недостатки – значительная зависимость надежности и долговечности установок от параметров воды; значительная зависимость их мощности от температуры нагреваемой воды, удельное электрическое сопротивление которой падает из-за резкого увеличения в ней количества ионов; электрохимическая коррозия электродов и электролиз воды и растворимых в ней солей, наличие в воде продуктов «растворения» железа и продуктов электролиза; образование гремучего газа при большой плотности тока на электродах и возможность взрыва установки.

Элементные водонагреватели используют для нагрева воды на технологические и санитарно-гигиенические нужды ферм и комплексов, для подогрева воды в автотракторных мастерских, в теплично-парковом хозяйстве, в консервном производстве и при выпечке хлеба, для изготовления различной питьевой воды и пива, а также на других сельскохозяйственных предприятиях.

Основные преимущества элементных ЭНУ – мощность, потребляемая из сети нагревателем, не зависит от удельного электрического сопротивления воды и практически не зависит от температуры воды; ЭНУ может быть сразу же использована для нагрева питьевой воды; у нагревателей имеется возможность быстрой замены вышедших из строя ТЭНов.

Недостатки элементных ЭНУ – выход из строя ТЭНов из-за прекращения подачи или упуска воды из системы; меньшее значение мощности на единицу массы и объема по сравнению с электродными ЭНУ, а также более сложная конструкция с более низким КПД.

2.Электрокалориферные установки.

Электрокалориферная установка (ЭКУ) предназначена для обогрева помещений промышленного и сельскохозяйственного назначения, также применяется в строительстве для сушки штукатурки, строительных материалов, краски и создания комфортных условий при выполнении работ. Установка при работе создает перепад по температуре входящего и выходящего воздуха от +35°C до +65°C, что позволяет использовать его для приточной вентиляции и обогрева в режиме рециркуляции. При необходимости, в теплое время установку можно использовать как высокопроизводительный вентилятор, отключив электрокалорифер; снизить перепад температур входящего и выходящего воздуха за счет отключений секций ЭКУ. Установка используется в закрытых помещениях при температуре окружающей среды от -20°C до +40°C, не содержащей легковоспламеняющихся веществ и пыли. Электрокалориферная установка состоит из электрокалорифера, осевого вентилятора; может устанавливаться на площадку или подвешиваться на кронштейны.

3.Устройства нагрева воздуха для систем центрального и местного воздушного отопления, установок активного вентилирования сыпучих материалов

Областью применения электродных термосифонных водонагревателей является получение горячей воды, используемой в системах отопления, для кормоприготовления, полива растений, для удовлетворения санитарно- гигиенических нужд, в ремонтных мастерских и других процессах. На фермах для мытья молочной посуды и оборудования используют горячую воду температурой 80...90°C, воду с температурой 50°C применяют для санитарной и гигиенической обработки поголовья, для поения животных воду подогревают до 12°C.

Электродные термосифонные водонагреватели (ЭТВН) аккумуляционного и проточного типа для систем отопления и горячего водоснабжения различного назначения мощностью 2, 6, 12, 18, 25, 40, 60, 100, 250 кВт не имеют принципиальных конструктивных отличий. Особенность заключается лишь в способе теплопередачи: в ЭТВН аккумуляционного типа процесс нагрева воды осуществляется в результате свободной конвекции, а проточного - вынужденной. Данное обстоятельство учитывается при выборе расчетных выражений для коэффициента теплоотдачи от стенки трубы к нагреваемой среде при расчете теплообменника.

Основными элементами термосифонного водонагревателя являются испарительная и конденсационная системы.

Испарительная система представляет собой сварную конструкцию, состоящую из кожуха и корпуса, пространство между которыми заполнено теплоизолирующим материалом. Внутри испарительной камеры расположена электродная группа. Электроды погружены в электропроводный раствор электролита. Для отвода образовавшейся в результате Джоулева нагрева паровой фазы и подвода к электродной группе конденсата испарительная камера снабжена патрубками и.

Испарительная электродная камера включается в первичный замкнутый контур теплообменника, а из вторичного контура отбирается горячая вода.

Теплообменник состоит из корпуса с крышкой, внутри которого располагаются трубы, смонтированные на трубной доске.

В трубах путем свободной или вынужденной конвекции движется нагреваемая вода. Подвод холодной воды и отвод к потребителям горячей осуществляются с помощью патрубков и.

Теплообменник может быть изготовлен как в одноходовом исполнении, так и в многоходовом.

На внешней поверхности трубок конденсируется пар, который подводится во внутренний объем теплообменника от испарительной камеры посредством патрубка. Для возврата конденсата в испарительную камеру теплообменник снабжен патрубко.

4.Подогрев и термообработка кормов.

Целью термической обработки (варки, запаривания) кормов является улучшение их поедаемости и усвояемости животными. При внешнем энергоподводе теплота внутри материала распространяется за счет его теплопроводности. Малая теплопроводность сельскохозяйственных продуктов обуславливает длительность и неравномерность нагрева, что сопровождается потерей питательных веществ и повышенным расходом энергии на обработку.

Для термической обработки увлажненных кормов (картофель, корнеплоды, смоченная солома, меласса и др.) перспективно применять электродный нагрев, который позволяет интенсифицировать процесс обработки, уменьшить потери теплоты, снизить температуру нагрева и затраты энергии

Корпус смесителя выполнен из листовой стали и имеет двойные стенки, в полость которых для подогрева кормовой смеси подается пар (или горячая вода в случае комплектации устройства пароводяным теплообменником), генерируемый электродной термосифонной системой.

Проектирование устройств для смешивания и подогрева кормов, выполненных на базе смесителя кормов типа СК и электродного термосифонного подогревателя, целесообразно осуществлять с использованием норм расхода горячей воды и пара на животноводческих фермах при тепловой обработке кормов.

Суточная норма расхода пара на приготовление кормовой смеси зависит от вида животных и их возраста, например, для свиней она изменяется от 0,3 до 0,71 кг на 1 голову, или от 0,0125 до 0,03 кг на 1 голову в час.

5.Электротермические обеззараживатели почвы.

В растениеводстве для защищенного грунта используется электротермический обеззараживатель, в котором в качестве рабочего органа используются электроды в виде вращающихся дисков. Электрический ток, проходящий между заглубленными частями дисков, нагревает почву до высокой температуры (80...90°C). При этом наряду с термическим действием на фитопатогенные организмы губительное действие оказывает и электрический ток, проходящий через почву. При соответствующих влажности почвы и плотности тока гибель основных вредителей и возбудителей болезней растений наступает при температуре меньше на 20-30°C, чем при паровом обеззараживании, а время процесса сокращается в 10-20 раз. Одновременно с этим увеличивается содержание подвижных элементов в почве, что способствует повышению ее плодородия.

Электроды размещены в специальной камере на изолированном валу, имеющем привод от электродвигателя через редуктор, установленные в силовой части. От них же вращается ходовое колесо. Управление машиной осуществляется тумблерами, размещенными на рукоятке управления. Для обеспечения заданной глубины обработки имеется опорная плита. Для поверхностной обработки установлен дополнительный инфракрасный нагреватель. С целью надежного прохождения электрического тока через переходной контакт, между электродом и землей над каждым диском установлена капельница, куда подается вода из водораспределительного коллектора.

6. Установки для борьбы с сорняками.

Сокращение потерь урожая от вредителей, болезней и сорняков имеет большое значение. Для уничтожения сорной растительности электрическим током необходимо передать сорнякам определенное количество энергии, которой должно быть достаточно для их гибели.

Для определения мощности источника электрической энергии необходимо знать число растений, одновременно касающихся электрода, время контактирования и количество необходимой для гибели растения энергии.

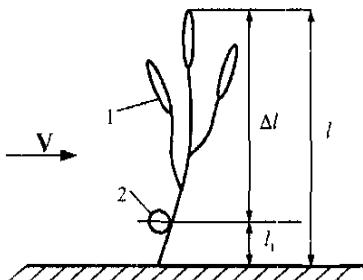


Рисунок 15. Схема взаимодействия электрода установки с растением

Агрегат, двигаясь по полу со скоростью V , касается растения, наклоняет его и скользит по нему, отрезок пути l . При этом по всей длине электрода в контакт с ним могут вступить ещё несколько растений.

Рисунок показывает, что время контактирования растения с электродаом при движении установки прямо пропорционально длине отрезка l и обратно пропорционально скорости движения установки V :

Для наиболее распространенных видов сорных растений и фаз их развития конкретные значения летальных доз энергии W должны быть получены экспериментальным путем. Скорость агрегата задается исходя из времени контакта, достаточного для уничтожения сорняка. Ширина захвата (длина электродаов) агрегата устанавливается в зависимости от засоренности (количество сорняков на 1 м) и конструктивных особенностей электродаов.

Засоренность определяется многолетними наблюдениями по данному району.

Достоинствами таких систем является простота и малая металлоемкость. Подобные электродные системы рекомендуется использовать для борьбы с сорняками в посевах, когда их высота превышает высоту культурных растений (осот в пшенице, овсе и др.). Избирательность воздействия обеспечивается регулированием расстояния от электрода до культурного растения. Эффективность обработки тем выше, чем больше разность длин культурных растений и сорняков. Штанговые электроды в рабочем положении не имеют непосредственного контакта с землей, поэтому электрическая цепь «источник электрод-растение-почва-источник»- создается путем использования дополнительного заглубленного в почву электрода.

7. Средства для локального обогрева в сельскохозяйственных помещениях

Для создания благоприятного температурно-влажностного режима при выращивании молодняка сельскохозяйственных **животных** и **птицы**, особенно в начальный период, в помещениях рекомендуется применять инфракрасный (тепловой) **локальный обогрев**, позволяющий создавать повышенную температуру лишь в зоне расположения животных. Использование инфракрасного излучения для обогрева животных в холодный период года основано на проникновении его в подкожные слои тканей и органов, где энергия излучения превращается в тепловую, в результате чего усиливается кровообращение, активизируются биологические процессы и процессы обмена веществ, создаётся тепловой барьер, препятствующий переохлаждению организма. Источники инфракрасного облучения в зависимости от спектрального состава делятся на «светлые» и «темные». Наиболее часто применяют «светлые» источники, к которым относятся **лампы накаливания**, работающие при несколько пониженной температуре нити накала (2000...2500 К) по сравнению с обычными осветительными лампами. «Темные» тепловые электронагреватели (ТЭН) представляют собой металлическую

трубку, внутри которой заключен элемент накаливания (нитрохромовая спираль, уложенная в огнестойкую изоляцию). Температура нагрева спирали 700...1000 К, температура излучающей поверхности ТЭНа достигаем 450 К. Промышленность выпускает ТЭНЫ типа ОКБ.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа № 1 (2 часа).

Тема: «Водное занятие»

2.1.1 Цель работы: приобрести навыки по методике измерения оптических величин.

2.1.2 Задачи работы:

1. Методика измерения световых величин
2. Методика измерения фитовеличин оптического излучения
3. Общая методика измерений и обработка полученных результатов

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Универсальный лабораторный стенд аудитории светотехники и электротехнологии,
2. люксметр

2.1.4 Описание (ход) работы:

1. Методика измерения световых величин

Практически все световые величины, которые необходимо экспериментально определять при выполнении лабораторных работ, измеряют косвенным путем по освещенности. Поэтому на практике определяют освещенность, а по ней уже рассчитывают остальные световые параметры.

Для измерения освещенности используют специальные приборы, показывающие величину непосредственно в люксах и называемые люксметрами. Самое широкое распространение получили переносные люксметры, состоящие из селенового фотоэлемента и чувствительного электроизмерительного прибора.

Так как селеновый фотоэлемент — не вполне устойчивый измерительный 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.

При измерении освещенности необходимо следить за тем, чтобы на приемную часть фотоэлемента не падали случайные тени от человека или оборудования. Положение гальванометра должно быть горизонтальным. Учитывая влияние напряжения питания на поток источников света, его следует каждый раз контролировать.

Промышленность выпускает люксметры типа Ю116 и Ю117. Снятый с производства люксметр типа Ю116 еще довольно широко распространен в практике.

Люксметры всех трех типов содержат селеновые фотоэлементы, вмонтированные в оправу с ручкой, и микроамперметр, шкала которого проградуирована в люксах.

Люксметр Ю116 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 КМ, КР и КТ с коэффициентами ослабления потока соответственно 10, 100 и 1000.

Принципиальная электрическая схема люксметра приведена на рисунке 16.

Стрелочный прибор магнитоэлектрической системы М2027 смонтирован в одном корпусе с переключателем диапазонов измерений и с вилкой для подключения селенового фотоэлемента. Площадь светочувствительной поверхности фотоэлемента около 30 см^2 . Его подключают к измерительному прибору при помощи шнура длиной 1,5 м с розеткой.

Люксметр проградуирован по лампе накаливания в основных диапазонах без светофильтров и дает погрешность измерений $\pm 10\%$. При переходе на дополнительные диапазоны измерений погрешность возрастает не более чем на $\pm 5\%$. Время остановки стрелки показывающего прибора менее 4 с.

Для снижения косинусной погрешности измерений для фотоэлемента применяют специальную полусферическую насадку из белой светорассеивающей пластмассы. Насадку используют только с нейтральными светофильтрами.

Селеновый фотоэлемент необходимо оберегать от избыточной освещенности, не соответствующей выбранным насадкам. В противном случае прибор перегружается, возрастает погрешность измерений, и сам фотоэлемент быстро стареет.

При проведении точных измерений надо учитывать, что приемная светочувствительная поверхность фотоэлемента и с насадками, и без насадок расположена на расстоянии 15 мм от основания его корпуса.

Люксметр Ю117 по конструктивному исполнению аналогичен люксметру ИИ 16, отличается только тем, что имеет один основной (от 2 до 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. Погрешность измерения люксметра в основных диапазонах составляет $\pm 10\%$ от значения измеряемой освещенности, кроме диапазона $0,1 \dots 0,2$ лк, в котором погрешность $\pm 30\%$.

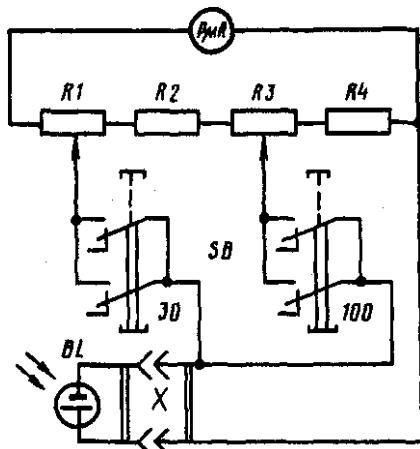


Рисунок 16. Принципиальная электрическая схема люксметра Ю116

2. Методика измерения фитовеличин оптического излучения

Органические вещества образуются из неорганических только при поглощении растениями энергии оптического излучения. Энергетическое воздействие оптического излучения оценивают либо по потоку фотосинтетически активного, потенциально доступного растению излучения, либо конкретно по его способности обеспечить процесс фотосинтеза.

В первом случае для измерений используют систему энергетических величин и приборы с неселективными приемниками теплового действия; во втором — систему фитовеличин и специальные приборы, спектральная чувствительность которых близка к спектральной чувствительности "среднего" листа растений [2].

Пиранометр Янишевского в сочетании со светофильтрами ЖС-11 и КС-19 позволяет измерять облученность в энергетических единицах ($\text{Вт}/\text{м}^2$) в трех диапазонах оптического излучения: 300...2750, 400...2750 и 710...2750 нм. Это значит, что пиранометром можно измерять общую облученность во всем диапазоне в

ультрафиолетовом диапазоне 300...400 нм (разность показаний прибора без светофильтров и со светофильтром ЖС-11), в инфракрасном (со светофильтром КС-19) и фитооблученности (разность измерений со светофильтрами ЖС-11 и КС-19).

Фитофотометры ФИТОМ-70 и ФФМ-71 предназначены для измерения фитооблученности в единицах системы фитовеличин ($\text{фит}/\text{м}^2$) от любого источника оптического излучения [2].

Радиометр РОИ-82 применяют для измерения энергетической освещенности в диапазоне от 0,01 до 500 Вт/м², создаваемой искусственными источниками излучения. Спектральный диапазон измерений: 220...270 нм, 280...320, 320...400, 280...400, 380...710 нм. Относительная погрешность измерения меньше 15%.

Автоматический дозиметр ДАУ-81 используют для измерения энергетической освещенности в диапазоне 0,1...500 Вт/м² и дозы облучения от 10 до $1,5 \cdot 10^7$ Дж/м² в точно таких же спектральных диапазонах, что и прибор РОИ-82. Дозиметр может контролировать процесс облучения и отключать источник оптического излучения при получении объектом заданной дозы.

Полосовой спектрорадиометр СРП-86 обеспечивает измерение облученности в диапазоне от 0,01 до 2000 Вт/м², создаваемой различными источниками оптического излучения в спектральных поддиапазонах 220...280 нм, 280...320, 320...400, 400...720, 720...2700, 1700...3300, 3300...6300, 6000... 10 000, 1100... 10 000 нм. Погрешность измерения меньше 10 %.

3. Общая методика измерений и обработка полученных результатов

При выполнении лабораторных работ точность измерений определяет качество и достоверность получаемых результатов и возможность на их основе сделать правильные выводы. Поэтому измерения следует проводить как можно внимательнее и точнее. Однако точность и этом должна соответствовать точности измерительных приборов, пример, если прибор позволяет измерить величину с известной полостью (по классу прибора) до десятых долей, то нет смысла проводить измерения до сотых долей.

Следовательно, перед началом любых измерений необходимо определить исходя из погрешности используемых приборов разумную достаточность этих измерений и только затем выполнять саму работу. В тех случаях, когда на результаты измерений могут оказаться влиять какие-либо случайные факторы (например, при измерении освещенности и облученности влияние излучений посторонних источников, колебания напряжения в сети и т. д.), то измерения следует проводить не менее чем в трехкратной повторности.

Полученные при измерениях данные необходимо внимательно просмотреть, проанализировать ход исследуемых зависимостей. При резких отличиях отдельных результатов измерений их надо отбросить как грубые ошибки, возникшие из-за нарушения основных условий измерения, или ошибки экспериментатора (например, проведение отсчета не по нужной шкале прибора), или недосмотр экспериментатора (например, при плохом освещении вместо "5" записано "6"). Сами же измерения необходимо повторить, если это возможно.

Определяемые на основе измерений результаты ограничивают числом значащих цифр, соответствующим относительной погрешности, несмотря на большие возможности вычислительной техники. При этом числа округляют по существующим правилам.

В тех случаях, когда значения от измерения к измерению не повторяются, величину измеряют несколько раз [4].

2.2 Лабораторная работа № 2 (2 часа).

Тема: «Исследование электрических и светотехнических характеристик лампы накаливания»

2.2.1 Цель работы: Изучить устройство и исследовать электрические и световые характеристики ламп накаливания.

2.2.2 Задачи работы:

- Изучить конструкцию лампы накаливания.
- Экспериментальным путём снять и построить зависимости тока, мощности, освещённости и температуры тела накала лампы от напряжения питания;
- Рассчитать и построить зависимости сопротивления, температуры тела накала, светового потока, светоотдачи и срока службы лампы от напряжения;

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Автоматический выключатель, автотрансформатор; вольтметр, амперметр, трансформатор тока, лампа накаливания, люксметр.

2.2.4 Описание (ход) работы:

Измеряем:

- Температуру нити накала в холодном состоянии, равную температуре окружающей среды $T_X = \text{К}$;
- Мультиметром сопротивление нити накала в холодном состоянии $R_X = \text{Ом}$;
- Освещённость в точке наблюдения при негорящей лампе $E_0 = \text{лк}$;
- Расстояние от центра лампы до точки размещения датчика люксметра $l = 0,5\text{м}$.

Расстояние должно быть порядка 0,5 метра.

Собираем схему экспериментальной установки

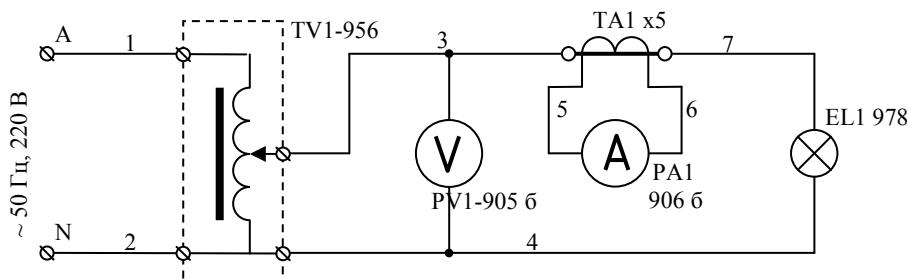


Рисунок 17. Принципиальная схема испытания лампы накаливания.

Записываем и выполняем действия по снятию параметров каждой из точек характеристики

- Устанавливаем заданное в таблице напряжение.
- Измеряем и заносим в таблицу зависимые параметры (ток и освещённость).
- Определяем расчётные данные: сопротивление нити лампы R , световой поток Φ , световую отдачу η_v , температуру тела накала T в К , φ_t – интегральный коэффициент излучения;.

Заготавливаем таблицу записи наблюдений для снятия характеристик лампы

Таблица 4 -

Исполнитель \rightarrow							
Измеряемая величина \downarrow							
Опытные и расчётные данные \rightarrow	Но миналь- ные	Текущие					
Опытные данные							

$U, \text{ В}$	220	40	90	60	30	10	0	0	0
$I, \text{ А}$									
$E =$ $E_{\text{изм}} - E_0, \text{ лк}$ (люкс)									
Расчётные данные									
$P, \text{ Вт}$									
$R = U/I, \text{ Ом}$									
$T = [(R - R_X)/(\alpha \cdot R_X)] + T_X, \text{ К}$									
$\Phi \approx 3,4 \pi l^2 E, \text{ лм}$ (люмен)									
$\eta_v = \Phi / P$									
$\lambda_{\text{max}} = 2896/T, \text{ нм}$									
$t_{\text{cl}} = t_{\text{cl}} \cdot (U/U_n)^{-13,8}$									

Строим предусмотренные в задании графики

2.3 Лабораторная работа № 3 (2 часа).

Тема: «Исследование эксплуатационных и вольтамперных характеристик разрядной лампы низкого давления»

2.3.1 Цель работы: Изучить конструкцию, схемы включения и принцип действия люминесцентных ламп. Исследовать их электрические и световые характеристики.

2.3.2 Задачи работы:

- Измерить ток разогрева электродов лампы, номинальный ток лампы и определить ток тлеющего разряда стартера;
- Измерить ток, напряжение на лампе, напряжение на дросселе и освещённость на вспомогательной плоскости, а также определить полную, реактивную, активные мощности лампы и дросселя, коэффициент мощности, световой поток, светоотдача лампы и схемы при различных напряжениях питания. Построить зависимости перечисленных величин от напряжения питания.
- Определить ёмкость конденсатора необходимого для компенсации коэффициента мощности

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

- автоматический выключатель,
- автотрансформатор;
- вольтметры,
- амперметр,
- трансформатор тока,

6. лампа накаливания,
7. люминесцентная лампа,
8. люксметр,

2.3.4 Описание (ход) работы:

Собираем схему экспериментальной установки

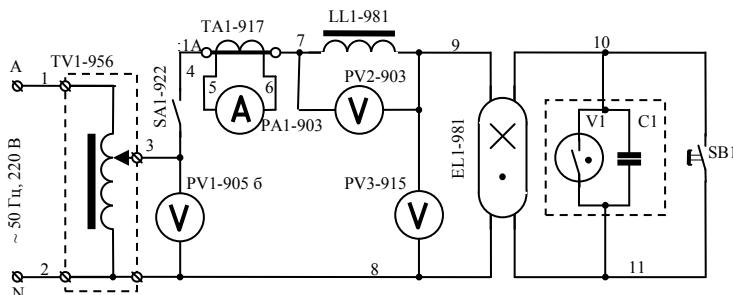


Рисунок 18. Принципиальная схема испытания люминесцентной лампы

Измеряем ток разогрева электродов и номинальный ток лампы

1. Размыкаем SA1;
2. Подаём напряжение;
3. Устанавливаем по вольтметру номинальное (220 В) напряжение лампы;
4. Держа нажатой кнопку SB1, замыкаем SA1 и, не отпуская кнопку, снимаем показания амперметра: ток разогрева электродов $I_p = \text{A}$;
5. Отпускаем кнопку и после загорания лампы фиксируем номинальный ток лампы $I_H = \text{A}$;
6. Определяем ток тлеющего разряда стартера $I_{mp} = 0,1I_H = \text{A}$.

Заготавливаем таблицу записи наблюдений для снятия зависимостей параметров лампы от напряжения питания

Таблица 5

Исполнитель →									
Параметры ↓									
<u>Опытные данные</u>									
Напряжение питания $U_c = U_1, \text{ В}$									
Напряжение на дросселе $U_{dr} = U_2, \text{ В}$									
Напряжение на лампе $U_l = U_3, \text{ В}$									
Ток $I_l = I_{dr} = I, \text{ А}$									
Освещённость $E, \text{ лк}$									
<u>Расчётные данные</u>									
Полная мощность схемы $S = I \cdot U_c, \text{ ВА}$									
Полная мощность дросселя $S = I \cdot U_{dr}, \text{ ВА}$									
Световой поток лампы $\Phi = 2\pi^2 l h E / [(\alpha + (\sin 2\alpha)/2) \cos^2 \gamma]$									
<i>Строится векторная диаграмма и по ней определяются все остальные параметры</i>									
Активное падение напряжения $U_a, \text{ В}$									
Активное падение напряжения на лампе $U_{a.l} = U_l, \text{ В}$									
Активное падение напряжения на дросселе $U_{a.dr}, \text{ В}$									

Реактивное падение напряжения U_p , В							
Активная мощность лампы $P_l = I \cdot U_{a.l}$, Вт							
Активная мощность дросселя							
$P_{dp} = I \cdot U_{a.dp}$, Вт							
Реактивная мощность $Q = I \cdot U_p$, ВАр							
Светоотдача лампы $\eta_l = \Phi / P_l$, лм/Вт							
Светоотдача схемы $\eta_{cx} = \Phi / P$, лм/Вт							

Запускаем установку

Выполняем действия по проведению опыта

7. Размыкаем SA1;
8. Подаём напряжение;
9. Устанавливаем по вольтметру номинальное (220 В) напряжение лампы;
10. Замыкаем SA1;
11. После загорания лампы снимаем показания приборов. Точку для измерения освещённости выбираем в соответствии с рис. 6 на расстоянии 0,8 метра;

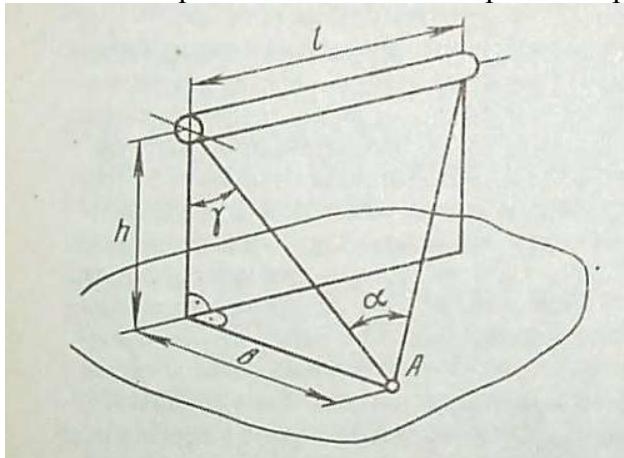


Рисунок 19. Схема размещения датчика люксметра и параметры необходимые для расчёта светового потока

12. Рассчитываем величину светового потока и полную мощность дросселя и схемы;
13. Строим векторную диаграмму (каждый из исполнителей для заданного ему напряжения сети) в следующей последовательности:
 - Горизонтально в масштабе 0,1 А/см откладываем вектор тока;
 - Из начала вектора тока в масштабе 20 В/см откладываем вектор напряжения лампы, совпадающий по фазе с током;
 - Вектор напряжения на дросселе имеет начало в конце вектора напряжения на лампе, а вектор напряжения сети, равный сумме векторов напряжений на лампе и дросселе, поэтому имеет начало общее с началом вектора напряжения на лампе. Концы векторов U_c и U_{dp} сходятся в одной точке, которую находят с помощью циркуля. При этом необходимо помнить, что в цепи с индуктивностью вектор сетевого напряжения опережает вектор тока. Проекция вектора U_{dp} на вектор тока даёт вектор активного падения напряжения на дросселе $U_{dp.A}$. Проекция же вектора U_c на вектор тока даёт активную составляющую подведённого напряжения $U_A = U_{A.l} + U_{A.dp}$.

14. По векторной диаграмме определяем активные и реактивное напряжение и далее определяем все остальные, заданные в таблице параметры[4]

Строим предусмотренные заданием графики.

2.4 Лабораторная работа № 4 (2 часа).

Тема: «Исследование эксплуатационных характеристик различных видов ламп»

2.4.1 Цель работы: Изучить устройство и исследовать электрические и световые характеристики лампы накаливания, компактной люминесцентной лампы, светодиодной лампы

2.4.2 Задачи работы:

1. Экспериментальным путём снять и построить зависимости тока, мощности, освещённости от напряжения питания;
2. Выяснить зависимость световой отдачи ламп от номинальных значений мощности и напряжения.

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. автоматический выключатель,
2. автотрансформатор;
3. вольтметр,
4. амперметр,
5. трансформатор тока,
6. лампа накаливания,
7. люминесцентная лампа,
8. светодиодная лампа,
9. люксметр.

2.4.4 Описание (ход) работы:

Знакомимся с основными техническими данными используемого в нижеприведённой схеме оборудования и его размещением на стенде

Собираем схему экспериментальной установки

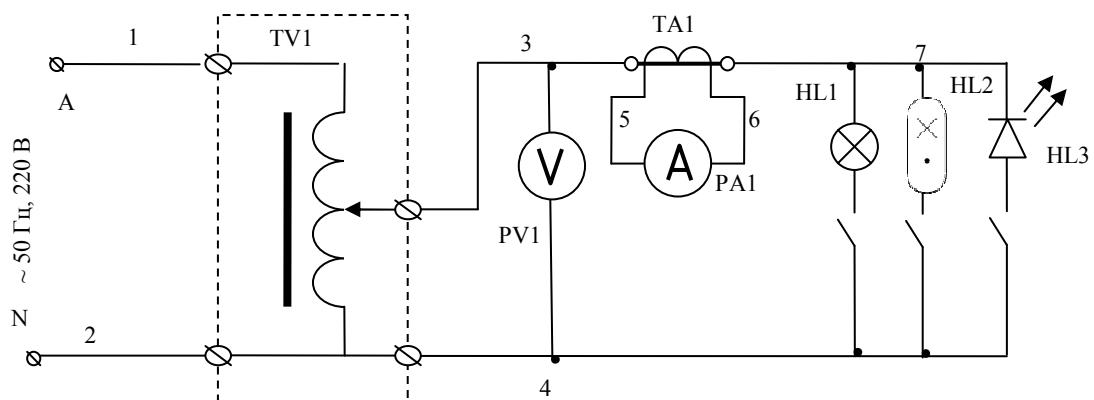


Рисунок 20. Принципиальная схема испытания лампы накаливания, люминесцентной и светодиодной ламп.

Заготавливаем таблицу записи наблюдений для снятия характеристик лампы
Таблица 6

Опытные расчётные данные →	и ом	Текущие							
Опытные данные									
U, В	20	00	80	60	40	20	00	0	0
I _{HL1} , А									
I _{HL2} , А									
I _{HL3} , А									
E _{HL1} = E _{изм} -E ₀ , лк									

$E_{HL2} = E_{изм} - E_0, \text{ лк}$								
$E_{HL3} = E_{изм} - E_0, \text{ лк}$								
Расчётные данные								
$P_{HL1}, \text{ Вт}$								
$P_{HL2}, \text{ Вт}$								
$P_{HL3}, \text{ Вт}$								
$R_{HL1} = U/I_{HL1}, \text{ Ом}$								
$R_{HL2} = U/I_{HL2}, \text{ Ом}$								
$R_{HL3} = U/I_{HL3}, \text{ Ом}$								
$\Phi_{HL1} \approx 3,4\pi l^2 E, \text{ лм}$								
$\Phi_{HL2} \approx 3,4\pi l^2 E, \text{ лм}$								
$\Phi_{HL3} \approx 3,4\pi l^2 E, \text{ лм}$								
$\eta_{HL1} = \Phi_{HL1} / P_{HL1}$								
$\eta_{HL2} = \Phi_{HL2} / P_{HL2}$								
$\eta_{HL3} = \Phi_{HL3} / P_{HL3}$								
$t_{сл.н} = t_{сл.н} (U/U_h)^{-13,8}$								

Записываем и выполняем действия по снятию параметров каждой из точек характеристики

Работу выполняют ответственные за каждую точку характеристики

Устанавливаем заданное в таблице напряжение.

Измеряем и заносим в таблицу зависимые параметры (ток и освещённость).

Определяем расчётные данные: сопротивление лампы R , световой поток Φ , световую отдачу η .

2.5 Лабораторная работа № 5 (2 часа).

Тема: «Исследование разрядной лампы высокого давления типа ДНаТ»

2.5.1 Цель работы: Ознакомиться с устройством и работой лампы ДНаТ, изучить ее электрические и светотехнические характеристики.

2.5.2 Задачи работы:

Исследовать процесс разгорания лампы ДНаТ. Снять зависимость изменения тока и освещённости в точке под лампой от времени разгорания ($I, E=f(t)$) и кривую светораспределения $I_\alpha = f(\alpha)$. Снять вольт-амперную характеристику лампы. Установить зависимость основных параметров лампы от напряжения питания.

2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

- автоматический выключатель,
- автотрансформатор;
- вольтметры,
- амперметры,
- трансформатор тока,
- лампа ДНаТ,
- дроссель,
- люксметр.

2.5.4 Описание (ход) работы:

Знакомимся с основными техническими данными используемого в нижеприведённой схеме оборудования и его размещением на стенде

Собираем схему экспериментальной установки

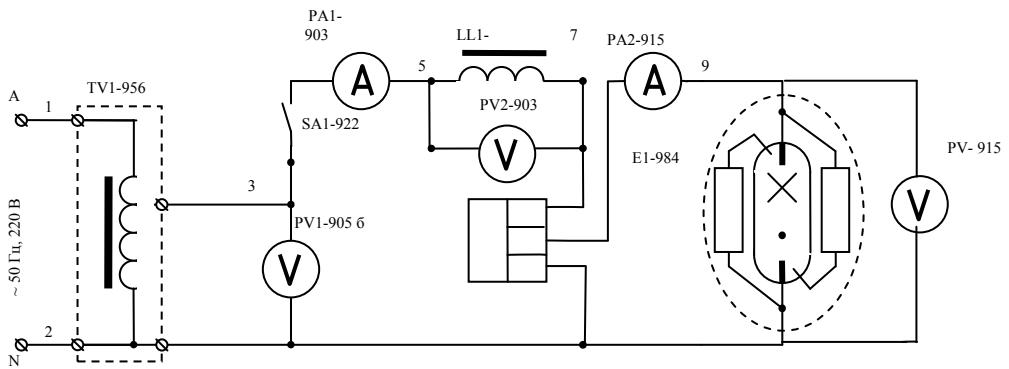


Рисунок 21. Принципиальная схема испытания лампы ДНаТ
Измеряем активное сопротивление дросселя $R_{др} = \text{Ом}$ и расстояние от центра лампы до точки размещения датчика люксметра $l = \text{м.}$

Заготавливаем таблицу записи наблюдений для снятия характеристик лампы

Записываем и выполняем действия по снятию параметров каждой из точек характеристики

- 1 Устанавливаем аппараты схемы в исходное состояние (выключатель SA1 отключаем, датчик люксметра устанавливается на полку рейки строго под лампой $\alpha=0$);
 2. Подаём напряжение сети;
 3. Устанавливаем напряжение на выходе автотрансформатора 220 вольт;
 4. Каждому из ответственных за показания приборов приготовиться к включению установки;
 5. Замыкаем выключатель SA1.
 6. В момент включения и по истечении каждого 30 секунд производим отсчёт показаний приборов и заносим их в таблицу;
 7. После прогрева лампы приступаем к проведению следующих этапов исследования;
 8. Расчётные формулы:
 - Рассчитываем остальные параметры предусмотренные в работе

2.6 Лабораторная работа № 6 (2 часа).

Тема: «Исследование разрядной лампы высокого давления типа ДРЛ»

2.6.1 Цель работы: Ознакомиться с устройством и работой лампы ДРЛ, изучить ее электрические и светотехнические характеристики.

2.6.2 Задачи работы:

Исследовать процесс разгорания лампы ДРЛ. Снять зависимость изменения тока и освещённости в точке под лампой от времени разгорания ($I, E=f(t)$) и кривую светораспределения $I_\alpha=f(\alpha)$. Снять вольт-амперную характеристику лампы. Установить зависимость основных параметров лампы от напряжения питания.

2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

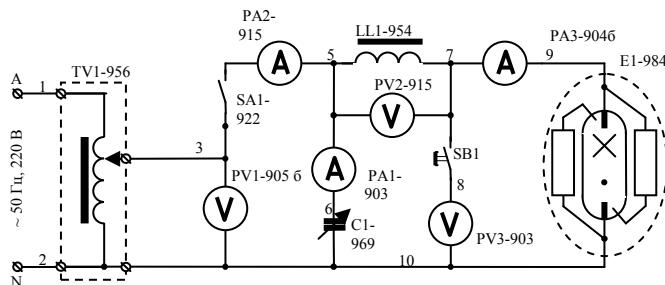
1. автоматический выключатель,
2. автотрансформатор;
3. вольтметры,
4. амперметры,
5. трансформатор тока,
6. лампа ДРЛ,
7. дроссель,
8. люксметр.

2.6.4 Описание (ход) работы:

Знакомимся с основными техническими данными используемого в нижеприведённой схеме оборудования и его размещением на стенде

Номинальные технические данные исследуемой лампы: $P_H=400$ Вт; $U_{ЛH}=135$ В; $I_{ЛH}=3,25$ А; $\Phi_H=22000$ лм; $t_{сл}=15000$ часов; тип цоколя Е40; диаметр 122 мм; длина 292 мм.

Собираем схему экспериментальной установки



И сполните ли	$t,$	$C_L,$	$U_I($	$U_2($	$U_3($	$I_I(I_C$	$I_2(I_K$	$I_3(I_L$	$E,$	$S,$	$S_{l,}$	$P_{l,}$	$P_{\partial p},$	$P,$	$Q_{l,}$	$Q_{l,}$	Cos	Cos	$\Phi,$	$\eta_v,$

Продолжаем уменьшать напряжение до погасания лампы

Записываем и выполняем действия по снятию параметров каждой из точек характеристики

- 1 Устанавливаем аппараты схемы в исходное состояние (выключатель SA1 отключаем, датчик люксметра устанавливается на полку рейки строго под лампой $\alpha=0$);
2. Подаём напряжение сети;
3. Устанавливаем напряжение на выходе автотрансформатора 220 вольт;
4. Каждому из ответственных за показания приборов приготовиться к включению установки;
5. Замыкаем выключатель SA1.
6. В момент включения и по истечении каждых 30 секунд производим отсчёт показаний приборов и заносим их в таблицу;
7. После прогрева лампы приступаем к проведению следующих этапов исследования;
8. Расчётные формулы:
 - Полная мощность установки $S=UcIc;$
 - Полная мощность лампы и дросселя $S_l=UcI_l;$
 - Активная мощность лампы $P_l=U_lI_l;$
 - Активная мощность дросселя $P_{\partial p}=I_l^2R_{\partial p};$
 - Активная мощность установки $P=P_l+P_{\partial p};$
 - Реактивная (ёмкостная) мощность конденсатора $Q_c=UcI_k$ или $Q_c=I_k^2\cdot X_c=I_k^2/(2\pi fC).$ За действительное значение реактивной мощности принять среднее значение, рассчитанное по той и другой формулам;
 - Реактивная мощность дросселя $Q_l=\sqrt{S_l^2-P_l^2};$
 - Реактивная мощность установки $Q=Q_l-Q_c;$
 - Коэффициент мощности лампы $Cos\varphi_l=P/S_l;$
 - Коэффициент мощности установки $Cos\varphi=P/S;$
 - Световой поток $\Phi=\Phi_h E/E_h,$ где E_h – освещённость при номинальном напряжении;
 - Световая отдача $\eta_v=\Phi/P_l.$

Строим предусмотренные в задании графики

2.7Лабораторная работа № 7 (2 часа).

Тема: «Определение освещенности помещения опытным путем и с помощью методов коэффициента использования светового потока и удельной мощности»

2.7.1 Цель работы:

Освоить различные методы световых расчетов освещения помещений. Оценить точность и применимость каждого метода, сопоставляя результаты расчета по ним со значениями измеренной фактической освещенности.

2.7.2 Задачи работы:

Оценить точность и применимость каждого метода, сопоставляя результаты расчета по ним со значениями измеренной фактической освещенности. Приобрести навыки измерений люксметром освещенности рабочих поверхностей

2.7.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1.Люксметр.

2.7.4 Описание (ход) работы:

Снять план помещения, вычертить его в масштабе с указанием размещения светильников;

При помощи люксметра найти на рабочей поверхности точку с наименьшей освещенностью E_{min} . Эта точка в дальнейшем будет расчетной **М**. Одновременно найти точку **Б** с наибольшей освещенностью E_{max} . Значения освещенностей записать;

- точку **М** нанести на плане и определить расстояние от нее до светильников;
- при известных параметрах источников света и светильников рассчитать создаваемую ими освещенность и сравнить ее с фактической.

Возможен другой вариант работы. Зная характеристику помещения, расположение светильников и их тип, рассчитать тремя методами мощность ламп накаливания. Измерить создаваемую ими освещенность и сравнить ее с расчетной. Расчетную освещенность определить с помощью методов коэффициента использования светового потока и удельной мощности.

Отраженную составляющую освещенности можно получить опытным или расчетным путем.

Опытным путем отраженную составляющую находят в контрольной точке при помощи открытого фотоэлемента. Затем, надев тубус

на фотоэлемент, направляют его ось на каждый из светильников и определяют прямые составляющие от этих светильников E_{pp1} , E_{pp2} и т.д. Отраженную составляющую освещенности для j -го светильника вычисляют по формуле

$$E_j = E_{Tj} \cos \alpha$$

где E_{Tj} - показания люксметра с тубусом для j -го светильника.

Отраженная составляющая освещенности при N светильниках

$$E_{opt} = E - \sum_{j=1}^N E_{ppj}$$

Тубус фотоэлемента должен быть выполнен из непрозрачного материала, высотой не менее 150 мм. Сечение тубуса по форме и площади должно быть одинаковым со светочувствительной поверхностью фотоэлемента.

Метод коэффициента использования светового потока. Расчетная величина в этом случае — коэффициент использования светового потока осветительной установки, определяемый типом светильника, размером помещения, коэффициентами отражения стен, потолка и пола помещения и представляющий собой отношение потока, падающего на рабочую поверхность, к потоку всех ламп.

Для расчета освещенности этим методом используют формулу

$$E = F_H N M / (A z k),$$

где F_H - табличное значение потока для лампы, установленной в светильнике, лм; z - коэффициент неравномерности освещения, вычисляемый по формуле

$$z = (E_{min} + E_{max}) / 2 E_{min} = E_{cp} / E_{min}$$

или выбираемый по справочным таблицам как коэффициент минимальной освещенности.

Полученные значения заносят в таблицу 9

Таблица 9

Световой поток лампы F_H , лм	Площадь помещения A , м ²	Число светильников N	Индекс помещения i	Коэффициент использования I	Коэффициент минимальной освещенности Z	$E_{\text{расч}}, \text{ лк}$

Метод удельной мощности. Его применяют для определения осветительной нагрузки при расчетах электрических линий и источников электроснабжения. В световом отношении этот метод неточен. Однако при приближенных расчетах им успешно можно пользоваться.

В данном случае удельную мощность рассчитывают по формуле

$$p_{y\partial} = P_{\text{л}} N/A.$$

По найденному значению $p_{y\partial}$ в таблицах для известных параметров светильника, расчетной высоты, площади помещения A , коэффициентов отражения потолка, стен и рабочей поверхности путем интерполяции между двумя соседними значениями определяют освещенность.

Результаты расчетов освещенности тремя методами и замеренную минимальную освещенность записывают в таблицу и сравнивают данные.

Таблица 10

Методы расчета	Измеренная освещенность $E_{\text{мин}}, \text{ лк}$	Рассчитанная освещенность $E_{\text{расч}}, \text{ лк}$	Абсолютная ошибка ΔE	Относительная ошибка $\Delta E, \%$
Точечный				
Коэффициента использования				
Удельной мощности				

Абсолютную ошибку каждого метода определяют по формуле

$$\Delta E = E_{\text{расч}} - E_{\text{мин}}.$$

Относительная ошибка, %,

$$\Delta E = \frac{\Delta E}{E_{\text{мин}}} \cdot 100$$

По результатам работы сделать выводы по точности расчетов освещенности различными методами и применяемости изученных методов для практического проектирования осветительных установок.

2.8 Лабораторная работа № 8 (2 часа).

Тема: «Определение освещенности помещения опытным и расчетным путем»

2.8.1 Цель работы:

Освоить различные методы световых расчетов освещения помещений. Оценить точность и применимость каждого метода, сопоставляя результаты расчета по ним со значениями измеренной фактической освещенности.

2.8.2 Задачи работы:

Оценить точность и применимость каждого метода, сопоставляя результаты расчета по ним со значениями измеренной фактической освещенности. Приобрести навыки измерений люксметром освещенности рабочих поверхностей

2.8.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1.Люксметр.

2.8.4 Описание (ход) работы:

Снять план помещения, вычертить его в масштабе с указанием размещения светильников;

При помощи люксметра найти на рабочей поверхности точку с наименьшей освещенностью E_{min} . Эта точка в дальнейшем будет расчетной **М**. Одновременно найти точку **Б** с наибольшей освещенностью E_{max} . Значения освещеностей записать;

- точку М нанести на плане и определить расстояние от нее до светильников;
- при известных параметрах источников света и светильников рассчитать создаваемую ими освещенность и сравнить ее с фактической.

Возможен другой вариант работы. Зная характеристику помещения, расположение светильников и их тип, рассчитать тремя методами мощность ламп накаливания. Измерить создаваемую ими освещенность и сравнить ее с расчетной. Расчетную освещенность определить с помощью точечного метода.

Точечный метод.

Исходная формула

$$E = E_{np} + E_{omp}, \quad (3)$$

где E_{np} - сумма прямых составляющих освещенности; E_{omp} отраженная составляющая освещенности.

Следует помнить, что необходимая для расчетов сила света I в справочной литературе дается для условной лампы со световым потоком в 1000 лм и что истинное ее значение при известном потоке F реальной лампы следует находить из формулы:

$$I_a^{1000} = 1000 I_a / F$$

Отраженную составляющую освещенности можно получить опытным или расчетным путем.

Опытным путем отраженную составляющую находят в контрольной точке при помощи открытого фотоэлемента. Затем, надев тубус

на фотоэлемент, направляют его ось на каждый из светильников и определяют прямые составляющие от этих светильников E_{np1} , E_{np2} и т.д. Отраженную составляющую освещенности для j -го светильника вычисляют по формуле

$$E_j = E_{Tj} \cos \alpha$$

где E_{Tj} - показания люксметра с тубусом для j -го светильника.

Отраженная составляющая освещенности при N светильниках

$$E_{otp} = E - \sum_1^N E_{npj}$$

Тубус фотоэлемента должен быть выполнен из непрозрачного материала, высотой не менее 150 мм. Сечение тубуса по форме и площади должно быть одинаковым со светочувствительной поверхностью фотоэлемента.

Расчетным путем отраженную составляющую определяют по соотношению

$$E_{otp} = \left(\frac{I}{I_{i_0}} - 1 \right) E_{np}$$

где I , I_0 - коэффициенты использования светового потока при нормальных условиях и при $\rho = 0$, взятые из справочной литературы.

Результаты расчетов и опытов занести в таблицу.

Таблица 11

Ном ер измерения	Прямые составляющие освещенности E_{np} , лк	Отраженная составляющая освещенности E_{omp} , лк	Полная освещенность в контрольной точке E , лк
1			
2			
3			
4 и т.д.			

Абсолютную ошибку метода определяют по формуле
 $\Delta E = E_{расч} - E_{min}$.

Относительная ошибка, %,

$$\Delta E = \frac{\Delta E}{E_{min}} \cdot 100$$

По результатам работы сделать выводы о точности расчетов освещенности точечным методом и применяемости изученных методов для практического проектирования осветительных установок.

2.9 Лабораторная работа № 9 (2 часа).

Тема: «Исследование ламп высокого давления типа ДРТ»

2.9.1 Цель работы:

Ознакомиться с устройством и принципом действия лампы ДРТ, изучить ее электрические характеристики

2.9.2 Задачи работы:

1. Изучить конструкцию и принцип работы лампы.
2. Экспериментальным путём снять и построить зависимости:
 - Тока, мощности, напряжения на лампе и коэффициента мощности установки от времени в период разгорания лампы;
 - Тока, потребляемого установкой из сети, и коэффициента мощности от емкости компенсирующих конденсаторов;
 - Коэффициента мощности от напряжения сети;
 - Напряжения на лампе от тока лампы (вольтамперную характеристику).

2.9.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. автоматический выключатель,
2. автотрансформатор;
3. вольтметры,
4. амперметры,
5. дроссель,
6. лампа ДРТ,
7. люксметр.

2.9.4 Описание (ход) работы:

Собираем схему экспериментальной установки

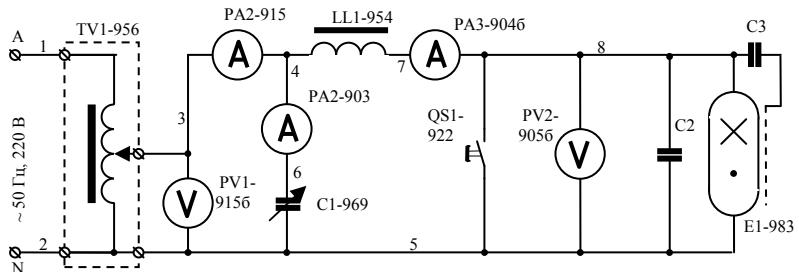


Рисунок 23. Принципиальная схема испытания лампы ДРТ-375

Заготавливаем таблицу записи наблюдений для снятия характеристик лампы

Таблица 12

Исполнители	, мин	I_1 , мкФ	C	U_1	U_2	$I_1(I_c)$	$I_2(I_K)$	$I_3(I_L)$	P , Вт	$osφ$
				(U_c), В	(U_L), В	А	А	А		
<i>Зависимость параметров лампы от времени разгорания</i>										
,0		0	2							
		0	2							
		0	2							
		0	2							
		0	2							
		0	2							
<i>Зависимость параметров лампы от ёмкости компенсирующего конденсатора</i>										
	5	0	2							
	5	8	2							
	5	6	1	2						
	5	4	2	2						
	5	8	2	2						
	5	2	3	2						
<i>Зависимость параметров лампы от напряжения сети</i>										
	5	0	2							
	5	0	40							
	5	0	2							
	5	0	35							
	5	0	2							
	5	0	30							
		0	2							

	5		25					
		0	2					
	5	20						
		0	2					
	5	15						
		0	2					
	5	10						
		0	2					
	5	05						
		0	2					
	5	00						

Продолжаем уменьшать напряжение до погасания лампы

Записываем и выполняем действия по снятию параметров каждой из точек характеристики

1. Устанавливает движок автотрансформатора в нулевое положение.
2. Подаёт напряжение на вход автотрансформатора.
3. Устанавливает напряжение на выходе автотрансформатора 220 вольт.
4. Нажимает не менее чем на 1 секунду кнопку QS1, по секундомеру намечает начало отсчёта и отпускает кнопку.
5. Как только приборы успокоились, каждый из студентов фиксирует и записывает показание отведённого ему прибора.
6. Работа по пункту 5 по команде 1-го студента повторяется в следующие моменты времени.
7. Разгоревшаяся лампа передаётся для снятия 2-ой и третьей частей опыта.
8. Устанавливаем заданные в таблице исходные параметры.
9. Снимаем показания приборов.
10. Рассчитываем мощность лампы ($P_{л}=U_{л}I_{л}$) и коэффициент мощности с допущением, что активная мощность дросселя равна нулю ($\cos\varphi = P_{л}/U_{с}I_{с}$).

Строим предусмотренные в задании графики

2.10 Лабораторная работа № 10 (2 часа).

Тема: «Исследование автомата для управления наружным освещением. Исследование автомата управления освещением проходных помещений»

2.10.1 Цель работы: Изучить схему и принцип действия автомата, научится производить отладку и изменение режимов работы.

2.10.2 Задачи работы:

Собрать схемы управления освещением проходных помещений и испытать их в лабораторных условиях. Собрать схему автомата и испытать её в лабораторных условиях

2.8.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. автоматический выключатель,
2. лампа накаливания,
3. кнопочная станция,
4. реле времени пневматическое,
5. фотореле.

2.8.4 Описание (ход) работы:

Собираем электрическую схему и производим ее испытание

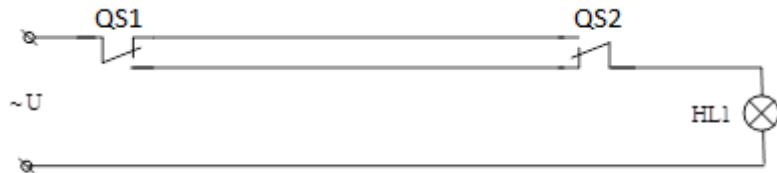


Рисунок 24. Схема управления электрической нагрузкой из двух мест с помощью двух выключателей

Первый исполнитель - детально объясняет, что произойдёт в схеме после подачи напряжения; подаёт напряжение и убеждает всех присутствующих в правильности предсказания.

Второй исполнитель – переключает один из выключателей, предварительно объяснив, что должно при этом произойти в схеме; убеждает присутствующих в достоверности сказанного. То же самое проделывает и со вторым выключателем.

Собираем электрическую схему и производим ее испытание

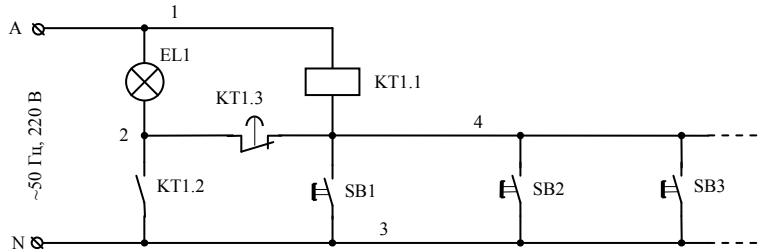


Рисунок 25. Схема управления освещением проходных помещений с помощью реле времени

Первый исполнитель - детально объясняет, что произойдёт в схеме после подачи напряжения; подаёт напряжение и убеждает всех присутствующих в правильности предсказания.

Второй исполнитель – нажимает одну из кнопок, предварительно объяснив, что должно при этом произойти в схеме; убеждает присутствующих в достоверности сказанного. То же самое проделывает и с остальными кнопками.

Собираем электрическую схему и производим ее испытание

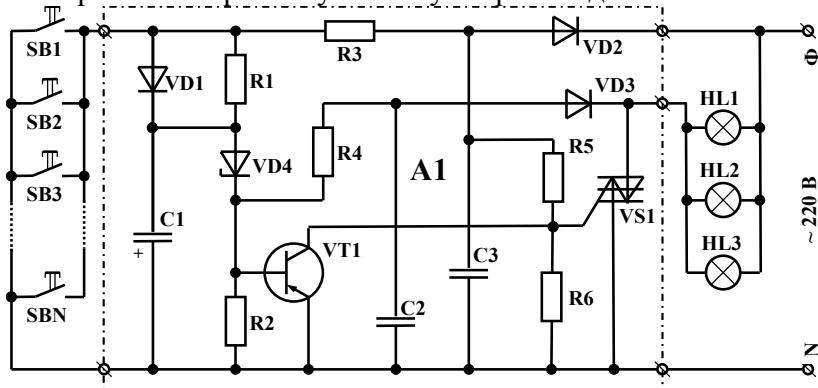


Рисунок 26. Схема включения автомата управления освещением

Первый исполнитель - детально объясняет, что произойдёт в схеме после подачи напряжения; подаёт напряжение и убеждает всех присутствующих в правильности предсказания.

Второй исполнитель – нажимает одну из кнопок, предварительно объяснив, что должно при этом произойти в схеме; убеждает присутствующих в достоверности сказанного. То же самое проделывает и с остальными кнопками.

Собираем электрическую схему и производим ее испытание

Первый исполнитель - детально объясняет, что произойдёт в схеме после подачи напряжения; подаёт напряжение и убеждает всех присутствующих в правильности предсказания.

Второй исполнитель – нажимает одну из кнопок, предварительно объяснив, что должно при этом произойти в схеме; убеждает присутствующих в достоверности сказанного. То же самое проделывает и с остальными кнопками.

Как работает схема в положении SA1 «автоматический» и «ручной»

Что произойдёт в схеме управления, если обрывётся провод, соединяющий фоторезистор с автоматом освещения

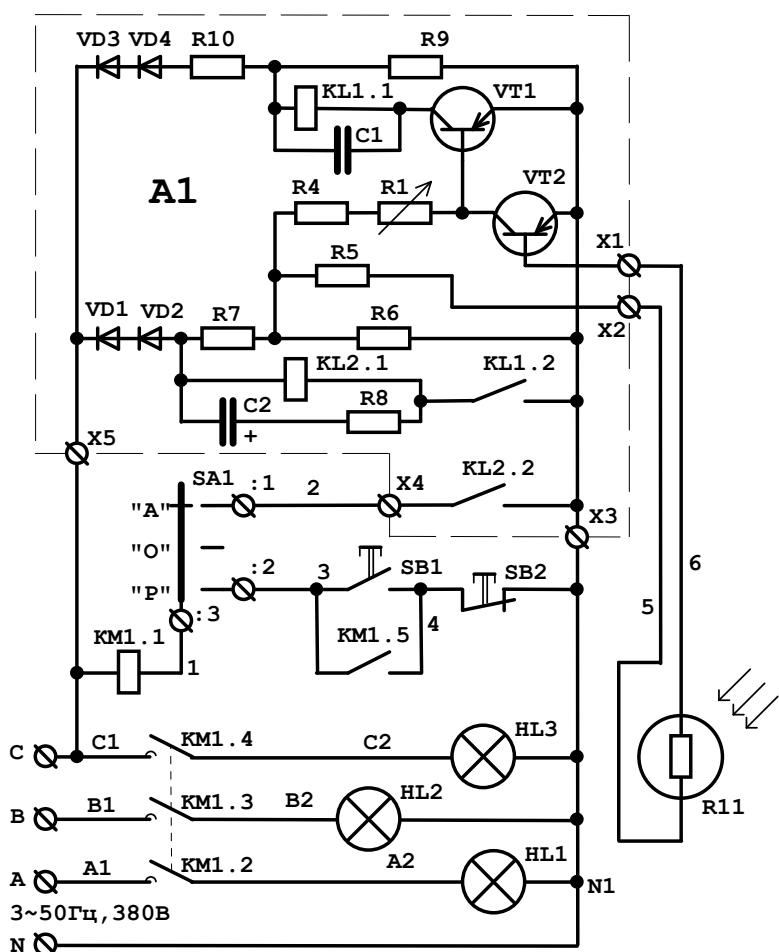


Рисунок 27. Схема автомата освещения

Осуществляем испытание схемы

2.11 Лабораторная работа № 11 (2 часа).

Тема: «Исследование электрокалориферной установки»

2.11.1 Цель работы:

Изучить устройство, работу и освоить элементы расчета электрокалориферной установки, ознакомиться со схемой автоматического управления электрокалорифером, научиться производить исследование его основных характеристик.

2.11.2 Задачи работы:

Задание №1

При работе электрокалорифера в режиме автоматического регулирования температуры воздуха на выходе, неизменной мощности спирали калорифера и неизменной скорости воздуха для 5 – 8 циклов включения и отключения спирали калорифера записать время работы спирали и время паузы. Построить график $P_c = f(t)$ и подсчитать среднюю относительную продолжительность включения спирали.

Задание №2

Для спиралей электрокалорифера снять зависимость тока, необходимого для нагрева спиралей до определённой температуры, от скорости воздуха через камеру электрокалорифера. Для сравнения опытным путём определить ток, необходимый для нагрева до той же температуры проволоки из никрома того же диаметра, горизонтально подвешенной в спокойном воздухе

2.11.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. автоматический выключатель,
 2. автотрансформатор,
 3. амперметр,
 4. вольтметры,
 5. блок конденсаторов,
 6. выпрямительные диоды,
 7. электродвигатель постоянного тока
 8. вентилятор

2.11.4 Описание (ход) работы:

1 Изучаем устройство электрокалорифера

Составить эскиз конструкции электрокалорифера с описанием основных его элементов и их взаимодействия.

2 Собираем схему экспериментальной установки

Собрать электрическую схему.

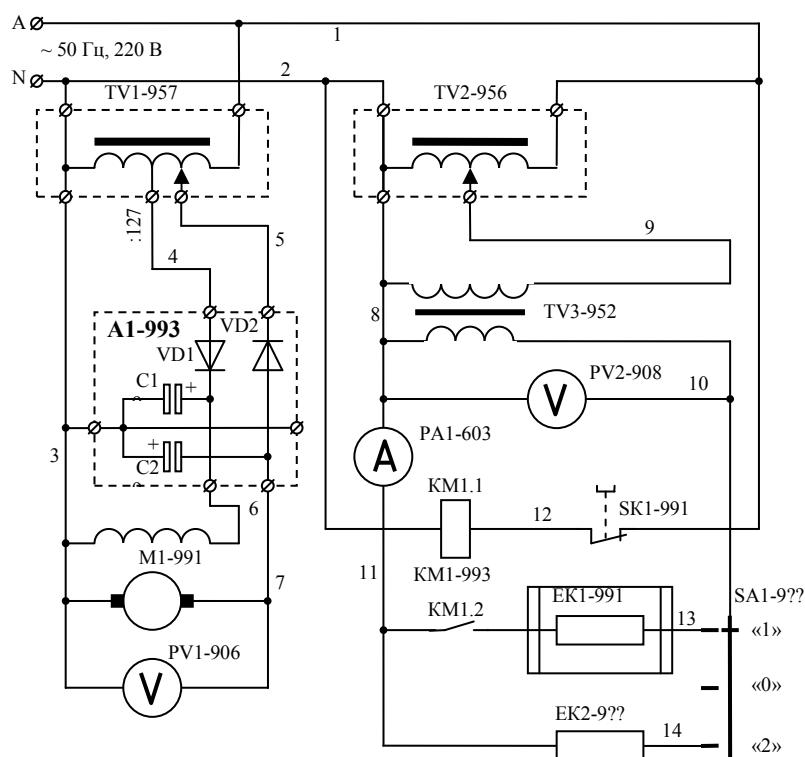


Рисунок 28. Принципиальная схема испытания электрокалорифера.

Таблица 13

B	U_1 , 50									
B	U_2 , 28,2									
A	I_1 , 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
сек	t , ,5	,01	,76	,56	,47	,2	,88	,57	,84	,95
Вт	P_C , 82		82		82		82		82	82
	ε	0,47								

Запускаем установку

1. Устанавливаем движки автотрансформаторов в нулевое положение, переключатель SA1 в положение «1» – Спираль ;
2. Подаём напряжение;
3. Устанавливаем заданное в таблице напряжение U_1 ;
4. Датчик температуры вводим в струю воздуха;
5. Устанавливаем заданную величину тока через спираль (ток I_1);
6. Записываем в таблицу величину напряжения U_2 , при котором этот ток протекает через спираль.

Работу выполняет очередной исполнитель и после 5...7 циклов включения и отключения спирали электрокалорифера передаёт установку для проведения опыта

Выполняем действия по проведению опыта

С помощью секундомера фиксируем время включённого и время отключённого состояний спирали в каждом из циклов включения и отключения. Результаты заносим в таблицу; Рассчитываем мощность спирали. и среднюю за время опытов относительную продолжительность включения спирали $\varepsilon = \sum tp / (\sum tp + \sum tn)$

Порядок выполнения задания

Таблица 14

Исполнитель	U_1 , , В	U_2 , В	I_1 , А	$P_{СП}$, Вт
<i>Переключатель SA1 в положении «1» - Спираль</i>				
	0			
	10			
	20			
	30			
	40			
	50			
	60			
	70			
	80			
	90			
<i>Переключатель SA1 в положении «2» - Проволока</i>				
	0			

Проводим испытания
Датчик температуры выводим из струи воздуха;
Устанавливаем движки автотрансформаторов в нулевое положение, переключатель $SA1$ в положение «1» – Спираль ;
Устанавливаем заданное в таблице напряжение на якоре электродвигателя;
Движком автотрансформатора $TV2$ устанавливаем ток спирали, при котором она имеет едва заметное красноватое свечение;
Заносим напряжение и ток спирали в таблицу;
Рассчитываем и заносим в таблицу мощность спирали.
То же самое проделываем для проволоки.

4.4 Строим предусмотренный заданием график

Строим график зависимости $Ic = f(U)$. Так как $V \equiv \omega \equiv U$ то график $Ic = f(U)$ будет подобен графику $Ic = f(V)$ при $Tc = Const$, где U - напряжение на якоре электродвигателя вентилятора; V - скорость движения воздуха; ω - угловая скорость вращения вала вентилятора.

2.12 Лабораторная работа № 12 (2 часа).

Тема: «Изучение устройства и принципа действия электродугового нагрева»

2.12.1 Цель работы: Ознакомиться с физическими основами электродугового нагрева, изучить принципы действия и характеристики сварочного преобразователя ПСО-300-А и сварочного трансформатора СТАН-0.

2.12.2 Задачи работы:

1. Изучить конструкции и принципы действия сварочного преобразователя ПСО-300-А и сварочного трансформатора СТАН-0.

2. Изучить схему лабораторного стенда.

3. Снять нагрузочные и энергетические характеристики исследуемых источников питания сварочной дуги.

4. Снять статическую вольт-амперную характеристику дуги при питании ее от трансформатора.

5. Сделать заключение о соответствии характеристик преобразователя и сварочного трансформатора требованиям, предъявленным к источникам сварочного тока.

2.12.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. автоматический выключатель,
2. амперметр,
3. вольтметр,
4. кнопочная станция,
5. магнитный пускатель,
6. двигатель.

2.12.4 Описание (ход) работы:

Напряжение на установку подается при включении автоматического выключателя $QF1$ (рис 4).

Для проведения опыта по снятию внешних характеристик сварочного трансформатора СТАН-О нажимают кнопку SB2. При этом вторичная обмотка трансформатора подключается к измерительным приборам и к нагрузочному реостату.

Опыты по снятию внешних характеристик сварочного трансформатора проводятся на двух ступенях (нулевой и первой) регулирования и двух крайних положениях магнитного шунта.

Одно крайнее положение магнитного шунта, характеризуется симметричным расположением его относительно сердечника сварочного трансформатора. Для установки шунта в другое крайнее положение необходимо выполнить 30 оборотов рукоятки привода магнитного шунта против часовой стрелки, выдвигая его из сердечника трансформатора. Ток нагрузки в опытах меняется от нуля (холостой ход) до максимального значения изменением сопротивления, которое обеспечивается переключением рубильников QS1—QS5 на нагрузочном реостате.

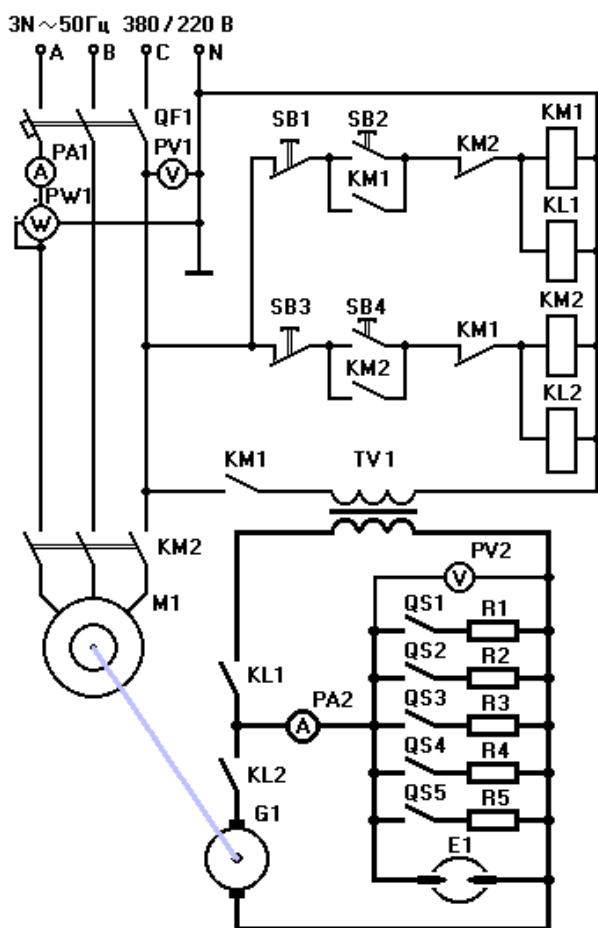


Рисунок 29. Принципиальная электрическая схема стенда для исследования характеристик сварочного трансформатора СТАН-О и машинного сварочного преобразователя ПСО-300-А.

Для включения преобразователя ПСО-300-А необходимо нажать на кнопку SB4 при этом вторичная цепь генератора подключается к измерительным приборам лабораторного стенда и к нагрузке.

Нагрузочную характеристику сварочного преобразователя ПСО-300-А снимают при двух значениях тока возбуждения от 1 до 3 А по указанию преподавателя. Для каждого значения тока возбуждения снимают 6-7 значений сварочного тока и напряжения генератора, а также соответствующие характеристики приводного двигателя. Требуемая величина сварочного тока устанавливается изменением сопротивления нагрузочного реостата.

При работе со сварочными установками необходимо следить за их надежным заземлением. На электрическую дугу смотреть можно только через светофильтр.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ сварочного преобразователя **ПСО-300-А**:

ПРОТОКОЛ СНЯТИЯ статической вольт-амперной характеристики сварочной дуги:

Таблица 16.

п\п	Ток, А	Напряжение, В
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ сварочного трансформатора СТАН-О:

Таблица 17

В отчете следует отразить графики вольтамперной характеристики сварочной дуги, нагрузочных характеристик преобразователя и трансформатора, а также энергетические характеристики $\eta = f(I_h)$ и $\cos\varphi = f(I_h)$, выводы по работе.

2.13 Лабораторная работа № 13 (2 часа).

Тема: «Изучение устройства и принципа действия электродных водонагревателей»

2.13.1 Цель работы: Изучить принцип действия электродного водонагревателя и парообразователя, научиться определять удельную проводимость воды убедиться, как влияет температура воды на удельную проводимость.

2.13.2 Задачи работы:

Снять зависимость удельной проводимости воды от температуры, определить удельную проводимость воды при 20 °С.

2.13.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. автоматический выключатель,
 2. автотрансформатор
 3. амперметр,
 4. вольтметр.

2.13.4 Описание (ход) работы:

Изучаем устройство электродных водонагревателей и паровых котлов

Составить эскиз конструкции электродного водонагревателя и парового котла с описанием основных его элементов и их взаимодействия.

Знакомимся с основными техническими данными используемого в нижеприведённой схеме оборудования и его размещением на стенде

Собираем схему экспериментальной установки

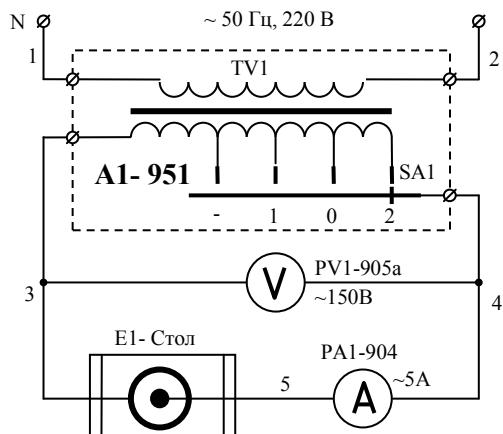


Рисунок 30. Принципиальная схема испытания электродного водонагревателя.

Измеряем геометрические размеры системы электродов

- Внешний диаметр внутреннего электрода $d =$ м;
- Внутренний диаметр внешнего электрода $D =$ м;
- Активная (затопленная) высота электродов $H =$ м.

Таблица 18

Исполнитель ↓	Опытные данные			Расчётные данные				
	$T, {}^{\circ}\text{C}$	$I, \text{А}$	$U, \text{В}$	$P, \text{Вт}$	$\rho, \text{Ом}$	$\rho, \text{См}^{-1}$	$\gamma, \text{См/м}$	$\gamma_{20}, \text{См/м}$
Сидоров	20							
Козлов	30							
и т. д.	40							
	50							
	60							
	70							
	80							
	90							
	100							
	Кипение							
					$Kk =$		$\gamma_{20 \text{ cp}} =$	См/м

Запускаем установку

5. Переключатель SA1 устанавливаем на минимальное напряжение;
6. Подаём напряжение;
7. Если амперметр показывает ток менее 2-х ампер, *не мешкая*, добавляем напряжение;
8. *Сразу же, пока вода не успела нагреться*, отключаем установку и передаём её для проведения эксперимента назначенному в таблице исполнителю;

Выполняем действия по проведению опыта

9. Подаём напряжение;
10. Слегка помешивая воду между электродами термометром, следим за изменением её температуры;

11. Как только температура достигла заданного в таблице значения, фиксируем величину тока и напряжения;
12. *Быстро передаём термометр следующему исполнителю;*
13. При измерении тока и напряжения в момент, предшествующий кипению, фиксируем максимальное значение тока (ток при 100 °C), а когда вода закипит, ток уменьшится. Это и будет его значением при кипении воды. (*Если не удалось зафиксировать максимум тока, установку следует на 1...2 минуты отключить и затем, включив, повторить измерения*)
14. Находим расчётные параметры. (*При определении средней удельной проводимости воды не включать удельную проводимость при кипении воды*).

Строим график $P, \gamma=f(T)$

Оцениваем соответствие опытных и теоретических данных

2.14 Лабораторная работа № 14 (2 часа).

Тема: «Изучение устройства и исследование характеристик брудера БП-1»

2.14.1 Цель работы:

Ознакомиться с устройством, схемой управления, принципом действия, методикой настройки на заданный режим работы и основными характеристиками брудера БП-1.

2.14.2 Задачи работы:

1. Изучить конструкцию, принцип действия брудера.
2. Изучить схему управления температурным режимом работы брудера и способ его настройки.
3. Снять переходную и статическую характеристики брудера.
4. Провести настройку брудера на заданный режим работы.
5. Провести экспериментальные и теоретические исследования работы брудера в режиме автоматического управления.

2.14.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

2.14.4 Описание (ход) работы:

Изучить устройство терморегулятора и брудера.

В схеме лабораторной установки должны быть предусмотрены приборы для измерения мощности брудера и температуры под его зонтом.

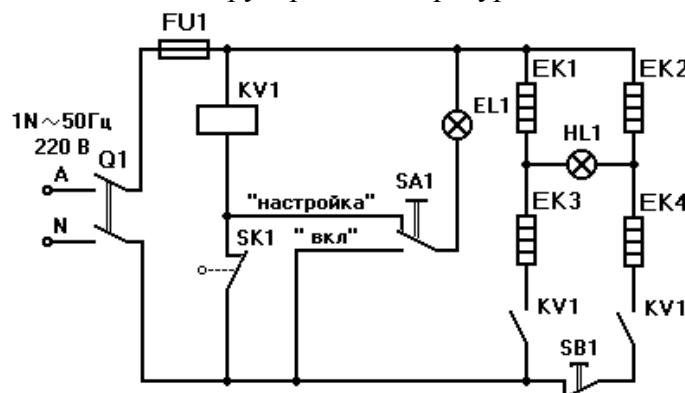


Рисунок 31. Принципиальная электрическая схема брудера БП-1.

Проверить работу схемы управления брудером в настроенном режиме автоматического управления с имитацией перегорания одного из нагревательных элементов путём нажатия на кнопку SB1.

Переходная характеристика снимается на работающем брудере при отключенном терморегуляторе путём регистрации изменения температуры под зонтом брудера во времени через каждые 3 минуты до установившегося значения.

Измерение температуры в зоне пребывания цыплят проводится килоомметром с терморезистором. Характер зависимости сопротивления терморезистора от температуры в интервале измеряемых температур можно считать линейным. Начальная точка этой характеристики снимается при температуре воздуха в помещении, конечная - при установившейся температуре в процессе снятия переходной характеристики. Температура при этом регистрируется с помощью термометра, установленного под зонтом брудера.

Основные параметры статической (К) и динамической (Т) характеристик определяются по переходной характеристике брудера.

По статической и динамической характеристикам определяется расчетная частота включения брудера.

Экспериментальная зависимость температуры под брудером в режиме автоматического управления снимается при минимально возможной установке температуры ϑ , путём регистрации температуры в зоне нахождения цыплят через каждые 2 минуты.

Опыт провести для 1...2 периодов регулирования. Сравнить экспериментальные и расчётные частоты включения.

Равномерность температуры под брудером определяется её измерением в трёх точках: в центре, на половине радиуса от центра и у края зонта.

Протокол испытания брудера БП-1.

Номинальная мощность $P=$ Вт

Температура воздуха в помещении $\vartheta_n=$ °C

Переходная характеристика

Таблица 18

№	t, мин	U, В	I, А	P, Вт	R_T , кОм	ϑ_{bh} , °C	ϑ_t , °C
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							

Коэффициент усиления $K=$ °C/Вт.

Постоянная времени $T=$ с.

Исследование температурного поля

Таблица 19

№	R_{TC} , кОм	ϑ_{bh} , °C
1		
2		

3		
---	--	--

Динамика регулирования.

Таблица 20

Время, мин						0	2	4	6
Показания термометра									
Показания килоомметра									
Расчёчная температура на высоте 5 см от пола									

2.15 Лабораторная работа № 15 (2 часа).

Тема: «Электрическая контактная сварка металлов»

2.15.1 Цель работы: Познакомиться с основными способами сварки металлов.

Освоить технологию контактной сварки.

Получить навыки соединения металлов методом конденсаторной сварки.

2.15.2 Задачи работы:

Установить зависимость эффективности конденсаторной сварки от свойств материалов и технологических параметров (i_0). Овладеть методом расчета максимальной температуры конденсаторной сварки.

2.15.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1.мультимедиапроектор

2.15.4 Описание (ход) работы:

1. Подготовка сварочного аппарата к работе:

Включить тумблер «Сеть».

Переключателем «Режим сварки» установить требуемое напряжение на конденсаторе.

Зажать между точечными электродами свариваемые детали.

Нажатием ножной педали осуществить точечную сварку.

2. Изучить зависимость эффективности конденсаторной сварки от свойств материалов и технологических параметров

Подготовить для сварки образцы в виде пар из никеля, стали, меди, алюминия и других материалов на усмотрение преподавателя.

Сварить указанные образцы в пяти точках при напряжениях на конденсаторе 100,200 и 300 В.

Оценить эффективность сварки путем определения усилия разрыва пары на разрывной машине. Работу на разрывной машине производить согласно инструкции по эксплуатации на данную машину.

Рассчитать максимальную температуру сварки по формуле (9) и полученные результаты занести в таблицу.

Таблица 21. Влияние свойств материалов и технологических параметров сварки на её качество

Материал (пара)	S м км	R * м	см ³	г/	С,Дж/ гр. град	, В	U _T 0C	Усилие на разрыв

2.16 Лабораторная работа № 16 (2 часа).

Тема: «Исследование индукционного нагрева»

2.16.1 Цель работы Ознакомиться с физическими основами индукционного нагрева и исследование процесса нагрева стальных деталей.

2.16.2 Задачи работы:

1. Изучить лабораторную установку индукционного нагрева.
2. Определить параметры установки при её работе в режиме холостого хода.
3. Определить параметры установки при её работе в режиме рабочего хода.
4. Экспериментально определить зависимость тока, мощности, КПД установки от температуры.
5. Определить расход энергии на нагрев детали, сделать выводы по работе.

2.16.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Автоматический выключатель, амперметры, вольтметры, блок конденсаторов, кнопочная станция.

2.16.4 Описание (ход) работы:

Для нагрева деталей в лаборатории используется индуктор цилиндрической формы. Основной частью индуктора является медный провод, уложенный на керамическом основании в виде трехслойной обмотки.

Схема лабораторной установки представлена на рис. 32.

Энергия к индуктору поступает от лампового генератора мощностью 1,3 кВт. Генератор может работать на одной из трёх фиксированных частот: 15, 22, 35 кГц. Согласование с нагрузкой обеспечивается выходным понижающим трансформатором. Для компенсации реактивного тока индуктора служит батарея конденсаторов С1-С5 емкостью 0,05 ... 0,6 мкФ.

Для включения установки и проведения экспериментальных исследований необходимо включить автоматический выключатель QF1, включить тумблер SA1 "сеть" на лицевой стороне генератора. Через 2...3 минуты после включения тумблера произвести замер напряжения, тока, мощности в цепи питания генератора, данные записать в табл.1 для частот 15 кГц, 22 кГц, 35 кГц. Переключение частот осуществляется на лицевой панели генератора переключателем SA7 "частота".

Для проведения опыта «Рабочий ход» в индуктор помещают нагреваемую деталь - стальной стержень не оснащённый термопарой и лишь затем включают тумблер SA8 "анод" на лицевой панели генератора.

При проведении опыта «рабочий ход» в индуктор помещается деталь, на которой отсутствует датчик температуры.

После включения тумблера SA8 "анод" переменным резистором "мощность" на лицевой панели генератора устанавливают ток в цепи индуктора равным 2А по амперметру PA2 и заносят показания приборов при рабочем ходе и ненастроенном контуре индуктора на различных частотах.

Настройку контура индуктора производят путем компенсации реактивного тока подбором емкости, подключаемой к индуктору. Подбор конденсаторов различной емкости обеспечивается выключателями SQ1 - SQ5. Настройку контура следует проводить до получения минимального тока генератора, ориентируясь на показания амперметра PA2.

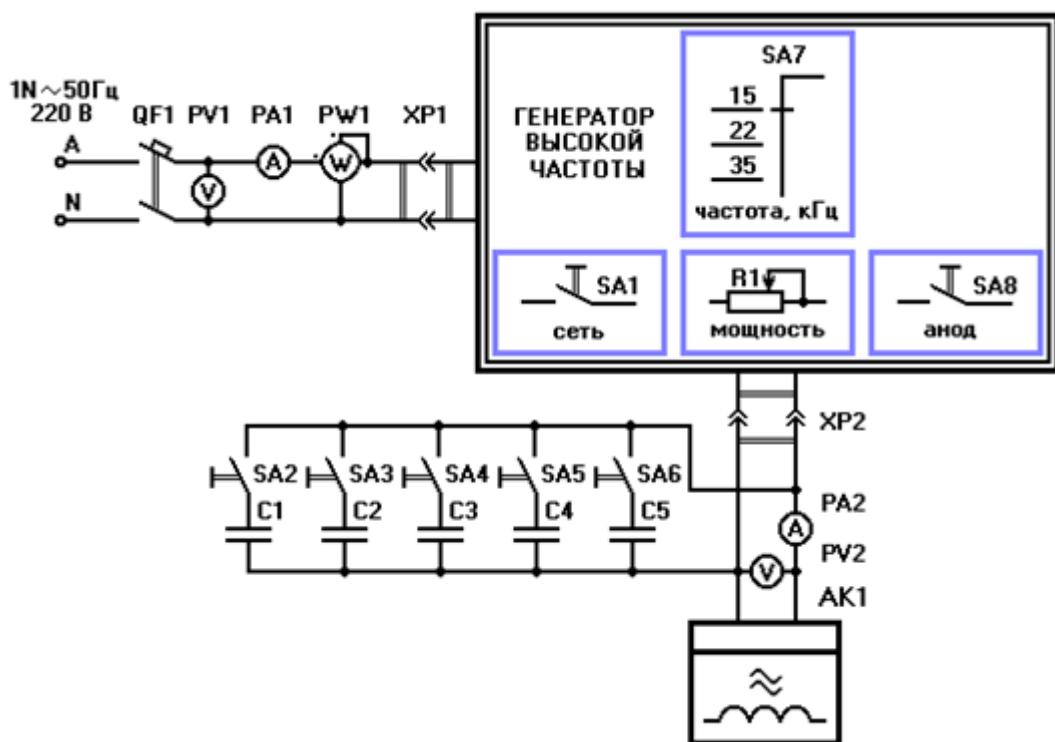


Рисунок 32. Схема лабораторной установки для изучения индукционного нагрева.

Операции по настройке L-С контура индуктора следует провести для каждой из частот 15,22 и 35 кГц. Параметры установки после настройки при соответствующей частоте заносятся в табл. 1. После завершения настройки контура индуктора ручку "Частота" устанавливают в заданное преподавателем положение и включают конденсаторы такой ёмкости, которая соответствует рабочему ходу при настроенном контуре для данной частоты. Выключив тумблер SA8 "анод", в индукторе заменяют деталь без термопары на деталь с вмонтированной термопарой

При отсутствии детали в индукторе тумблер «анод» должен быть выключен!

Поместив в индуктор деталь с термопарой, включают тумблер SA8 "анод" и производят её нагрев, фиксируя через каждые 20...30 с показания приборов. Показания заносят в табл. 2. Опыт следует производить 240...300 с. Измерение температуры детали в индукторе производится хромель-копелевой термопарой, подключенной к измерительному прибору.

Таблица 21

Частота	15 кГц				22 кГц				35 кГц			
Режим работы												
Холостой ход												

Таблица 22

Скорость нагрева V_H определяют по формуле:

$$V_H = \frac{t_i - t_{i-1}}{T_i - T_{i-1}}$$

где: $t_i > t_{i-1}$ - температура соответственно в данном и предыдущем опытах; $T_i > T_{i-1}$ - время нагрева для данного и предыдущего опытов.

Полезную мощность P_2 определяют по формуле:

$$P_2 = \frac{m \cdot c \cdot (t_i - t_{i-1})}{AT}$$

где: c - удельная массовая теплоемкость материала детали, $c = 0,5 \text{ кДж/кг}\cdot\text{°С}$.

Коэффициент полезного действия установки определяют по формуле:

$$\eta_y = \frac{P_2}{P_c}$$

где: P_C - мощность, потребляемая из сети в данном опыте.

Коэффициент полезного действия индуктора определяют по формуле:

$$\eta_I = \frac{P_2}{I_2 \cdot U_2}$$

Подсчет потребленной установкой энергии W производят по формуле:

$$W = \sum_{i=1}^n P_{ci} \cdot \Delta T_i$$

где: ΔT_i – интервал замеров;

P_{ci} – мощность потребляемая из сети при соответствующем замере.

В отчете необходимо отразить графики зависимостей : $t = f(T)$ $V_H = f(T)$, $P_2 = f(T)$, $\eta_y = f(T)$, $\eta_i = f(T)$, выводы по результатам работы.