

Государственное бюджетное  
профессиональное образовательное учреждение  
«Кунгурский колледж агротехнологий и управления»



## **Методические рекомендации**

**по выполнению лабораторных и практических работ  
по учебной дисциплине *ОП.09 ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ*  
по специальности 35.02.08  
Электротехнические системы в агропромышленном комплексе (АПК)**

2023 г.

Рассмотрено и одобрено на  
заседании методической комиссии  
технических дисциплин  
Протокол №1  
От «\_ 31 \_» 08 2023 г.

Председатель МК  
Ск Н.В.Склюева

Утверждаю  
Зам. директора  
Петр Л.И.Петрова

## Содержание

1. Пояснительная записка .....	4
2. Общие указания к выполнению лабораторных и практических работ и оформлению отчета .....	5
3. Практические занятия.....	6
3.1. Практическое занятие 1. Изучение свойств конструкционных и электротехнических материалов .....	6
3.2. Практическое занятие 2. Выполнение сравнительного анализа материалов с малым удельным сопротивлением .....	7
3.3. Практическое занятие 3. Выполнение сравнительного анализа материалов с высоким сопротивлением .....	8
3.4. Практическое занятие 4. Выполнение сравнительного анализа жаростойких проводниковых материалов и благородных материалов.....	13
3.5. Практическое занятие 5. Изучение характеристик неметаллических проводниковых материалов .....	15
3.6. Практическое занятие 6. Изучение основных характеристик простых полупроводников.....	16
3.7. Практическое занятие 7. Экспериментальное определение типа проводимости полупроводников.....	19
3.8. Практическое занятие 8. Изучение сущности вентильного эффекта, возникающего при контакте полупроводников .....	20
3.9. Практическое занятие 9. Определение параметров полупроводникового транзистора по его вольтамперным характеристикам .....	22
3.10. Практическое занятие 10 Изучение характеристик твердых диэлектриков .....	23
3.11. Практическое занятие 11. Испытания свежего и эксплуатационного трансформаторного масла .....	25
3.12. Практическое занятие 12. Проверка электрической прочности электроизоляционных изделий.....	28
4. Критерии оценивания выполнения практических и лабораторных работ .....	29
5. Правила техники безопасности при выполнении лабораторных и практических работ .....	29
6. Список источников для обучающихся .....	31

## Пояснительная записка.

Методические рекомендации по выполнению лабораторных и практических работ по учебной дисциплине **ОП.09 Электротехнические материалы** составлены на основе рабочей программы дисциплины, федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 35.02.08 Электротехнические системы в агропромышленном комплексе, утвержденного приказом Минпросвещения России от 27 мая 2022г №368, и учебного плана по специальности.

Цель методических указаний - оказание помощи обучающимся в выполнении лабораторных и практических работ по учебной дисциплине ОП.09. Электротехнические материалы. Настоящие методические указания позволят обучающимся самостоятельно овладеть знаниями и профессиональными умениями, и направлены на формирование общих и профессиональных компетенций:

ОК 01	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.
ОК 02.	Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.
ОК 09.	Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.

В рамках программы учебной дисциплины обучающимися осваиваются умения и знания

Код ПК, ОК	Умения	Знания
ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 09, ПК.1.1-ПК.1.3., ПК.2.1., ПК.2.2., ПК.3.1.-ПК.3.3.	Определять основные свойства материалов	Общую классификацию материалов, их основные свойства и область применения.

## **2. Общие указания к выполнению лабораторных и практических работ и оформлению отчета.**

По каждой работе представлены краткие методические указания к ее выполнению. Перед выполнением каждого задания обучающийся должен ознакомиться с изучаемым материалом по учебному пособию, практикуму и другой литературе. Лабораторные работы выполняются в лаборатории электротехники в соответствии с графиком учебного процесса. По каждой работе обучающийся в отдельной тетради чертит схемы, таблицы, отвечает на вопросы, помещенные в методических указаниях для отчета по выполняемой работе. При проведении лабораторной работы преподаватель показывает оборудование, на котором проводится лабораторная работа, поясняет тему, разъясняет последовательность сборки схем, а затем обучающиеся работают самостоятельно и в конце занятий защищают отчет по лабораторной или практической работе. О степени своей подготовленности студент может судить по знанию вопросов для самопроверки, которые приведены в каждой работе.

Описание каждой лабораторной и практической работы содержит: тему, цели работы, задания, порядок выполнения работы, оснащение рабочего места, формы контроля, требования к выполнению.

### 3. Практические занятия

#### 3.1. Практическое занятие 1.

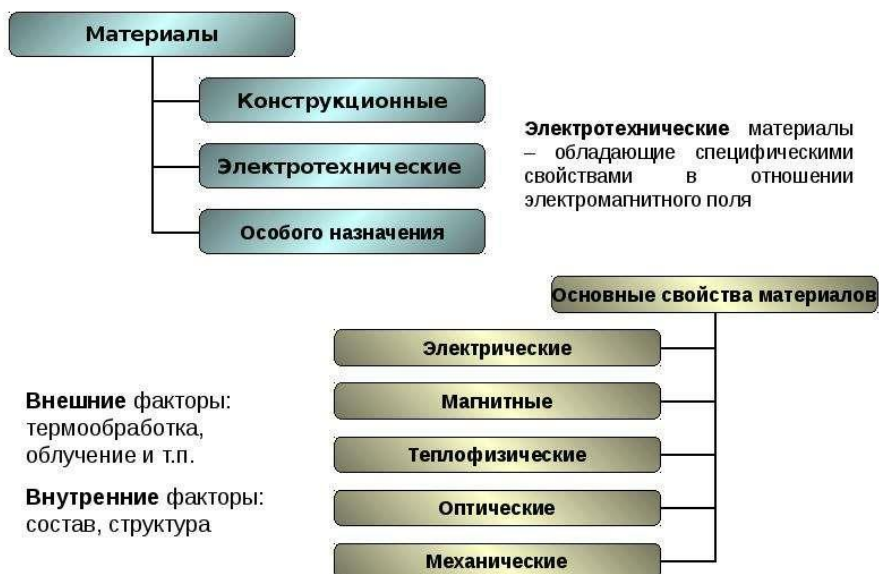
##### Изучение свойств конструкционных и электротехнических материалов

**Цель работы:** Усвоение умений и знаний:

У1. Определять основные свойства материалов

З1. Общую классификацию материалов, их основные свойства и область применения.

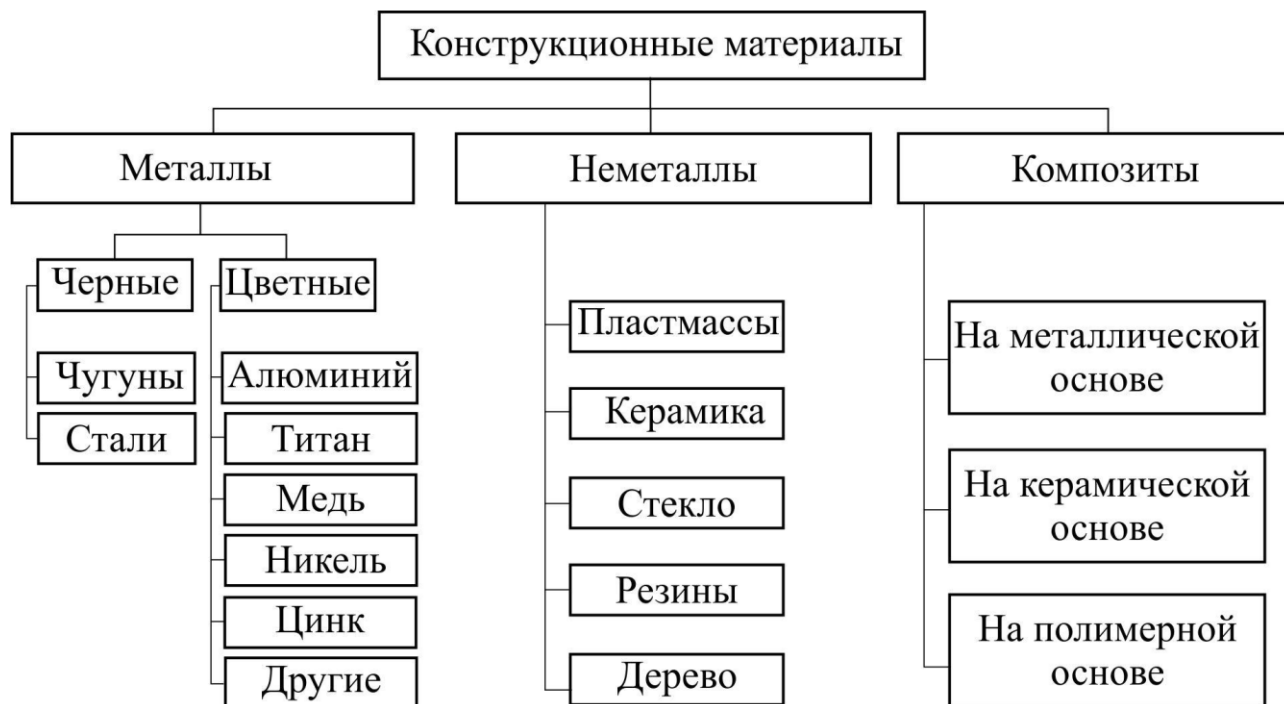
#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ



#### Электротехнические материалы: определение, классификация

- **Электротехнические материалы** — это материалы, характеризующиеся определенными свойствами по отношению к электромагнитному полю и применяемые в технике с учетом этих свойств.





### 3.2. Практическое занятие 2.

**Выполнение сравнительного анализа материалов с малым удельным сопротивлением**

**Цель работы: Усвоение умений и знаний:**

У1. Определять основные свойства материалов

З1. Общую классификацию материалов, их основные свойства и область применения.

Основные параметры проводников МАЛОГО сопротивления

Температура плавления °С	Материал	Удельное сопротивление при 20 °С, Ом·мм <sup>2</sup> /м	ТКС, %/°С	Плотность г/см <sup>3</sup>
-	Хром	0,027	-	6,6
-	Уголь	0,33...1,85	0,06	-
230	Олово	0,115	0,42	7,3
330	Свинец	0,21	0,21	11,4
420	Цинк	0,059	0,35	7,0
660	Алюминий	0,028	0,49	2,7
900	Латунь	0,03...0,06	0,2	8,5
900	Бронза фосфористая	0,115	0,4	8,8
960	Серебро	0,016	0,38	10,5
1060	Золото	0,024	0,37	19,3
1080	Медь электротехническая	0,0175	0,4	8,9
1450	Никель	0,07	0,6	8,8
1520	Сталь	0,059	0,62	7,8
1770	Платина	0,1	0,3	21,4

### 3.3. Практическое занятие 3.

#### Выполнение сравнительного анализа материалов с высоким сопротивлением

**Цель работы:** Усвоение умений и знаний:

У1. Определять основные свойства материалов

З1. Общую классификацию материалов, их основные свойства и область применения.

					
<b>Сплавы высокого сопротивления и сплавы для термопар</b>					
<b>Основные свойства сплавов высокого сопротивления</b>					
Сплав	Удельное сопротивление мкОм·м	Температурный коэффициент удельного сопротивления $\alpha_p \cdot 10^4, K^{-1}$	Термо-э.д.с. относительно меди, мкВ/К	Предельная рабочая температур, °С	
Манганин (86% Cu, 12 % Mn, 2 % Ni)	0,42...0,48	5...30	1...2	100...200	
Константан (60 % Cu, 40 % Ni)	0,48...0,52	-(5...25)	40...50	450...500	
Хромоникелевые сплавы X15H60 (55...61 % Ni, 15...18 % Cr, 15 % Mn, остальное - Fe)	1,0...1,2	100...200	-	1000	
X20H80 (75...78 % Ni, 20...23 % Cr, 1,5 % Mn, остальное - Fe)	1,0...1,1	100...200	-	1100	

Для создания реостатов, изготовления точных сопротивлений, производства электрических печей и различных электронагревательных приборов зачастую необходимы проводники из материалов, обладающих высоким удельным сопротивлением и малым температурным коэффициентом сопротивления.

Данные материалы в форме лент и проволок должны желателью обладать удельным сопротивлением от 0,42 до 0,52 ом\*кв.мм/м. К таким материалам и относятся сплавы на основе никеля, меди, марганца и некоторых других металлов. Особого внимания заслуживает ртуть, поскольку ртуть в чистом виде сама по себе обладает удельным сопротивлением в 0,94 ом\*кв.мм/м.





Характерные свойства, требуемые от сплавов в индивидуальном плане, определяются конкретным назначением того или иного устройства, в котором этот сплав будет использован.

Например, для изготовления точных сопротивлений требуются сплавы с низкой термо-эдс, наводимой при контакте сплава с медью. Сопротивление также должно оставаться постоянным во времени. В печах и электрических нагревательных приборах недопустимо окисление сплава даже при температурах от 800 до 1100 °С, то есть здесь нужны жаростойкие сплавы.

Охватывает все эти материалы одна общая их особенность — это все сплавы с большим удельным сопротивлением, потому данные сплавы и получили название сплавов высокого электрического сопротивления. Материалы высокого электрического сопротивления, в данном контексте, являются растворами металлов, и обладают хаотичной структурой, благодаря чему и удовлетворяют предъявляемым к себе требованиям.

### **Манганин**

Для изготовления точных сопротивлений традиционно используют манганины. Манганины состоят из никеля, меди и марганца. Меди в их составе — от 84 до 86%, марганца — от 11 до 13%, никеля — от 2 до 3%. Самый же популярный из манганинов сегодня содержит 86% меди, 12% марганца и 2% никеля.

Чтобы стабилизировать манганины, в них добавляют немного железа, серебра и алюминия: алюминия - от 0,2 до 0,5%, железа — от 0,2 до 0,5%, серебра — 0,1%. Манганины имеют характерный светло-оранжевый цвет, их средняя плотность — 8,4 г/см<sup>3</sup>, а температура плавления — от 960 °С.



Манганиновая проволока диаметром от 0,02 до 6 мм (или лента толщиной от 0,09 мм) бывает твердой или мягкой. Отожженная мягкая проволока имеет прочность на разрыв от 45 до 50 кг/кв.мм, относительное удлинение составляет от 10 до 20%, удельное сопротивление — от 0,42 до 0,52 ом\*кв.мм/м.

Характеристики твердой проволоки: прочность на разрыв от 50 до 60 кг/кв.мм, относительное удлинение — от 5 до 9%, удельное сопротивление — 0,43 — 0,53 ом\*кв.мм/м. Температурный коэффициент проволок или лент из манганина лежит в пределах от  $3 \cdot 10^{-5}$  до  $5 \cdot 10^{-5}$  1/°С, а для стабилизированных — до  $1,5 \cdot 10^{-5}$  1/°С.

Приведенные характеристики указывают на то, что зависимость от температуры электрического сопротивления манганина крайне незначительна, а это фактор в пользу постоянства сопротивления, что весьма значимо для прецизионных электроизмерительных устройств. Малая термо-эдс — еще одно достоинство манганина, и при соприкосновении с медными элементами она не превысит 0,000001 вольта на градус.

С целью стабилизации электрических характеристик проволоки из манганина ее нагревают в условиях вакуума до 400 °С, и выдерживают при такой температуре в течение от 1 до 2 часов. Затем проволоку длительно выдерживают при комнатной температуре для достижения приемлемой однородности сплава и для получения стабильных свойств.

В обычных рабочих условиях такая проволока сможет быть использована при температурах до 200 °С — для стабилизированного манганина, и до 60 °С — для нестабилизированного манганина, ибо нестабилизированный манганин при нагреве от 60 °С и выше претерпит необратимые изменения, которые скажутся на его свойствах. Так, нестабилизированный манганин лучше не нагревать до 60 °С, и следует считать эту температуру максимально допустимой.

На сегодняшний день промышленностью выпускается как голая манганиновая проволока, так и проволока в высокопрочной эмалевой изоляции — для изготовления обмоток, в шелковой изоляции, и в двухслойной лавсановой изоляции.

### **Константан**

Константан, в отличие от манганина, содержит больше никеля — от 39 до 41%, меньше меди — 60-65%, значительно меньше марганца — 1-2%, - это тоже медно-никелевый сплав. Температурный коэффициент сопротивления у константана приближается к нулю — это главное достоинство данного сплава.

Константан отличается характерным серебристо-белым цветом, температура плавления 1270 °С, плотность в среднем около 8,9 г/см<sup>3</sup>. Промышленностью выпускается константановая проволока диаметром от 0,02 до 5 мм.

Отожженная мягкая константановая проволока имеет прочность на разрыв 45 — 65 кг/кв.мм, ее удельное сопротивление — от 0,46 до 0,48 ом\*кв.мм/м. Для твердой константановой проволоки: прочность на разрыв — от 65 до 70 кг/кв.мм, удельное сопротивление — от 0,48 до 0,52 ом\*кв.мм/м. Термо-эдс константана в паре с медью равна 0,000039 вольта на градус, что служит ограничением для использования константана в изготовлении точных резисторов и электроизмерительных приборов.



Значительная, в сравнении с манганином, термо-эдс позволяет применять константановую проволоку в термопарах (в паре с медью) с целью измерения температур до  $300^{\circ}\text{C}$ . При температурах выше  $300^{\circ}\text{C}$  медь начнет окисляться, при этом стоит отметить, что константан начнет окисляться лишь при  $500^{\circ}\text{C}$ .

Промышленностью выпускается как константановая проволока без изоляции, так и обмоточная проволока в высокопрочной эмалевой изоляции, проволока в двухслойной шелковой изоляции, и проволока в комбинированной изоляции — один слой эмали и один слой шелка или лавсана.

В реостатах, где напряжение между соседними витками не превышает нескольких вольт, используется такое свойство константановой проволоки: если за несколько секунд проволоку нагреть до  $900^{\circ}\text{C}$ , после чего охладить на воздухе, то проволока покроется темно-серой пленкой оксида, эта пленка может служить своеобразной изоляцией, поскольку обладает диэлектрическими свойствами.

### **Жаростойкие сплавы**

В электронагревательных приборах и в печах сопротивления нагревательные элементы в форме лент и проволок должны быть способны работать на протяжении длительных периодов времени в условиях температур до  $1200^{\circ}\text{C}$ . К этому не годятся ни медь, ни алюминий, ни константан, ни манганин, поскольку начиная с  $300^{\circ}\text{C}$  они уже начинают сильно окисляться, пленки окислов затем испаряются, и окисление продолжается. Здесь нужны жаростойкие проводники.

Жаростойкие проводники высокого удельного сопротивления, к тому же стойкие к окислению при нагревании, и обладающие низким температурным коэффициентом сопротивления. Это как раз про [нихромы](#) и ферронихромы — двойные сплавы никеля и хрома, и тройные сплавы никеля, хрома и железа.

Еще есть фехраль и хромаль — тройные сплавы железа, алюминия и хрома, - они в соответствии с процентным соотношением входящий в сплав компонентов — отличаются электрическими параметрами и жаростойкостью. Все это твердые растворы металлов с хаотичной структурой.



Нагрев этих жаростойких сплавов приводит к образованию на их поверхности толстой защитной пленки оксидов хрома и никеля, устойчивой к высоким температурам до  $1100^{\circ}\text{C}$ , надежно защищающей эти сплавы от дальнейшей реакции с кислородом воздуха. Так, ленты и проволоки из жаропрочных сплавов могут длительно работать при высоких температурах даже на воздухе.

Помимо главных составляющих, в сплавы входит: углерода — от 0,06 до 0,15%, кремния — от 0,5 до 1,2%, марганца — от 0,7 до 1,5%, фосфора — 0,35%, серы — 0,03%.

В данном случае фосфор, сера и углерод являются вредными примесями, повышающими хрупкость, поэтому их содержание всегда стремятся свести к минимуму, а лучше — полностью исключить. Марганец и кремний способствуют раскислению, они устраняют кислород. Никель, хром и алюминий, особенно хром, помогают обеспечить стойкость к температурам до  $1200^{\circ}\text{C}$ .

Компоненты сплава служат повышению удельного сопротивления и снижению температурного коэффициента сопротивления, что как раз и нужно от этих сплавов. Если хрома будет более 30%, то сплав получится хрупким и твердым. Чтобы получить тонкую проволоку, например 20 мкм в диаметре, необходимо не более 20% хрома в составе сплава.

Этим требованиям отвечают сплавы марок X20H80 и X15H60. Остальные марки сплавов подойдут для изготовления лент толщиной от 0,2 мм и проволок диаметром от 0,2 мм.

Сплавы типа фехраль — X13104, содержат в своем составе железо, от этого они получаются дешевле, но спустя несколько циклов нагрева становятся хрупкими, поэтому спирали из хромалю и фехраля при обслуживании недопустимо деформировать в остывшем состоянии, например если речь идет о спирали, длительное время работавшей в нагревательном приборе. Для ремонта следует скручивать или сращивать только разогретую до  $300\text{—}400^{\circ}\text{C}$  спираль. Вообще, фехраль способен работать при температурах до  $850^{\circ}\text{C}$ , а хромаль — до  $1200^{\circ}\text{C}$ .



Нихромовые нагревательные элементы, в свою очередь, предназначены для продолжительной работы при температурах до 1100 °С в стационарных слабо динамических режимах, при этом они не потеряют ни прочности ни пластичности. Но если режим будет резко динамичным, то есть температура будет многократно резко меняться, при частых включениях и выключениях тока через спираль, защитные пленки оксидов потрескаются, кислород проникнет в нихром, и элемент со временем окислится и разрушится.

Промышленностью выпускаются как голые проволоки из жаростойких сплавов, так и проволоки в эмаливой и кремнийорганической лаковой изоляции, предназначенные для изготовления обмоток.

### **Ртуть**

Особенного упоминания заслуживает ртуть, ведь это единственный металл, остающийся в жидком состоянии при комнатной температуре. Температура окисления ртути 356,9 °С, ртуть почти не взаимодействует с газами воздуха. Растворы кислот (серная, соляная) и щелочей не действуют на ртуть, однако она растворима в концентрированных кислотах (в серной, соляной, азотной). В ртути растворяются цинк, никель, серебро, медь, свинец, олово, золото.

Плотность ртути 13,55 г/см<sup>3</sup>, температура перехода из жидкого в твердое состояние -39 °С, удельное сопротивление — от 0,94 до 0,95 ом\*кв.мм/м, температурный коэффициент сопротивления 0,000990 1/°С. Эти свойства позволяют использовать ртуть в качестве жидких проводящих контактов выключателей и реле специального назначения, а также в ртутных выпрямителях. При этом важно помнить, что ртуть чрезвычайно токсична.

## **3.4. Практическое занятие 4.**

### **Выполнение сравнительного анализа жаростойких проводниковых материалов и благородных материалов**

#### ***Цель работы: Усвоение умений и знаний:***

У1. Определять основные свойства материалов

З1. Общую классификацию материалов, их основные свойства и область применения.

#### ***Задачи работы:***

1. Изучить основные характеристики жаростойких проводниковых материалов

1.1. нихром,

1.2. фехраль,

1.3. хромаль.

2. Изучить основные характеристики благородных металлов:

2.1. серебро,

2.2. золото,

2.3. платина,

2.4. палладий.

3. Определите материал, обладающий лучшими электрическими свойствами.

4. Укажите область применения данных проводниковых материалов.

Основные характеристики проводниковых материалов. Заполните таблицу и сделайте сравнительный анализ материалов.

Характеристика	нихром	фехраль	хромаль
Состав, %			
Плотность, кг/м <sup>3</sup>			
Допустимая температура, °С			
Температурный коэффициент удельного электрического сопротивления, 1/°С			
Удельное электрическое сопротивление, Ом · м			

4. *Благородные металлы – это...*

5. Основные характеристики благородных проводниковых материалов. Заполните таблицу и сделайте сравнительный анализ материалов.

Характеристика	серебро	золото	платина	палладий
Плотность, кг/м <sup>3</sup>				
Температура плавления, °С				
Температурный коэффициент удельного электрического сопротивления, 1/°С				
Разрушающее напряжение при растяжении, Н/ м <sup>2</sup>				
Относительное удлинение, %				
Удельное электрическое сопротивление, Ом · м				

з. Укажите область применения данных материалов.

4. Сделайте сравнительный анализ данных материалов по электрическим и механическим характеристикам.

5. Сделайте вывод по данной работе.

#### Домашнее задание

Изучить учебные пособия и технический справочник «Электротехнические материалы». Выполнить упражнение 3.27, 3.28, 3.29 (Ярочкина, Г.В. Рабочая тетрадь «Электроматериаловедение»).

#### Список литературы

1. Журавлева, Л.В. Электроматериаловедение: Учеб. для нач. проф. образования: Учеб. пособие для сред. проф. образования/Людмила Васильевна Журавлева. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 312 с. (Глава 3, § 3.5, 3.5.1., 3.5.2)
2. Ярочкина, Г.В. Электроматериаловедение. Рабочая тетрадь: учеб. пособие для нач. проф. образования / Г.В.Ярочкина. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 80 с. (Глава 3, § 3.3)

### 3.5. Практическое занятие 5.

#### Изучение характеристик неметаллических проводниковых материалов

**Цель работы: Усвоение умений и знаний:**

У1. Определять основные свойства материалов

З1. Общую классификацию материалов, их основные свойства и область применения.

#### Неметаллические проводящие материалы

Наряду с металлами и металлическими сплавами в качестве резистивных, контактных и токопроводящих элементов достаточно широко используются различные композиционные материалы, некоторые окислы и проводящие модификации углерода. Как правило, эти материалы имеют узкоспециализированное назначение.

**Углеродистые материалы.** Среди твёрдых неметаллических проводников наиболее широкое применение в электротехнике получил графит – одна из форм чистого углерода. Наряду с малым удельным сопротивлением ценными свойствами графита являются значительная теплопроводность, стойкость ко многим химически агрессивным средам, высокая нагревостойкость, лёгкость механической обработки. Для производства электроугольных изделий используют природный графит, антрацит и пиролитический углерод.

**Композиционные проводящие материалы.** Композиционные материалы представляют собой механическую смесь проводящего наполнителя с диэлектрической связкой. Путём изменения состава и характера распределения компонентов можно в достаточно широких пределах управлять электрическими свойствами таких материалов. Особенностью всех композиционных материалов является частотная зависимость проводимости и старение при длительной нагрузке. В ряде случаев заметно выражена нелинейность электрических свойств.

В качестве компонентов проводящей фазы используют металлы, графит, сажу, некоторые окислы и карбиды. Функции связующего вещества могут выполнять как органические, так и неорганические диэлектрики.

Среди многообразия комбинированных проводящих материалов наибольшего внимания заслуживают контактолы и керметы.

*Контактолы*, используемые в качестве токопроводящих клеев, красок, покрытий и эмалей, представляют собой маловязкие или пастообразные полимерные композиции. В качестве связующего вещества в них используют различные синтетические смолы (эпоксидные, фенол-формальдегидные, кремнийорганические и др.). Токопроводящим наполнителем являются мелкодисперсные порошки металлов (серебра, никеля, палладия). Необходимая вязкость контактолов перед их нанесением обеспечивается введением растворителей (ацетон, спирт и т.д.).

*Керметами* называют металлодиэлектрические композиции с неорганическим связующим. Они предназначены для изготовления тонкоплёночных резисторов.

**Проводящие материалы на основе окислов.** Подавляющее большинство чистых окислов металлов в нормальных

условиях является хорошими диэлектриками. Однако при неполном окислении (при нарушении стехиометрического состава за счёт образования кислородных вакансий), а также при введении некоторых примесей проводимость окислов резко повышается. Такие материалы можно использовать в качестве контактных и резистивных слоёв. Наибольший практический интерес в этом плане представляет двуокись олова. Тонкие слои двуокиси олова обладают высокой оптической прозрачностью в видимой и инфракрасной частях спектра. Сочетание высокой электропроводности и оптической прозрачности позволяет использовать двуокись в качестве прозрачных проводящих слоёв.

Кроме двуокиси олова, высокой электрической проводимостью и прозрачностью в видимой области спектра обладают плёнки окиси индия  $\text{In}_2\text{O}_3$ . Они имеют аналогичное применение.

### 3.6. Практическое занятие 6.

#### Изучение основных характеристик простых полупроводников

**Цель работы:** Усвоение умений и знаний:

У1. Определять основные свойства материалов

З1. Общую классификацию материалов, их основные свойства и область применения.

#### Простые полупроводники

## Простые полупроводники



**Простыми** называются такие полупроводники, основной состав которых образован атомами одного химического элемента.

Большинство полупроводниковых материалов представляют собой кристаллические твердые вещества с упорядоченной периодической структурой. Кристаллические вещества состоят из элементарных ячеек (решеток).



**Элементарная ячейка** — это наименьший объем кристаллического вещества в виде параллелепипеда, перемещая который вдоль трех независимых направлений, можно получить кристалл.

Простая кубическая элементарная ячейка (рис. 4.5) состоит из атомов, расположенных в вершинах куба. Типичным материалом с такой структурой является хлористый цезий, в решетке которого последовательно чередуются положительные ионы цезия и отрицательные ионы хлора.

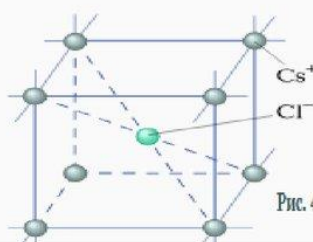


Рис. 4.6. Элементарная гранецентрированная кубическая ячейка



**Германий.** Германий – один из наиболее тщательно изученных полупроводников, и многие явления, характерные для полупроводников, впервые экспериментально были обнаружены на этом материале.

Чистый германий обладает металлическим блеском, характеризуется относительно высокой твердостью и хрупкостью. Он кристаллизуется в структуре алмаза, плавится при температуре 937 °С, плотность при температуре 25 °С равна 5,33 г/см<sup>3</sup>. В твердом состоянии германий – типичный ковалентный кристалл. Кристаллический германий химически устойчив на воздухе при комнатной температуре. Размельченный в порошок германий при нагревании на воздухе до температуры примерно 700 °С легко образует диоксид германия GeO<sub>2</sub>. Германий слабо растворим в воде и нерастворим в соляной и разбавленной серной кислотах. Активными растворителями германия в нормальных условиях является смесь азотной и плавиковой кислот и раствор перекиси водорода. При нагревании германий интенсивно взаимодействует с галогенами, серой и серноокислыми соединениями.

На электрические свойства германия оказывает сильное влияние термообработка. Если образец *n*-типа нагреть до температуры выше 550 °С, а затем закалить, то изменяется тип электропроводности. Закалка германия *p*-типа приводит к снижению удельного сопротивления, без изменения типа электропроводности. Отжиг закаленных образцов при температуре 500... 550 °С восстанавливает не только тип электропроводности, но и первоначальное удельное сопротивление.

Германий применяется для изготовления диодов различных типов, транзисторов, датчиков ЭДС Холла, тензодатчиков. Оптические свойства германия позволяют его использовать для изготовления фотодиодов и фототранзисторов, модуляторов света, оптических фильтров, а также счетчиков ядерных частиц. Рабочий диапазон температур германиевых приборов от – 60 до +70 °С.

**Кремний.** В противоположность германию кремний является одним из самых распространенных элементов в земной коре; его содержание в ней примерно 29%. Однако в свободном состоянии в природе он не встречается, а имеется только в соединениях в виде оксида и в солях кремниевых кислот. Чистота природного оксида кремния в виде монокристаллов кварца иногда достигает 99,9%; в ряде месторождений чистота песка достигает 99,8–99,9%.

Технический кремний, получаемый восстановлением природного кремнезема SiO<sub>2</sub> в электрической дуге между графитовыми электродами, широко применяется в черной металлургии как легирующий элемент (например, трансформаторная сталь) и как раскислитель при производстве стали. Технический кремний содержит около 1% примесей, и как полупроводник использован быть не может. Он является исходным сырьем для производства кремния полупроводниковой чистоты, содержание примесей в котором должно быть менее 10<sup>-6</sup>%.

Проводимость кремния, как и германия, очень сильно изменяется из-за присутствия примесей. Благодаря более широкой запрещенной зоне собственное удельное сопротивление кремния на три с лишним порядка превосходит собственное сопротивление германия.

Кристаллический кремний при комнатных температурах обладает невысокой реакционной способностью; он весьма устойчив на воздухе, покрываясь тонкой пленкой диоксида кремния. Кремний нерастворим в воде, не реагирует со многими кислотами. Хорошо растворяется лишь в смеси азотной и плавиковой кислот и в кипящей щелочи.

Кремний является базовым материалом полупроводниковой электроники. Он используется как для создания интегральных микросхем, так и для изготовления дискретных полупроводниковых приборов. Полупроводниковые интегральные микросхемы, отличающиеся малыми размерами и сложной конфигурацией активных областей, особенно широко применяются в вычислительной технике и радиоэлектронике. Из кремния изготавливаются различные типы полупроводниковых диодов: низкочастотные (высокочастотные), маломощные (мощные), полевые транзисторы; стабилитроны; тиристоры. Широкое применение в технике нашли кремниевые фотопреобразовательные приборы: фотодиоды, фототранзисторы, фотоэлементы солнечных батарей. Подобно германию, кремний используется для изготовления датчиков Холла, тензодатчиков, детекторов ядерных излучений.

Благодаря тому, что ширина запрещенной зоны кремния больше, чем ширина запрещенной зоны германия, кремниевые приборы могут работать при более высоких температурах, чем германиевые. Верхний температурный предел работы кремниевых приборов достигает 180...200 °С.

**Селен.** Этот элемент VI группы таблицы Менделеева обладает рядом полезных электрических свойств. Он существует в нескольких аллотропных модификациях – стеклообразной, аморфной, моноклинной, гексагональной. Плавится селен при температуре 220 °С, хотя температура плавления неопределенна; кипит при температуре 685 °С; все модификации селена превращаются в гексагональную кристаллическую при нагревании в интервале температур 180...220°С.

Селен широко распространен в земной коре, но обычно в малых концентрациях.

Для изготовления полупроводниковых приборов (выпрямителей переменного тока и фотоэлементов) используется серый кристаллический гексагональный селен с дырочным типом электропроводности. Его удельное сопротивление примерно  $10^3$  Ом·м (при комнатной температуре). Снижение удельного сопротивления обычно достигается введением примесей – хлора, брома, йода.

Селен в отличие от других полупроводников обладает аномальной температурной зависимостью концентрации свободных носителей заряда: она уменьшается с ростом температуры, подвижность носителей заряда при этом возрастает.

Кроме использования в электронике селен широко применяется в технологии получения красок, пластмасс, резины, керамики, как легирующая добавка при производстве автоматных сталей, в электрофотографии, в копировальной и множительной технике.

**Теллур.** Это элемент VI группы таблицы Менделеева. Он является полупроводником с шириной запрещенной зоны 0,35 эВ, плавится при температуре 451 °С, легко испаряется. Температура кипения теллура при атмосферном давлении 1390 °С, очищают его многократной перегонкой.

Удельное сопротивление чистого теллура при комнатной температуре  $29 \cdot 10^{-4}$  Ом·м. Он может быть электронного и дырочного типов проводимости.

Техническое применение теллур нашел в виде сплавов с висмутом, сурьмой и свинцом, которые используют для изготовления термоэлектрических генераторов.

### 3.7. Практическое занятие 7.

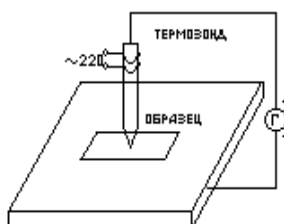
#### Экспериментальное определение типа проводимости полупроводников

**Цель работы: Усвоение умений и знаний:**

У1. Определять основные свойства материалов

З1. Общую классификацию материалов, их основные свойства и область применения.

Тип проводимости можно измерить методом термозонда.



Образец помещается на массивную МЕ пластинку, служащую холодным контактом. Нагретым с помощью электронагревателя зондом касаются верхней поверхности образца. Если образец n-типа, то электроны в образце диффундируют от нагреваемой термозондом верхней грани к холодной нижней грани, заряжая ее отрицательно. Верхняя грань образца будет заряжаться положительно за счет остающихся нескомпенсированными ионов донорной примеси. Если образец р-типа, то к холодной грани образца диффундируют положительные дырки, оставляя на горячей грани отрицательный заряд нескомпенсированных ионов акцепторов. Таким образом, холодная грань образца заряжается знаком основных носителей заряда, который можно установить по направлению стрелки гальванометра в цепи термозонда. Еще можно определить тип проводимости из эффекта Холла по знаку коэффициента Холла, но метод термозонда более достоверный (точный) и поэтому он предпочтительнее.

9. Какие методы измерения электропроводности полупроводников вы знаете?

*Ответ:*

а) *Зондовые методы:* В этих методах осуществляется прямое измерение сопротивления определенной области образца по величине падения напряжения на ней при протекании определенного электрического тока. Они основаны на законе Ома. Существуют: однозондовый, двухзондовый, четырехзондовый методы.

б) *Бесконтактные высокочастотные методы:* Основаны на зависимости свойств скин-слоя, характеризующего глубину проникновения высокочастотного электрического поля в образец от величины его электропроводности. Бывают: емкостные(образец становится частью измерительного конденсатора) и индуктивные(образец помещается в катушку индуктивности) методики. Можно измерять сопротивление в поликристаллических образцах,

так как влияние существенно более высокоомных межкристаллитных прослоек слабо сказывается в высокочастотных измерениях.

с) *Оптические методы*: Основаны на анализе данных по поглощению или отражению света в среде кристалла. Методы эти неразрушающие, и чувствительные даже в области очень низкоомных сильнолегированных образцов.

### 3.8. Практическое занятие 8.

#### Изучение сущности вентильного эффекта, возникающего при контакте полупроводников

**Цель работы: Усвоение умений и знаний:**

У1. Определять основные свойства материалов

З1. Общую классификацию материалов, их основные свойства и область применения.

Вентильный фотоэффект (фотоэффект в запирающем слое).

Вентильным фотоэффектом называется возникновение электродвижущей силы при поглощении квантов излучения оптического диапазона в системе, содержащей контакт двух примесных полупроводников с различным типом проводимости или в системе полупроводник - металл.

На рис. 3 показана энергетическая диаграмма p-n перехода без освещения ( $E_c$ ,  $E_v$  и  $E_F$  - энергии дна зоны проводимости, потолка валентной зоны и уровня Ферми, соответственно,  $E_g$  - ширина запрещенной зоны).

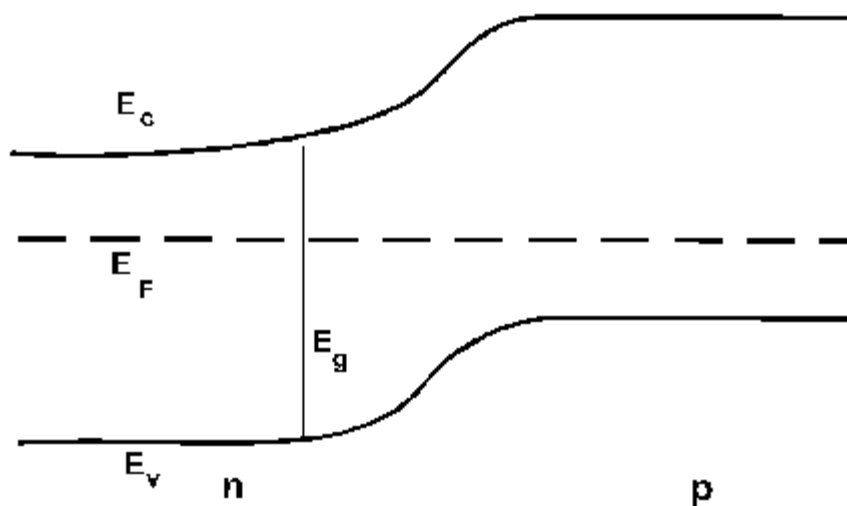


Рис.3. Энергетическая диаграмма p-n перехода без освещения.

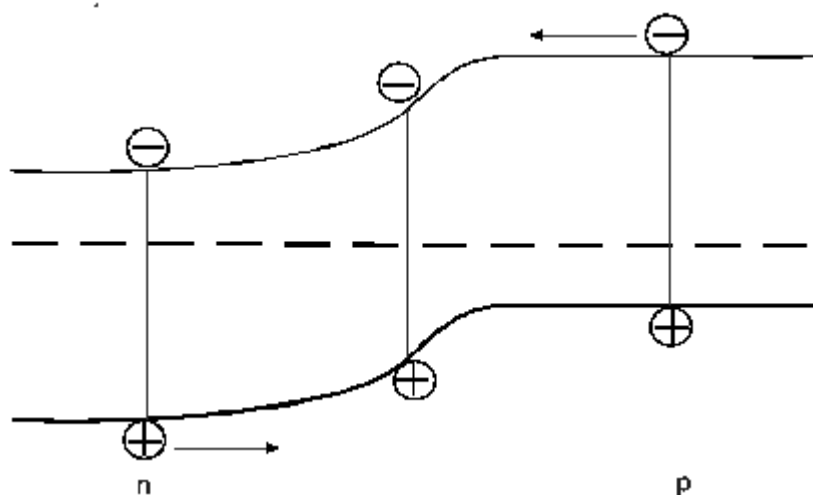


Рис.4. Энергетическая диаграмма p-n перехода при освещении.

При освещении такой системы фотонами с энергией  $h > E_g$ , поглощенный свет переводит электроны из валентной зоны в зону проводимости. При этом в валентной зоне образуются дырки, т.е. происходит генерация электронно - дырочных пар (рис.4). Поведение неравновесных носителей зависит от того, в какой области системы поглощается излучение. Для каждой области важным является поведение неосновных носителей, поскольку именно их плотность может изменяться в широких пределах при освещении. Плотность же основных носителей с обеих сторон границы раздела полупроводников практически остается неизменной. Если излучение поглощается в р-области, то электроны, находящиеся от р-n перехода на расстоянии, меньшем диффузионной длины пробега, смогут достигнуть его и под действием контактного электрического поля перейдут в n-область.

Аналогично, если излучение поглощается в n-области, то через р-n переход в р-область выбрасываются только дырки.

Если же пары генерируются в области объемного заряда (р-n перехода), то поле "разводит" носители зарядов таким образом, что они оказываются в той области, где являются основными.

Итак, образованные светом пары, будут разделяться. При этом электроны концентрируются в n-полупроводнике, а дырки - в р-полупроводнике, т.е. р-n переход играет роль "стока" неосновных носителей заряда.

Это накопление зарядов не может продолжаться бесконечно: параллельно с возрастанием концентрации дырок в р-полупроводнике и электронов в n-полупроводнике, возрастает созданное ими электрическое поле, которое препятствует дальнейшему переходу неосновных носителей через запирающий слой.

По мере возрастания этого поля увеличивается и обратный поток неосновных носителей. В конце концов наступит динамическое равновесие, при котором число неосновных носителей, перемещающихся за единицу времени через запирающий слой, сравняется с числом тех же носителей, перемещающихся за тот же промежуток времени в обратном направлении.

С наступлением равновесия, между р- и n-полупроводниками устанавливается разность потенциалов, представляющая собой фотоэлектродвижущую силу.

Генерация вентильной фото-ЭДС при освещении р-n перехода используется для создания фотоприемников, работающих в вентильном режиме и фотоэлектрических преобразователей энергии (например, солнечных батарей).

### 3.9. Практическое занятие 9.

#### Определение параметров полупроводникового транзистора по его вольтамперным характеристикам

**Цель работы: Усвоение умений и знаний:**

У1. Определять основные свойства материалов

З1. Общую классификацию материалов, их основные свойства и область применения.

## Вольтамперные характеристики биполярных транзисторов



$$I_б = f(U_{бэ}) \Big|_{U_{кэ} = \text{const}}$$



$$I_к = f(U_{кэ}) \Big|_{I_б = \text{const}}$$



наблюдается обратный пьезоэлектрический эффект – обязательно электрострикция: если к кристаллу приложить внешнюю разность потенциалов, то вследствие поворота диполей будут наблюдаться деформации растяжения или сжатия.

Указанные эффекты нашли применение в системах, превращающих механические воздействия в электрические сигналы и обратно (микрофоны, манометры, генераторы и приемники ультразвука).

### СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ И ИХ СВОЙСТВА

В некоторых твёрдых веществах, имеющих кристаллическую структуру, электрические моменты молекул коллективизируются таким образом, что создают самостоятельные поляризованные до насыщения области- *домены*, линейные размеры которых не превышают 10-5 м. Направления электрических моментов определённых доменов определяются симметрией кристаллов, поэтому результирующая поляризация всего кристалла обычно равна нулю. Поляризация такого образца во внешнем поле происходит, во-первых, за счёт смещения границ доменов и роста размеров тех из них, из которых векторы электрических моментов близки по направлению к направлению напряжённости поля, и, во-вторых, за счёт ориентации моментов доменов по полю. Это приводит к огромному эффекту усиления поляризации, а диэлектрическая проницаемость таких кристаллов достигает значений  $(5-10) \cdot 10^4$ . Типичным представителем таких веществ является сегнетова соль ( $NaKC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ ), поэтому все вещества, обладающие подобными свойствами, стали называть **сегнетоэлектриками**. К ним относится титанат бария ( $BaTiO_2$ ) и дигидрофосфат калия ( $KH_2PO_4$ ). Сегнетоэлектрики являются электрическими аналогами ферромагнитных материалов, поэтому нередко их называют **ферроэлектриками**. Наиболее интересны следующие свойства сегнетоэлектриков:

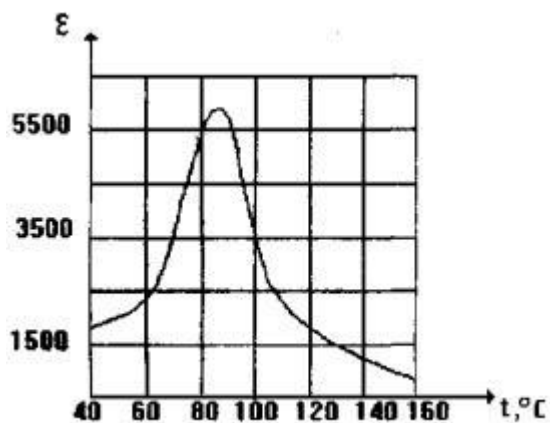


Рис. 3. Зависимость диэлектрической проницаемости титаната бария от температуры.

Для них характерно резкое возрастание относительной диэлектрической проницаемости в определённом интервале температур (рис. 3). В отличие от других полярных диэлектриков, у которых диэлектрическая проницаемость обратно пропорциональна абсолютной



температуре, у сегнетоэлектриков она меняется обратно пропорционально разности между абсолютной и критической температурами (закон Кюри-Вейсса):

$$\varepsilon = \frac{9}{1\beta(T - T_K)} \quad (19)$$

где  $\beta$  – константа, величина коэффициента теплового расширения, приблизительно равная  $10^{-5} \div 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ ;  $T_K$  – температура Кюри.

Если увеличить температуру выше  $T_K$ , то сегнетоэлектрик теряет свои свойства.

2. У сегнетоэлектрика наблюдается нелинейная зависимость поляризованности  $P$  образца от напряженности внешнего электрического поля  $E$  (рис. 4). В достаточно сильных полях достигается *состояние насыщения*, когда поляризованность  $P$  образца не меняется при дальнейшем увеличении  $E$ .

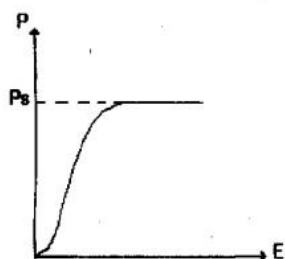


Рис. 4. Зависимость поляризованности сегнетоэлектрика от напряженности внешнего электрического поля.  $P_s$  – поляризованность при насыщении.

### 3.11. Практическое занятие 11.

#### Испытания свежего и эксплуатационного трансформаторного масла

**Цель работы:** Усвоение умений и знаний:

У1. Определять основные свойства материалов

З1. Общую классификацию материалов, их основные свойства и область применения.

Трансформаторное масло для изоляции и охлаждения некоторых видов электроэнергетического оборудования. В качестве примера можно привести масляные высоковольтные выключатели, реакторное оборудование и силовые трансформаторы. Для нормальной работы перечисленных устройств должны регулярно проводиться испытания трансформаторного масла. С чем связана такая необходимость, и какова методика испытаний Вы узнаете, ознакомившись с данной статьей.

Зачем нужно проводить испытания трансформаторного масла?

Масло обладает определенными электрическими и физическими свойствами, которые со временем изменяются и перестают отвечать действующим нормам. То есть, можно сказать, что оно стареет. Давайте рассмотрим, какие при этом могут происходить изменения нормы показателей.

Заметим, что в сухих трансформаторах также наблюдается процесс старения твердой изоляции.

#### Изменение физических свойств

От физических характеристик эксплуатационного масла напрямую зависит, насколько надежно будет функционировать электрическое оборудование. Поэтому в процессе проверки уделяется пристальное внимание следующим свойствам трансформаторного масла:

Допустимое значение плотности (удельного веса). Важно, чтобы этот параметр уступал льду. Это связано с тем, что при образовании в неработающей установке льда (в зимний период), он формировался на дне бака, не создавая препятствий для свободной циркуляции в системе масляного охлаждения. Нормой считается плотность в пределах 860-880 кг/м<sup>3</sup> при температуре равной 20,0°С. Соответственно законам физики, показатели удельного веса изменяются в зависимости от температуры (при нагреве – увеличиваются, а охлаждении — уменьшаются).

Критический нагрев масла до температуры воспламенения (температура вспышки). Этот параметр должен быть достаточно высоким, чтобы исключить возгорание, когда трансформатор, работая в режиме перегрузки, подвергается сильному нагреву. Нормой считается температура в пределах 125-135°С. Со временем, под воздействием частых перегревов, масло начинает разлагаться, что приводит к резкому снижению показателя температуры вспышки.

Показатель окисления (кислотное число) трансформаторного жидкого диэлектрика. Поскольку наличие кислот приводит к повреждению изоляции обмоток трансформатора, то важно определить их наличие. Кислотное число отображает количество (в мг.) гидроксида калия (КОН), необходимого для удаления следов кислоты в 1-м грамме продукта.

#### Изменение электрических свойств

По сути, трансформаторное масло является диэлектрической средой, соответственно, показателями качества для него будут изоляционные характеристики. К таковым относятся:

Показатель диэлектрической прочности. Это характеристика пробивного напряжения, нормы которой устанавливаются в зависимости от класса электрооборудования. Допустимое соотношение между рабочим и пробивным напряжением показано ниже.

Класс напряжения электроустановки (кВ)	Норма пробивного напряжения, кВ
≤15,0	30,0
От 15,0 до 35,0	35,0
От 60,0 до 150,0	55,0
От 220,0 до 500,0	60,0
750,0	65,0

## Порядок и методика проведения испытаний

Существует установленный порядок для процедуры испытаний трансформаторного масла, он включает в себя три этапа:

Получение образцов. Для отбора пробы необходимо руководствоваться соответствующими методическими указаниями.

Проведение испытаний, согласно выбранной методике. Это может быть полный или частичный физико-химический анализ или определение электрической прочности (проходимость электрического тока) в условиях определенной температуры.

Подведение итогов анализа. В протоколе испытаний указываются результаты проводимых тестов, и составляется заключение о соответствии испытуемого масла принятым нормам.

Разобравшись с порядком проведения испытаний, рассмотрим основные методики.

### Сокращенный химический анализ

Данная методика испытаний включает в себя:

Проверка качества по внешнему виду взятой пробы. В ходе этого экспресс анализа можно определить наличие воды и шлама.

Определение пробивных напряжений. Данный тест мы рассмотрим отдельно.

Определение кислотного числа. Данный тест производится в спецлаборатории, техническую сторону анализа мы приводить не будем, поскольку она интересна только специалистам. Что отображает данный показатель, было рассказано выше.

Определение температуры вспышки. В современных спецлабораториях для этой цели используют автоматические приборы, позволяющие зафиксировать температуру воспламенения масла в большом диапазоне. В частности, представленный на рисунке ниже прибор способен измерить температуру воспламенения в пределах от 40,0°C до 370°C.

Анализ, получивший название «реакция водной вытяжки». По данной методике можно определить наличие щелочи и кислоты во взятой пробе. Масло считается отвечающим норме, если реакция показала нейтральный результат



Автоматический прибор ТВЗ-ЛАБ-11 фиксации температуры вспышки

### 3.12.. Практическое занятие 12.

#### Проверка электрической прочности электроизоляционных изделий

**Цель работы: Усвоение умений и знаний:**

У1. Определять основные свойства материалов

З1. Общую классификацию материалов, их основные свойства и область применения.

#### Методика измерения электрической прочности

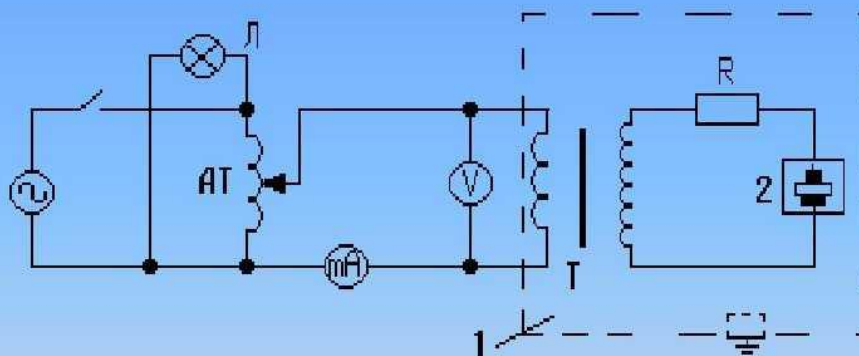


Схема стенда и методика измерения электрической прочности материала соответствуют ГОСТ 6433.3-71 «Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрической прочности при переменном (частоты 50Гц) и постоянном напряжении»

#### 4. Критерии оценивания выполнения лабораторных и практических занятий

Оценки	Критерии оценок
«5»	- обучающийся подбирает необходимые для выполнения предлагаемых работ источники знаний (литература, материалы, инструменты), показывает необходимые для проведения практической работы теоретические знания. Правильно оформлена практическая часть работы, соблюдена технологическая последовательность выполнения данного вида работ. Работа оформлена аккуратно.
«4»	- практическая работа выполняется обучающимся в полном объеме и самостоятельно. Обучающийся использует указанные преподавателем источники информации. Могут быть неточности и небрежность в оформлении работы. Работа показывает знания обучающимися основного теоретического материала, но имеются незначительные ошибки при оформлении практической части работы.
«3»	- обучающийся выполняет и оформляет практическую работу полностью с помощью преподавателя или хорошо подготовленных и уже выполнивших на «отлично» данную работу других обучающихся.
«2»	- практическая работа не выполнена полностью за отведенное время по неуважительной причине.

#### 5. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

1. Будьте внимательны и дисциплинированы, точно выполняйте указания преподавателя.
2. Не приступайте к выполнению задания без разрешения преподавателя.
3. Размещайте оборудование, приборы на своем рабочем месте таким образом, чтобы исключить их падение или опрокидывание.
4. Перед выполнением работы необходимо внимательно изучить ее содержание и ход выполнения.
5. При проведении опытов не допускайте предельных нагрузок электроизмерительных приборов.
6. При работе с приборами из стекла соблюдайте особую осторожность.

7. Следите за исправностью всех креплений приборов и приспособлений. Не прикасайтесь и не наклоняйтесь к вращающимся частям машины.
8. При сборке экспериментальных установок используйте провода с наконечниками, предохранительными чехлами с прочной изоляцией без видимых повреждений.
9. При сборке электрической цепи избегайте пересечения проводов. Запрещается пользоваться проводниками с изношенной изоляцией и выключателями открытого типа.
10. Источник тока к электрической цепи подключайте в последнюю очередь.
11. Не допускайте попадания на электрооборудование сырости, грязи и посторонних предметов.
12. Собранную цепь включайте только после проверки и с разрешения преподавателя. Наличие напряжения в цепи можно проверять только приборами или указателями напряжения.
13. Не прикасайтесь к находящимся под напряжением элементам цепей, лишенных изоляции.
14. Не производите пересоединений в электрических цепях машин до полной остановки ротора машины.
15. Не прикасайтесь к корпусам стационарного оборудования, к зажимам отключенных конденсаторов.
16. Пользуйтесь инструментами с изолирующими ручками.
17. По окончании работы отключите источник электропитания, после чего разберите электрическую цепь.
18. Не оставляйте рабочее место без разрешения преподавателя.
19. Обнаружив неисправность в электрических устройствах, находящихся под напряжением, немедленно отключите источник электропитания и сообщите об этом преподавателю.
20. Для присоединения потребителей к сети пользуйтесь штепсельными соединениями.
21. При ремонте и работе электроприборов пользуйтесь розетками, гнездами, зажимами, выключателями с невыступающими контактными поверхностями.

## 5. СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

### Основные печатные издания

1 Тимофеев, И. А. Электротехнические материалы и изделия: учебное пособие для среднего профессионального образования / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 268 с. — ISBN 978-5-8114-6836-2.

### Основные электронные издания

1 Тимофеев, И. А. Электротехнические материалы и изделия: учебное пособие для среднего профессионального образования / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 268 с. — ISBN 978-5-8114-6836-2.