

Б.К. Суюндукова, Г.Б. Тугерова  
Г.Б. Арапова, А.В. Келазев

# ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

*Учебное пособие*





Б.К.СУЮНДУКОВА, Г.Б.ТУГЕРОВА,  
Г.Б. АРАПОВА, А.В. КЕЛАЗЕВ

# ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

*Разработано в качестве учебного пособия  
системы технического и профессионального образования по  
специальности «Электроснабжение(по отраслям)»*

Астана  
2018

УДК 621.31 (075)  
ББК 31. 23 я 73  
Э45

Электротехнические материалы: Учебное пособие /Б.К. Суюндукова, Г.Б. Тугерова, Г.Б. Арапова, А.В. Келазев – Астана: Некоммерческое акционерное общество «Холдинг «Кәсіпқор», 2018 г.

ISBN 978-601-333-488-2

Учебное пособие «Электротехнические материалы» предназначено для преподавателей и обучающихся организаций технического и профессионального образования по квалификации 090201.2 «Электромонтажник по распределительным устройствам» специальности 0902000 «Электроснабжение».

Содержание пособия дает возможность оценить уровень сформированности компетенций, готовности обучающихся к выполнению профессиональной деятельности в результате освоения следующих профессиональных модулей: ПМ04. «Выполнение вспомогательных и такелажных работ», ПМ06. «Монтаж распределительных устройств и вторичных цепей», ПМ07. «Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования электрических цепей» по профессии 090201 2- Электромонтажник по распределительным устройствам».

В пособии приведены сведения о свойствах, особенностях и применения электротехнических материалов в электроэнергетической отрасли. Учебное пособие состоит из предисловия, 6 глав и списка использованной литературы. Пособие содержит следующие разделы: «Электротехнические материалы электрических сетей»; «Электроизоляционные материалы»; «Проводниковые материалы»; «Магнитные материалы»; «Неразъемные соединения».

В каждом разделе данного пособия имеются несколько тем, раскрывающих его содержание. Теоретическая часть тезисно раскрывает результаты обучения указанных модулей, позволяет осуществлять контроль знаний и умений обучающихся по критериям оценки данных модулей.

По каждой теме разработаны уровневые дифференцированные задания, задания творческого характера, задачи ситуативного характера, а также тестовые задания, которые способствуют достижению результатов обучения и служат критериями оценивания.

УДК 621.31 (075)  
ББК 31. 23 я 73

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение» декан факультета «Нефти и газа» Каспийского государственного университета технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова – Джумагазиева Ш.К.

преподаватель первой категории, специальных дисциплин, магистр технических наук ГKKП «Мангистауский энергетический колледж» – Мурзабаев Н.

начальник электроцеха ТЭЦ-2 ТОО «МАЭК-Казатомпром, г. Актау – Маленький Н.И.

Одобрено Научно-методическим советом НАО «Холдинг «Кәсіпқор», Протокол № 2 от 26.09.2018 г.

©НАО «Холдинг «Кәсіпқор», 2018 г.

## ГЛОССАРИЙ

**Аморфное вещество** – твердое вещество, не обладающее упорядоченным строением.

**Атом** – наименьшая часть химического элемента, являющаяся носителем его свойств.

**Гальванический элемент** – химический источник тока.

**Графит** – форма существования углерода, имеющего гексагональную кристаллическую решетку.

**Жидкий кристалл** – состояние вещества, при котором оно обладает свойствами жидкости (текучестью) и твердого кристаллического тела (анизотропией свойств).

**Идеальный кристалл** – кристалл без дефектов структуры.

**Износ** – отрыв частичек материала с поверхности в результате трения.

**Ион** – электрически заряженная частица, образующаяся при потере или приобретении электронов атомом или молекулой.

**Кристалл** – твердое тело, обладающее трехмерной периодической атомной или молекулярной структурой и имеющее при равновесных условиях образования форму правильного многогранника.

**Кристаллическое вещество** – твердое вещество, имеющее упорядоченное расположение атомов или ионов в пространстве.

**Латунь** – название группы сплавов меди с цинком, в состав которых могут входить и другие элементы.

**Легирование** – введение в сплав каких-либо химических элементов с целью получения требуемых свойств.

**Легированная сталь** – сталь, в которую специально введены какие-либо элементы для придания требуемых свойств.

**Легировующий элемент** – элемент, специально введенный в сплав для получения требуемых свойств

**Магнетизм** – форма взаимодействия между электрическими токами, между токами и магнитами или между магнитами. 2. Способность материала сгущать магнитные силовые линии.

**Магнит постоянный** – изделие определенной формы из намагниченного ферромагнетика (постоянно обладает магнитными свойствами).

**Магнитный полупроводник** – полупроводниковый материал, в состав которого входят переходные или редкоземельные элементы, образующие упорядоченные магнитные структуры при низких температурах.

**Магнитомягкая сталь** – сталь для магнитов, работающих в переменных электромагнитных полях, которые намагничиваются при наложении поля и размагничиваются, когда поле убрано.

**Магнитотвердая сталь** – сталь для постоянных магнитов, которая, будучи намагничена, сохраняет магнитные свойства.

**Металлическая связь** – связь атомов в металлах, обусловленная взаимодействием положительных ионов и электронного газа (свободных электронов).

**Намагниченность** – характеристика магнитного состояния вещества, определяемая отношением магнитного момента тела к его объему.

**Обработка холодом** – способ термической обработки закаленных высокоуглеродистых сталей, состоящий в охлаждении значительно ниже комнатной температуры, с целью повышения твердости, стабилизации размеров и улучшения магнитных свойств за счет превращения остаточного аустенита в мартенсит.

**Объем удельный** – отношение объема, занимаемого веществом, к его массе.

**Окисление** – процесс образования окислов металлов.

**Оксиды** – химическое соединение металлов с кислородом.

**Остаточная намагниченность** – намагниченность ферромагнетика при напряженности внешнего магнитного поля, равной нулю.

**Отжиг** – вид термической обработки, включающий нагрев, выдержку и медленное охлаждение с печью, с целью снижения твердости, внутренних напряжений и уменьшения химической и структурной неоднородности.

**Парамагнетизм** – свойство вещества, помещенного во внешнее магнитное поле, намагничиваться, если в отсутствие этого поля вещество не обладало упорядоченной магнитной структурой.

**Парамагнетик** – вещество, обнаруживающее парамагнетизм.

**Полупроводник** – вещество, характеризующееся значением электропроводности, промежуточным между металлами и диэлектриками, возрастающим при уменьшении температуры.

**Поляризация** – анизотропия характеристик поперечной световой волны в плоскости, перпендикулярной к направлению ее распространения.

**Поляризуемость** – способность атомов, молекул или ионов приобретать электрический дипольный момент в электрическом поле.

**Решетка кристаллическая** – присущее кристаллическому состоянию вещества расположение составляющих его микрочастиц, характеризующееся периодической повторяемостью в пространстве.

**Сверхпроводимость** – явление скачкообразного падения до нуля электросопротивления некоторых веществ при низких температурах.

**Сдвиг** – деформация тела, вызываемая касательными напряжениями.

**Структура** – собирательное название характеристик макроскопического и микроскопического строения вещества.

**Текучесть** – свойство тел пластически деформироваться под действием механических напряжений.

**Термическая обработка** – комплекс операций, включающий нагрев до определенной температуры, выдержку и охлаждение с определенной скоростью металлических сплавов с целью получения требуемых свойств за счет изменения структуры.

**Термомеханическая обработка** – способ повышения прочности стали за счет совмещения пластической деформации и закалки.

**Углеродистая сталь** – сталь, которая не содержит легирующих элементов.

**Узел кристаллической решетки** – место регулярного расположения атома или иона в кристалле.

**Феррит** – твердый раствор внедрения углерода в альфа-железе. 2. Сложный оксид железа, являющийся ферромагнетиком и сочетающий в себе свойства ферромагнетика и полупроводника или ферромагнетика и диэлектрика.

**Ферромагнетизм** – состояние вещества, при котором магнитные моменты атомов или ионов самопроизвольно ориентированы параллельно друг другу.

**Ферромагнетик** – вещество, обнаруживающее ферромагнетизм.

**Ферросплавы** – сплавы, содержащие значительное количество какого-либо элемента, применяемые при выплавке легированных сталей, например, ферросилиций, феррохром, ферромарганец.

**Химико-термическая обработка** – насыщение поверхности детали каким-либо элементом с последующей термической обработкой или без нее с целью получения требуемых свойств поверхности.

**Химическая связь** – связь между атомами молекул, возникающая в результате того, что электроны, принадлежащие разным атомам, становятся общими для них.

**Электромагнит** – устройство, состоящее из токопроводящей обмотки и ферромагнитного сердечника, который намагничивается при прохождении по обмотке электрического тока.

**Электронный магнит** – микроскоп, в котором для получения изображения применяется пучок электронов.

**Электропроводность** – способность тела пропускать электрический ток.

**Элемент** – химический символ вещества, состоящего из одноименных атомов.

## СОДЕРЖАНИЕ

	<b>ГЛОССАРИЙ</b>	3
	<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	7
1	<b>Глава I. Электротехнические материалы электрических сетей</b>	9
1.1	Классификация и применение электротехнических материалов в системе электроснабжения	9
1.2	Состояние вещества. Энергетические зоны твердых материалов	16
1.3	Механические свойства электротехнических материалов	25
1.4	Виды химической связи материалов	31
2	<b>Глава II. Проводниковые материалы</b>	42
2.1	Общие сведения и классификация проводниковых материалов	42
2.2	Сверхпроводники и криопроводники	46
2.3	Сортамент проводов и кабелей	52
3	<b>Глава III. Электроизоляционные материалы</b>	63
3.1	Характеристики диэлектриков	63
3.2	Газообразные диэлектрики	71
3.3	Жидкие диэлектрики	76
3.4	Высокомолекулярные органические и неорганические диэлектрики	83
4	<b>Глава IV. Полупроводниковые материалы</b>	93
4.1	Общие сведения о полупроводниковых материалах и изделиях	93
4.2	Простые и сложные полупроводники	98
5	<b>Глава V. Магнитные материалы</b>	104
5.1	Основные характеристики магнитных материалов	104
5.2	Магнитомягкие и магнитотвердые материалы	109
5.3	Сортаменты трансформаторных сталей	116
6	<b>Глава VI. Неразъемные соединения</b>	122
6.1	Сварка. Технология, приспособления, инструменты для сварки и резки	122
6.2	Пайка, припой, флюсы	131
6.3	Виды обработки металлов и неметаллических материалов	140
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	144
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b>	145
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ</b>	148

## ВВЕДЕНИЕ

Электротехнические материалы представляют собой совокупность проводниковых, электроизоляционных, магнитных и полупроводниковых материалов, предназначенных для работы в электрических и магнитных полях.

Электротехнические материалы в современной электротехнике занимают одно из главных мест. Общеизвестно, что надежность работы электрических машин, аппаратов и электрических установок в основном зависит от качества и правильного выбора соответствующих электротехнических материалов. Анализ аварий электрических машин и аппаратов показывает, что большинство из них происходит вследствие выхода из строя электроизоляции, состоящей из электроизоляционных материалов.

Не менее важное значение для электротехники имеют магнитные материалы. Потери энергии и габариты электрических машин и трансформаторов определяются свойствами магнитных материалов.

Полупроводники составляют обширную область материалов, отличающихся друг от друга большим многообразием электрических и физических свойств, а также большим многообразием химического состава, что и определяет различные назначения при их техническом использовании. В результате разработки данной группы материалов были изучены инновационные технологии и новые, современные электрооборудования, позволяющие успешно решать проблемы электротехники и электроэнергетики.

Рациональный выбор электроизоляционных, магнитных и других материалов способствуют надежности системы электроснабжения и эксплуатации электрооборудования при малых габаритах и весе. Но для реализации этих качеств необходимы знания свойств всех групп электротехнических материалов.

В результате изучения тем данного пособия обучающиеся приобретут:

- знания видов, свойств и области применения основных электротехнических материалов, используемых в производстве, маркировки кабелей, видов сварочного оборудования, применяемого при электромонтажных работах;
- умения выбирать электроизоляционные материалы, проводить расшифровку марки проводов и кабелей, классифицировать основные электротехнические материалы по физико-механическим и электрическим характеристикам, проводить испытания электротехнических материалов;
- навыки определять электрическую прочность материалов, производить оценку состояния изоляции электрооборудования и выполнять сварочные работы.

Рекомендуемые темы пособия раскрывают не только содержание модулей специальности, но и развивают логику мышления обучающихся выполнением индивидуальных, творческих, ситуативных и



дифференцированных заданий после каждой темы. Теоретическое содержание учебного пособия, а также системное выполнение индивидуальных заданий обучающимися, способствуют формированию следующих профессиональных компетенций:

- выполнять вспомогательные и такелажные работы;
- выполнять монтаж распределительных устройств и вторичных цепей;
- проводить наладочные работы электрооборудования электрических сетей.

Содержание заданий пособия способствует выполнению практических работ, курсовых и научных проектов, направленных на развитие творческих способностей будущих конкурентоспособных специалистов на рынке труда.

# ГЛАВА I. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

## 1.1 Классификация и применение электротехнических материалов в системе электроснабжения

В электроустановках системы электроснабжения применяют следующие виды материалов: электротехнические и конструкционные (Рисунок1).

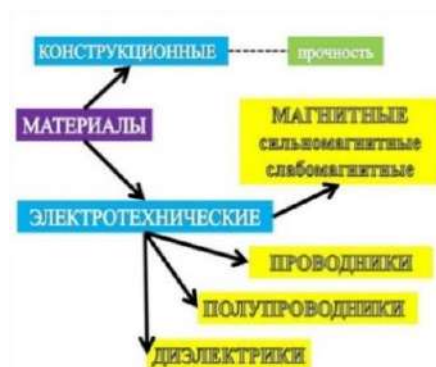


Рисунок 1-Классификация электротехнических материалов

*Электротехническими материалами* называют материалы, характеризующиеся определенными свойствами по отношению к электромагнитному полю и применяемые в технике с учетом этих свойств [1,2].

Металлы и металлические сплавы, которые постепенно в электротехнике вытесняются неметаллическими материалами (пластмассы и полимеры) являются *конструкционными материалами*.

Все вещества в зависимости от их электрических свойств относят к диэлектрикам, проводникам или полупроводникам.

Проводники могут быть классическими, криопроводниками и сверхпроводниками, в которых система кристаллической решетки состоит из узлов с  $\text{\AA}$  ионом, находящихся в среде свободных электронов, последние определяют высокую электропроводность и теплопроводность проводников. Известно, что хорошими проводниками являются металлы. Из 105 химических элементов лишь 25 являются не металлами, причем 12 из них проявляют свойства полупроводников. Кроме элементарных веществ существуют тысячи химических соединений, сплавов или композиций со свойствами проводников, полупроводников или диэлектриков [3].

Полупроводники классифицируются на химические элементы (простые) и химические соединения (сложные), причем последние по количеству составляющих и могут быть: двухэлементные (бинарные), трехэлементные и многоэлементные; по типу электропроводности: типа  $n$  – электронная проводимость, типа  $p$  – «дырочная» проводимость; различают органические и

неорганические, а по характеру электропроводности – электронные и ионные; по структуре – кристаллические и аморфные.

По отношению к магнитному полю большинство электротехнических материалов – немагнитные либо слабомагнитные вещества. Существует особая группа материалов, проявляющих сильные магнитные свойства. Магнитные материалы способны сильно намагничиваться во внешнем магнитном поле.

Магнитные материалы по своим физическим свойствам делятся на ферромагниты и ферримагниты (ферриты), по применению – магнитотвердые и магнитомягкие, последние выделяются с прямоугольной петлей гистерезиса и с постоянной магнитной проницаемостью; слабомагнитные материалы – это диамагнетики и парамагнетики, сильномагнитные, которые зависят от напряженности магнитного поля (железо, никель, кобальт, сплавы (хром-марганец и т.п.) и не зависящие от магнитного поля (медь, цинк, серебро, золото, висмут, ртуть).

Основной характеристикой электротехнических материалов является удельная электропроводность –  $\gamma$ , Сименс/м, как коэффициент пропорциональности между плотностью тока  $\mathbf{j}$  (А/м<sup>2</sup>) и напряженностью электрического поля  $\mathbf{E}$  (В/м):

$$\mathbf{j} = \gamma \cdot \mathbf{E} \quad (1.1)$$

Удельная электропроводность зависит только от свойств материала. Этой характеристикой обычно пользуются в теории, а на практике используется обратная величина – удельное электрическое сопротивление –  $\rho$ , Ом·м,:

$$\rho = 1/\gamma \quad (1.2)$$

Температурная зависимость электропроводности показывает различие между проводниками, полупроводниками и диэлектриками.

Электропроводность диэлектриков и полупроводников возрастает по экспоненциальному закону с ростом температуры, а у металлов, наоборот, с ростом температуры электропроводность уменьшается:

При температурах к 0 К, электропроводимость многих металлов перестает изменяться и стремиться к конечному значению, а у некоторых металлов наступает сверхпроводящее состояние. У диэлектриков и полупроводников электропроводимость при  $T = 0$  обращается в нуль.

Различие между проводниками, полупроводниками и диэлектриками наиболее наглядно можно показать с помощью энергетических диаграмм зонной теории (Рисунок 2).

Разрешенные зоны обычно отделены друг от друга запрещенными зонами, т.е. промежутками значений энергии, которыми электрон в данном кристалле обладать не может.

Электрический ток в твердых телах может быть обусловлен свободными электронами, перемещающимися в разрешенной зоне, расположенной над валентной – в зоне проводимости [1,4].

Валентная зона – разрешенная зона энергий, возникшая из тех уровней на которых находятся валентные электроны в основном состоянии атомов.

Свободная зона – зона возбужденных уровней энергии.

Зона проводимости – зона, валентные электроны которой участвуют в создании тока проводимости.



Рисунок 2-Зонная теория электротехнических материалов: ЗП-зона проводимости, ЗЗ - запрещаяющая зона, ВЗ-валентная зона.

Применение электротехнических материалов представлено на рисунке3.



Рисунок 3-Применение электротехнических материалов в электроэнергетике

### ***Выполните задание***

1. Работа в группах, составьте опорный конспект изученной темы. Обменяйтесь своими творческими работами, дополните и оцените труд других групп.



2. Activity на тему: «Классификация, области применения и требования к материалам электроустановок систем электроснабжения». Составьте кластер, сканворд или кроссворд по изученной теме и выполните перевод основных понятий на казахский и английский языки.

Например,



3. Составьте интеллектуальную карту, зонного строения электротехнических материалов, с представлением различий энергетических диаграмм. Выполните перевод основных названий и понятий на казахский и английский языки.

4. Объясните, почему в тонких металлических пленках с уменьшением толщины пленки возрастает ее удельное сопротивление, наблюдается отрицательный температурный коэффициент удельного сопротивления.

5. Подберите твердые вещества, которые могут быть полупроводниками или диэлектриками при определенных условиях согласно зонной теории. Изучите его физические, электрические свойства и применение в электротехнике и электроэнергетике. Постройте диаграмму зонного уровня распределения энергии для данных состояний [4].

6. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Материалы, применяемые в электротехнике, принято классифицировать на:**

А) электротехнические, конструкционные и материалы специального назначения;

В) электротехнические, проводниковые и конструкционные материалы специального назначения;

С) проводниковые, конструкционные и материалы специального назначения;

D) проводниковые материалы, полупроводники, диэлектрики и магнитные материалы;

E) магнитные, конструкционные и материалы специального назначения;

**2. К электротехническим материалам относятся:**

A) полупроводники и диэлектрики;

B) сверхпроводники, проводники и диэлектрики;

C) диэлектрики и магнитные материалы;

D) магнитные и полупроводниковые материалы;

E) проводники, диэлектрики, полупроводники и магнитные материалы.

**3. Свойства, которые являются испытаниями электротехнических материалов при воздействии внешних сил, называют:**

A) тепловыми;

B) механическими;

C) электрическими;

D) электротехническими;

E) испытательными.

**4. Различие между проводниками, полупроводниками и диэлектриками наиболее наглядно можно показать с помощью:**

A) молекулярно-кинетической теории;

B) энергетических диаграмм зонной теории;

C) теории твердого тела;

D) диаграммы Венна;

E) молекулярной теории состояния вещества;

**5. Энергетические зоны, образованные совокупностью энергетических уровней, называют:**

A) допустимыми зонами;

B) запрещенными зонами;

C) валентными зонами;

D) разрешенными зонами;

E) электронными зонами.

**6. Разрешенные зоны обычно отделены друг от друга:**

A) допустимыми зонами;

B) энергетическими зонами;

C) валентными зонами;

D) электронными зонами;

E) запрещенными зонами.

**7. Электрический ток в твердых телах может быть обусловлен свободными электронами в зоне:**

- A) запрещенной;
- B) электронной;
- C) валентной;
- D) проводимости;
- E) допустимой.

**8. Промежутки значений энергий, которыми электрон в данном кристалле обладать не может, называют зоной:**

- A) запрещенной;
- B) электронной;
- C) валентной;
- D) проводимости;
- E) допустимой.

**9. Свободные электроны в твердых телах перемещаются над валентной зоной - в зоне:**

- A) запрещенной;
- B) электронной;
- C) валентной;
- D) проводимости;
- E) допустимой.

**10. Свободные электроны твердых тел перемещаются в:**

- A) допустимой зоне;
- B) ионной зоне;
- C) валентной зоне;
- D) ковалентной зоне;
- E) разрешенной зоне.

**11. Материалы, характеризующиеся определенными свойствами по отношению к электромагнитному полю и применяемые в технике с учетом этих свойств, называют:**

- A) конструктивными;
- B) электротехническими;
- C) полупроводниковыми;
- D) проводниковыми;
- E) магнитными.

**12. По отношению к магнитному полю большинство электротехнических материалов бывают:**

- A) немагнитные и слабомагнитные вещества;
- B) только слабомагнитные вещества;

- С) только немагнитные вещества;
- Д) немагнитные или слабомагнитные вещества;
- Е) немагнитные иногда слабомагнитные вещества.

**13. Магнитомягкие материалы применяют в:**

- А) электромагнитах и переменных магнитных полях в качестве сердечников трансформаторов, магнитопроводов электрических машин, реле;
- В) электромагнитах или переменных магнитных полях в качестве сердечников трансформаторов;
- С) электромагнитах или переменных магнитных полях в качестве магнитопроводов электрических машин и реле;
- Д) электромагнитах и переменных магнитных полях в качестве магнитопроводов электрических машин;
- Е) устройствах для записи и хранения информации.

**14. По физическим свойствам магнитные материалы делятся на:**

- А) ферромагниты и парамагнетики;
- В) ферромагниты и ферримагниты (фирриты);
- С) диамагниты и ферримагниты (фирриты);
- Д) ферромагниты и диамагниты (фирриты);
- Е) ферромагниты, диамагниты и ферримагниты (фирриты).

**15. Магнитные материалы по применению бывают:**

- А) магнитотвердые, магнитомягкие и магнитосредние;
- В) магнитотвердые и магнитосредние;
- С) магнитотвердые и магнитомягкие;
- Д) магнитомягкие и магнитосредние;
- Е) магнитотвердые, магнитомягкие или магнитосредние.

**16. Основной характеристикой электротехнических материалов является:**

- А) удельное сопротивление;
- В) удельная электропроводность;
- С) напряженность электрического поля;
- Д) коэффициент пропорциональности;
- Е) коэффициент проводимости.

**17. Удельная электропроводность – это коэффициент пропорциональности между:**

- А) плотностью тока и напряжением в законе Ома;
- В) плотностью тока напряжения и ( $\text{В/м}^2$ ) и напряженностью электрического поля  $E$  ( $\text{В/м}$ ) в законе Ома;
- С) плотностью тока  $j$  ( $\text{А/м}^2$ ) и напряженностью электрического поля  $E$  ( $\text{В/м}$ ) в законе Ома;



- D) электрическим током (A) и напряженностью электрического поля E (В/м) в законе Ома;  
E) электрическим током (A) и напряжением U (В) в законе Ома.

**18. Удельная проводимость электрического тока измеряется в:**

- A) Сименс/м;  
B) Сименс;  
C) Сименс/м<sup>2</sup>;  
D) Сименс<sup>2</sup>/м;  
E) Сименс·м.

**19. Удельная электропроводность материала зависит от его:**

- A) строения;  
B) физических или химических свойств;  
C) химических свойств;  
D) физических свойств;  
E) механических свойств.

**20. Удельной электропроводностью обычно пользуются в теории, а на практике используется обратная ей величина:**

- A) проводимость электрического тока или электрическое сопротивление;  
B) проводимость электрического тока;  
C) электрическое сопротивление;  
D) удельное электрическое сопротивление;  
E) плотность электрического тока.

**1.2 Состояние вещества. Энергетические зоны твердых материалов**

Всякое вещество состоит из большого числа мельчайших частичек - молекул. Каждая молекула, в свою очередь, состоит из сравнительно небольшого числа атомов. Вещества могут находиться в различных агрегатных состояниях.

Раздел физики, изучающий состав и внутреннюю структуру твердых тел, называется физикой твердого тела. Изменение формы твердого тела и объема при воздействиях и движении, изучается отдельной дисциплиной - механикой твердого (деформируемого) тела (Рисунок 4).

Форма и размер частиц твердого вещества, из которого состоит материал, также влияют на свойства материала. В зависимости от формы и размера частиц и их строения различают зернистые, волокнистые и слоистые материалы.

Твердые тела делятся на:

- кристаллы (кристаллические тела);
- аморфные тела;
- композиты (композитные тела).



Рисунок 4-Примеры кристаллических (соль), аморфных (воск) и композитных твердых тел соответственно

Кристаллы, в свою очередь, также делятся на два класса:

- монокристаллы, то есть вся структура тела представлена единым кристаллом (алмаз, рубин, сапфир...);
- поликристаллы, то есть структура тела представляет собой объединение большого количества малых кристаллов (гранит, большинство металлов...).

Многие твердые тела обладают так называемым свойством полиморфизма.

*Полиморфизм* – свойство твёрдых тел существовать в состоянии с различной кристаллической решёткой [2,3].

*Анизотропия* – зависимость физических свойств кристалла от направления. То есть кристаллическая структура не симметрична, и существует несколько осей, вдоль которых у кристалла проявляются различные свойства (механические, электрические, оптические) [2,3].

*Изотропия* – независимость физических свойств кристалла от направления, характерная поликристаллам, потому как несимметрические монокристаллы ориентируются хаотически, сводя на нет несимметричность [2,3].

*Аморфные тела* – тела, не имеющие строгой кристаллической решётки, бесформенные тела (смола, стекло, графит...). Аморфные тела также называют переохлаждёнными вязкими жидкостями в связи с тем, что у них нет строгой температуры плавления, нет явного перехода от твёрдого состояния до жидкого, т.к. с увеличением температуры аморфные тела становятся более текучими и свойство текучести сохраняется у них даже при низких температурах.

Различие в строении кристаллических и аморфных веществ определяет и различие в их свойствах:

- аморфные вещества, обладая нерастраченной внутренней энергией кристаллизации, химически более активны, чем кристаллические такого же состава;

- кристаллические вещества при нагревании до определенной температуры (температуры плавления) плавятся, а аморфные размягчаются и постепенно переходят в жидкое состояние.

- прочность аморфных веществ, как правило, ниже прочности кристаллических, поэтому для получения материалов повышенной прочности специально проводят кристаллизацию стекол, например, при получении ситаллов и шлако-ситаллов новых стеклокристаллических материалов [2,3].

*Композиционный материал* – это неоднородный сплошной материал из двух или более компонентов с четкой разницей между ними.

К композиционным материалам относятся:

- Органопластики с органическими волокнами естественного и искусственного происхождения. Легче, чем стекло– и углепластики. Отличаются высокой прочностью на удар, но низкой – на растяжение/изгиб. К пластикам этого типа относится, например, кевлар.

- Текстолиды, изготовленные из матрицы из полимера и тканей различной природы в качестве наполнителя. Некоторые текстолиды изготавливаются с матрицей из неорганических веществ (силикатов, фосфатов). Свойства материалов очень разнообразны, зависят от вида волокон ткани. Волокна производят из хлопка, асбеста, базальта, стекла, искусственных материалов и пр.

- Полимеры с порошковым заполнением (полиэтилены, полипропилены, смолы с различными наполнителями, например, тальком, крахмалом, сажей, карбонатом кальция и пр.) - разработано уже более 10 тыс. видов пластиков этого типа.

- Металл композиты изготавливают на основе многих цветных металлов, например, меди, алюминия, никеля. Для наполнения берутся волокна, устойчивые к высоким температурам, не растворяющиеся в основе. Чаще всего используются металлические волокна или монокристаллы из оксидов, нитридов, керамики, карбидов, боридов. Композиты более огнестойкие, прочные и износоустойчивые, чем исходный чистый металл [6,7].

- Керамические композиты изготавливают методом спекания под давлением исходной керамической массы с добавлением волокон или частиц. В качестве наполнителей чаще всего применяются металлические волокна – получают керметы. Керметы отличаются устойчивостью к тепловому удару, высокой теплопроводностью [8,9].

Переработка графита для получения композиционных материалов находит широкое применение. К композитам на основе графита относятся антифрикционные углеродные материалы. Антифрикционные углеродные материалы изготавливают из непрокаленного нефтяного кокса, каменноугольного пека с добавкой природного графита. Антифрикционные углеродные материалы изготавливают следующих марок: обожженный антифрикционный материал марки АО, графитированный антифрикционный материал марки АГ, антифрикционные материалы, пропитанные баббитом, оловом и свинцом марок АО-1500Б83, АО 1500СО5, АГ-1500Б83, АГ-1500СО5, Нигран, Химанит и графитопластовые материалы. Углеродные антифрикционные материалы химически стойки во многих агрессивных газовых и жидких средах. Они стойки почти во всех кислотах (до температуры

кипения кислоты), в растворах солей, во всех органических растворителях и ограниченно стойки в концентрированных растворах едких щелочей.

Композитные материалы находят широкое применение в различных областях производства. Композиционные материалы применяются в области судостроения, в авиационной и ракетно-космической технике, в электроэнергетике, в архитектуре и в машиностроении, где используются такие их свойства, как высокая удельная прочность и стойкость к воздействию высоких температур, стойкость к вибрационным нагрузкам, малый удельный вес. Области применения композитных материалов представлено на рисунке 5.

Зонная теория является основой современных представлений о процессах, происходящих в твердом кристаллическом веществе при воздействии на него электромагнитного поля [10].



Рисунок 5- Области применения композитных материалов

Существование металлов, диэлектриков и полупроводников, их различие в электрических свойствах объясняет зонная теория твердого тела (Рисунок 6).



Рисунок 6- Распределение энергетических зон в кристалле твердого тела

Принципиальное отличие проводниковых материалов от диэлектриков и полупроводников заключается в том, что у металлов высокая концентрация свободных электронов и отсутствует запрещенная зона, у полупроводников имеются свободные электроны в зоне проводимости и интервал запрещенной



зоны в интервале от 0,01 до 3эВ, а у диэлектриков отсутствуют вообще свободные электроны и большая зона проводимости шириной более 3эВ (Рисунок 7).



Рисунок 7 –Зонная теория принципиального отличия проводниковых материалов от диэлектриков и полупроводников

### Выполните задания

1. Заполните таблицу 1 классификация твердых тел, их свойства и применение. Выполните перевод основных названий и понятий на казахский и английский языки.

Таблица1- Классификация твердых тел, их свойства и применение

Виды твердых тел		Свойства и особенности	Применение
1		2	3
кристаллы			
аморфные тела			
композиты			

2. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Своя игра», «Поле чудес» и т.д.) и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников.

3. Составьте интеллектуальную карту, зонного строения твердых тел, представлением различий энергетических диаграмм для проводников, полупроводников и диэлектриков. Выполните перевод основных названий и понятий на казахский и английский языки.

4. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Механика твердого (деформируемого) тела изучает при движении и воздействии изменение:**

- А) формы;
- В) формы и объема;
- С) объема;
- Д) формы или объема;

Е) иногда формы, а иногда объема.

**2. Свойства твердого тела зависят от его:**

- А) формы;
- В) размера частиц;
- С) формы или размера частиц;
- Д) формы и размера частиц;
- Е) иногда от формы и иногда от размера частиц.

**3. В зависимости от формы, размера частиц и их строения различают:**

- А) зернистые, вязкие и слоистые материалы;
- В) зернистые и волокнистые материалы;
- С) зернистые, и слоистые материалы;
- Д) волокнистые и слоистые материалы;
- Е) зернистые, волокнистые и слоистые материалы.

**4. Твердые тела делятся на:**

- А) кристаллы (кристаллические тела) и композиты (композитные тела);
- В) кристаллы (кристаллические тела) и аморфные тела;
- С) аморфные и композиты (композитные тела);
- Д) кристаллы (кристаллические тела), аморфные тела и композиты (композитные тела);
- Е) полиморфные тела и композиты (композитные тела).

**5. Твердые тела, у которых наблюдается упорядоченное расположение атомов или молекул называют:**

- А) композиты;
- В) кристаллы;
- С) полиморфы;
- Д) аморфными;
- Е) монокристаллы.

**6. Количество классов у кристаллов:**

- А) 4;
- В) 3;
- С) 1;
- Д) 2;
- Е) 5.

**7. К монокристаллам относят:**

- А) алмаз и сапфир;
- В) рубин и сапфир;
- С) золото, рубин, сапфир;

- D) алмаз, серебро, сапфир;
- E) алмаз, рубин, сапфир.

**8. Электроны, находящиеся в составе атома, образуют зону:**

- A) энергетическую;
- B) валентную;
- C) проводимости;
- D) запрещенную;
- E) обобществленную.

**9. Зону проводимости образуют:**

- A) меченные электроны;
- B) меченные ионы;
- C) валентные электроны;
- D) свободные электроны;
- E) положительные или отрицательные ионы.

**10. Вследствие обменного взаимодействия дискретные энергетические уровни изолированных атомов в кристалле расщепляются, образуя:**

- A) лавинные переходы;
- B) энергетические зоны;
- C) свободное перемещение;
- D) спонтанное перемещение;
- E) хаотическое движение.

**11. Кристаллы могут быть распределены по свойствам:**

- A) анизотропии;
- B) изотропии и анизотропии;
- C) изотропия;
- D) изотропия или анизотропия;
- E) изотропии и иногда анизотропии.

**12. Зависимость физических свойств кристалла от направления называют:**

- A) анизотропией;
- B) изотропией и анизотропией;
- C) изотропией;
- D) изотропией или анизотропией;
- E) изотропией и иногда анизотропией.

**13. Анизотропия свойственна**

- A) монокристаллам;
- B) кристаллам;

- С) поликристаллам;
- Д) ситаллам;
- Е) волокнистым материалам.

**14. Кристаллическая структура твердого тела не симметрична, и существует несколько осей, вдоль которых у кристалла проявляются различные свойства:**

- А) механические и оптические;
- В) механические, технические, оптические;
- С) электрические, тепловые оптические;
- Д) механические, электрические, оптические;
- Е) электрические и оптические.

**15. Независимость физических свойств кристалла от направления называют:**

- А) анизотропией;
- В) изотропией и анизотропией;
- С) изотропией;
- Д) изотропией или анизотропией;
- Е) изотропией и иногда анизотропией.

**16. Твердые бесформенные тела, не имеющие строгой кристаллической решетки, называют:**

- А) композитами;
- В) кристаллами;
- С) поликристаллами;
- Д) аморфными;
- Е) полиморфными.

**17. Свойства изотропии проявляют:**

- А) янтарь, стекла, графиты;
- В) смолы, янтарь, графиты;
- С) смолы, стекла, графиты;
- Д) смолы и графиты;
- Е) стекла и графиты.

**18. Аморфные вещества по сравнению с кристаллическими телами такого же состава:**

- А) более активны;
- В) менее активны;
- С) не активны;
- Д) иногда активны;
- Е) иногда неактивны.

**19. Кристаллические вещества при нагревании до определенной температуры (температуры плавления) плавятся, а аморфные размягчаются и постепенно переходят в:**

- А) состояние мономорфии;
- В) состояние полиморфии;
- С) аморфное состояние;
- Д) газообразное состояние;
- Е) жидкое состояние.

**20. Прочность аморфных веществ, по сравнению с кристаллическими:**

- А) может меняться;
- В) неизменно;
- С) выше;
- Д) ниже;
- Е) стабильна.

**21. К композиционным материалам относятся:**

- А) органопластики, полимеры, текстолиты и металлокомпозиты;
- В) текстолиты, полимеры, текстолиты, керамические композиты и металлокомпозиты;
- С) полимеры, текстолиты, органопластики и металлокомпозиты;
- Д) полимеры, текстолиты, органопластики, керамические композиты и металлокомпозиты;
- Е) керамические композиты и металлокомпозиты.

**22. Органопластики с органическими волокнами естественного и искусственного происхождения по сравнению со стеклом и углепластиковыми:**

- А) тяжелей;
- В) легче;
- С) не легче;
- Д) иногда тяжелей их, а иногда легче;
- Е) не тяжелей.

**23. К текстолитам относят:**

- А) силикаты;
- В) фосфаты;
- С) силикаты и фосфаты;
- Д) силикаты или фосфаты;
- Е) силикаты и некоторые фосфаты.

**24. Волокна текстолитов производят из:**

- А) асбеста, базальта, стекла, искусственных материалов и пр.;



- В) хлопка, базальта, стекла, искусственных материалов и пр.;
- С) хлопка, асбеста, стекла, искусственных материалов и пр.;
- Д) хлопка, асбеста, базальта, искусственных материалов и пр.;
- Е) хлопка, асбеста, базальта, стекла, искусственных материалов и пр.

**25. Органопластики с органическими волокнами естественного и искусственного происхождения отличаются высокой прочностью на удар, но низкой – на:**

- А) растяжение;
- В) растяжение и изгиб;
- С) изгиб;
- Д) растяжение или изгиб;
- Е) уменьшение.

### **1.3 Механические свойства электротехнических материалов**

Механическими свойствами электротехнических материалов называют свойства, которые являются испытаниями при воздействии внешних сил.

К механическим свойствам относят твердость, упругость, вязкость, пластичность, линейное расширение, хрупкость, прочность и усталость. Механические свойства обуславливают прочность изделий. Большинство электротехнических материалов выполняет несколько функций, в том числе и функции конструкционных материалов. Поэтому часто для электротехнических материалов необходимо знать числовые значения *прочности на разрыв, сжатие, изгиб*. Многие материалы обладают повышенной *хрупкостью*, т.е. легко разрушаются динамическими нагрузками [11]. Для жидких диэлектриков – масел, лаков важной механической характеристикой является *вязкость* [12].

Величины параметров, определяющие механические свойства необходимы для выбора электротехнических материалов и их технологической обработки, а также расчетов по прочности конструкций, контроля и диагностирования их состояния в процессе эксплуатации электротехнического оборудования.

*Твердость* – это способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого. Методы определения твердости: вдавливание, царапанье и упругая отдача [2,5].

*Упругость* – это свойство материала восстанавливать свою форму и объем после прекращения действия внешних сил, которые вызывают их изменение [5].

*Вязкость (внутреннее трение)* – одно из явлений переноса, свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой [2].

*Пластичность* – это свойство материала деформироваться без разрушения под действием внешних сил и сохранять новую форму после прекращения действия этих сил. Температурный коэффициент линейного

расширения позволяет определить изменения любых геометрических размеров изделий (длины, ширины, толщины) при нагревании [13].

*Хрупкость* – это способность материалов разрушаться при приложении резкого динамического усилия. Для оценки склонности материала к хрупкому разрушению применяют испытания на ударный изгиб образцов с надрезом, в результате которого определяют ударную вязкость (стойкость к холоду) [3,5].

*Прочность* – это способность материала сопротивляться действию внешних сил, не разрушаясь. Показатели прочности характеризуются не прилагаемой нагрузкой  $P$ , а удельными величинами, где учитываются площадь поперечного сечения образца  $F$  в некоторый момент его растяжения [3,5].

*Усталость материалов* – свойство, проявляющееся при воздействии на материал многократной нагрузки (вибрации). При многократном воздействии нагрузки материал теряет свои механические свойства, а затем может полностью разрушиться. Это свойство характеризуется пределом выносливости (усталости) материала ( $\sigma_w$ ) [6,14].

Свойство металла выдерживать, не разрушаясь, большое число повторных или знакопеременных напряжений называется *выносливостью*.

Коррозия снижает предел выносливости  $\sigma_w$  на 50...60% и более. Для материалов, кривая усталости которых идет наклонно и не заканчивается горизонтальным участком, предел выносливости может быть выбран условно в виде величины напряжения (нагрузки), не разрушающей материал при установленном числе циклов ( $n$ ).

Многие металлы (обычно цветные металлы и их сплавы) не имеют горизонтального участка на кривой усталости. В этом случае определяют ограниченный предел выносливости – наибольшее напряжение, которое выдерживает металл (сплав) в течение заданного числа циклов нагружения.

База испытания  $N$  должна быть не ниже  $10^4$  -  $10^6$  циклов для стали и  $10^4$  -  $10^6$  циклов для легких сплавов и других цветных металлов, не имеющих горизонтального участка на кривой усталости.

*Разрывная длина* – это минимальная длина образца, при которой происходит его разрушение под действием собственного веса, или длина образца, при которой напряжение под действием собственного веса становится равным пределу прочности.

Образец разрушится, если вследствие увеличения длины образца, общий вес его станет равен прочности образца при растяжении. Износостойкость материалов и изделий является важной совокупностью свойств, которые учитываются при разработке товаров.

*Износ* – это изменение внешнего вида, конструкции или свойств товара, при которых он требует ремонта (частичный износ) или становится непригодным для дальнейшего использования (полный износ). Износ изделия представляет собой сложное явление, протекающее при его эксплуатации. Он

обусловлен механическими и физико-химическими воздействиями на товар [5,6].

Внешний механический износ, при котором истираются поверхности материала, является простейшим видом разрушения, он сопровождается потерей с поверхности частиц вещества и, следовательно, уменьшением толщины, веса и прочности материала на участках износа. Интенсивность внешнего износа зависит от природных свойств материала, структуры поверхности, подвергающейся внешним воздействиям, и интенсивности этих воздействий.

Внутренний механический износ вызывается многократными механическими воздействиями на материал в процессе эксплуатации, сопровождается изменением внутренней структуры и в связи с этим - физико-механических свойств материала.

Признаками такого износа служат потеря упруго-эластических и пластических свойств материала, увеличение жесткости, хрупкости, падение механической прочности, хотя внешний вид и конструкция изделия остаются без изменения. При дальнейшем износе изделие становится непригодным для использования вследствие резкого ухудшения потребительских свойств, частичного или полного разрушения из-за многократных растяжений, сжатий, изгибов, ударных воздействий, вызывающих усталость материала.

### ***Выполните задания***

1. Работая в группах, составьте опорный конспект изученной темы. Обменяйтесь своими творческими работами, дополните и оцените труд других групп.

2. Составьте интеллектуальную карту механических свойств электротехнических материалов. Выполните перевод основных названий и понятий на казахский и английский языки.

3. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Своя игра», «Что? Где? Когда?» и т.д.) и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников.

4. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Свойства, которые являются испытаниями электротехнических материалов при воздействии внешних сил, называют:**

- А) тепловыми;
- В) механическими;
- С) электрическими;
- Д) электротехническими;
- Е) испытательными.

**2. Проявление твердости, упругости, вязкости, пластичности, линейного расширения, хрупкости, прочности и усталости относят к ... свойствам:**

- А) тепловым;
- В) механическим;
- С) электрическим;
- Д) электротехническим;
- Е) испытательным.

**3. Механические свойства у товаров обуславливают:**

- А) хрупкость;
- В) стоимость;
- С) эстетичность;
- Д) износостойкость;
- Е) прочность.

**4. Для электротехнических материалов необходимо знать числовые значения:**

- А) прочности на разрыв и сжатие;
- В) прочности на сжатие и изгиб;
- С) прочности изгиб и кручение;
- Д) прочности на разрыв, сжатие, изгиб;
- Е) прочности на сжатие и изгиб.

**5. Многие материалы легко разрушаются динамическими нагрузками, т.е. обладают повышенной:**

- А) хрупкостью;
- В) эластичностью;
- С) гибкостью;
- Д) износостойкостью;
- Е) прочностью.

**6. Величины параметров, определяющие механические свойства электротехнического оборудования, необходимы в процессе эксплуатации для расчетов:**

- А) контроля и диагностирования их состояния;
- В) прочности конструкций и диагностирования их состояния;
- С) диагностирования их состояния;
- Д) прочности конструкций и контроля их состояния;
- Е) прочности конструкций, контроля и диагностирования их состояния.

**7. Способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого, называют:**

- А) гибкостью;

- В) хрупкостью;
- С) твердостью;
- Д) прочностью;
- Е) сопротивляемостью.

**8. Методы определения твердости:**

- А) вдавливание, царапание, упругая отдача;
- В) царапание, упругая отдача;
- С) вдавливание, упругая отдача;
- Д) хрупкость, царапание, упругая отдача;
- Е) вдавливание, твердость, упругая отдача.

**9. Свойство материала восстанавливать свою форму и объем после прекращения внешнего действия, называют:**

- А) гибкостью;
- В) выносливостью;
- С) упругостью;
- Д) твердостью;
- Е) вязкостью.

**10. Способность материала оказывать сопротивление динамическим нагрузкам, называют:**

- А) гибкостью;
- В) выносливостью;
- С) упругостью;
- Д) пластичностью;
- Е) вязкостью.

**11. Свойство материала деформироваться без разрушения под действием внешних сил и сохранять новую форму после прекращения действия этих сил, называют:**

- А) гибкостью;
- В) выносливостью;
- С) упругостью;
- Д) пластичностью;
- Е) вязкостью.

**12. Способность материалов разрушаться при приложении резкого динамического усилия, называют:**

- А) гибкостью;
- В) хрупкостью;
- С) упругостью;
- Д) пластичностью;
- Е) вязкостью.

**13. Способность материала сопротивляться действию внешних сил, не разрушаясь, называют:**

- А) гибкостью;
- В) прочностью;
- С) упругостью;
- Д) пластичностью.
- Е) вязкостью.

**14. Свойство, проявляющееся при воздействии на материал многократной нагрузки (вибрации), называют:**

- А) гибкостью;
- В) прочностью;
- С) усталостью;
- Д) пластичностью;
- Е) выносливостью.

**15. Свойство, проявляющееся в результате многократного воздействия нагрузки материала при котором теряются механические свойства, а затем полностью разрушиться, называют:**

- А) пределом выносливости (усталости) материала;
- В) пределом выносливости (пластичности) материала;
- С) пределом выносливости (гибкости) материала;
- Д) пределом выносливости (износостойкости) материала;
- Е) пределом выносливости (хрупкости) материала.

**16. Свойство металла выдерживать, не разрушаясь, большое число повторных или знакопеременных напряжений называют:**

- А) гибкостью;
- В) прочностью;
- С) упругостью;
- Д) пластичностью;
- Е) выносливостью.

**17. Коррозия снижает предел выносливости  $\sigma_{-1}$  на:**

- А) 20...30% и более;
- В) 30...40% и более;
- С) 40...50% и более;
- Д) 55...65% и более;
- Е) 50...60% и более.

**18. Наибольшее напряжение, которое выдерживает металл (сплав) в течение заданного числа циклов нагружения, называют:**

- А) допустимым пределом выносливости;
- В) разрешенным пределом выносливости;



- С) определительным пределом выносливости;
- Д) ограниченным пределом выносливости;
- Е) безграничным пределом выносливости.

**19. Минимальную длину образца, способствующего его разрушению, называют:**

- А) не допустимой;
- В) не разрешенной;
- С) определительной;
- Д) ограниченной;
- Е) разрывной.

**20. Изменение внешнего вида, конструкции или свойств товара, при которых он требует ремонта или становится непригодным для дальнейшего использования, называют:**

- А) пределом;
- В) износом;
- С) старением;
- Д) разрушением;
- Е) разрывом.

#### **1.4 Виды химической связи материалов**

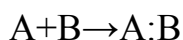
*Межмолекулярное взаимодействие* – взаимодействие молекул между собой, не приводящее к разрыву или образованию новых химических связей [8,15,16].

Виды химических связей: одноэлектронная, ковалентная, донорно-акцепторная, ионная, металлическая, Ван-дер-Ваальса и водородная.

*Одноэлектронная химическая связь* – это простейшая химическая связь, обуславливающая существование молекулярных соединений посредством кулоновского удерживания двух атомных ядер одним электроном [15,17].

*Главные отличительные черты одноэлектронной химической связи* – это понижение полной энергии перераспределение электронной плотности в области одноэлектронной химической связи по сравнению с простым наложением электронной плотности атома и атомного фрагмента, сближенных на расстоянии связи.

*Ковалентная связь* (от лат. со - «совместно» и vales - «имеющий силу») – химическая связь, образованная перекрытием (обобществлением) пары валентных (находящихся на внешней оболочке атома) электронных облаков [18]:



Ковалентная связь включает в себя многие виды взаимодействий: металлическую, банановую, двухэлектродную и трехцентровую связи.

Характерные и физические свойства ковалентной связи: направленность, насыщенность и полярность.

*Направленность связи* обусловлена молекулярным строением вещества и геометрической формой их молекулы. Углы между двумя связями называют валентными.

*Насыщаемость* – способность атомов образовывать ограниченное число ковалентных связей.

*Полярность связи* обусловлена неравномерным распределением электронной плотности вследствие различий электроотрицательных атомах [15,18].

По этому признаку ковалентные связи подразделяются на неполярные и полярные (неполярные – двухатомная молекула состоит из одинаковых атомов (H<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) и электронные облака каждого атома распределяются симметрично относительно этих атомов; полярные – двухатомная молекула состоит из атомов разных химических элементов, и общее электронное облако смещается в сторону одного из атомов, образуя тем самым асимметрию распределения электрического заряда в молекуле, порождая дипольный момент молекулы).

Соединение, образующееся между двумя различными неметаллами, называют *ковалентной полярной связью* [17].

*Поляризуемость* связи выражается в смещении и подвижности электронов под влиянием внешнего электрического поля, в том числе и другой реагирующей частицы [15].

Молекула, состоящая из двух атомов связанных полярной связью, является *полярной молекулой*, т.е. представляет собой *диполь* (Рисунок 8).



Рисунок 8- Диполь полярной молекулы

Существуют три вида ковалентной химической связи, отличающиеся механизмом образования: *простая ковалентная, семиполярная и ионная связи*.

*Простая ковалентная связь* - связь, образованная каждым из атомов, предоставляющих по одному неспаренному электрону. При образовании простой ковалентной связи формальные заряды атомов остаются неизменными.

Если атомы, образующие простую ковалентную связь, одинаковы, то истинные заряды атомов в молекуле также одинаковы (Рисунок 9). Простую ковалентную связь с одинаковыми зарядами атомов в молекуле называют *неполярной ковалентной связью* (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>) [18].

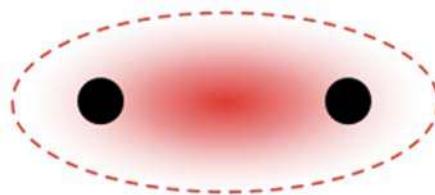
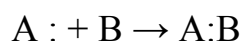


Рисунок 9- Модель одинарной ковалентной связи (электронная плотность выделена красным цветом)

Ковалентная связь, образуемая парой электронов одного из атомов, называется *донорно-акцепторной*:



*Семиполярную связь* – полярная донорно-акцепторная связь (Рисунок 10), образуемая между атомом, обладающим не поделённой парой электронов (азот, фосфор, сера, галогены и т. п.) и атомом с двумя неспаренными электронами (кислород, сера) [16].

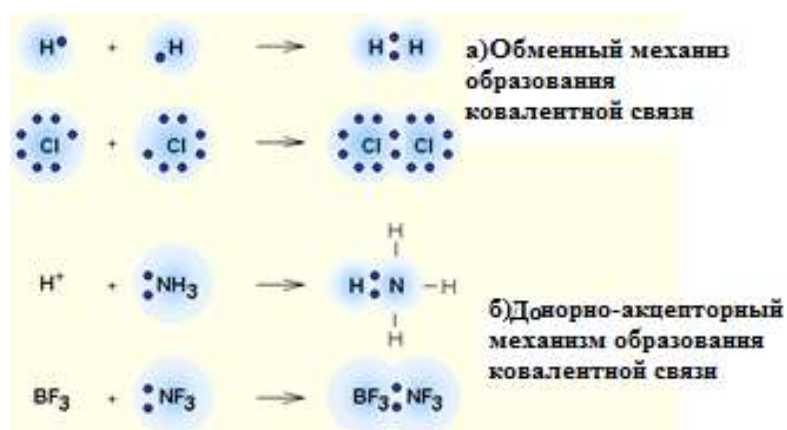
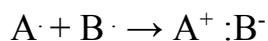


Рисунок 10 - Обменный (а) и донорно-акцепторный (б) механизмы образования ковалентной связи

*Ионная связь* – сильная химическая связь, возникающая в результате электростатического притяжения катионов и анионов, образуемая между атомами с большой разностью ( $>1,7$  по шкале Полинга) электроотрицательностей, при которой общая электронная пара переходит преимущественно к атому с большей электроотрицательностью [15,18].

При образовании ионной связи "обмен" становится настолько неравным, что электрон отрывается от своего атома *A* и полностью переходит к атому *B*, в результате чего образуется пара ионов:



При образовании ионной связи между типичным металлом и неметаллом электроны металла полностью переходят к неметаллу, образуя ионы.

Важнейшие *отличия* ионной связи от других типов химической связи заключаются в ненаправленности и ненасыщаемости. Отличие ионной связи от ковалентной представлено на рисунке 11.



Рисунок 11- Отличие ионной связи от ковалентной

*Металлическая связь* — химическая связь между атомами в металлическом кристалле, возникающая за счет перекрытия (обобществления) их валентных электронов [15]. Металлическая связь возникает в результате частичной делокализации валентных электронов, которые достаточно свободно движутся в решетке металлов, электростатически взаимодействуя с положительно заряженными ионами и обуславливают высокой тепло-электропроводности (Рисунок 12).

С понижением температуры электросопротивление металлов уменьшается, вследствие уменьшения колебаний ионов в кристаллической решетке. Большинство металлов образует следующие высокосимметричные решетки [17,18]:

- кубическую объемно центрированную (ОЦК), где атомы расположены в вершинах куба и один атом в центре объема куба (Pb, K, Na, Li, -Ti, -Zr, Ta, W, V, -Fe, Cr, Nb, Ba, и др);

- гексагональную, где атомы расположены в вершинах и центре шестигранных оснований призмы, а три атома - в средней плоскости призмы ( -Ca, Ce, -Sr, Pb, Ni, Ag, Au, Pd, Pt, Rh, -Fe, Cu, -Co и др).

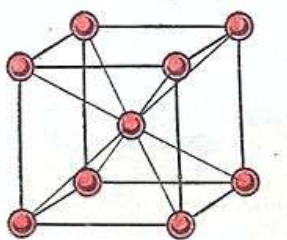


Рисунок 12- Расположение ионов в кристалле щелочного металла

Свободно движущиеся электроны в металлах обуславливают высокую электро-теплопроводность, высокую твердость (хром, молибден, тантал, вольфрам и др.) и сочетают прочность с пластичностью.

**Силы Ван-дер-Ваальса.** Молекулярная связь (связь Ван-дер-Ваальса) существует в некоторых веществах между молекулами с ковалентными внутримолекулярными связями.

Межмолекулярное притяжение в этом случае обуславливается согласованным движением валентных электронов в соседних молекулах. В любой момент времени электроны максимально удалены друг от друга и максимально приближены к положительным зарядам. При этом силы притяжения валентных электронов положительно заряженными остовами соседних молекул оказываются сильнее сил взаимного отталкивания электронов внешних орбит. Связь Ван-дер-Ваальса наблюдается между молекулами парафина и других веществ, имеющих низкую температуру плавления, свидетельствующую о непрочности их кристаллической решетки

(Рисунок 13). На определенном расстоянии между молекулами силы притяжения и отталкивания уравниваются друг друга, и образуется устойчивая система. Силы Ван-дер-Ваальса заметно уступают любому виду химической связи. Взаимодействие сил Ван-дер-Ваальса состоит из трех типов слабых электромагнитных взаимодействий [18].

Диполь-дипольное притяжение осуществляется между молекулами, являющимися постоянными диполями (HCl в жидком и твердом состоянии), а энергия взаимодействия обратно пропорциональна кубу расстояния между диполями.

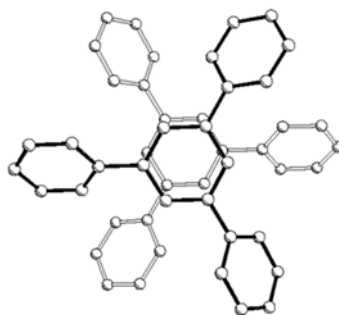


Рисунок 13- Силы Ван-дер-Ваальса

Дисперсионное притяжение возникает (лондоновские силы, дисперсионные силы) между мгновенным и наведенным диполями, а энергия взаимодействия обратно пропорциональна шестой степени расстояния между диполями [17].

Индукционное притяжение наблюдается (поляризационное притяжение) между постоянным и наведенным (индуцированным) диполями, а энергия взаимодействия обратно пропорциональна шестой степени расстояния между диполями [19].

*Водородная связь* – форма ассоциации между электроотрицательным атомом и атомом водорода **H**, связанным ковалентно с другим электроотрицательным атомом (Рисунок 14).

Особенностями водородной связи является не очень высокая прочность, ее распространенность и важность, связанная с малыми размерами и отсутствием дополнительных электронов у водорода. Энергия водородной связи значительно меньше энергии обычной ковалентной связи (не превышает 40 кДж/моль).

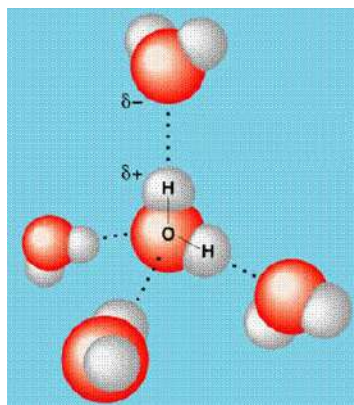


Рисунок 14- Водородная связь между молекулами воды

### ***Выполните задания***

1. Работая в группах, составьте опорный конспект изученной темы. Обменяйтесь своими творческими работами, дополните и оцените труд других групп.

2. Составьте интеллектуальную карту видов химической связи.

3. Выполните перевод основных названий и понятий на казахский и английский языки.

4. Работая в подгруппе, разработайте настольную интеллектуальную игру (лото, домино) по данной теме. Проведите данную игру с участниками других подгрупп. Оцените их успешность в игре.

5. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Взаимодействие молекул между собой, не приводящее к разрыву или образованию новых химических связей, называют:**

- А) атомным;
- В) межмолекулярным;
- С) межатомным;
- Д) межмолекулярным или атомным;
- Е) молекулярным или межатомным.



**2. Простейшую химическую связь, обуславливающую существование молекулярных соединений посредством кулоновского удерживания двух атомных ядер одним электроном, называют:**

- A) электронной химической связью;
- B) двухвалентной химической связью;
- C) двухэлектронной химической связью;
- D) одноэлектронной химической связью;
- E) одновалентной химической связью.

**3. Понижение полной энергии молекулярной системы и перераспределение электронной плотности – это особенности:**

- A) электронной химической связи;
- B) двухвалентной химической связи;
- C) двухэлектронной химической связи;
- D) одновалентной химической связи
- E) одноэлектронной химической связи

**4. Молекулярные ионы с одноэлектронной химической связью образуют:**

- A) сплавы металлов;
- B) цветные металлы;
- C) щелочные металлы;
- D) оксиды металлов;
- E) редкоземельные металлы.

**5. Химическая связь, образованная перекрытием пары валентных электронных облаков, называется:**

- A) ионной;
- B) ковалентной;
- C) молекулярной;
- D) водородной;
- E) Ван-дер-Ваальса.

**6. -связь, -связь, металлическая, банановая и двухэлектронная и трехцентровая связи включают в себя связь:**

- A) ковалентную;
- B) ионную;
- C) молекулярную;
- D) водородную;
- E) Ван-дер-Ваальса.

**7. Направленность, насыщаемость, полярность, поляризуемость - характерные свойства:**

- A) ионной связи;

- В) молекулярной связи;
- С) ковалентной связи;
- Д) водородной связи;
- Е) связи Ван-дер-Ваальса.

**8. Способность атомов образовывать ограниченное число ковалентных связей, называют:**

- А) направленностью;
- В) полярностью;
- С) насыщенностью;
- Д) поляризуемостью;
- Е) однородностью.

**9. Неравномерное распределение электронной плотности вследствие различий электроотрицательностей атомов обусловлена:**

- А) полярностью;
- В) направленностью;
- С) насыщенностью;
- Д) поляризуемостью;
- Е) однородностью.

**10. Смещение и подвижность электронов связи под влиянием внешнего электрического поля, в том числе и другой реагирующей частицы, обусловлены:**

- А) полярностью;
- В) направленностью;
- С) насыщенностью;
- Д) поляризуемостью;
- Е) однородностью.

**11. Существуют три вида ковалентной химической связи, отличающихся механизмом образования:**

- А) полярная и простая;
- В) простая, полярная и неполярная;
- С) неполярная и полярная;
- Д) простая и неполярная;
- Е) полярная, неполярная и сложная.

**12. Химическая связь, возникающую в результате электростатического притяжения катионов и анионов, с переходом электронной пары к атому с большей электроотрицательностью, называют:**

- А) Ван-дер-Ваальса;
- В) металлической;

- С) ковалентной;
- Д) ионной;
- Е) водородной.

**13. Важнейшие отличия ионной связи от других типов химической связи заключаются в:**

- А) ненаправленности и ненасыщаемости;
- В) ненаправленности;
- С) ненасыщаемости;
- Д) направленности и насыщаемости;
- Е) ненаправленности и насыщаемости.

**14. Химическую связь между атомами в металлическом кристалле, возникающих за счет перекрытия их валентных электронов, называют:**

- А) Ван-дер-Вальса;
- В) ковалентной;
- С) ионной;
- Д) металлической;
- Е) водородной.

**15. Вещества, обладающие металлической связью, проявляют следующие свойства:**

- А) теплопроводность, высокая твердость, прочность и пластичность;
- В) электропроводность, высокая твердость, прочность и пластичность;
- С) электропроводность, теплопроводность, высокая твердость, прочность и пластичность;
- Д) электропроводность, теплопроводность, прочность и пластичность;
- Е) электропроводность, теплопроводность, высокая твердость и прочность.

**16. Большинство металлов образующие, следующие высоко симметричные решетки:**

- А) кубическую объемно центрированную (ОЦК);
- В) кубическую объемно центрированную (ОЦК), кубическую гранецентрированную (ГЦК) и гексагональную;
- С) кубическую гранецентрированную (ГЦК) и гексагональную;
- Д) кубическую объемно центрированную (ОЦК) и кубическую гранецентрированную (ГЦК);
- Е) кубическую объемно центрированную (ОЦК) и гексагональную.

**17. В кубической объемно центрированной (ОЦК) решетке атомы расположены в вершинах:**

- А) куба и в центре каждой грани;

В) и центре шестигранных оснований призмы, а три атома - в средней плоскости призмы;

С) куба и один атом в центре объема куба;

Д) и центре шестигранных оснований призмы, а три атома - в средней плоскости призмы или атомы расположены в вершинах куба и один атом в центре объема куба;

Е) куба и один атом в центре объема куба или в центре каждой грани.

**18. В кубической гранецентрированной (ГЦК) решетке атомы расположены в вершинах:**

А) куба и в центре каждой грани;

В) и центре шестигранных оснований призмы, а три атома - в средней плоскости призмы;

С) и один атом в центре объема куба;

Д) и центре шестигранных оснований призмы, а три атома - в средней плоскости призмы или атомы расположены в вершинах куба и один атом в центре объема куба;

Е) куба и один атом в центре объема куба или в центре каждой грани.

**19. В гексагональной решетке:**

А) атомы расположены в вершинах куба или в центре каждой грани;

В) атомы расположены в вершинах и центре шестигранных оснований призмы, а три атома - в средней плоскости призмы;

С) атомы расположены в вершинах куба и один атом в центре объема куба;

Д) атомы расположены в вершинах и центре шестигранных оснований призмы, а три атома - в средней плоскости призмы или атомы расположены в вершинах куба и один атом в центре объема куба;

Е) атомы расположены в вершинах куба и один атом в центре объема куба.

**20. Наиболее сильные водородные связи образуются с участием атомов:**

А) хлора;

В) водорода;

С) хлора и фтора;

Д) фтора;

Е) кислорода и фтора.

**21. Основу сил Ван-дер-Ваальса составляют взаимодействия:**

А) молекул между собой, кулоновские силы между атомами и ядрами одной молекулы, и ядрами и электронами другой;

В) электронов между собой, кулоновские силы между электронами и ядрами одной молекулы, и ядрами и электронами другой;

С) атомов между собой, кулоновские силы между электронами и ядрами одной молекулы, и ядрами и электронами другой;

Д) молекул между собой, кулоновские силы между электронами и ядрами одной молекулы, и ядрами и электронами другой;

Е) атомов между собой, кулоновские силы между атомами и ядрами одной молекулы, и ядрами и электронами другой.

**22. При Ван-дер-Ваальсовом взаимодействии на определенном расстоянии между молекулами силы притяжения и отталкивания уравнивают друг друга, и образуют:**

А) не устойчивую молекулу;

В) не устойчивый атом;

С) не устойчивую систему;

Д) устойчивую систему;

Е) устойчивый атом.

**23. Взаимодействие Ван-дер-Ваальса состоит из трёх типов слабых электромагнитных взаимодействий:**

А) дисперсионное и индукционное притяжения;

В) ориентированные взаимодействие, дисперсионное или индукционное притяжения;

С) ориентированные взаимодействие и дисперсионное притяжение;

Д) ориентированные взаимодействие, дисперсионное и индукционное притяжения;

Е) ориентированные взаимодействие и индукционное притяжение.

**24. Форму ассоциации между электроотрицательным атомом и атомом водорода Н, связанным ковалентно с другим электроотрицательным атомом (N, O или F), называют связью:**

А) Ван-дер-Ваальсовой;

В) водородной;

С) ионной;

Д) ковалентной;

Е) металлической.

**25. Особенности водородной связи являются: невысокая прочность, распространенность в органических соединениях, побочные эффекты с малыми размерами и:**

А) отсутствие дополнительных электронов у водорода;

В) наличие дополнительных электронов у водорода;

С) преобладание дополнительных электронов у водорода;

Д) увеличение дополнительных электронов у водорода;

Е) уменьшение отсутствие дополнительных электронов у водорода.

## ГЛАВА II. ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 2.1 Общие сведения и классификация проводниковых материалов

*Проводник* – это вещество, основным свойством которого является электропроводность, т. е. способность проводить электрический ток [8,20].

Проводниковые материалы обладают способностью проводить электрический ток и характеризуются весьма малым или заданным удельным сопротивлением  $\rho$ , которое возрастает с увеличением температуры.

К проводникам относятся материалы с высоким сопротивлением, сверхпроводниковые и криопроводниковые материалы, у которых удельное электрическое сопротивление при очень низких температурах очень мало.

Важнейшими практически применяемыми в электротехнике твердыми проводниковыми материалами являются металлы и их сплавы, характеризующиеся электронной проводимостью; основной параметр для них - удельное электрическое сопротивление в функции температуры.

Диапазон удельных сопротивлений металлических проводников весьма узок и составляет от 0,016 мкОм·м для серебра, до 1,6 мкОм·м для жаростойких железо хромоалюминиевых сплавов.

К важнейшим параметрам, характеризующим свойства проводниковых материалов, относятся [20,21]:

- удельная проводимость  $\gamma$  или обратная ей величина – удельное сопротивление  $\rho$ ,
- температурный коэффициент удельного сопротивления  $T_{kr}$ ,
- теплопроводность  $g_t$ ,
- контактная разность потенциалов и термо-э.д.с.,
- работа выхода электронов из металла  $A_{вых.}$ ,
- предел прочности при растяжении  $s_r$  и относительное удлинение при разрыве  $D_l$ .

**Классификация проводниковых материалов.** По агрегатному состоянию проводниковые материалы делят на газообразные, жидкие и твердые.

К газообразным относятся пары веществ и газы при таком значении напряженности электрического поля, которое обеспечивает начало процесса ионизации молекул. В ионизированном газе перенос электрических зарядов осуществляется как электронами, так и ионами [22]. Если в единице объема сильно ионизированного газа наступает равенство между числом электронов и положительных ионов, то такой газ представляет собой особую проводящую среду, плазму. Проводимость газов используется в различных газоразрядных приборах.

К жидким проводникам относятся различные растворы солей, кислот, щелочей и др. веществ, а также их расплавы, проводящие электрический ток и называемые *электролитами*. Жидкими проводниками являются также расплавы металлов.



К *жидким проводникам* относятся расплавленные металлы и различные электролиты. Как правило, температура плавления металлов высокая, за исключением ртути, у которой она составляет - 39°C. Поэтому при нормальной температуре в качестве жидкого металлического проводника может быть применена только ртуть [23]. Температуру плавления, близкую к нормальной (29,8°C), имеет еще галлий. Другие металлы являются жидкими проводниками лишь при повышенных или высоких температурах.

*Твердыми проводниками* являются металлы, металлические сплавы и некоторые модификации углерода [20,24].

*Металлы* (от лат. *Metallum* - шахта, рудник) - группа элементов, в виде простых веществ, обладающих характерными *свойствами*: высокие тепло-и электропроводность, положительный температурный коэффициент сопротивления, высокая пластичность, ковкость и металлический блеск.

Хорошими проводниками электрического тока являются металлы. Из 105 химических элементов, 25 являются неметаллами, причем 12 элементов могут проявлять полупроводниковые свойства.

Электропроводность металла, как в твердом, так и жидком состоянии обусловлена переносом электрических зарядов только электронами [25,26,27].

Удельное сопротивление  $\rho$  проводниковых металлов при нормальной температуре составляет не более 0,1 мкОм·м.

Концентрация свободных электронов  $n$  в металлическом проводнике при повышении температуры остается практически неизменной, но возрастает их средняя скорость теплового движения. Усиливаются также и колебания узлов кристаллической решетки. Квант упругих колебаний среды принято называть *фононом*. Малые тепловые колебания кристаллической решетки можно рассматривать как совокупность фононов. С ростом температуры увеличиваются амплитуды тепловых колебаний атомов, т.е. увеличивается сечение сферического объема, который занимает колеблющийся атом.

Таким образом, с ростом температуры появляется все больше препятствий на пути дрейфа электронов под действием электрического поля. Это приводит к тому, что уменьшается средняя длина свободного пробега электрона  $\lambda$ , уменьшается подвижность электронов и, как следствие, уменьшается удельная проводимость металлов и возрастает удельное сопротивление  $\rho$ .

Проводниковые материалы (сплавы) при нормальной температуре имеют удельное сопротивление не менее 0,3 мкОм·м.

К проводниковым металлам относятся:

- чистые металлы;
- сплавы (высокого сопротивления, для термопар, припой);
- металлы и сплавы различного назначения;
- тугоплавкие металлы с температурой плавления выше 1700°C;
- благородные металлы.

*Удельное сопротивление и удельная проводимость проводников* - количественные характеристики способности проводить электрический ток,

т.е. электропроводности вещества [9,28]. Удельное сопротивление ( ) проводника зависит от его геометрических размеров и определяется по формуле:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} = \text{Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м} \quad (2.1)$$

где  $R$  – сопротивление проводника;  $S$  – площадь поперечного сечения;  $l$  – длина проводника;  $1 \text{ Ом} \cdot \text{м} = 10^6 \text{ мк} \cdot \text{Ом} \cdot \text{м}$ .

Удельная проводимость ( $\gamma$ ) определяют по следующей формуле:

$$\gamma = 1 / \rho \quad (2.2)$$

### **Выполните задания**

1. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Своя игра», «Ассоциация» и т.д.) и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников.

2. Сравнить поперечное сечение, диаметр и массу алюминиевого провода длиной  $L$ , м и поперечным сечением  $S_l$  с биметаллическим проводом алюминий-медь, который имеет ту же проводимость, что и алюминиевый. Биметалл рассматривать как параллельное соединение двух проводников [46].

Таблица 2. Исходные данные

Вариант	Длина $L$ , м	Поперечное сечение $S_l$ , $10^{-6} \text{ м}^2$	Площадь меди $N$ , %
1	500	16	60
2	700	25	70
3	1000	35	75
4	1200	50	80
5	1400	70	85
6	600	50	80
7	500	35	55
8	800	25	40
9	900	16	35
10	1000	16	45

3. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Вещества, основным свойством которых является электропроводность:**

- А) металлы;
- В) дерево;
- С) полимеры;
- Д) слюда;
- Е) пластмасса.

**2. Материалы, характеризующиеся весьма малым удельным сопротивлением  $\rho$ , которое возрастает с увеличением температуры:**

- А) полупроводники;
- В) проводники;
- С) диэлектрики;
- Д) диэлектрики или полупроводники;
- Е) проводники или диэлектрики.

**3. По агрегатному состоянию проводниковые материалы делят на:**

- А) твердые и газообразные;
- В) жидкие и газообразные;
- С) твердые, жидкие и газообразные;
- Д) твердые, жидкие или газообразные;
- Е) жидкие, газообразные или твердые.

**4. Параметры, характеризующие свойства проводниковых материалов:**

- А) электропроводность;
- В) электропроводность и теплопроводность;
- С) предел прочности при растяжении и теплопроводность;
- Д) удельная проводимость и электропроводность;
- Е) удельная проводимость, теплопроводность, предел прочности при растяжении, электропроводность, температурный коэффициент удельного сопротивления.

**5. В ионизированном газе перенос электрических зарядов осуществляется:**

- А) электронами или ионами;
- В) протонами и ионами;
- С) только электронами;
- Д) только ионами;
- Е) электронами иногда ионами.

**6. К жидким проводникам относятся:**

- А) расплавленные металлы иногда различные электролиты;
- В) расплавленные металлы;
- С) расплавленные металлы и различные электролиты;
- Д) расплавленные металлы или различные электролиты;
- Е) различные электролиты.

**7. Электропроводность металла, как в твердом, так и жидком состоянии обусловлена переносом электрических зарядов только:**

- А) ионами;
- В) электронами и ионами;

- С) электронами иногда ионами;
- Д) электронами;
- Е) электронами или ионами.

**8. Материалы, обладающие очень малым удельным сопротивлением при весьма низких температурах:**

- А) сверхпроводники и криопроводники;
- В) сплавы;
- С) металлы;
- Д) плазма;
- Е) неметаллы.

**9. Удельное сопротивление  $\rho$  проводниковых металлов при нормальной температуре составляет:**

- А) не более 0,01 мкОм·м;
- В) не менее 0,01 мкОм·м
- С) не более 0,3 мкОм·м;
- Д) не менее 0,3 мкОм·м;
- Е) не более 0,1 мкОм·м.

**10. Удельное сопротивление и удельная проводимость проводников - количественные характеристики:**

- А) электропроводности;
- В) теплопроводности;
- С) электропроводности и теплопроводности;
- Д) электропроводности или теплопроводности;
- Е) электропроводности иногда теплопроводности.

## **2.2 Сверхпроводники и криопроводники**

**Криопроводимость.** При охлаждении проводника тепловое движение электронов и тепловые колебания атомной решетки замедляются, число соударений электронов и атомов сокращается, и сопротивление проводника падает. При достижении криогенных температур, лежащих в диапазоне температур сжижения гелия (4,2К), водорода (20,3К), азота (77,4К), удельная проводимость металлов возрастает в сотни и тысячи раз (криопроводимость) по сравнению с проводимостью при нормальной температуре  $t_g$  [25].

Для достижения особо высоких значений криопроводимости при заданной температуре охлаждения необходима высокая чистота и минимальное число искажений кристаллической решетки металла (Рисунок 15). Влияние этих факторов на удельную проводимость металла сказывается при криогенных температурах значительно сильнее, чем при нормальной температуре.

**Сверхпроводимость** относится к одному из фундаментальных свойств вещества. Она проявляется при достаточно низких температурах в резком

снижении удельного сопротивления материала практически до нулевых значений (на 14 порядков и более). Это явление обнаружил в 1911 г. голландский ученый Г. Каммерлинг-Оннес при охлаждении кольца ртути до температуры 4,2К. Критическую температуру охлаждения, при которой у данного материала наблюдается переход в сверхпроводящее состояние, называют температурой сверхпроводникового перехода  $T_{кр}$ . Переход в сверхпроводящее состояние является обратимым, т. е. с повышением температуры до  $T > T_{кр}$  удельное сопротивление сверхпроводника вновь приобретает определенное значение. Ряд элементов переходит в сверхпроводящее состояние только при низких температурах и высоких давлениях (кремний, германий, висмут и др.) [26,28].



Рисунок 15- Применение криопроводников

Очень важным свойством сверхпроводников является *эффект вытеснения постоянного магнитного поля* из объема сверхпроводника.

В зависимости от поведения в магнитном поле выделяют два основных типа сверхпроводников. *Сверхпроводники I рода* (мягкие) характеризуются резким переходом в сверхпроводящее состояние при одном значении  $H_{кр}$  - критического значения напряженности. При этом происходит полное вытеснение магнитного поля из объема сверхпроводника. Мягкие сверхпроводники (бериллий, алюминий, олово, ртуть и свинец). Основным недостатком мягких сверхпроводников является низкое значение  $H_{кр}$ , что ограничивает предельные значения токов  $I_{кр}$ , пропускаемых по сверхпроводникам.

Сверхпроводники II рода (твердые) характеризуются при переходе в сверхпроводящее состояние двумя значениями  $H_{кр1}$  и  $H_{кр2}$  ( $H_{кр1} > H_{кр2}$ ). Область  $H_{кр1} - H_{кр2}$  соответствует смешанному состоянию проводимости материала (сверхпроводимости и криопроводимости) и частичному вытеснению магнитного поля из объема сверхпроводника. Необходимо отметить, что термины «мягкий» и «твердый» сверхпроводник не означают их механической твердости, а связаны с малыми значениями  $H_{кр}$  у «мягких» сверхпроводников (I рода) и высокими значениями  $H_{кр}$  у «твердых» сверхпроводников (II рода). К твердым сверхпроводникам относятся: сплавы ниобий-титан, галлид ванадия, станнид ниобия, германид ниобия. К пленочным проводникам относятся: бериллий, алюминий, олово, галлид ванадия, станнид ниобия.

Явление сверхпроводимости при криогенных температурах достаточно широко распространено в природе. Сверхпроводимостью обладают 26 металлов. Большинство из них являются сверхпроводниками 1-го рода с критическими температурами перехода ниже 4,2К. В этом заключается одна из причин того, что большинство сверхпроводящих металлов для электротехнических целей применить не удастся. Еще 13 элементов проявляют сверхпроводящие свойства при высоких давлениях. Среди них такие полупроводники, как кремний, германий, селен, теллур, сурьма и др. Из всех элементарных веществ наивысшей температурой перехода к сверхпроводимости  $T_{св}$  обладает ниобий ( $T_{св} = 9,2 \text{ K}$ ). Следует заметить, что сверхпроводимостью не обладают металлы, являющиеся наилучшими проводниками при нормальных условиях. К ним относятся золото, медь, серебро. Малое сопротивление этих материалов указывает на слабое взаимодействие электронов с решеткой. Такое слабое взаимодействие не создает вблизи абсолютного нуля достаточного меж электронного притяжения, способного преодолеть кулоновское отталкивание. Поэтому и не происходит их переход в сверхпроводящее состояние.

Кроме чистых металлов сверхпроводимостью обладают многие интерметаллические соединения и сплавы. Общее число наименований известных в настоящее время сверхпроводников составляет около 2000. Среди них самыми высокими критическими параметрами обладают сплавы и соединения ниобия. Некоторые из них позволяют использовать для достижения сверхпроводящего состояния вместо жидкого гелия более дешевый хладагент – жидкий водород. Все интерметаллические соединения и сплавы относятся к сверхпроводникам 2-го рода. Однако деление веществ по их сверхпроводящим свойствам на два вида не является абсолютным. Любой сверхпроводник 1-го рода можно превратить в сверхпроводник 2-го рода, если создать в нем достаточную концентрацию дефектов кристаллической решетки.

**Применение сверхпроводников.** Сверхпроводящие элементы и устройства находят все более широкое применение в самых различных областях науки и техники. Разработаны крупномасштабные долгосрочные программы промышленного использования сильноточной сверхпроводимости [29].

Одно из главных применений сверхпроводников связано с получением сверхсильных магнитных полей. Сверхпроводящие соленоиды позволяют получать однородные магнитные поля напряженностью свыше  $10^7 \text{ А/м}$  в достаточно большой области пространства, в то время как пределом обычных электромагнитов с железными сердечниками являются напряженности порядка  $10^6 \text{ А/м}$ . К тому же в сверхпроводящих магнитных системах циркулирует незатухающий ток, поэтому не требуется внешнего источника питания. Сильные магнитные поля необходимы при проведении научных исследований. Сверхпроводящие соленоиды позволяют в значительной мере

уменьшить габаритные размеры и потребление энергии в синхрофазотронах и других ускорителях элементарных частиц.

Перспективно использование сверхпроводящих магнитных систем для удержания плазмы в реакторах управляемого термоядерного синтеза, в магнитогидродинамических (МГД) преобразователях тепловой энергии в электрическую, в качестве индуктивных накопителей энергии для покрытия пиковых мощностей в масштабах крупных энергосистем.

Широкое развитие получают разработки электрических машин со сверхпроводящими обмотками возбуждения. Применение сверхпроводников позволяет исключить из машин сердечники из электротехнической стали, благодаря чему в 5 - 7 раз уменьшаются их масса и габаритные размеры при сохранении мощности.

Экономически обосновано создание сверхпроводящих трансформаторов, рассчитанных на высокий уровень мощности (десятки – сотни мегаватт). Значительное внимание в разных странах уделяется разработке сверхпроводящих линий электропередач на постоянном и переменном токах. Разработаны опытные образцы импульсных сверхпроводящих катушек для питания плазменных пушек и систем накачки твердотельных лазеров.

В радиотехнике используются сверхпроводящие объемные резонаторы, обладающие ничтожно малым электрическим сопротивлением из-за очень высокой добротности ( $Q > 10^8$ ).

Принцип механического выталкивания сверхпроводников из магнитного поля положен в основу создания сверхскоростного железнодорожного транспорта на «магнитной подушке». Нарушение сверхпроводимости материала внешним магнитным полем используется в конструкции прибора, который называют *криотроном*.

Широкой областью применения сверхпроводников является измерительная техника. Практическое освоение сверхпроводящих квантовых интерферометров привело к созданию нового поколения метрологических средств, которые по своим возможностям существенно дополняют имеющиеся измерительные приборы.

### ***Выполните задания***

1. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Найди пару») и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников. Составляются карточки для каждой команды разного цвета. На одних карточках - название сверхпроводников и криопроводников, а на других – характеристики. Необходимо к материалу найти его характеристику.

2. Проверьте уровень усвоения материала.

**1. Эффект вытеснения постоянного магнитного поля из объема сверхпроводника характерна для:**

А) сверхпроводников;



- В) криопроводников;
- С) электропроводников;
- Д) теплопроводников;
- Е) диэлектриков.

**2. К основным свойствам сверхпроводников относятся:**

- А) Для постоянного электрического тока электрическое сопротивление сверхпроводника равно нулю;
- В) Постоянный ток в сверхпроводнике не нуждается в присутствии электрического поля, электрическое поле в сверхпроводнике равно нулю;
- С) В сверхпроводниках магнитное поле ослабляется до нуля, они являются идеальными диамагнетиками;
- Д) Постоянное не слишком сильное магнитное поле выталкивается из сверхпроводящего образца (эффект Мейснера);
- Е) все ответы верны

**3. Элемент, обладающий наивысшей температурой перехода к сверхпроводимости:**

- А) ниобий;
- В) германий;
- С) литий;
- Д) кремний;
- Е) ванадий

**4. Нарушение сверхпроводимости материала внешним магнитным полем используется в конструкции прибора:**

- А) криотрон;
- В) амперметр;
- С) вольтметр;
- Д) резистор;
- Е) транзистор.

**5. Свойство, обладать нулевым электрическим сопротивлением при достижении ими температуры ниже определённого значения, называют:**

- А) криотроном;
- В) сверхпроводимостью;
- С) криопроводимостью;
- Д) электропроводностью;
- Е) теплопроводностью.

**6. В зависимости от поведения сверхпроводников в магнитном поле существуют:**

- А) сверхпроводники I и II рода
- В) сверхпроводники I рода

- С) сверхпроводники II рода;
- Д) сверхпроводники III рода;
- Е) сверхпроводники IV рода.

**7. Количество металлов обладающих сверхпроводимостью:**

- А) 16
- В) 26;
- С) 102;
- Д) 29;
- Е) 32.

**8. Материалы, обладающие очень малым удельным сопротивлением называются:**

- А) сверхпроводники и криопроводники;
- В) сплавы;
- С) металлы;
- Д) плазма;
- Е) неметаллы.

**9. Сверхпроводники I рода (мягкие) характеризуются:**

- А) резким переходом в сверхпроводящее состояние при одном значении  $H_{кр}$ ;
- В) при переходе в сверхпроводящее состояние двумя значениями  $H_{кр1}$  и  $H_{кр2}$  ( $H_{кр1} > H_{кр2}$ );
- С) при переходе в сверхпроводящее состояние двумя значениями  $H_{кр1}$  и  $H_{кр2}$  ( $H_{кр2} > H_{кр1}$ ).;
- Д) резким переходом в сверхпроводящее состояние при двух значениях  $H_{кр}$ ;
- Е) резким переходом в сверхпроводящее состояние при трех значениях  $H_{кр}$ .

**10. Сверхпроводники II рода (мягкие) характеризуются:**

- А) резким переходом в сверхпроводящее состояние при одном значении  $H_{кр}$ ;
- В) двумя значениями  $H_{кр1}$  и  $H_{кр2}$  ( $H_{кр1} > H_{кр2}$ );
- С) двумя значениями  $H_{кр1}$  и  $H_{кр2}$  ( $H_{кр2} > H_{кр1}$ );
- Д) резким переходом в сверхпроводящее состояние при двух значениях  $H_{кр}$ ;
- Е) резким переходом в сверхпроводящее состояние при трех значениях  $H_{кр}$ .

### 2.3 Сортамент проводов и кабелей

Провода могут быть неизолированными и изолированными, с покрытием из резины, пластмасс и др. Неизолированные провода применяют на ЛЭП. По роду материала различают медь (**М**), алюминий (**А**) и сталь (**С**) [29].

Изготавливаются также провода с использованием одновременно двух металлов — алюминия и стали (стальной сердечник). Сердечник служит для увеличения механической прочности провода. В этих проводах площадь сечения стальной части примерно в 5 раз меньше, но сталь берет на себя около 40% всей механической нагрузки. По конструктивному выполнению делают одно- и многопроволочные и полые провода.

Одно проволочные провода состоят из одной круглой проволоки, дешевле многопроволочных, но менее гибки и имеют меньшую механическую прочность.

Стальные однопроволочные провода (**ПСО**) применяют редко из-за высокого удельного электрического сопротивления стали. Они используются при небольших нагрузках, преимущественно в сельскохозяйственных сетях.

Многопроволочные алюминиевые провода обычно применяются в сетях до 35 кВ. При более высоких напряжениях используются сталеалюминевые провода марок **АС**, **АСКС**, **АСК** и других в зависимости от способа их исполнения. Например, **АСК** состоит из алюминиевых проволок и стального сердечника из стальных оцинкованных проволок, изолированных двумя лентами из полиэтилентерефталатной пленки, заполненных смазкой. Стальные многопроволочные провода обозначаются **ПМС** [29].

Полые провода изготавливаются из плоских проволок, соединенных пазами и имеющих внутри провода пустое пространство, аналогично венку. Это обеспечивает увеличение наружного диаметра при той же затрате металла, что снижает потери на корону. Такие провода используются главным образом для ошиновки подстанций 330 кВ и выше.

Обмоточные провода служат для изготовления обмоток электрических машин, аппаратов и приборов и выпускаются с жилами из проводниковых меди и алюминия, а также сплавов большого удельного сопротивления (манганина, константана, никрома и др.). Жилы обмоточных проводов могут иметь эмалевую, пленочную, волокнистую и эмалево-волокнистую изоляцию (Рисунок 16).



Рисунок 16- Жилы обмоточных проводов катушки

*Эмалевая изоляция*— сплошная изоляция в виде пленки, образованной эмалевым лаком или расплавом смолы. Эмалевая изоляция по сравнению с пленочной и волокнистой имеет меньшую толщину (0,003—0,070 мм), что позволяет в тот же объем обмотки заложить большее количество проводов и тем самым увеличить мощность электрической машины или аппарата. Эмалевая изоляция представляет собой гибкое лаковое покрытие, полученное в результате отверждения сплошного слоя эмаль лака, нанесенного на провод на специальных эмалировочных машинах.

К основному типу обмоточных проводов нагревостойкости класса А (105°С) относятся **ПЭВ-1**, **ПЭВ-2** и **ПЭМ-1**, **ПЭМ-2** с механически прочной эмалевой изоляцией на основе поливинилацеталевых смол. Эти провода широко применяют для изготовления обмоток электрических машин общепромышленного назначения. Так как изоляция проводов **ПЭМ-1** и **ПЭМ-2** стойка к нефтяному маслу, то их применяют также для изготовления обмоток маслонаполненных аппаратов.

Изоляцию нагревостойкости класса Е (120°С) имеют обмоточные провода **ПЭВТЛ-1** и **ПЭВТЛ-2**, эмалированные полиуретановыми термопластичными эмаль-лаками. Эмаль-лаки образуют механически прочное изоляционное покрытие проводов, размягчающееся при 160°С, что ограничивает их область применения (обмотки электрических машин и аппаратов малой мощности). Особенность этих проводов – возможность лужения и пайки без предварительной зачистки изоляции, которая при пайке размягчается и в расплавленном виде является флюсующим веществом, обеспечивающим применение оловянно-свинцовых припоев.

Более высокой нагревостойкостью (130°С) и хорошими электроизоляционными свойствами обладают провода **ПЭТВ**, эмалированные полиэфирным лаком на основе лавсана.

Повышенная механическая прочность эмаль-лаковой изоляции этого типа позволяет механизировать намотку обмоток электрических машин и аппаратов, т. е. она хорошо выдерживает многократные перегибы и растяжения [9,25].

Изоляцию класса нагревостойкости **F** (155°С) имеют провода **ПЭТ-155** с эмаль-лаковой изоляцией на полиэфиримидной основе, обладающей хорошими изоляционными свойствами.

Для механизированной намотки катушек выпускаются провода марки **ПЭТМ** с эмаль-лаковой изоляцией той же нагревостойкости, обладающей повышенной механической прочностью.

Эмаль-лаковую изоляцию для работы при температуре 180-200°С имеют провода марки **ПЭТ-200**. Эта изоляция изготавливается на основе полиимидов, которые обладают высокими электрическими и механическими свойствами.

Для работы при температуре 220°С предназначены провода **ПНЭТ-имид**, имеющие медную никелированную жилу, покрытую эмаль-лаковой изоляцией на полиимидной нагревостойкой основе, обладающей высокими электрическими свойствами.

Разработаны и применяются обмоточные провода **ПЭЖБ** с неорганической изоляцией (стекло эмаль), которые могут работать при температуре 300°C, а кратковременно - до 600°C.

Провода с бумажной изоляцией изготавливают из медных и алюминиевых жил, имеющих изоляцию в виде обмотки из кабельной бумаги толщиной 0,10 - 0,12 мм. Основной областью применения этих проводов являются обмотки трансформаторов с внутренней масляной изоляцией. Бумажная изоляция, пропитанная маслом, обладает большой электрической прочностью (порядка 80 МВ/м). Толщина бумажной изоляции во много раз превосходит толщину эмаль-лаковой и имеет в пропитанном виде большую электрическую прочность.

Провода с волокнистой изоляцией изготавливают из медных и алюминиевых жил круглого и прямоугольного сечения. Изоляция жил представляет собой одинарную или двойную обмотку из хлопчатобумажной, шелковой пряжи, пряжи из синтетических (лавсан, капрон) и стеклянных волокон. Провода с эмалево-волокнистой изоляцией имеют эмалированную медную жилу круглого сечения поверх слоя эмали, который состоит из хлопчатобумажной, шелковой, лавсановой или стеклянной пряжи. Такая двойная изоляция обеспечивает повышенную механическую и электрическую прочность проводов. Провода с эмалево-волокнистой изоляцией широко применяют для изготовления обмоток электрических машин и аппаратов, в которых могут быть повышенные механические нагрузки на обмоточные провода, как в процессе изготовления обмоток, так и в процессе эксплуатации.

Наибольшими механической прочностью и сопротивлением истиранию обладает изоляция из лавсановых и капроновых волокон, а наиболее высокой нагревостойкостью - изоляция из стеклянной пряжи, наложенной на слой кремнийорганической эмали.

**Монтажные провода и кабели.** Монтажные провода и кабели предназначены для выполнения различных соединений в электрических аппаратах, приборах и других электротехнических устройствах (Рисунок 17).



Рисунок 17- Виды кабелей

Токопроводящие жилы монтажных проводов и кабелей изготавливают лужеными из проводниковой меди. Жилы могут быть однопроволочными и многопроволочными соответственно для фиксированного и

нефиксированного монтажа. Сечения жил монтажных проводов в пределах от 0,05 до 2,5 мм<sup>2</sup>, а сечения кабелей в пределах от 0,35 до 2,5 мм<sup>2</sup>. Количество жил кабелей от 1 до 52.

В монтажных проводах высокой нагревостойкости (200—250 °С) применяют никелированные медные жилы. Изоляция этих проводов выполняется из фторопласта или фторопластовых лент в комбинации с оплеткой из стекловолокна. Наибольшее число марок монтажных проводов и кабелей предназначено для работы в интервале температур от —50 до +70 °С. Жилы этих проводов имеют гибкую влагостойкую пластмассовую изоляцию из полиэтилена или поливинилхлоридного пластиката.

В некоторых конструкциях монтажных проводов и кабелей поверх основной изоляции наносится капроновая защитная оболочка. Эти провода и кабели применяют при напряжениях в пределах от 50 до 1000В переменного или 150-400 В постоянного тока (соответственно). Монтажные провода изготавливают также с волокнистой изоляцией из капроновых или стеклянных нитей. Эти провода могут функционировать при температуре в пределах от -60°С до +105°С, но в атмосфере нормальной влажности. Рабочие напряжения их в пределах от 24 В (МГШ) до 220 В (МШДЛ).

Монтажные провода с двойной изоляцией из волокнистой и пластмассовой (полиэтилен или пластикат поливинилхлоридный) изоляций могут функционировать при температурах от -50 °С (изоляция из пластиката) и -60°С (изоляция из полиэтилена) до +70 °С при влажности до 98 % (не выше 40 °С). Рабочие напряжения проводов в зависимости от их марки в пределах от 380 до 1000В переменного тока или соответственно до 500 и 1500В постоянного тока.

Выпускаются также монтажные провода на напряжения до 4 кВ с изоляцией из фторопласта-4.

**Установочные провода.** Установочные провода предназначены для распределения электрической энергии в силовых и осветительных сетях при неподвижной прокладке внутри и вне помещений. Установочные провода выпускаются с медными и алюминиевыми токопроводящими жилами, которые могут быть одно проволочными и многопроволочными (гибкие) (Рисунок 18).



Рисунок 18- Гибкая кабельная продукция



Установочные провода могут иметь изоляцию из резины или гибких пластмасс (полиэтилен, поливинилхлоридный пластикат).

Основная резиновая изоляция установочных проводов некоторых типов заключена в оплетку из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом. В зависимости от вида и толщины изоляции установочные провода изготавливают на напряжения 380 и 660 В переменного тока.

Интервал рабочих температур проводов с резиновой изоляцией на основе бутилкаучука в пределах от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+65^{\circ}\text{C}$  и от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ , с пластмассовой изоляцией в пределах от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$  и с изоляцией из кремнийорганической резины в пределах от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+180^{\circ}\text{C}$  (провод **РКГМ** и др.).

**Кабельные линии.** Кабель представляет собой один или несколько изолированных проводников, заключенных в герметическую оболочку, по верх которой накладывается защитный покров. Кабель применяют для передачи электроэнергии, а также для соединения аппаратов друг с другом и распределительным устройством (Рисунок 19).



Рисунок 19- Монтаж кабеля

Кабели любых типов имеют общие конструктивные элементы: токопроводящие жилы, изготовлены из меди или алюминия, изоляцию и оболочку.

В качестве диэлектрика нашли наибольшее распространение кабельная бумага, резина, пластмасса. Оболочка кабеля имеет вид сплошной трубы, выполненной из свинца, алюминия и пластмассы и наложены поверх изолированных токопроводящих жил. Для предохранения оболочек от механических повреждений и коррозии на них накладывают защитные покровы (броня) из стальных лент, покрытых битумным составом.

Первая буква в маркировке означает материал токоведущей жилы: **А** – из алюминия, если буква отсутствует, то материал медь.

Вторая буква означает материал оболочки: **С** – свинцовая, **А** – алюминиевая, **В** – поливинилхлоридная

Третья означает материал брони: **Б** – броня из стальных лент, с защитным покровом из джута; **Г** – кабель без джутового покрытия.

Четвертая материал изоляции жил: **Р** – резиновая, **В** – поливинилхлоридная, **П** – полиэтиленовая

Например, **АСБ** -3×150+1×50 –Кабель с алюминиевыми жилами, свинцовой оболочкой бронированной стальной лентой, в котором 3 жилы сечением по 150 мм<sup>2</sup> и одна 50мм<sup>2</sup>.

Кабель бывает силовой и контрольный. Силовой кабель используется в первичных электрических цепях – силовые цепи, которые несут основную нагрузку (ток высокий и напряжение высокое). Силовой кабель имеет наибольшее количество жил – 4. три жилы одинакового сечения – это фазные жилы, четвертая жила меньшего сечения – нулевая. Сечение силового кабеля по ГОСТу от 6 мм<sup>2</sup> до 350 мм<sup>2</sup>.

Контрольный кабель используется во вторичных цепях – это цепи небольшой нагрузки – цепи измерительных приборов. Количество жил по ГОСТу: 4, 5, 7, 10, 14, 19, 24, 27, 37. Сечение всех жил одинаково. Сечение медных жил: 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4 мм<sup>2</sup>. Сечение алюминиевых жил: 2,5; 4 мм<sup>2</sup>

На смену открытой высоковольтной проводке пришёл провод СИП – универсальное техническое решение для прокладки воздушных линий ЛЭП с напряжением до 35 кВ.

Самонесущие изолированные провода (**СИП**) применяются при электрификации жилых домов, являются экономичными и безопасными материалами для создания ответвления от магистрали. Производится пять основных типов **СИП**: **СИП1, СИП2, СИП3, СИП4 СИП5**.

**Приоритетность проводов СИП в электрификации.** Провода данного типа обладают следующими достоинствами:

- сокращение времени и затрат на монтаж;
- надёжность работы при неблагоприятных погодных условиях (ветер, обледенение);
- высокий КПД, по сравнению с оголёнными проводниками, снижение реактивных потерь энергии при передаче на 30%;
- снижение риска короткого замыкания на участках, расположенных близко от деревьев;
- уменьшение количества опор при прокладке.

**Конструкция кабеля СИП.** Устройство самонесущих изолированных проводов имеет следующие особенности:

- прочности при растяжении и разрыве;
- усиление сопротивляемости кабеля к механическим повреждениям за счёт внутреннего стального сердечника;
- выдерживание нагрузки при длине пролёта до 25 м за счёт толщины фазных жил и формы плетения отдельных нитей сип;



- стойкости к ультрафиолетовому излучению за счет полиэтиленовой изоляции;
- прочности подвески любой конфигурации при помощи стандартного набора крепёжных элементов унифицированной фурнитуры.

**Марки СИП.** В зависимости от назначения провода **СИП** имеют следующие различия в конструкции и маркировке:

- четырёхжильный кабель с несущим экраном без изоляции (фазные проводники покрыты оболочкой ПЭТ);
  - четырёхжильный провод с изоляцией из сшитого полиэтилена.
- Буква **А** в маркировке указывает на то, что нейтраль изолирована.

**Применение.** Область применения **СИП**:

- магистральные сети;
- ответвления при напряжении до 1000 В.

**СИП** находит повсеместное применение при строительстве современных жилых комплексов, коттеджных посёлков, а также промышленных предприятий среднего и малого бизнеса.

### **Выполните задания**

1. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Своя игра», «Найди пару») и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников. Составляются карточки для каждой команды разного цвета. На одних карточках - название проводникового материала, а на других – характеристики. Необходимо найти его характеристику.

2. Изучите самостоятельно особенности свойств конструкций видов СИП и их применение. Определите общие признаки и различия их свойств, выявите особенности каждого вида СИП.

3. Дайте общую характеристику проводам согласно данной таблицы 4. Основной сортамент обмоточных проводов с эмалевой изоляцией.

Таблица 4. Основной сортамент обмоточных проводов с эмалевой изоляцией.

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции, мм	Наружный диаметр провода, мм	Общая характеристика
ПЭВ-1	0,02-2,5	0,035-2,6	
ПЭВ-2	0,05-2,5	0,08-2,63	
ПЭВА	0,08-2,44	0,105-2,55	
ПЭМ-1	0,05-2,12	0,07-2,22	
ПЭМ-2	0,05-2,12	0,08-2,25	
ПЭВТЛ-1	0,02-1,6	0,027-1,64	
ПЭВТЛ-2	0,02-1,6	0,03-1,67	
ПЭТВ	0,06-2,5	0,07-2,57	
ПЭТВА	0,08-2,4	0,14-2,55	
ПЭТ-155	0,06-2,5	0,08-2,63	

ПЭТ-200	0,05-2,5	0,057-2,63	
ПНЭТ-имид	0,03-2,5	0,035-2,6	

4. Заполните таблицу 5 по известным характеристикам проводов.

Таблица 5. Установочные провода

Марка провода	Сечение жил, мм <sup>2</sup>	Основная характеристика	Область применения
1	2	3	4
ПРИ	0,75—120		
АПРИ	2,5—120		
ПРГИ	0,75—120		
ППВ	0,75—4,0*		
АППВ	2,5—6*		
ПВ1	0,5—95		
АПВ	2,0—120		
ПГВ	0,5—95		
ПП	0,5—95		
АПП	2,5—120		
РКГМ	0,75—120		

4. Определите исходные данные, необходимые для выполнения расчетного задания в заданной таблице. Определить ток, протекающий в линии электропередач и величину электрического сопротивления для температур  $T_1$  и  $T_2$  для каждого материала проволок (Al и Fe) и рассчитайте величину потерь мощности [45].

Таблица 3. Исходные данные

№ вар.	Провод	Fe nxd,	Al nxd,	Up, кВ	Руст, кВт	T <sub>1</sub> °C	T <sub>2</sub> °C	l, км
		мм	мм					
		d – диаметр проволоки,						
		n – число проволок						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	АСК (185)	7 x 2,5	28 x 2,87	35	560	– 10	+ 50	30
2.	АСК (300)	7 x 3,2	28 x 3,66	110	640	– 20	+ 40	25
3.	АСК (240)	7 x 2,8	28 x 3,29	110	720	– 15	+ 45	21
4.	АСК (400)	19 x 2,8	28 x 4,24	220	840	– 17	+ 37	27
5.	АСК (50)	1 x 3,2	6 x 3,2	0,4	120	– 35	+ 30	20
6.	АСО (150)	7 x 1,8	24 x 2,8	6	180	– 50	+ 27	18
7	АСО (185)	7 x 2,0	24 x 3,1	10	240	– 45	+ 25	16
8.	АСО (240)	7 x 2,4	24 x 3,59	10	320	– 37	+ 31	14
9.	АСО (300)	7 x 2,6	54 x 2,62	35	380	– 27	+ 33	12
10.	АСО (400)	7 x 3,0	54 x 3,04	110	540	– 36	+ 28	10
11.	АСО (500)	19 x 2,0	54 x 3,37	220	860	– 41	+ 22	5
12.	АСО (600)	19 x 2,2	54 x 3,69	500	2400	– 20	+ 42	7
13.	АСО (700)	19 x 2,5	54 x 4,1	500	2800	– 10	+ 50	8
14.	АСУ (120)	7 x 2,2	30 x 2,2	35	480	0	+ 40	11
15.	АСУ (150)	7 x 2,5	30 x 2,5	35	620	– 19	+ 36	26

16.	АСУ (185)	7 x 2,8	30 x 2,8	110	720	– 18	+ 41	24
17.	АСУ (240)	7 x 3,2	30 x 3,2	110	780	– 28	+ 38	23
18.	АСУ (300)	19 x 2,2	30 x 3,55	220	820	– 21	+ 29	19
19.	АСУ (400)	19 x 2,5	30 x 4,12	220	960	– 15	+ 44	22
20.	АС (400)	19 x 2,2	28 x 4,24	500	1200	– 5	+ 51	17
21.	АС (300)	7 x 3,2	28 x 3,66	220	760	– 3	+ 47	9
22.	АС (240)	7 x 2,8	28 x 3,29	110	840	– 12	+ 38	10
23.	АС (185)	7 x 2,5	28 x 2,87	35	360	– 19	+ 39	13
24.	АС (150)	7 x 2,2	28 x 2,59	10	280	– 23	+ 27	7
25.	АС (120)	7 x 2,0	28 x 2,29	6	340	– 36	+ 42	6
26.	АС (95)	1 x 4,5	6 x 4,5	0,4	198	– 21	+ 49	4
27.	АС (70)	1 x 3,8	6 x 3,8	0,4	92	– 43	+ 25	12
28.	АС (50)	1 x 3,2	6 x 3,2	0,4	73	– 25	+ 43	3
29.	АСО(150)	7 x 1,8	24 x 2,8	35	520	– 20	+ 37	6
30.	АСО(185)	7 x 2,0	24 x 3,1	35	640	– 35	+ 28	7
31.	АСО(240)	7 x 2,4	24 x 3,59	35	680	– 20	+ 30	8
32.	АСО(300)	7 x 2,6	54 x 2,62	110	820	– 10	+ 40	9
33.	АСО(400)	7 x 3,0	54 x 3,04	110	780	– 15	+ 35	10
34.	АСО(500)	19x 2,0	54 x 3,37	220	1200	– 17	+ 37	11
35.	АСО(600)	19x 2,2	54 x 3,69	500	1600	– 27	+ 27	12

5. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу.

**1. По конструкции провода бывают:**

- А) одно проволочные, многопроволочные и полые;
- В) одно проволочные;
- С) многопроволочные;
- Д) полые;
- Е) полные.

**2. Увеличение механической прочности проводов осуществляет:**

- А) статор;
- В) сердечник;
- С) ротор;
- Д) жилы;
- Е) кабель.

**3. По конструктивному выполнению существуют:**

- А) одно проволочные провода;
- В) многопроволочные провода;
- С) полые провода;
- Д) одно- и многопроволочные и полые провода;
- Е) одно- и двух проволочные провода

**4. Одно проволочные провода состоят из:**

- А) одной круглой проволоки;

- В) алюминиевых проволок и стального сердечника;
- С) плоских проволок, соединенных пазами и имеющих внутри провода пустое пространство;
- Д) проводниковых меди и алюминия, а также сплавов большого удельного сопротивления;
- Е) сплошного слоя эмали-лака, нанесенного на провод на специальных эмалировочных машинах.

**5. Многопроволочные алюминиевые провода состоят из:**

- А) одной круглой проволоки;
- В) алюминиевых проволок и стального сердечника из стальных оцинкованных проволок, изолированных двумя лентами полиэтилентерефталатной пленки, заполненных смазкой;
- С) плоских проволок, соединенных пазами и имеющих внутри провода пустое пространство;
- Д) меди и алюминия, а также сплавов большого удельного сопротивления (манганина, константана, нихрома и др.);
- Е) сплошного слоя эмали-лака, нанесенного на провод на специальных эмалировочных машинах.

**6. Полые провода состоят из:**

- А) одной круглой проволоки, дешевле многопроволочных, но менее гибки и имеют меньшую механическую прочность;
- В) алюминиевых проволок и стального сердечника, стальных оцинкованных проволок, изолированных двумя лентами из полиэтилентерефталатной пленки, заполненных смазкой;
- С) плоских проволок, соединенных пазами и имеющих внутри провода пустое пространство, аналогично венку;
- Д) алюминия, а также сплавов большого удельного сопротивления;
- Е) сплошного слоя эмали-лака, нанесенного на провод на специальных эмалировочных машинах.

**7. Для изготовления обмоток электрических машин используют:**

- А) голые или полые провода;
- В) полые провода;
- С) голые провода;
- Д) обмоточные провода;
- Е) сверхобмоточные провода.

**8. Эмалевая изоляция имеет толщину:**

- А) 0,003—0,070 мм;
- В) 0,003—0,070 мм;
- С) 0,003—0,070 мм;
- Д) 0,003—0,070 мм;

Е) 0,003—0,070 мм.

**9. Одинарная или двойная обмотка из хлопчатобумажной, шелковой пряжи, пряжи из синтетических и стеклянных волокон, называется:**

- А) изоляцией жил;
- В) оболочкой жил;
- С) покрытием жил;
- Д) защитой жил
- Е) корпусом жил.

**10. Один или несколько изолированных проводников, заключенных в герметическую оболочку, поверх которой накладывается защитный покров, называется:**

- А) кабель;
- В) шнур;
- С) тросс;
- Д) одножильный провод;
- Е) многожильный провод.

## ГЛАВА III. ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 3.1 Характеристики диэлектриков

Параметры диэлектриков определяют их механические (упругость, прочность, твердость, вязкость), тепловые (тепловое расширение, теплоемкость, теплопроводность), электрические (электропроводность, поляризация, поглощение энергии, электрическая прочность) магнитные, оптические свойства, а также определяют их электрический, механический, тепловой отклики на воздействие электрического поля, механического напряжения, температуры.

Напряжённость поля внутри диэлектрика [23,30]:

$$E=E_0-E_1 \quad (3.1)$$

где:  $E_0$  – напряженность внешнего поля;

$E_1$  – напряжённость дополнительного поля, образующегося внутри диэлектрика.

Напряжённость поля в диэлектрике всегда меньше напряжённости внешнего поля, которое вызывает его поляризацию.

*Поляризация* - это процесс упорядочения (смещения и деформации электронных оболочек), связанных электрических зарядов вещества под действием приложенного электрического поля [21,31].

*Диэлектрическая проницаемость* – величина, показывающая, во сколько раз сила взаимодействия двух электрических зарядов в среде меньше, чем в вакууме [23,32].

На величину диэлектрической проницаемости оказывают влияние изменение температура (с увеличением температуры ее величина понижается) и частота приложенного к диэлектрику напряжения.

*Диэлектрические потери* - это мощность электрического тока, рассеиваемая в диэлектрике в виде тепла. Численно диэлектрические потери характеризуются тангенсом угла  $\text{tg}\delta$ , где  $\delta$  - угол, дополняющий до  $90^\circ$  угол сдвига фаз  $\varphi$  между векторами тока и напряжения в цепи с емкостью ( $\delta = 90^\circ - \varphi$ ).

Значение тангенса угла диэлектрических потерь измеряют при напряжениях, меньших  $U_0$  (обычно  $3 \cdot 10 \text{ кВ}$ ). У твердых диэлектриков величины диэлектрических потерь находятся в пределах от  $2 \cdot 10^{-3}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$ . Наименьшими значениями диэлектрических потерь обладают неионизированные газы, которые являются диэлектриками.

Диэлектрики, используемые в технике, обладают электропроводностью, и их удельное сопротивление составляет величину, в пределах от  $10^6$  до  $10^{17}$  Ом·м и выше. Электропроводность диэлектриков зависит от их химического состава и строения, типа и концентрации дефектов и ионогенной примеси, а также интенсивности воздействия внешнего ионизирующего излучения, напряженности электрического поля, температуры, влажности, давления.

Диэлектрики обладают большим удельным электрическим сопротивлением и применяются для изоляции токопроводящих частей, находящихся под разными электрическими потенциалами.

Под действием постоянного электрического поля электроизоляционные материалы проявляют свойства электропроводности, т. е. под действием постоянного напряжения в диэлектрике возникает сквозной ток утечки. Постоянная составляющая этого тока называется сквозным током диэлектрика  $I_{ск}$ , а убывающая со временем - абсорбционными токами  $I_{аб}$ , обусловленными замедленными видами поляризации.

Сквозной ток диэлектрика может быть представлен, в свою очередь, в виде двух составляющих поверхностного тока  $I_s$  т.е. тока, протекающего по тонкому электропроводящему слою влаги с растворенными в ней веществами, образовавшимися вследствие соприкосновения образца с окружающей средой и объемного тока  $I_v$ , т.е. тока, протекающего через объем материала.

Полное сопротивление изоляции диэлектрика складывается как результирующая двух параллельно включенных сопротивлений. Объемное и поверхностное сопротивления зависят как от материала диэлектрика, так и от его геометрических размеров.

Для сопоставления свойств различных материалов более удобными являются удельные величины объемного и поверхностного сопротивлений диэлектриков.

У твердых диэлектриков различают объемную и поверхностную электропроводность, которую оценивают, соответственно, удельным объемным сопротивлением ( $\rho_v$ , Ом·м) и удельным поверхностным сопротивлением ( $\rho_s$ , Ом). Удельное объемное сопротивление численно равно сопротивлению куба с ребром в 1 м, если ток проходит через две противоположные грани. В однородном электрическом поле удельное объемное сопротивление для плоского образца диэлектрика вычисляется по формуле:

$$\rho_v = R_v \frac{S}{h} \quad (3.1)$$

где  $R_v$  – объемное сопротивление, Ом;

$S$  - площадь электрода, м<sup>2</sup>;

$h$  - толщина образца, м.

Удельное поверхностное сопротивление численно равно сопротивлению квадрата любых размеров, если ток проходит через две противоположные стороны:

$$\rho_s = R_s \frac{d}{l} \quad (3.2)$$

где  $R_s$  – полное поверхностное сопротивление образца, Ом;

$d$ - ширина между электродами, находящимися друг от друга на расстоянии  $l$  (Рисунок 20).

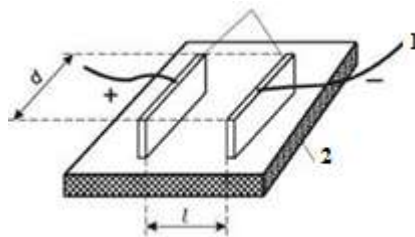


Рисунок 20-Эскиз размещения электродов на поверхности образца из электроизоляционного материала при измерении  $\rho_3$   
диэлектрика: 1 - электроды, 2 – диэлектрик

Полная проводимость диэлектрика, соответствующая сопротивлению изоляции  $R_{из}$ , складывается из объемной и поверхностной проводимостей.

Электропроводность диэлектриков зависит от концентрации свободных носителей заряда, температуры и влажности среды. Примеси являются дополнительными источниками ионов и увеличивают электропроводность.

*Диэлектрики вместе с токопроводящими электродами создают конденсаторы.*

Потери мощности  $P_a$  (Вт) вызывает активная составляющая тока:

$$P_a = U \cdot I_a \quad (3.3)$$

Учитывая, что  $I_a = I_c \cdot \operatorname{tg} \delta$ , а  $I_c = U \omega \cdot C$ , получают:

$$P_a = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta, \quad (3.4)$$

где  $U$ - напряжение, В;

$\omega$  - круговая частота тока,  $\text{с}^{-1}$ ;

$C$  - емкость конденсатора.

Виды диэлектрических потерь:

- потери от сквозной проводимости (на электропроводность);
- релаксационные;
- ионизационные;
- резонансные.

Релаксационные потери характерны для диэлектриков с замедленными видами поляризации. Они наблюдаются в полярных жидкостях с дипольно-релаксационной поляризацией, а также у линейных диэлектриков с ионно-релаксационным и электронно-релаксационным механизмами поляризации (неорганические стекла, полимеры, керамика, кристаллические вещества, с неплотной упаковкой атомов и др.).

Ионизационные потери в диэлектрике обусловлены процессами ионизации под действием электрического поля(диэлектрики).

*Резонансные потери* - это интенсивное поглощение энергии электромагнитного поля газом при определенной частоте. С ростом частоты поля релаксационные потери увеличиваются, так как возрастает отставание поляризации от изменения поля. Когда же частота настолько велика, что



поляризованность диэлектрика становится незначительной, мало и значение  $\text{tg}\delta$ . Однако на высоких частотах велико число циклов поляризации в единицу времени, и активная мощность, рассеиваемая в диэлектрике, остается практически постоянной, несмотря на уменьшение  $\text{tg}\delta$  с ростом частоты.

*Пробой* – резкое возрастание электропроводности вещества в электрическом поле, напряженность которого превышает определенное значение[35].

Пробой проходит в три стадии: формирование разряда, завершение разряда и после пробойная стадия. При пробое протекание тока происходит по узкому каналу и сопровождается, как правило, необратимыми разрушениями вещества: образуется сквозное отверстие или проплавляется канал.

Различают *тепловой пробой*, происходящий при существенном тепловом воздействии на материал, и чисто *электрический пробой*, вызванный увеличением напряжения внешнего поля до критического значения (*электрической прочности*).

Тепловой пробой является следствием уменьшения активного сопротивления диэлектрика под влиянием нагрева в электрическом поле, что приводит к росту активного тока и дальнейшему увеличению нагрева диэлектрика вплоть до его термического разрушения. При длительном действии напряжения пробой может быть вызван электрохимическими процессами, происходящими в диэлектрике под воздействием электрического поля.

Электротепловой (сокращенно тепловой) пробой сводится к разогреву материала в электрическом поле до температур, соответствующих хотя бы местной потере им электроизоляционных свойств, связанной с чрезмерным возрастанием сквозной электропроводности или диэлектрических потерь. Если считать, что все изменение температуры происходит вне диэлектрика, то рабочее напряжение можно найти, приравняв тепловыделение количеству тепла, отводимого при заданной температуре с поверхности изолятора.

Электрохимический пробой изоляционных материалов имеет особенно существенное значение при повышенных температурах и высокой влажности воздуха. Этот вид пробоя наблюдается при постоянном и переменном напряжениях низкой частоты, когда в материале развиваются электролитические процессы, обуславливающие необратимое уменьшение сопротивления изоляции.

Такое явление часто называют также старением диэлектрика в электрическом поле, поскольку оно приводит к постепенному снижению электрической прочности, заканчивающемуся пробоем при напряженности поля, значительно меньшей пробивной напряженности, полученной при кратковременном испытании.

Наличие щелочных окислов в алюмосиликатной керамике способствует возникновению электрохимического пробоя и ограничивает допустимую рабочую температуру. При электрохимическом пробое, наблюдаемом при постоянном напряжении и низких частотах в условиях повышенных температур или высокой влажности воздуха, большое значение имеет

материал электрода. Серебро, способное диффундировать в керамику, облегчает электрохимический пробой в противоположность, например, золоту.

*Пробивное напряжение при тепловом пробое* зависит от ряда факторов:

- частоты поля,
- условий охлаждения,
- температуры окружающей среды и др.

Явление электрического пробоя связано с электронными процессами в диэлектрике, возникающими в сильном электрическом поле и приводящими к внезапному резкому местному возрастанию плотности электрического тока к моменту пробоя. Величина *напряженности электрического поля*, при которой происходит *пробой диэлектрика или изоляции кабеля*, зависит от физических свойств материала, его размеров, температуры, влажности, от длительности и характера приложенного напряжения. Практически пробой в диэлектрике происходит в каком-либо одном наиболее слабом месте.

Пробивное напряжение обозначается  $U_{пр}$  и измеряется чаще всего в киловольтах. Электрическая прочность ( $E_{пр}$ ) определяется пробивным напряжением, отнесенным к толщине диэлектрика в месте пробоя:

$$E_{пр} = \frac{U_{пр}}{h} \quad (3.5)$$

где  $h$  — толщина диэлектрика.

Пробой газа обуславливается явлением ударной и фотонной ионизации.

Пробой жидких диэлектриков происходит в результате ионизационных тепловых процессов. Одним из главнейших факторов, способствующих пробую жидкостей, является наличие в них сторонних примесей. Пробой твердых тел может вызываться как электрическим, так и тепловым процессами, возникающими под действием поля.

*Электрическая прочность* – величина критического напряжения однородного электрического поля при пробое, позволяющая оценить способность материала противостоять его разрушению электрическим напряжением.

Числовые значения электрической прочности твердых диэлектриков очень большие (несколько миллионов вольт на 1 м толщины материала).

Электрическая прочность чистых однородных жидких диэлектриков по величине близка к электрической прочности твердых диэлектриков, но наличие примесей и загрязнений существенно ее понижают.

У слюды, кварца и других «хороших» диэлектриков электрическая прочность  $\sim 10^8 \dots 10^9$  В/м; у очищенных жидких диэлектриков  $\sim 10^8$  В/м; у воздуха при нормальных условиях и толщине слоя  $\sim 0,01$  м –  $3 \cdot 10^6$  В/м. У полупроводников электрическая прочность изменяется от  $10^8$  до  $10^3$  В/м.

Разрушение твердого диэлектрика от электрического разряда в виде электрической дуги начинается и происходит в газе над его поверхностью. Под влиянием дуговых разрядов и искрения происходит прогрессирующее

поверхностное эрозионное разрушение в виде токопроводящего следа или токопроводящей дорожки, имеющих древовидную форму. И дуга, и токопроводящий слой вызывают высокотемпературные реакции разложения и горения диэлектрика.

Разработка технологических процессов изготовления электрических машин и аппаратов требует знания физических, механических и химических свойств (например, окисляемость, растворимость, склеиваемость) материалов.

К химическим свойствам относятся: растворимость, химостойкость, радиационная стойкость, светостойкость, трекинговая стойкость.

*Растворимость* – это свойство важно для подбора растворителей лаков, а также для оценки стойкости изоляционных материалов к действию различных жидкостей, с которыми эти материалы соприкасаются в процессе изготовления изоляции (например, при пропитке лаками) и в эксплуатации (изоляция маслонеполненных трансформаторов и т.п.) [38].

Растворимость твердых материалов оценивают по количеству материала, переходящему в раствор за единицу времени с единицы поверхности материала, соприкасающейся с растворителем.

*Химостойкость* – стойкость к коррозии различными химически активными веществами (*кислотами, щелочами, солевыми растворами*).

При определении химостойкости образцы материалов на длительное время помещают в условия, близкие к эксплуатационным с точки зрения выбора концентрации химической активности среды.

После этого определяют изменение внешнего вида образцов, их массы и других характеристик.

Для масел и смол измеряют *кислотное число*, характеризующее содержание в материале свободных кислот.

*Кислотное число* – количество граммов едкого кали KOH, которое требуется для нейтрализации всех свободных кислот, содержащихся в 1 кг испытуемого образца (например, 0,4 г KOH/кг или 0,4 мг KOH/г).

В трансформаторном масле *высокое кислотное число* является признаком старения масла.

*Радиационная стойкость* – способность изоляционных материалов продолжать выполнять свои функции в условиях интенсивного облучения или после радиационного воздействия.

Иногда радиационное воздействие на материалы используют с целью полезного изменения их структуры, улучшения или придания им новых свойств (*радиационная сшивка полимеров*).

Воздействие радиации приводит к появлению дефектов в структуре материала, которые со временем накапливаются.

Количественно радиационную стойкость характеризуют *общим числом радиоактивных частиц*, попадающих на единицу площади вещества и вызывающих заметное ухудшение его изоляционных свойств – *нейтрон/м<sup>2</sup>*. Многие диэлектрики выдерживают дозы до  $10^{22}$  нейтрон/м<sup>2</sup>.

*Светостойкость* – способность диэлектриков сохранять свои эксплуатационные характеристики под действием оптического облучения.

Под действием света и особенно ультрафиолетового излучения происходит ускорение процесса старения некоторых материалов: нефтяные масла, резина, капрон.

*Трекингостойкость* – способность диэлектрика сопротивляться образованию проводящих следов (треков) на поверхности материала [21,34].

Трекингостойкость показывает насколько диэлектрик способен сопротивляться образованию проводящих треков (дорожек), которые образуются при воздействии дуговых разрядов.

Сравнительный индекс трекингостойкости равен максимальному напряжению, при котором материал выдерживает воздействие 50 капель воды или другого электролита без образования треков.

*Теплостойкость* — тепловая характеристика, определяемая у органических полимерных диэлектриков. Она позволяет оценить их стойкость к кратковременному нагреву при одновременном воздействии на образец материала изгибающей механической нагрузки. К тепловым свойствам диэлектриков относят: нагревостойкость, морозостойкость, теплопроводность, теплоемкость, температурное расширение, изменение свойств с температурой и тепловое старение.

К тепловым характеристикам диэлектриков относятся: теплоемкость, температура плавления, температура размягчения, температура каплепадения, теплостойкость, нагревостойкость и холодостойкость.

### ***Выполните задания***

1. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Своя игра», «Поле чудес» и т.д.) и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников.

2. Решите задачу. В однородном электрическом поле находятся вплотную друг к другу прижатые пластины винипласта, текстолита и слюды, расположенные так, что силовые линии перпендикулярны большим граням пластин. Напряженность поля в текстолите равна 60В/м. Найдите напряженность поля в винипласте, слюде, а также вне пластин (в вакууме) [4,11].

3. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

#### **1. Параметры диэлектриков определяют их свойства:**

- А) механические, тепловые, магнитные;
- В) механические, тепловые, электрические, магнитные;
- С) тепловые и магнитные;
- Д) механические, тепловые электрические;
- Е) тепловые электрические, магнитные.

**2. Параметры диэлектриков определяющие механические свойства диэлектриков:**

- А) упругость, прочность, твердость;
- В) упругость, прочность, вязкость;
- С) упругость, твердость, вязкость;
- Д) упругость, прочность, твердость, вязкость;
- Е) упругость, твердость

**3. Параметры диэлектриков определяющие тепловые свойства диэлектриков:**

- А) тепловое расширение, теплоемкость;
- В) тепловое расширение, теплопроводность;
- С) теплоемкость, теплопроводность;
- Д) тепловое расширение, теплопроводность;
- Е) тепловое расширение, теплоемкость, теплопроводность.

**4. Свойства электропроводности проявляет величина:**

- А) удельное электрическое сопротивление;
- В) относительная диэлектрическая проницаемость;
- С) плотность;
- Д) тангенс угла диэлектрических потерь;
- Е) пробивная напряженность.

**5. Свойства электрической прочности проявляет:**

- А) удельное электрическое сопротивление;
- В) относительная диэлектрическая проницаемость;
- С) плотность;
- Д) тангенс угла диэлектрических потерь;
- Е) пробивная напряженность.

**6. Процесс упорядочения связанных электрических зарядов вещества под действием приложенного электрического поля, называют:**

- А) рекомбинацией;
- В) деформацией;
- С) поляризацией;
- Д) анизотропией;
- Е) изотропией.

**7. Величина, показывающая, во сколько раз сила взаимодействия двух электрических зарядов в среде меньше, чем в вакууме называется:**

- А) удельным сопротивлением;
- В) диэлектрической проницаемостью;
- С) проводимостью;
- Д) электропроводностью;

Е) диэлектрическими потерями.

**8. На величину диэлектрической проницаемости оказывают влияние изменение:**

- А) температуры;
- В) давления;
- С) силы тока;
- Д) напряжения.
- Е) сопротивления.

**9. Наибольшие разрушения твердого диэлектрика вызывает:**

- А) трение;
- В) электризация;
- С) разряд;
- Д) пробой;
- Е) электрическая прочность.

**10. Резкое возрастание электропроводности вещества в электрическом поле, напряженность которого превышает определенное значение, называется:**

- А) трение;
- В) электризация;
- С) пробой;
- Д) разряд;
- Е) электрическая прочность.

### **3.2 Газообразные диэлектрики**

Наиболее распространенными газообразными диэлектриками являются воздух, азот, водород и элегаз (гексафторид серы).

Электроизоляционные газы делятся на естественные и искусственные. К естественным относится воздух, который применяется в качестве изоляции между токоведущими частями линий электропередач и электрических машин. В качестве изолятора воздух имеет недостатки, которые делают невозможным его использование в герметичных устройствах. Из-за наличия высокой концентрации кислорода воздух является окислителем, и в неоднородных полях проявляется низкая электрическая прочность воздуха.

В силовых трансформаторах и высоковольтных кабелях в качестве изоляции используют азот.

Водород, кроме электроизоляционного материала, также представляет собой принудительное охлаждение, поэтому часто используется в электрических машинах. В герметизированных установках чаще всего применяют элегаз. Заполнение элегазом делает устройство взрывобезопасным. Применяется в высоковольтных выключателях благодаря своим дугогасящим свойствам.

Газообразные диэлектрики широко используются при изготовлении высоковольтных аппаратов (воздушные и элегазовые выключатели, разрядники и др.), кроме того, воздух окружает большое число электротехнических установок, а в ЛЭП воздух является основной изолирующей средой [36]. В ряде электро- и радиотехнических, радиоэлектронных устройств и приборов используются различные газонаполненные элементы, где важны не только общезфизические свойства газов, но и их электрические характеристики.

Соединения молекул газов бывают полярные и неполярные.

Неполярные молекулы газов (гелий, водород, кислород) состоят из двух симметричных атомов, лишенных собственного дипольного момента, т.к. центры положительных и отрицательных зарядов совпадают (Рисунок 21).

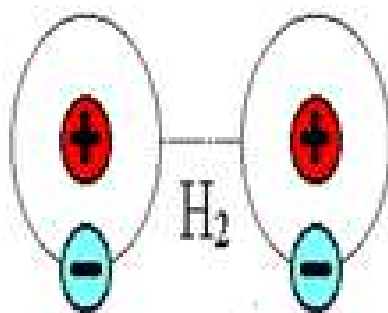


Рисунок 21- Неполярное соединение молекулы  $H_2$

Полярные молекулы газов (водяной пар, спирты, эфиры,  $HCl$ , углекислый газ) образуют несимметричную структуру и обладают постоянным электрическим дипольным моментом (Рисунок 22), так как у них центры положительного и отрицательного зарядов не совпадают.

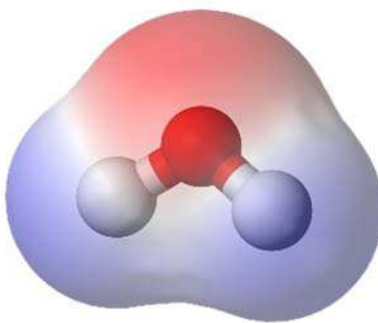


Рисунок 22- Полярное соединение молекулы

Газообразные вещества характеризуются весьма малыми плотностями вследствие больших расстояний между молекулами. Поэтому диэлектрическая проницаемость всех газов незначительна и близка к единице.

Поляризация газа может быть чисто электронной или же дипольной, если молекулы газа полярные, однако и для полярных газов основное значение имеет электронная поляризация.

Диэлектрическая проницаемость газа тем выше, чем больше радиус молекулы. Диэлектрическая проницаемость газов возрастает с увеличением давления. Для воздуха диэлектрическая проницаемость при нормальных условиях равна 1,00058. При давлении 4 МПа проницаемость возрастает до величины 1,0218. Зависимость диэлектрической проницаемости газа от температуры и давления определяется изменением числа молекул в единице объема газа. Это число пропорционально давлению и обратно пропорционально абсолютной температуре.

По сравнению с жидкими и твердыми диэлектриками, газы обладают малыми значениями диэлектрической проницаемости и, высоким удельным сопротивлением и пониженной электрической прочностью (таблица 6).

Таблица 6. Диэлектрическая проницаемость газов

Характеристики газов	диэлектрическая прочность	полярность
полярные	$\varepsilon = 1 + \frac{np_0^2}{3kT\varepsilon_0} + n\beta$	$\vec{P} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N \vec{p}_i$
неполярные	$\varepsilon = 1 + n\beta$	$\vec{P} = n\vec{p} = n\varepsilon_0\beta\vec{E}$

Электропроводность газов обусловлена наличием в них заряженных частиц ионов и электронов. Существуют два вида электропроводности газов [38]:

- самостоятельная и несамостоятельная;
- самостоятельная.

Самостоятельная электропроводность обусловлена ионами, образованными в сильных электрических полях в результате электронной ударной ионизации (соударения заряженных частиц) (Рисунок 23).

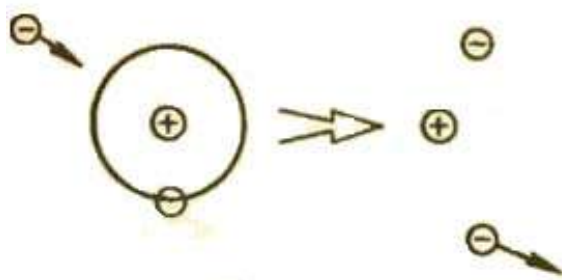


Рисунок 23- Ударная ионизация заряженных частиц

Несамостоятельная электропроводность обусловлена за счет ионов и электронов, образующихся в результате ионизации, вызванной внешним энергетическим воздействием, такими, как космические и солнечные лучи.

### **Выполните задания**

1. Составьте интеллектуальную карту свойств: воздуха, ворода, элегаза, азота и т.д. и их применение. Выполните перевод основных названий, свойств и понятий на казахский и английский языки.



2. Изучите и объясните свойство электронной(деформационной) поляризации газообразных веществ. Выведите формулу поляризуемости молекулы газа  $\beta = 4\pi R^3[4]$ .

3. Изучите свойства и особенности элегаза и его применение в нашей стране и за рубежом. Постройте график зависимости диэлектрической проницаемости элегаза от давления и температуры. Сделайте соответствующий вывод [4].

4. Разработайте интеллектуальную игру по свойствам и применению газообразных диэлектриков в электротехнике и энергетике в своей подгруппе (например, «Поле чудес», «Брейн-ринг» и т.д.) и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников.

5. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Наиболее распространенными газообразными диэлектриками являются:**

- А) воздух, азот, водород, кислород;
- В) воздух, азот, водород и элегаз;
- С) воздух, азот, водород и кислород;
- Д) воздух, кислород, водород и элегаз;
- Е) воздух, азот, кислород, водород и элегаз.

**2. Электроизоляционные газы делятся на:**

- А) естественные, искусственные, комбинированные;
- В) натуральные и не натуральные;
- С) естественные и искусственные;
- Д) натуральные и искусственные;
- Е) естественные и не натуральные, комбинированные.

**3. В силовых трансформаторах и высоковольтных кабелях в качестве изоляции используют:**

- А) элегаз;
- В) водород;
- С) воздух;
- Д) кислород;
- Е) азот.

**4. Газообразные диэлектрики широко используются при изготовлении высоковольтных аппаратов:**

- А) воздушные и элегазовые выключатели, трансформаторы, разрядники и др.;
- В) воздушные и элегазовые выключатели, эл.двигатели и др.;
- С) воздушные выключатели, трансформаторы, разрядники и др.;
- Д) воздушные и элегазовые выключатели, разрядники и др.;
- Е) элегазовые выключатели и разрядники и др.

**5. Наиболее важное свойство газов с точки зрения использования в электроаппаратуре - это способность их восстанавливать:**

- A) энергию;
- B) электрическую прочность;
- C) мощность;
- D) диэлектрическую проницаемость;
- E) сопротивление.

**6. Из-за наличия высокой концентрации кислорода окислителем является:**

- A) элегаз;
- B) водород;
- C) воздух;
- D) кислород;
- E) азот.

**7. В электрических машинах водород используют, как электроизоляционный материал, так и для принудительного:**

- A) изолирования;
- B) нагнетания;
- C) нагревания;
- D) изоляции;
- E) охлаждения;

**8. Важными свойствами газов являются малые:**

- A) плотность и диэлектрическая проницаемость;
- B) плотность, объем, масса и диэлектрическая проницаемость;
- C) плотность и давление;
- D) плотность и масса;
- E) напряженность и диэлектрическая проницаемость.

**9. Важными свойствами газов являются высокое значение:**

- A) электропроводности;
- B) проводимости;
- C) удельного сопротивления;
- D) диэлектрической проницаемости;
- E) сопротивления.

**10. В герметизированных электроустановках чаще всего применяют:**

- A) хлор;
- B) воздух;
- C) кислород;
- D) элегаз;
- E) азот.

### 3.3 Жидкие диэлектрики

Жидкие диэлектрики представляют собой низкомолекулярные вещества органического происхождения, которые бывают полярными и не полярными. Их электрофизические свойства в значительной степени зависят от строения молекул и наличия примесей. Примеси образуются при окислении и разложении углеводородных фракций, при поглощении воды и попадания частичек волокнистых материалов.

Жидкие диэлектрики характеризуются: диэлектрической проницаемостью, электропроводностью, диэлектрическими потерями и электрической прочностью  $E_{пр}$  [21,34].

Диэлектрическая проницаемость является истинной характеристикой жидкостей и характеризуется дипольным моментом и поляризуемостью молекул.

У полярных жидкостей (совол, гексол, энтигликоль) диэлектрическая проницаемость определяется одновременно электронной и дипольной поляризациями.

У неполярных жидкостей диэлектрическая проницаемость определяется в основном только электронной поляризацией, не зависит от частоты и уменьшается с ростом температуры, приближаясь к единице.

*Неполярные вещества* – это соединения, молекула которых диполем не является. Они не растворяют соли и основания, часто в реакциях, выступающих нуклеотидными реагентами. Поэтому в таких случаях данные растворители применяются редко. Также они имеют низкую температуру кипения, что не позволяет их использовать в реакциях с термическим возбуждением молекул.

Собственная проводимость жидких диэлектриков имеет электронную и ионную составляющие.

Ионная проводимость обусловлена дрейфом – направлением движения положительных и отрицательных ионов под действием приложенного электрического поля и разрядением их на электродах (Рисунок 24).

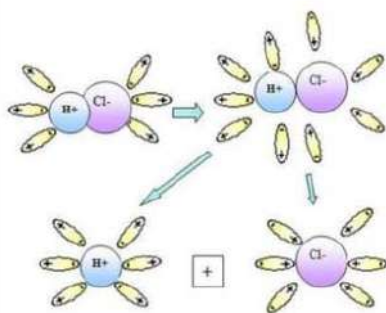


Рисунок 24- Электролитическая диссоциация жидких диэлектриков

У полярных жидкостей диэлектрические потери состоят из потерь на электропроводность и потерь, связанных с дипольно-релаксационной поляризацией. Они зависят от температуры, частоты и вязкости жидкости, так как поворот диполей в вязкой среде вызывает потери энергии на трение молекул. На высоких частотах жидкие диэлектрики имеют повышенные

диэлектрические потери. Поэтому жидкие полярные диэлектрики не рекомендуют применять на высоких частотах.

Диэлектрические потери у неполярных жидкостей, не содержащих примесей – это потери на электропроводность. Например, чистое трансформаторное масло при температуре  $T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$  и частоте  $f = 50\text{ Гц}$  имеет  $\text{tg}\delta = 0,003$ .

Электрическая прочность жидких диэлектриков в основном определяется наличием посторонних примесей, полярностью жидкости, температурой и другими факторами. Присутствующие в жидкости пузырьки газа ионизируются, выделяя энергию, которая приводит к местному перегреву жидкости. Это ведет к образованию газового канала между электродами и в результате к пробое жидкости [35].

При длительном протекании электрического тока через неполярный диэлектрик возможно увеличение сопротивления за счет переноса свободных ионов примесей к электродам (электрическая очистка).

Жидкие диэлектрики разделяют на три группы:

- нефтяные масла,
- растительные масла,
- синтетические жидкости.

Наиболее часто используются нефтяные масла, такие как трансформаторное, кабельное и конденсаторное.

Синтетические жидкости (кремнийорганические и фторорганические соединения полихлордифенил, совол, совтол, кремнийорганические и фторорганические) используются в аппаратостроении. Например, кремнийорганические соединения морозоустойчивы и гигроскопичны, поэтому применяются в качестве изолятора в небольших трансформаторах, но их стоимость выше цены нефтяных масел.

Растительные масла практически не используются в качестве изоляционных материалов в электроизоляционной технике. К ним относятся касторовое, льняное, конопляное и тунговое масло. Эти материалы представляют собой слабо полярные диэлектрики и используются в основном для пропитки бумажных конденсаторов и в качестве пленкообразующего вещества в электроизоляционных лаках, красках, эмалях.

### ***Выполните задания***

1. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Брейн-ринг», «Своя игра» и т.д.) и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников.

2. Каждая подгруппа самостоятельно изучает по выбору свойства, особенности и применение в электротехнике рекомендуемых жидких диэлектриков: трансформаторное масло, конденсаторное масло, кабельное масло, кремнийорганические жидкости и фторорганические жидкости. Заполните интеллектуальную карту (таблица 7) основных свойств жидких диэлектриков и их применение в электротехнике. Выполните перевод основных названий и свойств на казахский и английский языки.

Таблица 7. Основные свойства жидких диэлектриков

Основные свойства	Вид жидкого диэлектрика					Применение в электротехнике
	Трансформаторное масло	Конденсаторное масло	Кабельное масло	Кремний органические жидкости	Фторорганические жидкости	
Плотность						
Диэлектрическая проницаемость						
Кислотное число						
Электрическая плотность						
Диэлектрические потери						
Температура вспышки паров						
Удельное сопротивление						
Температура застывания						
Допустимая температура						

3. Соберите сведения по жидким диэлектрикам хлорфторорганических соединений. Выберите марку и опишите жидкий диэлектрик этого класса, при заливке которого в трансформатор емкость обмотки последнего по отношению к корпусу была бы минимальной. Определите во сколько раз увеличится объем при заливке этого жидкого диэлектрика.

4. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Жидкие диэлектрики характеризуются:**

А) диэлектрической проницаемостью, электропроводностью, электрической прочностью  $E_{пр.}$ ;

В) диэлектрической проницаемостью, электропроводностью, диэлектрическими потерями, электрической прочностью  $E_{пр.}$ ;

С) диэлектрической проницаемостью, диэлектрическими потерями, электрической прочностью  $E_{пр.}$ ;

Д) электропроводностью, диэлектрическими потерями, электрической прочностью  $E_{пр.}$ ;

Е) диэлектрической проницаемостью, электропроводностью, диэлектрическими потерями.

**2. Диэлектрическая проницаемость является истинной характеристикой жидкостей и характеризуется:**

А) дипольным моментом или поляризуемостью молекул;

В) поляризуемостью молекул;

С) дипольным моментом;

Д) дипольным моментом и поляризуемостью молекул;

Е) дипольным моментом, статистическим моментом и поляризуемостью молекул.

**3. У полярных жидкостей диэлектрическая проницаемость определяется:**

- A) дипольной поляризациями;
- B) электронной поляризацией;
- C) ионной и дипольной поляризациями;
- D) электронной или дипольной поляризациями;
- E) одновременно электронной и дипольной поляризациями.

**4. У неполярных жидкостей диэлектрическая проницаемость определяется:**

- A) дипольной поляризацией;
- B) электронной поляризацией;
- C) ионной и дипольной поляризациями;
- D) электронной или дипольной поляризациями;
- E) одновременно электронной и дипольной поляризациями.

**5. Собственная проводимость жидких диэлектриков имеет:**

- A) электронную или ионную составляющие;
- B) электронную и ионную составляющие;
- C) ионную составляющую;
- D) электронную составляющую;
- E) всегда электронную иногда ионную составляющие.

**6. На высоких частотах жидкие диэлектрики имеют:**

- A) пониженные диэлектрические потери;
- B) стабильные диэлектрические потери;
- C) повышенные диэлектрические потери;
- D) скачкообразные диэлектрические потери;
- E) переменные диэлектрические потери.

**7. В результате электролитической диссоциации ионных веществ под действием полярных молекул образуются:**

- A) иногда электроны и всегда ионы;
- B) электроны и ионы;
- C) электроны или ионы;
- D) электроны;
- E) ионы.

**8. У полярных жидкостей с дипольно-релаксационной поляризацией, диэлектрические потери состоят из:**

- A) мощности;
- B) напряжения;
- C) электропроводности;

- D) электропроводности или диэлектрической проницаемости;
- E) электропроводности и диэлектрической проницаемости.

**9. Диэлектрические потери у неполярных жидкостей, не содержащих примесей - это потери:**

- A) мощности;
- B) напряжения;
- C) электропроводности;
- D) электропроводности или диэлектрической проницаемости;
- E) электропроводности и диэлектрической проницаемости.

**10. Электрическая прочность жидких диэлектриков в основном определяется наличием:**

- A) посторонних примесей, температурой и другими факторами;
- B) посторонних примесей, полярностью жидкости и другими факторами;
- C) посторонних примесей, полярностью жидкости, температурой и другими факторами;
- D) полярностью жидкости, температурой и другими факторами;
- E) посторонних примесей и полярностью жидкости.

**11. Кроме газовых включений значительным фактором, снижающим электрическую прочность жидких диэлектриков, является:**

- A) азот;
- B) вода;
- C) кислород;
- D) воздух;
- E) хлор.

**12. Пробой жидкостей, содержащих газовые включения, объясняют местным:**

- A) испарением жидкости;
- B) нагреванием жидкости;
- C) охлаждением жидкости;
- D) перегревом жидкости;
- E) замерзанием жидкости.

**13. К полярным жидкостям относятся:**

- A) совол, гексол, энтигликоль;
- B) ацетон, уайт-спирит, бензол;
- C) совол, гексол, бензол;
- D) ацетон, совло. гексол, бензол;
- E) ацетон, уайт-спирит, энтигликоль.

**14. К неполярным жидкостям относятся:**

- А) совол, гексол, энтигликоль;
- В) ацетон, уайт-спирит, бензол;
- С) совол, гексол, бензол;
- Д) ацетон, совло. гексол, бензол;
- Е) ацетон, уайт-спирит, энтигликоль.

**15. Жидкие полярные диэлектрики не рекомендуют применять при высоких:**

- А) давлениях;
- В) температурах;
- С) частотах;
- Д) напряжениях;
- Е) токах.

**16. Диэлектрические потери неполярных жидкостей жидкостей из-за малой их электропроводности:**

- А) высоки;
- В) малы;
- С) скачкообразны;
- Д) незначительны;
- Е) переменны.

**17. Наличие посторонних примесей в жидкости ведет к образованию:**

- А) утечки;
- В) взрыва;
- С) пробоя;
- Д) короткого замыкания;
- Е) уплотнений.

**18. Электрическая прочность жидкостей, содержащих примеси, по сравнению с очищенными:**

- А) ниже;
- В) выше;
- С) одинаковы;
- Д) часто совпадают;
- Е) никогда не совпадают.

**19. При длительном протекании электрического тока через неполярный диэлектрик возможно увеличение:**

- А) концентрации;
- В) температуры;
- С) напряжения;



- D) давления;
- E) сопротивления.

**20. Увеличение сопротивления неполярного диэлектрика за счет переноса свободных ионов примесей к электродам при протекании электрического тока применяют:**

- A) для изоляции;
- B) для глазирования;
- C) от коррозии;
- D) для электрической очистки;
- E) для покрытия поверхности.

**21. Жидкие диэлектрики разделяют на три группы:**

- A) растительные масла и синтетические жидкости;
- B) нефтяные масла; растительные масла; синтетические жидкости;
- C) нефтяные масла и синтетические жидкости;
- D) нефтяные масла и растительные масла;
- E) нефтяные масла или растительные масла и синтетические жидкости;

**22. К синтетическим жидкостям относятся:**

- A) кремнийорганические и фторорганические соединения полихлордифенил, совол, совтол, кремнийорганические;
- B) кремнийорганические и фторорганические соединения полихлордифенил, совол, совтол, кремнийорганические и фторорганические;
- C) кремнийорганические соединения, полихлордифенил, совол, совтол, фторорганические;
- D) полихлордифенил, совол, совтол;
- E) кремнийорганические и фторорганические соединения полихлордифенил, совол, кремнийорганические и фторорганические;

**23. В качестве изолятора в небольших трансформаторах из - за морозоустойчивости и гигроскопичности используются:**

- A) фторорганические соединения;
- B) кремнийорганические соединения;
- C) совтолы;
- D) соволы;
- E) фторорганические соединения.

**24. В качестве изоляционных материалов в электроизоляционной технике практически не используются:**

- A) синтетические масла;
- B) растительные масла;
- C) синтетические жидкости;
- D) нефтяные масла;

Е) нефтяные и растительные масла.

**25. Материалы использующиеся в основном для пропитки бумажных конденсаторов и в качестве пленкообразующего вещества в электроизоляционных лаках, красках, эмалях:**

- А) синтетические масла;
- В) растительные масла;
- С) синтетические жидкости;
- Д) нефтяные масла;
- Е) нефтяные и растительные масла.

### **3.4 Высокомолекулярные органические и неорганические диэлектрики**

*Высокомолекулярные диэлектрики* – химические соединения с молекулярной массой от нескольких тысяч до многих миллионов. В состав молекул высокомолекулярных соединений (макромолекул) входят тысячи атомов, соединённых друг с другом ковалентными (реже координационными) связями. Характерная особенность большинства высокомолекулярных соединений - наличие в их молекулах многократно повторяющихся звеньев (Рисунок 25).

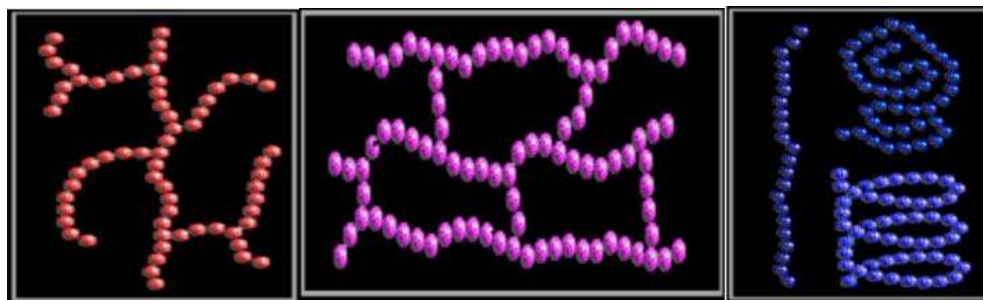


Рисунок 25- Разветвленная, пространственная и линейная формы полимеров

Классификация полимеров по форме макромолекул представлено на рисунке 26.



Рисунок 26- Классификация полимеров по форме макромолекул

Высокомолекулярные диэлектрики делятся на два вида: органические и неорганические.

*Неорганические диэлектрики:* стекла, слюда, керамика, неорганические пленки (окислы, нитриды, фториды), металлофосфаты, электроизоляционный бетон. Особенности неорганических диэлектриков – не горючи, как правило, свето-, озono- терmostойки, имеют сложную технологию изготовления [23,33]. Старение на переменном напряжении практически отсутствует, склонны к старению на постоянном напряжении.

*Органические диэлектрики:* полимеры, воски, лаки, резины, бумаги, лакоткани. Особенности органических диэлектриков: горючи (в основном), малостойки к атмосферным и эксплуатационным воздействиям, имеют (в основном) простую технологию изготовления, более дешевы по сравнению с неорганическими диэлектриками. Старение на постоянном напряжении практически отсутствует, на переменном напряжении стареют за счет частичных разрядов, дендритов и водных трингов. К органическим диэлектрикам относятся материалы, в составе которых находится углерод.

По происхождению высокомолекулярные диэлектрики делятся на природные (целлюлозу, каучук натуральный, смолы природные, биополимеры - белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды, парафин, растительные масла (касторовое масло) и синтетические (полиэтилен, полипропилен, фенолоальдегидные смолы, каучуки синтетические и др.) (Рисунок 27).

Большую часть синтетических органических диэлектриков представляют различные пластмассы и эластомеры, часто используемые в электрических бытовых приборах и другой технике.

Неорганические диэлектрические материалы делят на природные и искусственные.

К искусственным неорганическим диэлектрикам относят стекло и материалы на его основе, а также фарфор и керамику.

Например, для проходных изоляторов используют полевошпатовую керамику, которая имеет высокий тангенс диэлектрических потерь, а для электроизоляции - флогопит и мусковит.



Рисунок 27- Классификация полимеров по происхождению

### **Свойства и важнейшие характеристики.**

Высокомолекулярные соединения обладают уникальными, только им присущими механическими и физико-химическими свойствами [23, 31]:

- способность образовывать высокопрочные анизотропные высокоориентированные волокна и пленки;
- способность к большим обратимым (высокоэластическим) деформациям, характеризующимся низкими модулями упругости;
- вязкоупругость, способность к проявлению либо высокоэластических деформаций, либо ползучести в зависимости от частоты или продолжительности внешнего механического воздействия;
- способность набухать с образованием упругих тел (гелей), в которых содержание растворителя многократно превышает содержание исходного полимера;
- аномально высокая вязкость разбавленных растворов.

**Применение в энергетике.** Для линейной и подстанционной изоляции используют: фарфор, стекло и кремнийорганическую резину в подвесных изоляторах ВЛ, фарфор в опорных и проходных изоляторах, стеклопластики в качестве несущих элементов, полиэтилен, бумагу в высоковольтных вводах, полимеры в силовых кабелях. Для изоляции электрических приборов используют: бумагу, гетинакс, стеклотекстолит, полимеры и слюдяные материалы. Для машин, аппаратов используют: бумагу, картон, лаки, компаунды и полимеры. Для конденсаторов *разных видов* используют: полимерные пленки, бумагу, оксиды и нитриды.

Для ориентировки основные диэлектрические материалы делят на группы по условиям применения [35]:

1. ***Нагревостойкая электрическая изоляция.*** Высокой нагревостойкостью обладают полимеры: полиимид, фторопласт.

2. ***Влагостойкая электрическая изоляция.*** Влагостойкие материалы должны быть гидрофобны (не смачивание водой) и негигроскопичны, например, фторопласт.

3. ***Радиационно стойкая изоляция.*** К радиационно стойким материалам относятся: неорганические пленки, керамика, стеклотекстолит, слюдинитовые материалы и некоторые виды полимеров (полиимиды, полиэтилен).

4. ***Тропикостойкая изоляция.*** Тропикостойкие материалы должны быть гидрофобным, чтобы работать в условиях высокой влажности и температуры, а также стойкими против плесневых грибов. Лучшие материалы: фторопласт, некоторые другие полимеры, худшие - бумага, картон.

5. ***Морозостойкая изоляция.*** Требование морозостойкости характерно, в основном для резин, т.к. при понижении температуры все резины теряют эластичность. Наиболее морозостойка кремнийорганическая резина с фенильными группами (до  $-90^{\circ}\text{C}$ ).

6. ***Изоляция для работы в вакууме (космос, вакуумные приборы).*** Для работы в вакууме необходимо использовать вакуумно-плотные материалы, специально приготовленные керамические материалы, кроме полимеров.

Открытие синтетических полимеров сыграло большую роль в развитии многих отраслей, в том числе электротехники и радиоэлектроники.

Синтетические полимеры могут быть получены двумя принципиально различными способами: полимеризацией и поликонденсацией.

*Полимеризация* – это процесс соединения, при которой из низкомолекулярного соединения (мономера) получается высокомолекулярное соединение без изменения элементарного химического состава вещества, без выделения побочных продуктов реакции [26]. При полимеризации происходит сшивка ряда молекул мономера в одну молекулу полимера – высокомолекулярного соединения. Из газообразных и жидких мономеров могут быть получены твердые полимеры, называемые полимеризационными.

*Поликонденсация* – это процесс соединения разнородных мономеров с образованием полимера и выделением побочного продукта реакции. *Поликонденсация* – реакция необратимая [35].

Свойства полимеров определяются химическим составом, взаимным расположением атомов и строением макромолекул. По строению макромолекулы полимеров делятся на линейные (нитевидные) и пространственные (сетчатые). *Линейные полимеры* представляют собой сочетание звеньев одной определенной структуры. Сочетание двух или трех химически различных звеньев образуют полимеры, которые называют *совмещенными или сополимерами*. Линейные полимеры относят к термопластичным материалам. Электрические свойства линейных полимеров зависят от расположения атомов или определенной группы атомов в цепи макромолекулы. Линейные полимеры с несимметричным строением атомов являются полярными и имеют большие диэлектрические потери.

Пространственные полимеры относятся к термореактивным материалам. Они обладают следующими свойствами: большая жесткость, чем у линейных полимеров; при нагревании не размягчаются; не гибкие; не способны образовывать пленки и волокна; не растворяются в растворителях. По тепловым свойствам полимеры подразделяют на термопластичные и термореактивные.

*Термопластичные материалы* (термопласты) характеризуются тем, что нагревание до температуры, соответствующей пластическому состоянию, не вызывает необратимых изменений их свойств. Они тверды при достаточно низких температурах, но при нагревании становятся пластичными и легко деформируются.

В *термореактивных* (термоотверждающихся) материалах при достаточной выдержке при высокой температуре происходят необратимые процессы, в результате которых они теряют способность плавиться и растворяться, становясь твердыми и механически прочными.

Полимеры могут классифицироваться по их поведению при нагревании.

Другой вид материалов – термореактивные – реактопласты. Они при нагревании в исходном состоянии плавятся, но при достаточной выдержке при высокой температуре затвердевают, после чего уже не плавятся при повторном нагревании и даже часто не размягчаются. Одновременно теряется способность растворяться в растворителях.

К полимеризационным синтетическим полимерам относят: полистирол, полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен, фенолформальдегидные полимеры и анилинформальдегидный полимер.

**Сложные полиэфиры.** Глифталевые (алкидные) полимеры получают путем пространственной поликонденсации глицерина  $C_3H_5(OH)_3$  и фталевого ангидрида (окисленного нафталина) (полиэтилентерефталат-лавсан).

**Полиамидные полимеры.** Представителями группы полиамидных полимеров являются анид и нейлон. Полиамиды имеют высокие механические свойства, большую упругость, малый коэффициент трения, большую износостойкость при трении [23,26,34]. Из полиамидных смол изготавливаются очень прочные нити и ткани, применяющиеся в электроизоляционной технике взамен шелковых, а также пленки.

**Кремнийорганические полимеры — полиорганосилоксаны.** Кремнийорганические полимеры получают по довольно сложной технологии, основными видами которой являются реакции гидролиза и поликонденсации [26]. Отличительными свойствами полиорганосилоксанов являются: высокая нагревостойкость, стойкость против действия озона и солнечной радиации.

**Эпоксидные полимеры-эпоксисмолы.** Эпоксидные полимеры отличаются высокими механическими свойствами, хорошей коррозийной стойкостью. На их основе, в частности, в сочетании с полиэфирами, изготавливают лаки разных назначений, пропиточные и заливочные составы без растворителей; слюдосодержащие материалы, в том числе ленточные, для высоковольтных электрических машин; литую изоляцию для разных высоковольтных приборов и аппаратов, трансформаторов тока и напряжения; клеи различных назначений.

**Природные смолы.** К природным (естественным) смолам принадлежат продукты жизнедеятельности животных или растительных организмов [31]. Из естественных смол в производстве электроизоляционных лаков и компаундов наиболее широко применяется канифоль, значительно меньше шеллак и копалы.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Составьте интеллектуальную карту классификации полимеров с описанием свойств и важных характеристик. Выполните перевод основных названий и понятий на казахский и английский языки.

2. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Своя игра», «Поле чудес» и т.д.) и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников.

3. Изучите свойства полиэтилена и определите минимальное значение тока утечки через полиэтиленовую изоляцию одножильного кабеля при напряжении 70кВ, где диаметр жилы составляет 10мм, а толщина изоляции 15мм[4].

4. Изучите и опишите свойства сложных полимеров, их применение в электротехнике и электроэнергетике.

5. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Химические соединения с молекулярной массой от нескольких тысяч до многих миллионов, называются:**

- А) стабильно молекулярными;
- В) высоко молекулярными;
- С) молекулярными;
- Д) низко молекулярными;
- Е) средне молекулярными;

**2. В состав молекул высокомолекулярных соединений входят тысячи атомов, соединённых друг с другом связью:**

- А) водородной;
- В) металлической;
- С) ионной;
- Д) ковалентной;
- Е) комбинированной.

**3. Характерная особенность большинства высокомолекулярных соединений проявляется наличием в молекулах:**

- А) разнообразных звеньев;
- В) симметричных или несимметричных звеньев;
- С) симметричных и несимметричных звеньев;
- Д) не повторяющихся звеньев;
- Е) повторяющихся звеньев.

**4. Стекла, слюда, керамика, металлофосфаты, электроизоляционный бетон относятся к диэлектрикам:**

- А) природным;
- В) искусственным;
- С) синтетическим;
- Д) неорганическим;
- Е) органическим.

**5. Полимеры, воски, лаки, резины, бумаги, лакоткани относятся к диэлектрикам:**

- А) природным;
- В) искусственным;
- С) синтетическим;
- Д) неорганическим;
- Е) органическим.

**6. Целлюлоза, каучук натуральный, смолы природные, биополимеры – белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды, парафин, растительные масла относятся к диэлектрикам:**

- A) природным;
- B) искусственным;
- C) синтетическим;
- D) неорганическим;
- E) органическим.

**7. Природный диэлектрик, обладающий химической и термической стойкостью – это:**

- A) каучук;
- B) природные смолы;
- C) парафин;
- D) воск;
- E) слюда.

**8. К искусственным неорганическим диэлектрикам относят:**

- A) каучук;
- B) дерево;
- C) стекло;
- D) парафин
- E) растительное масло.

**9. Неорганические диэлектрики:**

A) негорючи, свето-, озono- термостойки, имеют сложную технологию изготовления;

B) горючи, малостойки к атмосферным и эксплуатационным воздействиям, имеют сложную технологию изготовления;

C) негорючи, озono термостойки, имеют сложную технологию изготовления;

D) негорючи, светотермостойки, имеют сложную технологию изготовления;

E) горючи, малостойки к атмосферным и эксплуатационным воздействиям, имеют простую технологию изготовления.

**10. Полиэтилен, полипропилен, фенолоальдегидные смолы, каучуки синтетические и другие относятся к диэлектрикам:**

- A) природным;
- B) искусственным;
- C) синтетическим;
- D) неорганическим;
- E) органическим.



### **11. Органических диэлектрики:**

А) негорючи, свето-, озono- термостойки, имеют сложную технологию изготовления;

В) горючи, малостойки к атмосферным и эксплуатационным воздействиям, имеют простую технологию изготовления;

С) негорючи, озono термостойки, имеют сложную технологию изготовления;

Д) негорючи, светотермостойки, имеют сложную технологию изготовления;

Е) горючи, малостойки к атмосферным и эксплуатационным воздействиям, имеют простую технологию изготовления;

### **12. К органическим диэлектрикам относятся материалы, в составе которых находится:**

А) углерод;

В) азот;

С) кислород;

Д) водород;

Е) хлор.

### **13. Фарфор, стекло и кремнийорганическую резину, стеклопластики, полиэтилен, бумагу используют в:**

А) линейной и подстанционной изоляции;

В) изоляции электрических приборов;

С) машинах и аппаратах;

Д) конденсаторах разных видов;

Е) ЛЭП.

### **14. Бумагу, картон, лаки, компаунды, полимеры используют в.;**

А) линейной и подстанционной изоляции;

В) изоляции электрических приборов;

С) машинах и аппаратах;

Д) конденсаторах разных видов;

Е) ЛЭП.

### **15. Полимерные пленки, бумагу, оксиды и нитриды используют в:**

А) линейной и подстанционной изоляции;

В) изоляции электрических приборов;

С) машинах и аппаратах;

Д) конденсаторах разных видов;

Е) ЛЭП.

**16. Бумагу, гетинакс, стеклотекстолит, полимеры и слюдяные материалы используют в:**

- А) линейной и подстанционной изоляции;
- В) изоляции электрических приборов;
- С) машинах и аппаратах;
- Д) конденсаторах разных видов;
- Е) ЛЭП.

**17. Полимеры полиимид и фторопласт обладают:**

- А) нагревостойкостью электрической изоляции;
- В) влагостойкостью электрической изоляции;;
- С) радиационной стойкостью изоляции;
- Д) тропикостойкостью изоляции;
- Е) морозостойкостью изоляции.

**18. Фторопласт обладает:**

- А) нагревостойкостью электрической изоляции;
- В) влагостойкостью электрической изоляции;
- С) радиационной стойкостью изоляции;
- Д) тропикостойкостью изоляции;
- Е) морозостойкостью изоляции.

**19. Неорганические пленки, керамика, стеклотекстолит, слюдинитовые материалы, полиимиды и полиэтилен обладают:**

- А) нагревостойкостью электрической изоляции;
- В) влагостойкостью электрической изоляции;
- С) радиационной стойкостью изоляции;
- Д) тропикостойкостью изоляции;
- Е) морозостойкостью изоляции.

**20. Фторопласт защищает от плесени, обладает:**

- А) нагревостойкостью электрической изоляции;
- В) влагостойкостью электрической изоляции;
- С) радиационной стойкостью изоляции;
- Д) тропикостойкостью изоляции;
- Е) морозостойкостью изоляции.

**21. Из натуральных смол в производстве электроизоляционных лаков и компаундов значительно меньше применяют:**

- А) канифоль и копалы;
- В) канифоль и шеллак;
- С) копалы;
- Д) шеллак;
- Е) шеллак и копалы.

**22. Кремнийорганическая резина с фенильными группами обладает:**

- А)нагревостойкостью электрической изоляции;
- В) влагостойкостью электрической изоляции;
- С) радиационной стойкостью изоляции;
- Д) тропикостойкостью изоляции;
- Е) морозостойкостью изоляции.

**23. Диэлектрики не пригодные для работы изоляции в вакууме и космосе:**

- А) углеродосодержащие;
- В) газообразны;
- С) жидкости;
- Д) полимеры;
- Е) органические.

**24. Процесс соединения разнородных мономеров с образованием полимера и выделением побочного продукта реакции, называется**

- А) полимеризацией;
- В) поликонденсацией;
- С) кремнийорганической;
- Д) природной;
- Е) эпоксидной.

**25. Полиэтилентерефталат-лавсан относится к полимерам:**

- А) полиамидным;
- В) сложным;
- С) кремнийорганическим;
- Д) эпоксидным;
- Е) природным.

## ГЛАВА IV ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 4.1 Общие сведения о полупроводниковых материалах и изделиях

*Полупроводники* – материалы, по своей удельной проводимости занимающие промежуточное место между проводниками и диэлектриками, и отличающиеся от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и воздействия различных видов излучения [37].

В электротехнике самое большое применение находят неорганические полупроводники (Рисунок 28).

Период	Ряд	ГРУППА ЭЛЕМЕНТОВ															
		A I	B II	A III	B IV	A V	B VI	A VII	B VIII	B IX	B X	B XI	B XII	B XIII	B XIV	B XV	B XVI
I	1	H 1.00795 водород															He 4.00260 гелий
II	2	Li 6.941 литий	Be 9.01218 бериллий	B 10.811 бор	C 12.0107 углерод	N 14.0064 азот	O 15.9994 кислород	F 18.9984 фтор									Ne 20.1797 неон
III	3	Na 22.98977 натрий	Mg 24.304 магний	Al 26.98154 алюминий	Si 28.0855 кремний	P 30.97376 фосфор	S 32.06 сера	Cl 35.453 хлор									Ar 39.948 аргон
IV	4	K 39.0983 калий	Ca 40.078 кальций	Sc 44.9559 скандий	Ti 47.88 титан	V 50.9415 ванадий	Cr 51.9961 хром	Mn 54.9380 марганец									Fe 55.845 железо
	5	Cu 63.546 медь	Zn 65.38 цинк	Ga 69.723 галлий	Ge 72.6308 германий	As 74.9216 мышьяк	Se 78.96 селен	Br 79.904 бром									Kr 83.798 криpton
	6	Rb 85.4678 рубидий	Sr 87.62 стронций	Y 88.9058 иттрий	Zr 91.224 зирконий	Nb 92.9064 ниобий	Mo 95.94 молибден	Tc 98.9062 технеций									Xe 131.29 ксенон
V	7	Ag 107.8682 серебро	Cd 112.411 кадмий	In 114.818 индий	Sn 118.710 олово	Sb 121.757 сурьма	Te 127.60 теллур	I 126.9054 йод									Ba 137.327 барий

Рисунок 28 - Неорганические полупроводники в таблице Менделеева

В настоящее время ни один класс материалов не влияет на развитие техники, как полупроводники. В то же время массовое применение находят несколько десятков полупроводниковых материалов, таких как кремний, германий, соединения  $A^{III}B^V$ ,  $A^{IV}B^{VI}$ , твердые растворы КРТ (кадмий-ртуть-теллур), СОТ (свинец-олово-теллур) и некоторые другие. Управляемость электропроводностью полупроводников температурой, светом, электрическим полем, механическими усилиями положена соответственно в основу принципа действия терморезисторов (термисторов), фоторезисторов, нелинейных резисторов (варисторов), тензорезисторов и т.д. Используемые в практике полупроводниковые материалы могут быть подразделены на простые полупроводники (элементы); полупроводниковые химические соединения и полупроводниковые комплексы (например, керамические полупроводники); стеклообразные и жидкие полупроводники.

Классификация полупроводников по составу и свойствам представлены на рисунке 29.



Рисунок 29- Классификация полупроводниковых материалов по составу и свойствам

Полупроводники обладают собственной и примесной проводимостью. *Собственной проводимостью* называют полупроводники, не содержащие примеси. (Рисунок 30).

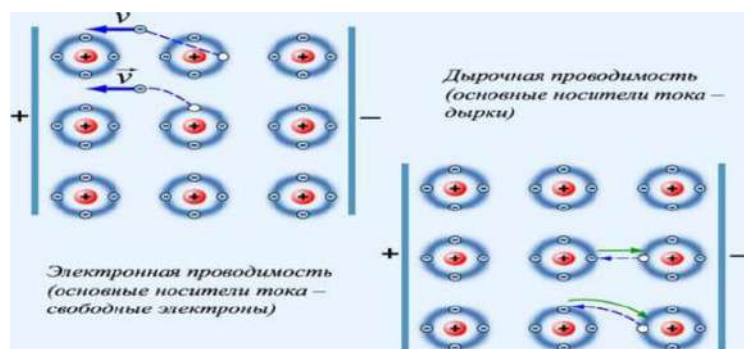


Рисунок 30- Собственная проводимость полупроводников

Наличие у проводников двух типов электропроводности – «электронной» (**n**) и «дырочной» (**p**) позволяет получить полупроводниковые изделия с **p-n**-переходом. При существовании в полупроводнике **p-n**-перехода возникает запрещающий слой, которым обуславливается выпрямительный эффект для переменного тока.

*Примесная проводимость полупроводников* – электрическая проводимость, обусловленная наличием в полупроводнике донорных или акцепторных примесей. На поведение примесных атомов влияет их валентность.

Примеси, поставляющие электроны в зону проводимости, занимают уровни в запретной зоне вблизи дна зоны проводимости. Они называются донорными. Примеси, захватывающие электроны из валентной зоны, располагаются на уровнях в запретной зоне вблизи потолка валентной зоны и называются акцепторными (Рисунок 31). Для полупроводников 4-й группы (Si, Ge) донорные примеси это некоторые элементы 5-й группы (P, As), акцепторные – некоторые элементы 3-й группы (B, Al, Ga)

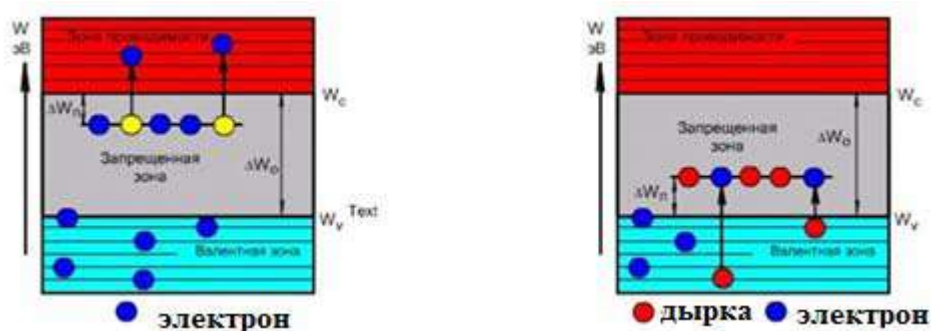


Рисунок 31- Энергетические диаграммы полупроводников, содержащих донорные – а) и акцепторные – б) примеси

В примесном полупроводнике взаимосвязь между количеством электронов и дырок подчиняется закону действующих масс:

$$n \cdot p = n_i^2, \quad (4.1)$$

где  $n_i$  - собственная концентрация.

Таким образом, чем больше вводится электронов, тем меньше концентрация дырок.

Наличие двух и более взаимно связанных переходов позволяет получить управляемые системы – *транзисторы*.

На использовании возможностей р-п-переходов основаны важнейшие применения полупроводников в электротехнике:

- мощных и маломощных выпрямителей,
- усилителей,
- генераторов.

Полупроводниковые системы могут быть использованы для преобразования различных видов энергии в энергию электрического тока с такими значениями коэффициента преобразования, которые делают их сравнимыми с существующими преобразователями других типов, а иногда и превосходящими их. Примерами полупроводниковых преобразователей могут служить солнечные батареи (с КПД порядка 11%). При помощи полупроводников можно получить и охлаждение на несколько десятков градусов.

Изготовленные из полупроводниковых материалов приборы обладают целым рядом преимуществ, к ним относятся:

- 1) большой срок службы;
- 2) малые габариты и вес;
- 3) простота и надежность конструкции, большая механическая прочность (не боятся тряски и ударов);
- 4) не имеют цепей накала, полупроводниковые приборы, заменяющие электронные лампы,
- 5) потребление незначительной мощности и наличие малой инерционности;

6) 5) экономически выгодны.

**Примечание.** В некоторых модификациях свойствами полупроводников обладают еще олово (серое), сурьма и углерод.

**Выполните задания**

1. Составьте опорный конспект изученной темы. Приведите примеры применения полупроводников в энергетической отрасли и в электронной промышленности.

2. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Брейн-ринг», «Стань миллионером» и т.д.) и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников.

3. Заполните таблицу 8 простых электронных полупроводников. Переведите на казахский и английский языки колонки таблицы по горизонтали и вертикали.

Таблица 8. Простые электронные полупроводники

Элемент	Группа в таблице Менделеева	Ширина запрещенной зоны, эВ	Элемент	Группа в таблице Менделеева	Ширина запрещенной зоны, эВ
Бор В					
Кремний Si					
Германий Ge					
Фосфор Р					
Йод I					

4. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Материалы, по своей удельной проводимости занимающие промежуточное место между проводниками и диэлектриками, называются:**

- А) изоляторы;
- В) полупроводники;
- С) аморфные тела;
- Д) изотропные вещества;
- Е) электроизоляционные материалы.

**2. Используемые в практике полупроводниковые материалы могут быть подразделены на:**

- А) химические соединения, комплексы, стеклообразные и жидкие полупроводники;
- В) простые, химические соединения, стеклообразные и жидкие полупроводники;
- С) простые, комплексы, стеклообразные и жидкие полупроводники;
- Д) простые, химические соединения, комплексы, стеклообразные и жидкие полупроводники;

Е) простые, химические соединения и комплексы.

**3. Проводимость полупроводников, не содержащей примесей, называется проводимостью:**

- А) р-п перехода;
- В) донорной;
- С) акцепторной;
- Д) примесной;
- Е) собственной.

**4. При существовании в полупроводнике р-п-перехода возникает:**

- А) туннельный пробой;
- В) уровневый эффект;
- С) валентный слой;
- Д) запирающий слой;
- Е) ионный пробой.

**5. Проводимость полупроводника, электрофизические свойства которого определяют различные примеси, называется:**

- А) р-п перехода;
- В) донорной;
- С) акцепторной;
- Д) примесной;
- Е) собственной.

**6. На поведение примесных атомов влияет их:**

- А) вид соединения;
- В) порядковый номер;
- С) валентность;
- Д) электронное состояние;
- Е) химическое соединение.

**7. Примеси, поставляющие электроны в зону проводимости называются:**

- А) n-р проводимостью;
- В) р-п проводимостью;
- С) электронными;
- Д) акцепторными;
- Е) донорными.

**8. Примеси, захватывающие электроны из валентной зоны, называются:**

- А) n-р проводимостью;
- В) р-п проводимостью;



- С) электронными;
- Д) акцепторными;
- Е) донорными.

**9. Наличие двух и более взаимно связанных переходов позволяет получить управляемые системы:**

- А) транзисторы;
- В) фоторезисторы;
- С) термисторы;
- Д) диоды;
- Е) катоды.

**10. Полупроводниковые приборы, заменяющие электронные лампы, не имеют цепей накала, потребляют незначительную мощность и обладают малой:**

- А) энергией;
- В) частотой;
- С) инерционностью;
- Д) массой;
- Е) формой.

#### **4.2 Простые и сложные полупроводники**

Полупроводники бывают простые и сложные.

Полупроводники называют *простыми*, если основной состав образован атомами одного химического элемента (германий, кремний, селен, теллур).

Полупроводники называют *сложными*, если основной его состав образован атомами двух или большего числа химических элементов.

К простым полупроводниковым материалам относят 12 элементов Bi, C (алмаз), Si, Ge, Sn, P, As, Sb, S, Se, Te, I. Наибольшее распространение получили кремний и германий [26,37]. Простые полупроводники обладают ковалентной связью. Германий и кремний - элементы IV группы, имеют кристаллическую решетку алмаза с ковалентным типом межатомной связи. Они имеют структуру алмаза, в которой каждый атом окружен четырьмя соединениями, образуя с ними ковалентную связь. В полупроводниках свободных электронов немного, т.к. валентные электроны связаны со своими атомами и участвуют в образовании ковалентных связей в кристаллической решетке с другими атомами, а также под влиянием внешних воздействий: нагревания, облучения, давления или при введении некоторых примесей.

*Соединения  $A^{III}B^V$*  являются ближайшими аналогами кремния и германия. *Соединения  $A^{III}B^V$*  образуются в результате взаимодействия элементов III подгруппы таблицы Менделеева (бор, алюминий, галлий, индий) с элементами V подгруппы (азот, фосфор, мышьяк, сурьма), которые соответственно называются нитриды, фосфида, арсениды и антимониды. Среди соединений  $A^{III}B^V$  особое положение занимает арсенид галлия (GaAs).

У него ширина запрещенной зоны превышает ширину запрещенной зоны германия и кремния, но ещё не очень велика (1,43эВ). Полупроводниковые приборы из арсенида галлия по частотному пределу превосходят германиевые, а по максимальной рабочей температуре (до 450 °С) – кремниевые.

Соединения  $A^{II}B^{VI}$  образуются в результате взаимодействия элементов II подгруппы (цинк, кадмий, ртуть, медь, висмут) с элементами VI подгруппы (сера, селен, теллур, кислород), которые соответственно называются сульфиды, селениды, теллуриды, оксиды[37]. Технология изготовления полупроводниковых соединений  $A^{II}B^{VI}$  разработана гораздо менее полно. Это связано с тем, что они обладают высокими температурами плавления. Обычно их выращивают в запаянных кварцевых ампулах.

Сложные полупроводники состоят из атомов двух или большего числа химических элементов. К сложным полупроводникам относятся соединения элементов IV группы периодической системы элементов Д. И. Менделеева (А В) - карбид кремния, соединения элементов III и V групп ( $A^{III}B^V$ ), соединения с серой, селеном и теллуром (халькогениды), окислы некоторых металлов, многие двойные, тройные и четверные сплавы и твердые растворы, а также другие, более сложные соединения (Рисунок 32).

Группа	IIВ	IIIА	IVА	VA	VIA
Период					
2		5 В	6 С	7 N	
3		13 Al	14 Si	15 P	16 S
4	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se
5	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te
6	80 Hg				

Рисунок 32–Фрагмент сложных полупроводников из таблицы Менделеева

Структура сложных полупроводников образована атомами различных химических элементов. Наиболее широкое применение нашли неорганические кристаллические полупроводники, например, карбид кремния – двойное соединение элементов 4 группы Периодической системы Менделеева углерода и кремния. Исходными материалами для его получения является кварцевый песок и кокс [26,28]. Для получения полупроводников с электропроводностью n-типа (донорная проводимость, возникающая за счет электронов) карбид кремния легируют фосфором, сурьмой или висмутом, т.е. элементами пятой группы. Такие материалы имеют темно-зеленую окраску. Кристаллы карбида кремния с дырочной проводимостью p-типа выращивают при легировании элементами 2 группы (бор, алюминий, галлий, индий) и 3 группы (кальций, магний).

Сложные полупроводники типа выпускаются промышленностью в широком ассортименте. Для характеристики отдельных марок полупроводников используются буквенно-цифровые обозначения. Первыми двумя буквами обозначается собственно полупроводник: АГ - арсенид галлия,

**ФГ** - фосфид галлия, **ГС** - антимонид галлия, **ИМ** - арсенид индия, **ФИ** - фосфид индия, **ИС** - антимонид индия. Справа добавляется буква, обозначающая тип электропроводимости: **Э** - электронный, **Д** - дырочный.

Для многих *сложных полупроводников* не известны данные, необходимые для расчета концентраций примеси, создающей глубокие уровни (положение энергетических уровней, эффективные плотности состояний и др.) и компенсирующей ее простой донорной или акцепторной примеси. Тогда концентрацию такой примеси, необходимой для создания в монокристалле полупроводника требуемых свойств, например, удельного электрического сопротивления, определяют экспериментально.

**Применение.** Важнейшая область применения полупроводниковых материалов – микроэлектроника. Полупроводниковые материалы составляют основу современных больших и сверхбольших интегральных схем, которые делают главным образом на основе Si. Дальнейший прогресс в повышении быстродействия и в снижении потребляемой мощности связан с созданием интегральных схем на основе GaAs, InP и их твердых растворов с др. соединениями типа  $A^{III}B^V$ .

В больших масштабах используют полупроводниковые материалы для изготовления «силовых» полупроводниковых приборов (клапаны, тиристоры, мощные транзисторы) [28,41]. Здесь также основным материалом является Si, а дальнейшее продвижение в область более высоких рабочих температур связано с применением GaAs, SiC и др. широкозонных полупроводниковых материалов.

С каждым годом расширяется применение полупроводниковых материалов в солнечной энергетике. Основными полупроводниковыми материалами для изготовления являются Si, GaAs, гетероструктуры  $Ga_xAl_{1-x}As/GaAs$ ,  $Cu_2S/CdS$ ,  $\alpha-Si:H$ , гетероструктуры  $Ga_xAl_{1-x}As/GaAs$ ,  $Cu_2S/CdS$ ,  $\alpha-Si:H$ , гетероструктуры  $\alpha-Si:H/\alpha-Si_xC_{1-x}:H$ . С применением в солнечных батареях некристаллических гидрированных полупроводниковых материалов связаны перспективы резкого снижения стоимости солнечных батарей [35]. Полупроводниковые материалы используют для создания полупроводниковых лазеров и светодиодов.

### **Выполните задания**

1. Заполните таблицу 9 «Основные свойства полупроводниковых материалов». Выполните перевод основных названий и понятий на казахский и английский языки.

Таблица 9. Основные свойства полупроводниковых материалов

Свойства	Германий	Кремний	Селен	Карбид кремния
Плотность, (кг/м <sup>3</sup> )				
Рабочие температуры, (°C)				
Температура плавления, (°C)				

Ширина запрещенной зоны, (эВ)				
Удельное электрическое сопротивление, (Ом·м)				
Химическая стойкость				
Достоинства				
Недостатки				
Область применения				

2. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Своя игра», «Поле чудес» и т.д.) и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников.

3. Изучите свойства и применение сложных полупроводников. Выберите один из сложных полупроводников и выдвиньте гипотезу о возможных способах его применения, обоснуйте свою гипотезу.

4. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Полупроводники, основной состав которых образован атомами одного химического элемента, называются:**

- А) сложными;
- В) простыми;
- С) не простыми;
- Д) сложными или простыми;
- Е) одинарными.

**2. Полупроводник, основной состав которого образован атомами двух или большего числа химических элементов, называют:**

- А) сложным;
- В) простым;
- С) не простым;
- Д) сложным или простым;
- Е) одинарным.

**3. К простым полупроводникам относятся следующие 12 элементов:**

- А) Bi, C, Si, Ge, Sn, P, As, Sb, Cu, Se, Te, I;
- В) Bi, C, Si, Ge, Sn, P, Al, Sb, S, Se, Te, I;
- С) Bi, C, Si, Be, Sn, P, As, Sb, S, Se, Te, I;
- Д) Bi, C, Si, Ge, Sn, P, As, Sb, Cl, Se, Te, I;
- Е) Bi, C, Si, Ge, Sn, P, As, Sb, S, Se, Te, I.

**4. Химическая связь простых полупроводников:**

- А) металлическая;
- В) водородная;
- С) ионная;
- Д) ковалентная;
- Е) смешанная;

**5. Кремний и германий имеют структуру алмаза, в которой каждый атом окружен четырьмя соединениями, образуя с ними связь:**

- A) металлическую;
- B) водородную;
- C) ионную;
- D) ковалентную;
- E) смешанную;

**6. В периодической системе элементов Д. И. Менделеева к сложным полупроводникам относятся соединения элементов группы:**

- A) V;
- B) II;
- C) IV;
- D) VI;I
- E) VI.

**7. Для характеристики отдельных марок сложных полупроводников используются обозначения:**

- A) цифровые;
- B) буквенные;
- C) буквенные и цифровые;
- D) буквенные или цифровые;
- E) буквенно-цифровые.

**8. Буквами ИС обозначают полупроводник:**

- A) арсенид индия;
- B) антимонид индия;
- C) фосфид индия;
- D) антимонид галлия;
- E) арсенид галлия.

**9. Обозначение полупроводника первыми двумя буквами ИС означает:**

- A) арсенид индия;
- B) антимонид индия;
- C) фосфид индия;
- D) антимонид галлия;
- E) арсенид галлия.

**10. Обозначение полупроводника первыми двумя буквами ГС означает:**

- A) арсенид индия;
- B) антимонид индия;
- C) фосфид индия;

- D) антимонид галлия;
- E) арсенид галлия.

## ГЛАВА V МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 5.1 Основные характеристики магнитных материалов

Все вещества в природе являются магнетиками и обладают магнитными свойствами и определенным образом взаимодействуют с внешним магнитным полем [39].

*Магнитными* называют материалы, применяемые в технике с учетом их магнитных свойств (Рисунок 33). Магнитные свойства вещества зависят от магнитных свойств микрочастиц, структуры атомов и молекул.



Рисунок 33- Магнитные материалы

*Ферромагнетик* – это железо, никель, кобальт или другое вещество, которое имеет высокую магнитную проницаемость.

*Магнитная проницаемость* – это физическая величина, характеризующая связь между магнитной индукцией  $B$  и магнитным полем  $H$  в веществе [21,23].

*Магнитная индукция  $B$*  – это векторная величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля (его действия на заряженные частицы) в данной точке пространства (Рисунок 34).

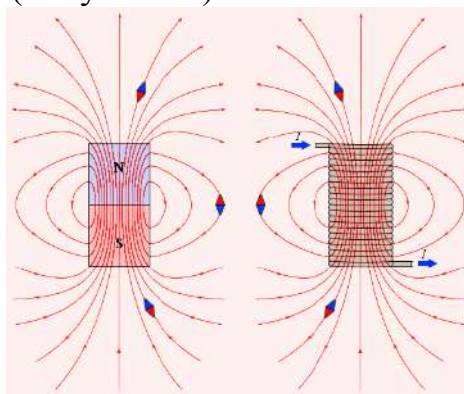


Рисунок 34- Линии магнитной индукции полей постоянного магнита

**Классификация магнитных материалов.** Магнитные материалы делят на слабомагнитные и сильномагнитные.

К *слабомагнитным* относят диамагнетики и парамагнетики.

К *сильномагнитным* относят ферромагнетики, которые, в свою очередь, могут быть магнитомягкими и магнитотвердыми. Формально отличие магнитных свойств материалов можно охарактеризовать *относительной магнитной проницаемостью* [37].

*Диамагнетиками* называют материалы, атомы (ионы) которых не обладают результирующим магнитным моментом. Внешне диамагнетики проявляют себя тем, что выталкиваются из магнитного поля. К ним относят цинк, медь, золото, ртуть и другие материалы [21,42].

*Парамагнетиками* называют материалы, атомы (ионы) которых обладают результирующим магнитным моментом, не зависящим от внешнего магнитного поля. Внешне парамагнетики проявляют себя тем, что втягиваются в неоднородное магнитное поле. К ним относят алюминий, платину, никель и другие материалы.

*Ферромагнетиками* называют материалы, в которых собственное (внутреннее) магнитное поле может в сотни и тысячи раз превышать вызвавшее его внешнее магнитное поле [21].

Любое ферромагнитное тело разбито на домены – малые области самопроизвольной (спонтанной) намагниченности. В отсутствие внешнего магнитного поля, направления векторов намагниченности различных доменов не совпадают, и результирующая намагниченность всего тела может быть равна нулю.

Существует три типа процессов намагничивания ферромагнетиков [26]:

1. Процесс обратимого смещения магнитных доменов. В данном случае происходит смещение границ доменов, ориентированных наиболее близко к направлению внешнего поля. При снятии поля домены смещаются в обратном направлении. Область обратимого смещения доменов расположена начальном участке кривой намагничивания.

2. Процесс необратимого смещения магнитных доменов. В данном случае смещение границ между магнитными доменами не снимается при снижении магнитного поля. Исходные положения доменов могут быть достигнуты в процессе перемагничивания.

Необратимое смещение границ доменов приводит к появлению магнитного гистерезиса – отставанию магнитной индукции от напряженности поля.

3. Процессы вращения доменов. В данном случае завершение процессов смещения границ доменов приводит к техническому насыщению материала. В области насыщения все домены поворачиваются по направлению поля. Петля гистерезиса, достигающая области насыщения называется предельной (Рисунок 35).

Предельная петля гистерезиса имеет следующие характеристики:  $B_{\max}$  – индукция насыщения;  $B_r$  – остаточная индукция;  $H_c$  - задерживающая (коэрцитивная) сила.

Материалы с малыми значениями  $H_c$  (узкой петлей гистерезиса) и большой магнитной проницаемостью называются магнитомягкими.



Материалы с большими значениями  $H_c$  (широкой петлей гистерезиса) и низкой магнитной проницаемостью называются магнитотвердыми.

При перемагничивании ферромагнетика в переменных магнитных полях всегда наблюдаются тепловые потери энергии, то есть материал нагревается. Эти потери обусловлены потерями на гистерезис и потерями на вихревые токи.

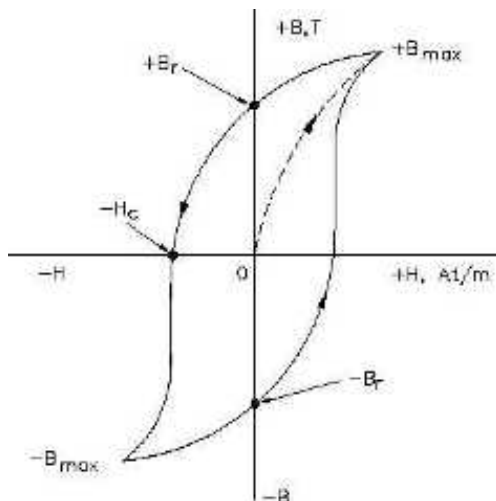


Рисунок 35- Петля гистерезиса

Потери на гистерезис пропорциональны площади петли гистерезиса. Потери на вихревые токи зависят от электрического сопротивления ферромагнетика. Чем выше сопротивление – тем меньше потери на вихревые токи [25,28]. На рисунке 36 представлены детали электрооборудования, обладающие магнитными свойствами.



Рисунок 36 – Детали электрооборудования, обладающие магнитными свойствами

### **Выполните задания**

1. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Своя игра») и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников.

2. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Магнитными материалами называют:**

- А) материалы, применяемые в технике с учетом их магнитных свойств;
- В) физическую величину, характеризующую связь между магнитной индукцией  $B$  и магнитным полем  $H$  в веществе;
- С) вектор магнитной индукции  $B$ ;
- Д) материалы, атомы (ионы) которых не обладают результирующим магнитным моментом.
- Е) материалы, атомы (ионы) которых обладают результирующим магнитным моментом, не зависящим от внешнего магнитного поля.

**2. Магнитная проницаемость - это**

- А) материалы, применяемые в технике с учетом их магнитных свойств;
- В) физическая величина, характеризующая связь между магнитной индукцией  $B$  и магнитным полем  $H$  в веществе;
- С) вектор магнитной индукции  $B$ ;
- Д) материалы, атомы (ионы) которых не обладают результирующим магнитным моментом.
- Е) материалы, атомы (ионы) которых обладают результирующим магнитным моментом, не зависящим от внешнего магнитного поля.

**3. Магнитная индукция - это:**

- А) материалы, применяемые в технике с учетом их магнитных свойств;
- В) физическая величина, характеризующая связь между магнитной индукцией  $B$  и магнитным полем  $H$  в веществе;
- С) вектор магнитной индукции  $B$ , основная характеристика магнитного поля;
- Д) материалы, атомы (ионы) которых не обладают результирующим магнитным моментом;
- Е) материалы, атомы (ионы) которых обладают результирующим магнитным моментом, не зависящим от внешнего магнитного поля.

**4. Диамагнетиками называют:**

- А) материалы, применяемые в технике с учетом их магнитных свойств;
- В) физическую величину, характеризующую связь между магнитной индукцией  $B$  и магнитным полем  $H$  в веществе;
- С) вектор магнитной индукции  $B$ ;
- Д) материалы, атомы (ионы) которых не обладают результирующим магнитным моментом;
- Е) материалы, атомы (ионы) которых обладают результирующим магнитным моментом, не зависящим от внешнего магнитного поля.

**5. Парамагнетиками называют:**

- А) материалы, применяемые в технике с учетом их магнитных свойств;
- В) физическую величину, характеризующую связь между магнитной индукцией  $B$  и магнитным полем  $H$  в веществе;
- С) вектор магнитной индукции  $B$ ;
- Д) материалы, атомы (ионы) которых не обладают результирующим магнитным моментом;
- Е) материалы, атомы (ионы) которых обладают результирующим магнитным моментом, не зависящим от внешнего магнитного поля.

**6. Ферромагнетиками называют:**

- А) материалы, применяемые в технике с учетом их магнитных свойств;
- В) физическую величину, характеризующую связь между магнитной индукцией  $B$  и магнитным полем  $H$  в веществе;
- С) материалы, в которых собственное (внутреннее) магнитное поле может в сотни и тысячи раз превышать вызвавшее его внешнее магнитное поле;
- Д) материалы, атомы (ионы) которых не обладают результирующим магнитным моментом;
- Е) материалы, атомы (ионы) которых обладают результирующим магнитным моментом, не зависящим от внешнего магнитного поля.

**7. Чем выше сопротивление – тем меньше потери вихревого:**

- А) тока;
- В) напряжения;
- С) сопротивления;
- Д) поля;
- Е) потока.

**8. При перемагничивании ферромагнетика в переменных магнитных полях всегда наблюдаются тепловые потери:**

- А) тока;
- В) энергии;
- С) напряжения;
- Д) мощности;
- Е) потока.

**9. Количество типов процессов намагничивания ферромагнетиков:**

- А) 1;
- В) 2;
- С) 3;
- Д) 4;
- Е) 5.

## 10. Потери на вихревые токи зависят от:

- А) электрического сопротивления ферромагнетика;
- В) воздуха;
- С) напряженности магнитного поля;
- Д) магнитной проницаемости;
- Е) кислорода.

## 5.2 Магнитомягкие и магнитотвердые материалы

Магнитные материалы делятся: магнитомягкие материалы; магнитотвердые материалы и магнитные материалы специального назначения.

*Магнитомягкие материалы* – это материалы, обладающие свойствами ферромагнетика [26]. *Магнитомягкие материалы* обладают высокой магнитной проницаемостью, небольшой коэрцитивной силой и малыми потерями на гистерезис [28].

*Коэрцитивная сила* - это напряженность магнитного поля, вызывающая магнитную индукцию ферромагнетика, равную нулю, в условиях циклического перемагничивания.

*Гистерезис* - это явление, которое состоит в том, что намагниченность тела зависит от магнитного поля (Рисунок 37).

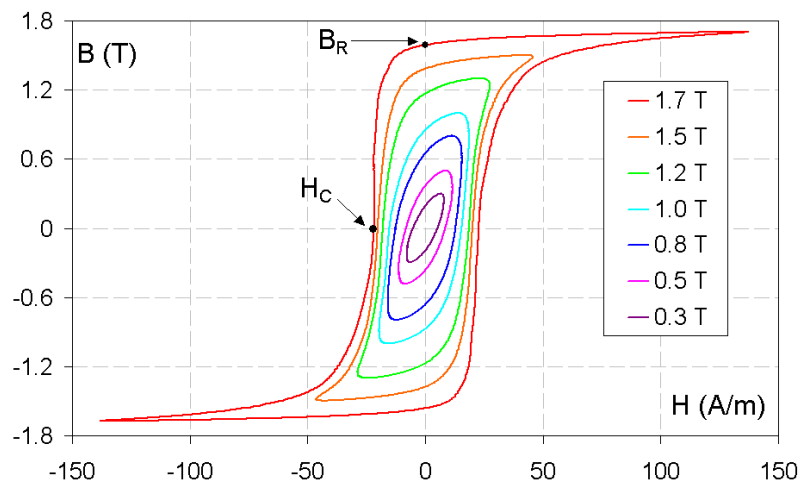


Рисунок 37-Петли магнитного гистерезиса

К магнитомягким материалам относятся [23,26]:

1. технически чистое железо (электротехническая низкоуглеродистая сталь);
2. электротехнические кремнистые стали;
3. железоникелевые и железокобальтовые сплавы;
4. магнитомягкие ферриты (ферритовые сердечники).

Магнитомягкие материалы используются в качестве сердечников трансформаторов, электромагнитов, в измерительных приборах генераторов, электродвигателей, дросселей, стабилизаторов, реле и т.д. Магнитомягкие, т.е.

легко намагничивающиеся материалы имеют узкую петлю гистерезиса небольшой площади при высоких значениях индукции. Материалы этого типа с округлой петлей гистерезиса применяют для работы в низкочастотных магнитных полях. Магнитомягкие материалы с прямоугольной петлей гистерезиса используют в импульсных устройствах магнитной памяти.

***Свойства магнитомягких материалов [38]:***

1. Малое значение коэрцитивной силы (то есть размагничивание происходит медленно).
2. Способность намагничиваться до насыщения даже в слабых полях. То есть там существует высокая магнитная проницаемость.
3. Малые потери на перемагничивание.

*Магнитная проницаемость  $\mu$*  - это величина, характеризующая магнитные свойства материала.

*Перемагничивание* – это изменение направления намагниченности ферро или ферритмагнитного образца на противоположное под действием внешнего магнитного поля.

*Магнитотвердые материалы* – это материалы для постоянных магнитов, использующихся в электродвигателях и других электротехнических устройствах, в которых требуется постоянное магнитное поле.

Магнитотвердые материалы обладают большой удельной энергией. Эта энергия пропорциональна произведению остаточной индукции на величину коэрцитивной силы. Магнитотвердые материалы намагничиваются с трудом, но способны длительное время сохранять сообщенную им энергию. Для них характерна широкая петля гистерезиса большой площади.

*Магнитотвердые материалы* (магнито жесткие материалы) намагничиваются до насыщения и перемагничиваются в сравнительно сильных магнитных полях напряженностью в тысячи и десятки тысяч А/м. Характеризуются высокими значениями коэрцитивной силы.

***Классификация магнитотвердых материалов [27,28]:***

1. *Литые магнитотвердые материалы* на основе сплавов Fe-Ni-Al (используются для изготовления постоянных магнитов).

2. *Порошковые магнитотвердые материалы*, получаемые путем прессования порошков с последующей термообработкой (используются для изготовления постоянных магнитов сложной формы).

3. ***Магнитотвердые ферриты.*** Ферриты являются химическим соединением оксида железа  $Fe_2O_3$  с оксидами двухвалентных металлов, например, Cu, Zn, Mg, Ni, Fe, Co и Mn.

*Ферриты* представляют собой магнитную керамику с большим удельным сопротивлением, в 1010 раз превышающим сопротивление железа. Промышленные магнитомягкие ферриты — это в основном поликристаллические материалы, синтезируемые по керамической технологии. Ферриты применяют в высокочастотных цепях, так как их магнитная проницаемость практически не снижается с увеличением частоты. Наибольшее применение имеют марганец-цинковые (низкочастотные) и

никель-цинковые (высокочастотные) ферриты. Удельное сопротивление ферритов в  $10^6 - 10^{13}$  раз больше удельного сопротивления металлических материалов, а потери на вихревые токи соответственно меньше. Это позволяет использовать ферриты при изготовлении изделий, предназначенных для работы в областях звуковых и радиочастот.

Недостатком ферритов является их низкая индукция насыщения и низкая механическая прочность. Поэтому ферриты применяют, как правило, в низковольтной электронике.

*Основными характеристиками магнитотвердых материалов являются [8,21]:*

- коэрцитивная сила  $H_c$ ;
- остаточная индукция  $B_r$ ;
- максимальная удельная энергия, отдаваемая магнитом во внешнее пространство  $W_a$ .

Магнитотвердые материалы перемангничиваются только в очень сильных магнитных полях и служат в основном для изготовления постоянных магнитов. Магнитотвердые материалы используют в электродвигателях и других электротехнических устройствах, в которых требуется постоянное магнитное поле.

*К магнитотвердым материалам относят [40]:*

1. Литые магнитотвердые материалы на основе сплавов Fe-Ni-Al.
2. Порошковые магнитотвердые материалы, получаемые путем прессования порошков с последующей термообработкой.
3. Магнитотвердые ферриты.

*Магнитные материалы специального назначения* – это магнитные материалы, имеющие узкие области применения, благодаря высоким значениям одного, иногда двух параметров [44].

К магнитным материалам специального назначения относят:

- магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса;
- СВЧ- ферриты;
- магнитострикционные материалы.

#### **1. Магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса.**

Сердечники из материала с прямоугольной петлей гистерезиса имеют два устойчивых магнитных состояния, которые соответствуют различным направлениям магнитной индукции. Это свойство используется для хранения и переработки двоичной информации. Магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса (**ППГ**) находят широкое применение в устройствах автоматики, вычислительной техники, в аппаратуре телеграфной связи.

**2. СВЧ - ферриты** - это неметаллические твёрдые магнитные материалы. Магнитными характеристиками ферритов можно управлять с помощью внешнего магнитного поля. В СВЧ-технике используют ряд эффектов, основанных на взаимодействии электромагнитной волны с магнитными моментами атомов (ионов) СВЧ ферритов [39,40]..

В качестве ферритов СВЧ используются магний-марганцевые ферриты с большим содержанием оксида магния, литий-цинковые ферриты, никель-цинковые ферриты и ферриты сложного состава.

3. *Магнитострикционные материалы* – это ферромагнитные металлы и сплавы, а также ферриты, у которых происходит изменение формы и размеров при намагничивании [42,44].

Магнитострикционные материалы применяют:

- для изготовления сердечников электромеханических преобразователей в электроакустической и ультразвуковой технике;
- для сердечников электромеханических и магнитострикционных фильтров;
- для резонаторов и линий задержек.

Магнитные свойства низкоуглеродистой стали (технически чистого железа) зависят от содержания примесей, искажения кристаллической решетки из-за деформации, величины зерна и термической обработки. По причине низкого удельного сопротивления технически чистое железо в электротехнике используется довольно редко, в основном для магнитопроводов постоянного магнитного потока.

Электротехническая кремнистая сталь является основным магнитным материалом массового потребления. Это сплав железа с кремнием. Легирование кремнием позволяет уменьшить коэрцитивную силу и увеличить удельное сопротивление, то есть снизить потери на вихревые токи.

Листовая электротехническая сталь, поставляемая в отдельных листах или рулонах, и ленточная сталь, поставляемая только в рулонах – являются полуфабрикатами, предназначенными для изготовления магнитопроводов (сердечников).

Магнитопроводы формируют либо из отдельных пластин, получаемых штамповкой или резкой, либо навивкой из лент.

Железоникелевые сплавы называют *пермаллоями*. Они обладают большой начальной магнитной проницаемостью в области слабых магнитных полей. Пермаллои применяют для сердечников малогабаритных силовых трансформаторов, дросселей и реле.

### ***Выполните задания***

1. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Своя игра») и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников.

2. Определите начальные данные для выполнения расчетного задания. Для заданного материала (марки феррита) по справочным данным определите соответствующие значения величины относительной магнитной проницаемости при температурах  $T_1$  и  $T_2$ , а также величину геометрической индуктивности и индуктивности катушки для температур  $T_1$  и  $T_2$ . При расчете все геометрические параметры представьте в системе СИ [46].

Таблица 10- Исходные данные

№, ВАр.	Марка феррита	n	D×d×h (мм)	T <sub>1</sub>	ос	T <sub>2</sub>	ос
1	2	3	4	5		6	
1	100 НН	40	17x10x6,5	– 20		+ 50	
2	400 НН	50	20x12x6,5	– 10		+ 40	
3	400 НН1	60	15x7x4,8		0	+ 50	
4	600 НН	70	24x13x7	+ 10		+ 40	
5	1000 НН	80	27x15x6	– 30		+ 20	
6	2000 НН	90	36x25x9,7	– 40		+ 40	
7	1000 НМ	100	44x28x10,3	– 20		+ 40	
8	1500 НМ	110	44x28x7,2	– 50		+ 50	
9	2000НМ	120	64x40x14	– 30		+ 40	
10	3000 НМ	130	55x32x8,2	– 20		+ 50	
11	100 ВН	140	55x32x9,7	– 10		+ 50	
12	150 ВН	150	64x40x9,7	– 20		+ 40	
13	700 НМ	160	40x25x7,5	– 30		+ 50	
14	1000 НМ3	170	32x16x12	– 20		+ 50	
15	2000 НМ1	145	28x16x9		0	+110	
16	3000 НМ	200	125x80x8	– 25		+95	
17	4000 НМ	95	10x6x3	–37		+88	
18	50 ВН	105	15x5x5,5	– 43		65	
19	30 ВН	98	10x6x4,5	– 32		+75	
20	20 ВН	77	10x6x3	– 41		+77	
21	6000 НМ	85	12x5x5,5	– 27		+107	
22	1500 НМ3	135	20x10x5	– 31		+68	
23	300 ННИ	43	10x5x2,5	– 40		+120	
24	300 ННИ1	23	7x4x2	– 30		+130	
25	350 ННИ	31	10x6x2	– 20		+128	
26	450 ННИ	120	20x10x5	– 10		110	
27	1000 ННИ	73	20x10x7,5	– 27		125	
28	1100 ННИ	95	16x10x4,5	– 25		+115	
29	1100 НМИ	130	20x12x6	– 28		+32	
30	10 ВНП	25	7x4x1,5	– 29		+38	
31	35 ВНП	72	12x5x5,5		0	+48	
32	55 ВНП	110	20x10x5	– 48		+35	
33	60 ВНП	37	10x6x2	– 15		+135	
34	65 ВНП	28	5x3x1	– 17		+45	
35	7 ВН	44	7x4x2,5	– 12		+49	

3. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Напряженность магнитного поля, вызывающая магнитную индукцию ферромагнетика, равную нулю, в условиях циклического перемагничивания, называется силой:**

- А) коэрцитивной;
- В) магнитной;
- С) электрической;
- Д) электродинамической;



Е) корреляционной.

**2. Магнитно-твердые материалы применяют для изготовления:**

- А) магнитопроводов токов высокой частоты;
- В) электромагнитов;
- С) постоянных магнитов;
- Д) магнитопроводов постоянного тока;
- Е) магнитопроводов слабо пульсирующего тока.

**3. Явление, показывающее зависимость намагниченности в магнитном поле, называется:**

- А) диамагнитом;
- В) гистерезисом;
- С) дистерезисом;
- Д) намагничиванием;
- Е) сверхмагнитом.

**4. Материалы для постоянных магнитов, использующиеся в электродвигателях и других электротехнических устройствах, в которых требуется постоянное магнитное поле, называются:**

- А) СВЧ ферритами;
- В) ферритами;
- С) магнитотвердыми материалами;
- Д) магнитными материалами специального назначения;
- Е) магнитострикционными материалами.

**5. Магнитную керамику с большим удельным сопротивлением, в 1010 раз превышающим сопротивление железа, называют:**

- А) СВЧ ферритами;
- В) ферритами;
- С) магнитотвердыми материалами;
- Д) магнитными материалами специального назначения;
- Е) магнитострикционными материалами.

**6. Магнитные материалы, имеющие узкие области применения, благодаря высоким значениям одного, иногда двух параметров, называют:**

- А) СВЧ ферритами;
- В) ферритами;
- С) магнитотвердыми материалами;
- Д) магнитными материалами специального назначения;
- Е) магнитострикционными материалами.

**7. Неметаллические твёрдые магнитные материалы называются:**

- A) СВЧ ферритами;
- B) ферритами;
- C) магнитотвёрдыми материалами;
- D) магнитными материалами специального назначения;
- E) магнитострикционными материалами.

**8. Ферромагнитные металлы и сплавы, а также ферриты, у которых происходит изменение формы и размеров при намагничивании, называются:**

- A) СВЧ ферритами;
- B) ферритами;
- C) магнитотвёрдыми материалами;
- D) магнитными материалами специального назначения;
- E) магнитострикционными материалами.

**9. Материалы, получаемые путем прессования порошков с последующей термообработкой, называются:**

- A) порошковыми магнитотвёрдыми;
- B) порошковыми ферритами;
- C) порошковыми магнитомягкими;
- D) магнитными специального назначения;
- E) магнитострикционными.

**10. К магнитотвёрдым материалам относят:**

- A) Литые магнитотвёрдые материалы на основе сплавов Fe-Ni-Al.;
- B) технически чистое железо;
- C) магнитострикционные материалы;
- D) СВЧ- ферриты;
- E) магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса.

**11. Магнитомягкие материалы – это материалы:**

- A) обладающие свойствами ферромагнетика;
- B) с большими значениями  $H_c$  и низкой магнитной проницаемостью;
- C) в которых собственное магнитное поле может в сотни и тысячи раз превышать вызвавшее его внешнее магнитное поле;
- D) атомы которых не обладают результирующим магнитным моментом;
- E) атомы которых обладают результирующим магнитным моментом, не зависящим от внешнего магнитного поля.

**12. Магнитотвёрдые материалы– это материалы:**

- A) обладающие свойствами ферромагнетика;
- B) с большими значениями  $H_c$  (широкой петлей гистерезиса) и низкой магнитной проницаемостью;

С) в которых собственное (внутреннее) магнитное поле может в сотни и тысячи раз превышать вызвавшее его внешнее магнитное поле;

Д) атомы (ионы) которых не обладают результирующим магнитным моментом;

Е) атомы (ионы) которых обладают результирующим магнитным моментом, не зависящим от внешнего магнитного поля.

### 5.3 Сортаменты трансформаторных сталей

*Электротехническая сталь* – это разновидность черной металла с улучшенными электромагнитными свойствами. *Электротехническая сталь* используется при изготовлении магнитопроводов различного электротехнического оборудования электромагнитов, трансформаторов, генераторов, электродвигателей, дросселей, магнитопроводов реле, феррорезонансных стабилизаторов напряжения и др.

В электротехнической стали содержится 0,8-4,8 % железа и кремния. Однако по химическому составу электротехническая сталь остается легированным металлом с содержанием кремния не более 4,8%. Это связано с ухудшением механических свойств металла, хрупкости в частности, при росте концентрации Si. Наряду с кремнием в электротехническую сталь может добавляться алюминий на уровне 0,5%.

Исходя из химического состава (содержания легирующих примесей), металл разделяют на *две категории*: динамную и трансформаторную сталь. В первой разновидности процент вхождения кремния составляет 0,8 – 2,5%, тогда как трансформаторное железо характеризуется уровнем легирования 3,0 – 4,5%. Температура трансформаторной стали в конце продувки достигает 1620—1650° С. В качестве шихты используют отходы углеродистых сталей, при этом особое внимание обращают на содержание в шихте меди и никеля [24,28].

*Шихта* (нем. *Schicht*) – смесь исходных материалов, а в некоторых случаях (например, при выплавке чугуна в доменной печи) и топлива в определенной пропорции, подлежащая переработке в металлургических, химических и других агрегатах. Шихту составляют из расчета содержания углерода в завалке 0,5–0,7%. Для науглероживания в шихту дают 10–15% чугуна, недостающее до расчетного количество углерода вводят в виде электродного боя. На подину перед завалкой загружают 2–3% извести (от массы завалки) и железную руду (1–2%), что способствует удалению большей части фосфора еще в период плавления. В период плавления для уменьшения основности шлака и более глубокого окисления марганца иногда присаживают шамотный бой. Для интенсификации плавки ванну дуговой печи в течение 10 – 15 мин продувают кислородом. Совмещение окисления с периодом плавления позволяет уменьшить содержание в трансформаторной стали примесей – марганца, фосфора и хрома, сократить продолжительность плавки и улучшить условия службы футеровки печи.

По расплавлении металл содержит примерно 0,10–0,15% С, 0,06–0,15% Мн, 0,003–0,015% Р. Шлак периода плавления скачивает на 70–80% и наводят новый из извести и шпата. Под этим шлаком проводят окислительный период. Окисление лучше проводить газообразным кислородом, так как это позволяет быстро окислить углерод до 0,03%. Более низкие концентрации углерода получать не рекомендуется, так как это приводит к переокислению трансформаторной стали и повышению ее температуры, что ухудшает свойства стали (в связи с насыщением металла газами) и вызывает интенсивное разрушение футеровки. В окислительный период шлаки содержат 50% и более окиси железа. Такие шлаки очень жидкоподвижны и интенсивно разрушают футеровку; поэтому чем быстрее проводят окисление, тем менее разрушается футеровка печи. Высокая основность сильно окислительного шлака и его постоянное обновление позволяют к концу продувки получать металл, содержащий 0,03–0,06% Мн; 0,003–0,006% Р; 0,02–0,03% Сг. Температура трансформаторной стали в конце продувки достигает 1620–1650° С.

После окончания окислительного периода шлак по возможности полностью скачивают. На зеркало металла присаживают кусковый силикокальций в количестве 4,0–5,0 кг/т марок СК3О или СК25 и заводят восстановительный шлак смесью извести с плавиковым шпатом (8:1). Шлак раскисляют смесью порошков 75%-ного ферросилиция и силикокальция или алюминия. При получении белого рассыпающегося шлака проводят легирование кремнием, который присаживают в виде 75%-ного ферросилиция в кусках размером 50–150 мм.

*Сталь электротехническая* – это сплав железа с кремнием, доля которого составляет от 0,5% до 5%. Широкую популярность изделий данного вида можно объяснить высокими электромагнитными и механическими свойствами. Изготавливают такую сталь из широко распространенных компонентов, дефицита в которых нет. Это объясняет ее низкую стоимость.

**Влияние кремния.** Данная составляющая во взаимодействии с железом образует плотный раствор с высоким удельным сопротивлением, величина которого зависит от того, какой процент кремния в сплаве.

При воздействии кремния на чистое железо теряются магнитные свойства железа. При воздействии на техническое железо, наоборот, увеличиваются его магнитные свойства. Проницаемость железа возрастает и происходит улучшение стабильности металла.

Благоприятное действие кремния (Si) можно объяснить следующим образом. Под влиянием этого элемента происходит переход углерода в графит из состояния цементита, который обладает меньшими магнитными свойствами. Элемент Si оказывает нежелательное воздействие на снижение индукции. Влияние его распространяется на теплопроводность и на плотность железа.

А вот при воздействии на техническое, наоборот, сказывается положительно. Проницаемость железа возрастает и происходит улучшение

стабильности металла. Благоприятное действие кремния (Si) можно объяснить следующим образом. Под влиянием этого элемента происходит переход углерода в графит из состояния цементита, который обладает меньшими магнитными свойствами. Элемент Si оказывает нежелательное воздействие на снижение индукции. Влияние его распространяется на теплопроводность и на плотность железа.

Но данное отрицательное качество полностью компенсируется низкими тепловыми потерями (их меньше примерно раза в два), высоким качеством и возможностью хорошей штамповки холоднокатаного сплава. Различия в этих сталях – содержание кремния. Его количество составляет от 3,3% до 4,5% соответственно. Маркируется буквой «Э», за ней идет номер, цифры которого имеют определенное значение.

Первая цифра в значении маркировки означает степень легирования стали с кремнием. От слаболегированной до высоколегированной, соответственно в цифрах от 1 до 4. Динамные – это стали из групп Э1 и Э2. Трансформаторные – Э3 и Э4.

Вторая же цифра маркировки имеет диапазон от 1 до 8. Она показывает электромагнитные свойства материала при применении ее в определенных эксплуатационных условиях. По этой маркировке можно узнать, в каких областях можно применять ту или иную сталь.

Цифра ноль следом за второй цифрой означает, что сталь текстурированная. Если стоят два нуля, то она мало текстурированная. В конце маркировки можно встретить следующие буквы:

«А» - удельные потери материала очень низкие.

«П» - материал с высокой прочностью проката и высокой отделкой поверхности.

Сфера эксплуатации. Делится сплав по области применения на три вида: пригодный для работы в сильных и средних магнитных полях (чистота перемагничивания 50 Гц); подходящий для работы в средних полях при частоте до 400 Гц; сталь, которая эксплуатируется в средних и малых магнитных полях.

Листы электротехнической стали выпускают следующих размеров: ширина от 240 до 1000 мм, по длине могут быть от 720 мм до 2000 мм, толщина – в диапазоне от 0,1 до 1 мм.

Больше всего применение находят текстурированные стали, так как они обладают высоким значением электромагнитных свойств. Листы такого материала часто используют в электротехнике.

От удельного сопротивления электротехнической стали напрямую зависит качество материала. Сталь применяется там, где необходимо сдерживать электричество внутри проводника и доставить его по назначению.

Коэрцитивная сила – за способность внутреннего магнитного поля к размагничиванию. Для определенных устройств это свойство требуется в разной степени.

В трансформаторах и электродвигателях используют детали с высокой способностью размагничивания. У стали данный показатель имеет низкое значение. А вот в электромагнитах нужна, наоборот, высокая коэрцитивная сила. Чтобы скорректировать магнитные свойства, в сплав стали добавляют нужный процент кремния.

**Применение.** Из листовых материалов первого класса можно изготовить разные виды магнитопроводов для реле и регуляторов. Электротехническая сталь марки второго класса может быть использована для стартеров электромашин постоянного и переменного токов, сердечников роторов.

Третий класс пригоден для изготовления магнитопроводов для силовых трансформаторов, а также стартеров крупных синхронных машин. Чтобы изготовить остов для электрической машины, нужно применить стальное литье, в котором содержание углерода равно не более 1%. Изделия из такого материала подвергают постепенному отжигу. Углеродистую сталь применяют при изготовлении деталей машин, подвергающихся сварке.

Из таких видов материалов делают главные полюсы для машин постоянного тока. Для тех деталей машин, которые несут максимальную нагрузку (пружины, роторы, валы якорей), применяют сплавы с высокими механическими свойствами. Такой материал может содержать в себе никель, хром, молибден и вольфрам. Возможно изготавливать магнитопроводы из электротехнической стали. Они используются для трансформаторов низких частот – 50Гц.

Магнитопроводы делятся они на броневые и стержневые. Каждый вид имеет свои особенности. У стержневого магнитопровода стержень вертикальный и имеет ступенчатое сечение, вписанное в окружность (Рисунок 38). На них особой цилиндрической формой расположены обмотки магнитопровода.

Броневого. Изделия такой конструкции имеют прямоугольную форму, а их стержни имеют поперечное сечение, расположены они горизонтально. Такой тип магнитопровода применяется только в сложных приборах и конструкциях. Поэтому такие конструкции не получили большого распространения.



Рисунок 38- Стержневой магнитопровод с цилиндрическими обмотками

### **Выполните задания**

1. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Своя игра») и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников.

2. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Сталь электротехническая содержащая в своем составе от 0,5% до 5% сплав железа с кремнием, называется:**

- A) трансформаторной;
- B) прокаленной;
- C) углеродистой;
- D) шихтованной;
- E) специальной.

**2. Температура трансформаторной стали в конце продувки составляет:**

- A) 1580—1690° C;
- B) 1640—1650° C;
- C) 1620—1650° C;
- D) 1730—1850° C;
- E) 1920—1950° C.

**3. Шихту составляют из расчета содержания углерода в завалке:**

- A) 0,05—0,07%;
- B) 0,5—0,7%;
- C) 0,3—0,4%;
- D) 0,1—0,2%;
- E) 0,6—0,9%.

**4. Для науглероживания в шихту дают .....чугуна, (недостающее до расчетного) количество углерода вводят в виде электродного боя:**

- A) 20—25%;
- B) 30—35%;
- C) 10—15%;
- D) 40—45%;
- E) 40—55%.

**5. Листы электротехнической стали выпускают шириной:**

- A) 240-500мм;
- B) 240-300мм;
- C) 540-700мм;
- D) 240-1000мм;
- E) 340-800мм.

**6. Из электротехнических сталей изготавливают:**

- A) сердечники трансформаторов тока;
- B) магнитных материалах;
- C) в электротехнических устройствах;
- D) статоры и роторы электрооборудования;
- E) сердечники трансформаторов тока, статоры и роторы электрооборудования, силовых трансформаторов.

**7. Электротехническая сталь для электродвигателей должна иметь толщину:**

- A) 0,5мм;
- B) 0,6мм;
- C) 0,7мм;
- D) 0,8мм;
- E) 0,9мм.

**8. При воздействии кремния на чистое железо теряются свойства:**

- A) физические;
- B) магнитные;
- C) химические;
- D) электрические;
- E) структурные.

**9. По химическому составу электротехническая сталь остается легированным металлом с содержанием кремния не более :**

- A) 4,8%;
- B) 4,5%;
- C) 4,6% ;
- D) 4,7%;
- E) 4,9%;

**10. В электротехнической стали содержится железа и кремния:**

- A) 0,8-4,8 %;
- B) 0,8-4,9 %;
- C) 0,8-5 %;
- D) 0,7-4,8 %;
- E) 0,5-4,8 %.



## Глава VI НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

### 6.1 Сварка. Технология и приспособления и инструменты для сварки и резки

*Сваркой называют* технологический процесс получения неразъемных соединений заготовок посредством установления межатомных и межмолекулярных связей между свариваемыми частями, что возможно при сближении атомов на расстояние, близкое к параметру кристаллической решетки (Рисунок 39).



Рисунок 39- Сварка электродами

Сварочные процессы применяют для изготовления сварных конструкций, исправления брака литья и восстановления поломанных и изношенных изделий [25,39].

Свариваются между собой как однородные металлы, так и разнородные (например, сталь с медью, медь с алюминием), а также металлы с неметаллами (керамикой, стеклом, керметами и др.), пластмассы. Существует три класса сварки: термический, механический и термомеханический.

К термическому классу относятся виды сварки плавлением, когда металл кромок свариваемых частей расплавляется, образуя сварочную ванну (иногда вместе с присадочным металлом), а затем затвердевает, образуя сварной шов. Тепловая энергия, необходимая для этого, получается при преобразовании электрической или химической энергии. К этому классу относятся дуговая, электрошлаковая, плазменная, электронно-лучевая, лазерная, газовая, термитная сварка.

К механическому классу относятся те виды сварки, при которых определяющим фактором является пластическое деформирование, возникающее под влиянием давления в поверхностных слоях соединяемых частей, в результате чего в зонах контакта дробятся и вытесняются адсорбированные включения кислорода, азота, паров воды, жировых загрязнений, происходит смятие выступов и заполнение впадин от шероховатости поверхностей, увеличение активных площадок взаимодействия, сближение атомов до размеров атомных радиусов, обобщение их электронов и образование благодаря этому сварного

соединения. К механическому классу относятся холодная, ультразвуковая сварка, сварка взрывом, трением.

К термомеханическому классу относятся те виды сварки, при которых для образования сварного соединения используют тепловую энергию и внешнее давление. К этому классу относятся контактная, газопрессовая, диффузионная и другие виды сварки.

Для изготовления сварных конструкций применяют следующие основные типы соединений: стыковое, внахлестку, заклепочное, угловое и тавровое.

Стыковые соединения с отбортовкой применяют при толщине листа до 3 мм, листы толщиной 3—8 мм сваривают без разделки кромок при толщине листов до 15 мм применяют V-образную разделку кромок при толщине более 15 мм — X-образную разделку, при толщине свыше 20 мм — чашеобразную простую или двустороннюю разделку.

При соединении внахлестку величина перекрытия кромок равна 3—5-кратной толщине свариваемых частей. Электрозаклепками обеспечивается получение прочных (но не плотных) соединений; для сварки верхний лист просверливается (или пробивается) и при заварке отверстия приваривается и нижний лист; тонкие (до 3 мм) листы проплавляют дугой по целому, без отверстий. Приведенные виды разделки кромок и виды швов характерны для дуговой и газовой сварки. Сварка с глубоким проплавлением (лазерная, плазменная, электронно-лучевая) не требует сложной подготовки кромок; другие виды сварки (электрошлаковая, ультразвуковая, холодная, контактная, диффузионная, термитная, сварка взрывом, трением) требуют лишь выравнивания и очистки свариваемых поверхностей.

**Дуговая сварка и резка.** В 1802 г. акад. В. В. Петров открыл явление дугового разряда. В 1882 г. русский изобретатель Н. Н. Бенардос предложил применить электрическую дугу для сварки металлов угольным электродом. В 1888 г. горный инженер Н. Г. Славянов заменил графитовый электрод металлическим. В настоящее время около 99 % работ, выполняемых дуговой сваркой, производится по способу Славянова. Дуговая сварка по распространению занимает первое место среди других видов сварки. Ее используют при производстве всех видов подвижного состава железнодорожного транспорта, морских и речных судов, котлов, автомобилей, подъемно-транспортных сооружений, трубопроводов для газов, жидкостей и сыпучих материалов, металлических конструкций и арматуры зданий, промышленных сооружений, мостов, узлов и деталей электрических, сельскохозяйственных и других машин и механизмов. К числу металлов, свариваемых электрической дугой, относятся почти все конструкционные стали, серый и ковкий чугуны, медь, алюминий, никель, титан и их сплавы и другие металлы, и сплавы.

**Сварка по способу Бенардоса.** Сварка производится графитовым электродом с присадочным металлом от прутка или без него; сварка этим способом имеет ограниченное применение [26]. Ею пользуются для

соединения с отбортовкой тонких стальных заготовок, где не требуется присадочный металл, для цветных металлов и чугуна, а также для наплавки порошковых твердых сплавов. Обычно применяют постоянный ток, причем для устойчивости дуги и лучшего прогрева стыка при сварке пользуются прямой полярностью: заготовку включают анодом (+), а электрод — катодом (—).

**Сварка по способу Славянова.** При сварке применяют металлический электрод в виде проволоки. Дуга возбуждается между электродом и основным металлом и плавит их оба, причем образуется общая ванночка, где перемешивается весь расплавленный металл. Электродная проволока выпускается диаметром от 0,3 до 12 мм. При ручной сварке пользуются электродами, покрытыми обмазкой (Рисунок 40). Обмазки бывают стабилизирующими, защитными и легирующими.

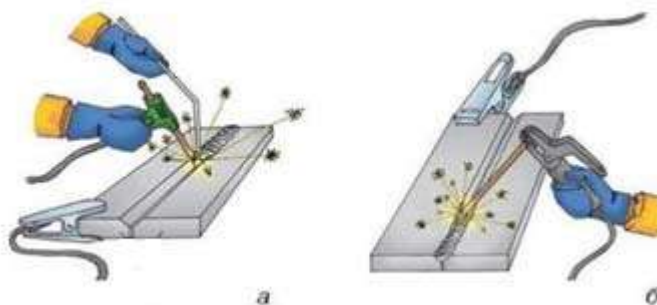


Рисунок 40—Ручная сварка

По толщине покрытия электроды бывают с тонкими, средними, толстыми и особо толстыми покрытиями. Тонкие покрытия являются стабилизирующими; они состоят из мела и жидкого стекла. Находящийся в составе мела кальций выделяется в плазме дуги, ионизирует ее, тем самым способствует устойчивости горения дуги (Рисунок 41).



Рисунок 41- Дуговая сварка

**Аппаратура для сварки.** Дуговая сварка возможна на постоянном и переменном токах. Дуга на постоянном токе устойчивее, но расход электроэнергии выше. Для питания дуги постоянным током применяют

генераторы и выпрямители. Сварочные аппараты и генераторы делят на однопостовые — для питания одной дуги и многопостовые — для питания нескольких дуг. Для сварки используют стандартное напряжение тока (220, 380, 500 В).

**Дуговая сварка в среде защитных газов.** Дуговая сварка в среде защитных газов — углекислом, аргоне или гелии — обеспечивает лучшую, чем при сварке покрытыми электродами или под слоем флюса, защиту от воздействия кислорода и азота воздуха, лучшее использование тепла дуги. Вместе с тем сварка в среде защитных газов не заменяет названные способы сварки, а применяется в машино- и приборостроении там, где эти способы не дают необходимых результатов.

**Дуговая резка.** Резкой с использованием дуги разделяют металл не выжиганием, а расплавлением. Этот способ применяют для резки, углеродистой и легированной сталей, чугуна, алюминия, меди и их сплавов, отделения литниковой системы от отливок и т. д. Дуговая резка производится угольным или металлическим электродом. Автоматическая дуговая резка под флюсом применяется для разделки листов коррозионностойкой стали[40].

Воздушно-дуговая резка производится угольным или графитовым электродом, который закрепляется в резаче или режущей головке. В контактно-сопловой части резача (головки) имеются отверстия, через которые струи воздуха выдувают расплавленный металл из реза.

**Плазменная резка, сварка и наплавка.** Носителем тепловой энергии при плазменной обработке являются потоки ионов, а также электрически нейтральных молекул и атомов, образующихся при пропускании аргона, азота, аммиака, воздуха и других газов и их смесей, а также паров воды через дуговой разряд в дуговых плазменных горелках, называемых плазматронами. Плазменная струя имеет температуру 5000— 30 000 °С. Такую плазму называют низкотемпературной, неизотермической. Высокотемпературная, изотермическая плазма может существовать лишь при тепловом равновесии с окружающей средой; в природе она составляет вещество звезд. Степень ионизации высокотемпературной плазмы близка к 100 %, ее температура достигает десятков миллионов градусов. Плазму называют четвертым состоянием вещества, ионизированным газом. Плазменная резка при толщине проката 5—40 мм в 2—8 раз производительнее газовой резки. Размеры плазменно-дугового факела ограничивает толщину разрезаемого проката (120— 140 мм) (Рисунок 42). При микроплазменной резке струя имеет форму острой иглы; такая резка весьма эффективна при фигурном раскрое тонкого листового материала взамен механической резки на станках.

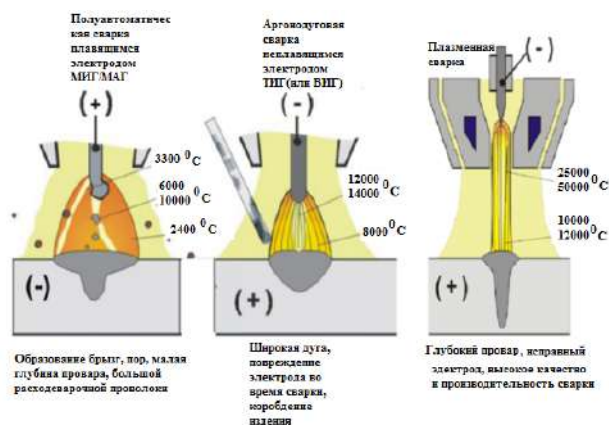


Рисунок 42 - Виды сварки

**Электрошлаковая сварка.** Электрошлаковая сварка — способ без дуговой электрической сварки встык в расплавленном шлаке (Рисунок 43). Для наведения шлака применяют те же флюсы, что и при электрошлаковом переплаве стали.

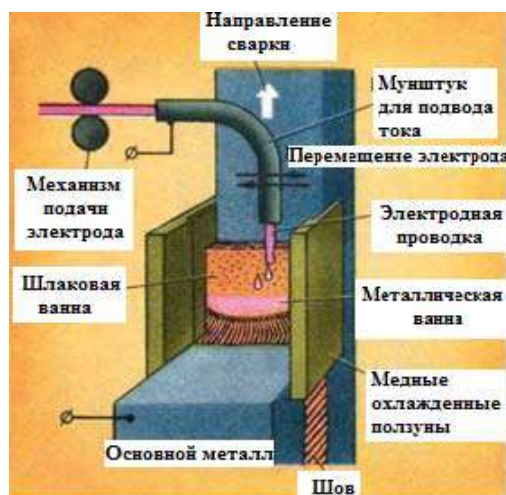


Рисунок 43- Электрошлаковая сварка

**Контактная сварка.** При контактной сварке для нагрева свариваемых частей используется тепло, выделяемое при прохождении тока через место сварки. В месте контакта частей наблюдается увеличенное электрическое сопротивление по сравнению с другими участками цепи. После достижения в зоне сварки необходимой температуры свариваемые части для их соединения сдавливают. Контактная сварка легко автоматизируется и применяется в массовом производстве (Рисунок 44). Существуют три вида контактной сварки: стыковая, точечная и роликовая.

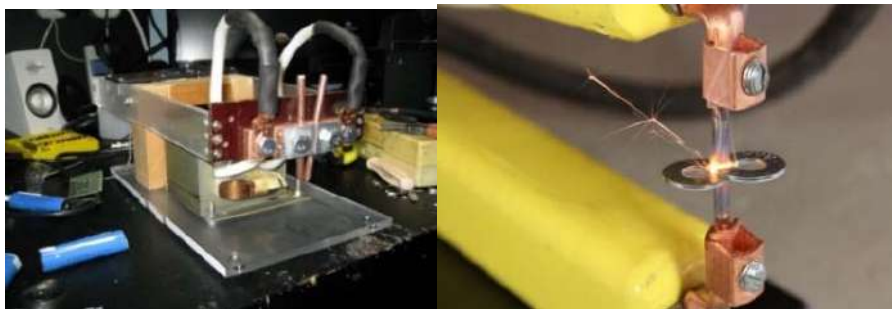


Рисунок 44- Контактная сварка

**Газовая сварка и резка.** В качестве горючих газов при сварке используют ацетилен, пропан, бутан, пары бензина, водород и другие газы (Рисунок 45). Чаше других применяют ацетилен ( $C_2H_2$ ), дающий наибольшую (до  $3200\text{ }^{\circ}C$ ) температуру пламени. Газовую сварку применяют главным образом для соединения тонкостенных стальных заготовок, а также заготовок из чугуна, цветных металлов и сплавов. Газовым пламенем пользуются также для резки металлов, для наплавки твердых сплавов и при ремонтных работах [42].

Газовые горелки служат для дозирования и смешивания кислорода и горючего газа, а также для получения устойчивого и концентричного газового пламени. Они бывают инжекторные (всасывающие) — низкого давления и без инжекторные — высокого и среднего давления.



Рисунок 45- Газовая резка

**Газопрессовая сварка** применяется для стыковых соединений труб. Стыки нагревают кольцевой многопламенной горелкой и сдавливают свариваемые части. Этим способом пользуются также для сварки рельсов, бурильного оборудования и инструментов.

Газовую резку в струе кислорода используют для стали с массовым содержанием углерода до  $0,7\%$  и некоторых сортов низколегированной стали. Чугун, алюминий, медь и ее сплавы, а также высоколегированные стали непосредственно струей кислорода не режутся, для газовой резки этих металлов применяют порошковые флюсы, состоящие в основном из железного порошка и кварцевого песка. Флюс сгорает в струе кислорода и повышает



температуру в месте резки настолько, что образующиеся тугоплавкие оксиды шлакуются с оксидами железа и жидкий шлак выдувается струей газа.

Резка стали производится специальными режущими горелками — резаками, которые отличаются от сварочных горелок наличием канала для подачи кислорода

**Ультразвуковая сварка.** Ультразвуковой сваркой соединяют тонкие пленки с проводниками, присоединяют листы фольги к заготовкам неограниченной толщины, соединяют пластмассы с металлами (Рисунок 46). При ультразвуковой сварке неразъемное соединение образуется при совместном воздействии на заготовки упругих колебаний ультразвуковой частоты и небольшого сдвливающего усилия от сварочного штифта.

Ультразвуковой сваркой пользуются в микроэлектронике и приборостроении при монтаже транзисторов, интегральных схем, герметизации приборов и т. д.

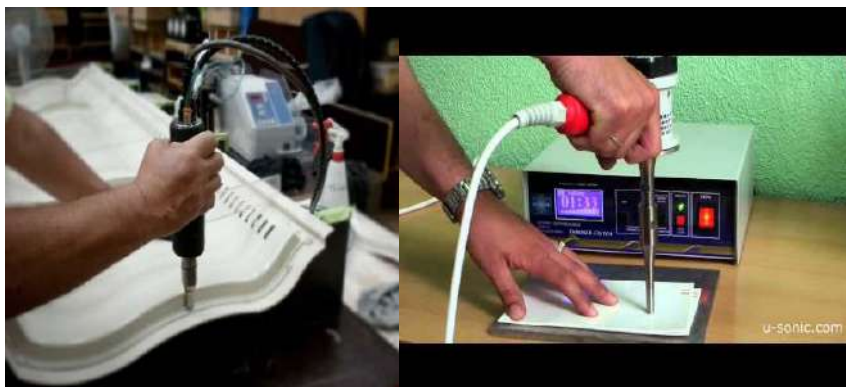


Рисунок 46- Ультразвуковая сварка

### **Выполните задания**

1. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Найди пару») и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников. Составляются карточки для каждой команды разного цвета. На одних карточках - название проводникового материала, а на других – характеристики. Необходимо к материалу найти его характеристику.

2. Разработайте опорный конспект.

3. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Технологический процесс получения неразъемных соединений заготовок посредством установления межатомных и межмолекулярных связей между свариваемыми частями, называется:**

- А) сваркой;
- В) электрошлаковой сваркой;
- С) контактной сваркой;
- Д) газовой сваркой;
- Е) ультразвуковой сваркой.

**2. Способ бездуговой электрической сварки встык в расплавленном шлаке, называется:**

- A) сваркой;
- B) электрошлаковой сваркой;
- C) контактной сваркой;
- D) газовой сваркой;
- E) ультразвуковой сваркой.

**3. Тепло сварки, выделяемое при прохождении тока через место сварки, называется:**

- A) сваркой;
- B) электрошлаковой сваркой;
- C) контактной сваркой;
- D) газовой сваркой;
- E) ультразвуковой сваркой.

**4. Сварка при которой используют ацетилен, пропан, бутан, пары бензина, водород и другие газы, называется:**

- A) сваркой;
- B) электрошлаковой сваркой;
- C) контактной сваркой;
- D) газовой сваркой;
- E) ультразвуковой сваркой.

**5. Сварка при которой соединяют тонкие пленки с проводниками, присоединяют листы фольги к заготовкам неограниченной толщины, соединяют пластмассы с металлами, называется:**

- A) сваркой;
- B) электрошлаковой сваркой;
- C) контактной сваркой;
- D) газовой сваркой;
- E) ультразвуковой сваркой.

**6. Неразъемное соединение образуется при совместном воздействии на заготовки упругих колебаний ультразвуковой частоты и небольшого сжимающего усилия от сварочного штифта при:**

- A) ультразвуковой сварке;
- B) газовой сварке;
- C) контактной сварке;
- D) электрошлаковой сварке;
- E) дуговой сварке.

**7. Основоположник явления дугового разряда:**

- A) В. В. Петров;



- В) Н. Н. Бенардос;
- С) Н. Г. Славянов;
- Д) А.В. Миронов;
- Е) нет правильного ответа.

**8. Сварка, производимая угольным или графитовым электродом, который закрепляется в резке или режущей головке, называется:**

- А) воздушно-дуговой резкой;
- В) автоматической дуговой резкой под флюсом;
- С) газопрессовой сваркой;
- Д) дуговой резкой;
- Е) бездуговой сваркой.

**9. Сварку, используемую для разделки листов коррозионностойкой, стали, называют:**

- А) воздушно-дуговой резкой;
- В) автоматической дуговой резкой под флюсом;
- С) газопрессовой сваркой;
- Д) дуговой резкой;
- Е) бездуговой сваркой.

**10. Сварку, используемую для стыковых соединений труб, называют:**

- А) воздушно-дуговой резкой;
- В) автоматической дуговой резкой под флюсом;
- С) газопрессовой сваркой;
- Д) дуговой резкой.
- Е) бездуговой сваркой.

**11. Ультразвуковой сваркой соединяют:**

- А) тонкие пленки с проводниками;
- В) пластмассы с металлами;
- С) тонкие пленки с проводниками и пластмассы с диэлектриками;
- Д) тонкие пленки с проводниками и пластмассы с металлами;
- Е) соединяют пластмассы с полупроводниками.

**12. При ультразвуковой сварке неразъемное соединение образуется при совместном воздействии на заготовки упругих колебаний ультразвуковой:**

- А) давления;
- В) частоты;
- С) массы;
- Д) площади;
- Е) скорости.

**13. В микроэлектронике и приборостроении при монтаже транзисторов, интегральных схем, герметизации приборов пользуются сваркой:**

- A) ультразвуковой;
- B) дуговой;
- C) бездуговой;
- D) газовой;
- E) воздушно-дуговой.

**14 Ультразвуковой сваркой соединяют присоединяют листы фольги к заготовкам:**

- A) неограниченной толщины;
- B) ограниченной толщины;
- C) не большой толщины;
- D) малой толщины;
- E) тонкой толщины.

**15. Порошковые флюсы применяют для газовых резки металлов:**

- A) чугуна, алюминия, меди и ее сплавов, высоколегированной стали;
- B) чугуна, меди и ее сплавов, высоколегированной стали;
- C) чугуна, алюминия, меди, высоколегированной стали;
- D) меди и ее сплавов, высоколегированной стали;
- E) чугуна, алюминия, высоколегированной стали.

## **6.2 Пайка, припой, флюсы**

Процесс соединения заготовок, в результате которого материал не расплавляется, не изменяет своих технических характеристик и качеств называется *пайкой* [8,23].

Пайку металлов выполняют заготовок жидким припоем, заполняя зазор между двумя металлическими изделиями (Рисунок 47).

Припой – это металл или сплав нескольких металлов, обычно олова и свинца.



Рисунок 47- Соединение с помощью пайки

Соединение с помощью пайки, без расплавления, дает возможность в будущем разъединить детали (распаять или перепаять заново), не нарушая их

свойств. Качество пайки зависит от типов соединяемых металлов, от припоя и флюса, нагрева и вида соединения.

Пайка, как и сварка, предназначена для неразъемных соединений заготовок. Особенность пайки состоит в применении припоя, имеющего температуру плавления ниже температуры плавления материала припаиваемых частей. При пайке основной металл твердый, а припой расплавлен. Части заготовки соединяются вследствие смачивания, взаимного растворения и диффузии припоя и основного материала в зоне шва. Для диффузии необходимо, чтобы припаиваемые поверхности были очищены, особенно от пленок оксидов, и защищены от окисления. Для защиты от окисления при пайке служат флюсы [23].

Паять можно углеродистую и легированную стали всех марок, твердые сплавы, ковкие и серые чугуны, а также цветные металлы и их сплавы. Можно также паять разнородные материалы (например, сталь с твердыми сплавами, керамику, пластмассы). Пайку при температурах до 400 °С относят к низкотемпературной, при температурах выше 400 °С — к высокотемпературной. Припои для низкотемпературной пайки содержат олово, свинец, сурьму и цинк, припои для высокотемпературной пайки состоят на основе меди или серебра. Нагрев припаиваемых частей и расплавления припоя при низкотемпературной пайке производят медными паяльниками, газовыми горелками, в печах, горячим газом.

Для высокотемпературной пайки применяют индукционный нагрев, электрические печи сопротивления, пламенные нефтяные и газовые печи, а также применяют пайку лазером и электронным лучом.

### ***Преимущества и недостатки.***

#### ***Преимуществам процесса пайки:***

- возможность соединять сталь с цветными металлами (Рисунок 48);
- высокая технологичность процесса;
- возможность проводить паяльные операции в труднодоступных и неудобных местах;
- возможность соединять сложные по конструкции узлы и детали;
- процесс можно проводить не точно по контуру соединения, а по всей плоскости;
- нагрев при пайке обеспечивает термическую обработку металлических заготовок.



Рисунок 48 - Соединение стали с цветными металлами

### *Недостатки пайки:*

- невысокая прочность паяного соединения на отрыв;
- сдвиг за счет мягкости припойного металла.

После сварки пайка находится на втором месте по применению в категории стыковки металлов (Рисунок 49).

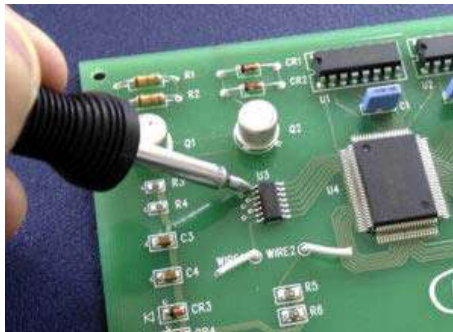


Рисунок 49-Пайка

Низкотемпературную пайку чаще всего используют именно в электронике, потому что сама технология достаточно проста и экономична. К примеру, в производстве компьютеров, сотовых телефонов, программируемых контроллеров и датчиков в энергетической отрасли, где мельчайшие детали требуют компактного контакта между собой.

В мелкосерийном производстве высокую температуру обеспечивают газовыми горелками или токами индукционного типа средней или высокой частоты. Классификация видов пайки представлена на рисунке 50. Кроме данных видов пайки существует классификация по содержанию припоя.



Рисунок 50 – Классификация видов пайки

**Припой. Характеристика припоев.** В реализации пайки элементов важны припои. Изготавливают их из чистых металлов или их сплавов (Рисунок 51). При выборе обращают внимание на две основные их характеристики: смачиваемость и температура плавления. Первое свойство –

это сцепление припоя с заготовками, где прочность соединения между ними становится выше, чем между молекулами самого припойного материала.

Температура плавления припойного металла должна быть ниже, чем тот же показатель у заготовок. Поэтому припойный материал делится на две категории: легкоплавкие и тугоплавкие.

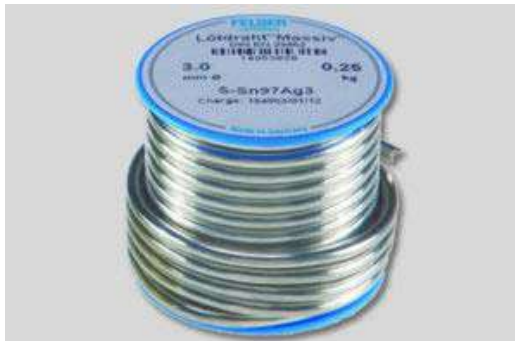


Рисунок 51 – Припой

*Легкоплавкие припои* – это материалы на основе олова и свинца в чистом виде или с добавлением различных компонентов. *Тугоплавкие припои* – это материалы на основе серебра или меди. Медно-цинковыми припоями можно паять медные, бронзовые и стальные заготовки.

Серебряные марки считаются лучшими, у них высокие прочностные характеристики, поэтому их применяют для стыка деталей, работающих под вибрацией или ударами.

Кроме основных видов в промышленности используются и другие разновидности. К примеру, никелевые применяют для деталей, работающих при высоких температурах.

Золотые – для соединения золотых украшений или пайки трубок, работающих под вакуумом. Магниевого – для стыковки магниевых заготовок или деталей из сплавов этого металла.

Сам припой может быть изготовлен в виде стержней, пасты, порошка, таблеток, тонкой фольги, гранул различного размера.

Обозначение марки припоя начинается с буквы «П» – припой. Числа – содержание компонентов в процентах. Буквы в конце марки означают, что данный компонент составляет оставшееся содержание припоя.

Обозначение компонентов: **А** – алюминий; **Ж** – железо; **И** – индий; **К** (Кд) – кадмий; **М** – медь; **О** – олово; **С** – свинец; **Ср** – серебро; **Су** – сурьма; **Ф** – фосфор; **Ц** – цинк. Например, ПОС61М – припой оловянно-свинцовый, олова – 61 %, остальное – свинец и добавка меди.

К *мягким припоям* (температура плавления ниже 400 °С) относят сплавы легкоплавких металлов: висмута, индия, олова, цинка, свинца (Рисунок 52). В производстве часто используют сплавы олова: оловянно-свинцовый припой ПОС-61 (61 % Sn и 39 % Pb) называется *третником* (примерно 1/3 свинца); оловянно-цинковые припои – ПОЦ-90, ПОЦ-70 и др.



Рисунок 52-Пайка мягким припоем

К *твердым припоям* (температура плавления 600–1300 °С) относят чистую медь и ее сплавы с цинком, никелем и благородными металлами (серебром, золотом, платиной). Наиболее часто применяют медно-цинковые припои ПМЦ-42, ПМЦ-47, содержащие соответственно 42 и 47 % меди. Припои изготавливают в виде прутков, листов, проволок, полос, спиралей, дисков, колец, зерен и др. для удобства укладки припоя в места пайки. Пайке поддаются все углеродистые и легированные стали, в том числе инструментальные и коррозионностойкие, твердые сплавы серые и ковкие чугуны, большинство цветных металлов, а также металлы с неметаллическими материалами.

**Флюсы и его состав. Требования, предъявляемые к флюсам.** Флюс-вещество, предназначенное для удаления оксидов с поверхности под пайку, снижения поверхностного натяжения, улучшения растекания жидкого припоя и защиты от действия окружающей среды (Рисунок 53).



Рисунок 53- Разновидности флюсов, марки флюсов

Именно для этого в процессе пайки и применяют флюсы. Их основная задача – удалить старую пленку и не дать возможности образоваться новой.

В качестве флюсов применяют канифоль, хлористый цинк или его смесь с хлористым аммонием и др. Классификация флюсов основана на ряде различий по составу и свойствам. Флюсы бывают:

- активные и нейтральные;
- с низкой температурой нагрева и высокой;
- твердые, пастообразные, жидкие, в виде гелей;
- на основе воды и безводные.

Из всех разновидностей используемых для пайки металлов, самыми распространенными являются борная кислота и ее натриевая соль (бура), хлористый цинк, канифоль и ортофосфорная кислота [4,38].

### ***Выполните задания***

1. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Своя игра») и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников

2. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемому тестовому материалу:

**1. Процесс соединения заготовок, в результате которого материал не расплавляется, не изменяет своих технических характеристик и качеств, называется:**

- А) пайкой;
- В) сваркой;
- С) склеиванием;
- Д) сшиванием;
- Е) соединением.

**2. Металл или сплав нескольких металлов, обычно олова и свинца используемый при пайке, называется:**

- А) флюс;
- В) припой;
- С) пришпон;
- Д) запайка;
- Е) заклепка.

**3. Нагрев припаяваемых частей и расплавления припоя при низкотемпературной пайке производят:**

- А) любыми паяльниками, газовыми горелками, в печах, горячим газом;
- В) паяльниками или газовыми горелками;
- С) оловянными паяльниками и горячим газом;
- Д) медными паяльниками, газовыми горелками, в печах, угарным газом;
- Е) медными паяльниками, газовыми горелками, в печах, горячим газом.



#### **4. Виды пайки:**

- А) ручная, лазерная, в парогазовой фазе, с инфракрасным нагревом, с волновым припоем;
- В) лазерная, с волновым припоем;
- С) ручная, лазерная, в парогазовой фазе, волновым припоем;
- Д) ручная, лазерная, с инфракрасным нагревом, волновым припоем;
- Е) ручная, лазерная, в парогазовой фазе, с инфракрасным нагревом или с волновым припоем.

#### **5. Преимущества пайки:**

- А) проводить паяльные операции в труднодоступных и неудобных местах;
- В) соединять сложные по конструкции узлы и детали;
- С) сдвиг за счет мягкости припойного металла;
- Д) не высокая прочность паяного соединения на отрыв, сдвиг за счет мягкости припойного металла;
- Е) проводить паяльные операции в труднодоступных и неудобных местах, соединять сложные по конструкции узлы и детали.

#### **6. Недостатки пайки:**

- А) проводить паяльные операции в труднодоступных и неудобных местах;
- В) соединять сложные по конструкции узлы и детали;
- С) сдвиг за счет мягкости припойного металла;
- Д) не высокая прочность паяного соединения на отрыв, сдвиг за счет мягкости припойного металла;
- Е) проводить паяльные операции в труднодоступных и неудобных местах, соединять сложные по конструкции узлы и детали.

#### **7. К мягким припоям относят сплавы легкоплавких металлов:**

- А) цинка, свинца, никелем и благородными металлами;
- В) висмута, индия, олова, чистую медь и ее сплавы с цинком;
- С) висмута, индия, олова, цинка, свинца;
- Д) чистую медь и ее сплавы с цинком, никелем и благородными металлами;
- Е) чистую медь и ее сплавы с цинком, олова, цинка.

#### **8. К твердым припоям относят:**

- А) цинка, свинца, никелем и благородными металлами;
- В) висмута, индия, олова, цинка, свинца;
- С) чистую медь и ее сплавы с цинком, никелем и благородными металлами;
- Д) висмута, индия, олова, чистую медь и ее сплавы с цинком;;
- Е) чистую медь и ее сплавы с цинком, олова, цинка.



**9. Вещество, предназначенное для удаления оксидов с поверхности под пайку, снижения поверхностного натяжения, улучшения растекания жидкого припоя и защиты от действия окружающей среды, называется:**

- А) флюс;
- В) припой;
- С) пришпон;
- Д) запайка;
- Е) заклепка.

**10. В качестве флюсов применяют:**

- А) канифоль, хлористый цинк или его смесь с хлористым аммонием;
- В) канифоль или его смесь с хлористым аммонием;
- С) канифоль, хлористый цинк или хлористого аммония;
- Д) канифоль или хлористый цинк;
- Е) хлористый цинк или его смесь с хлористым аммонием;

**11. Флюсы по составу бывают:**

- А) на основе воды;
- В) на основе воды и безводные;
- С) безводные
- Д) на основе воды иногда безводные
- Е) на основе воды или безводные.

**12. Флюсы бывают:**

- А) с низкой температурой нагрева и высокой;
- В) с высокой температурой нагрева;
- С) с низкой температурой нагрева;
- Д) с низкой температурой нагрева или высокой;
- Е) с низкой температурой нагрева и сверхвысокой.

**13. По агрегатному состоянию флюсы бывают:**

- А) твердые, жидкие, в виде гелей;
- В) твердые, пастообразные, жидкие, в виде гелей;
- С) твердые, пастообразные, в виде гелей;
- Д) твердые и в виде гелей;
- Е) пастообразные, жидкие, в виде гелей.

**14. По взаимодействию флюсы бывают:**

- А) активные и нейтральные;
- В) активные и пассивные;
- С) пассивные и нейтральные;
- Д) активные;
- Е) нейтральные.

**15. Классификация флюсов основана на ряде различий по:**

- A) составу и свойствам;
- B) составу и внешним признакам;
- C) внешним признакам и свойствам;
- D) свойствам;
- E) составу.

**16. Часто используемые методы пайки металлов:**

- A) хлористый цинк, канифоль и ортофосфорная кислота;
- B) борная кислота, бура, хлористый цинк и ортофосфорная кислота;
- C) борная кислота, бура, канифоль и ортофосфорная кислота;
- D) бура, хлористый цинк, канифоль и ортофосфорная кислота;
- E) борная кислота, бура, хлористый цинк, канифоль и ортофосфорная кислота;

**17. Для удобства укладки припоя в места пайки, припой изготавливают в виде:**

- A) прутков, листов, проволок, полос;
- B) прутков, листов, проволок, колец, зерен;
- C) прутков, листов, проволок, полос, спиралей, дисков, колец, зерен;
- D) прутков, листов, дисков, колец, зерен;
- E) проволок, полос, спиралей, дисков, колец, зерен;

**18. Наиболее часто применяют медно-цинковые припои марки:**

- A) ПМЦ-41 и ПМЦ-47;
- B) ПМЦ-42 и ПМЦ-47;
- C) ПМЦ-42 и ПМЦ-42;
- D) ПМЦ-42 и ПМЦ-48;
- E) ПМЦ-41 и ПМЦ-49;

**19. Наиболее часто применяют медно-цинковые припои, содержащие:**

- A) 42 и 48 % меди;
- B) 43 и 47 % меди;
- C) 41 и 47 % меди;
- D) 42 и 47 % меди;
- E) 42 и 45 % меди.

**20. Сплавы олова, называемые третником, представляют собой:**

- A) свинцовый припой;
- B) оловянный припой;
- C) никелево-свинцовый припой;
- D) оловянно-свинцовый припой;
- E) оловянно-никелевый припой.

### 6.3 Виды обработки металлов и неметаллических материалов

К методам металлообработки можно отнести: литье, термическую обработку; обработку давлением, сварку и электрическую обработку, ультразвуковую.

*Литье* – это процесс нагрева металла до жидкого состояния с последующим разливом в заданные литейные формы (Рисунок 54). При остывании металл твердеет, получается отливка, которая точно повторяет очертания заливочной формы [8,40].



Рисунок 54 –Литейный цех

*Термическая обработка* направлена на изменение внутренней структуры металла, что достигается путем нагрева металла с последующим выдерживанием и охлаждением. Для придания металлу нужных свойств параметры термической обработки могут быть различные.

*Различают 3 вида термической обработки:*

1. Термообработка – бывает трех основных видов: отжиг, закалка и отпуск.

2. Химико-термическая обработка металла – применяется для насыщения поверхности металла другими элементами (например, углеродом). При этом методе наблюдаются самые высокие температуры нагрева металлов и значительные периоды выдержки для придания сплаву однородности.

3. Термомеханическая обработка – этот метод позволяет добиться лучших механических свойств металла, чем классическая термообработка.

Обработка давлением придает заготовке необходимую форму и размер под действием физической силы. Для достижения этих целей применяют различные станки для обработки металла, каждый из которых соответствует конкретному методу. Различают 7 методов обработки давлением: ковка, штамповка, листовая штамповка, прокатка, волочение, прессование и объемная штамповка.

*Электрическая обработка* металла осуществляется при помощи электрического тока.

*Электроискровая обработка* создается искусственный разряд, который воздействует на металл. В результате это воздействия происходит местное повышение температуры металла до 8-10 тыс. градусов по Цельсию.

*Электрохимическая обработка* – этот способ позволяет придать поверхности металла блестящую форму.

Выбор конкретного метода зависит от свойств, которые необходимо придать металлу, размеров заготовки или конечного изделия, а также многих других факторов

***Выполните задания***

1. Разработайте интеллектуальную игру по данной теме в своей подгруппе (например, «Своя игра») и проведите ее для остальных подгрупп. Оцените деятельность участников

2. Соберите сведения по видам обработки металлов и неметаллических материалов. Опишите свойства и назначение.

3. Проверьте уровень усвоения изученного материала по рекомендуемым вопросам:

**1. Процесс нагрева металла до жидкого состояния с последующим разливом в заданные литейные формы, называется:**

- А) литье;
- В) термической обработкой;
- С) обработкой давлением;
- Д) электрической обработкой;
- Е) термомеханической.

**2. Процесс изменения внутренней структуры металла, достижением нагрева металла с последующим выдерживанием и охлаждением, называется:**

- А) литье;
- В) термической обработкой;
- С) обработкой давлением;
- Д) электрической обработкой;
- Е) термомеханической.

**3. Отжиг, закалка и отпуск относят к:**

- А) литью;
- В) электрической обработке;
- С) термообработке;
- Д) обработке давлением;
- Е) термомеханической.

**4. Процесс обработкой металла, применяемый для насыщения поверхности металла другими элементами, называется:**

- А) термической;
- В) электрохимической;
- С) электрической;
- Д) химико-термической;

Е) термомеханической.

**5. Метод обработки металла, позволяющий добиться лучших механических свойств металла, чем классическая термообработка, называется:**

- А) термической;
- В) обработкой давлением;
- С) электрической;
- Д) химико-термической;
- Е) термомеханической.

**6. Метод обработки металла, придающий заготовке необходимую форму и размер под действием физической силы, называется:**

- А) термической;
- В) обработкой давлением;
- С) электрической;
- Д) химико-термической;
- Е) термомеханической.

**7. Метод обработки металла, который осуществляется при помощи электрического тока, называется:**

- А) термической;
- В) обработкой давлением;
- С) электрической;
- Д) химико-термической;
- Е) термомеханической.

**8. Обработка металла искусственным разрядом, называется:**

- А) электроискровой;
- В) обработкой давлением;
- С) электрической;
- Д) химико-термической;
- Е) термомеханической.

**9. Обработка металла, позволяющая придать поверхности металла блестящую форму, называется:**

- А) термической;
- В) электрохимической;
- С) электрической;
- Д) химико-термической;
- Е) термомеханической.

**10. При электроискровой обработке происходит местное повышение температуры металла до:**

- A) 8000-10000<sup>0</sup>C;
- B) 6000-7000<sup>0</sup>C;
- C) 7000-9000<sup>0</sup>C;
- D) 7000-10000<sup>0</sup>C;
- E) 8000-9000<sup>0</sup>C.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие разработано коллективом авторов, на основе актуализированных типовых учебных планов и программ для системы технического и профессионального образования по специальности 0902000-«Электроснабжение (по отраслям)»

Учебное пособие «Электротехнические материалы» предназначено для преподавателей и обучающихся организаций технического и профессионального образования по квалификации 0902012 «Электромонтажник по распределительным устройствам».

Электротехнические материалы - одна из формирующих дисциплин следующих профессиональных модулей: ПМ04. «Выполнение вспомогательных и такелажных работ», ПМ06. «Монтаж распределительных устройств и вторичных цепей», ПМ07. «Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования электрических цепей».

В учебном пособии рассмотрены вопросы, раскрывающие результаты обучения указанных модулей, позволяющие осуществлять контроль знаний и умений, обучающихся по критериям оценки результатов обучения:

Результат обучения ПМ04: 4) Определять свойства и классифицировать материалы, применяемые в производстве.

Критерии оценки: 1. Характеризует виды, свойства и области применения основных электротехнических материалов, используемых в производстве.

2. Характеризует электротехнические материалы

Результат обучения ПМ06: 2) Выбирать электроизоляционные материалы.

Критерии оценки: 1. Проводит расшифровку марки проводов и кабелей.

2. Классифицирует основные электротехнические материалы по физико-механическим и электрическим характеристикам.

Результат обучения ПМ07: 1) Проводить испытания материалов.

Критерии оценки:

1. Классифицирует виды и способы проведения испытания материалов.

2. Определяет электрическую прочность жидких диэлектриков.

3. Определяет электрическую прочность твердых диэлектриков.

Библиографический список содержит сведения о нормативно-технической литературе, необходимой для углубленного изучения отдельных вопросов свойств, особенностей и применения в энергетической отрасли электротехнических материалов.

Использование пособия предполагает развитие системного, профессионального обучения сложной, наукоемкой рабочей профессии электромонтера.

Материал изложен избирательно в пределах требований производственной квалификационной характеристики.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев, И. И. Электротехнический справочник / И. И. Алиев. - 5-е изд. М.: ИП РадиоСофт, 2010. - 384 с. - ISBN: 978-5-9303-7213-7.
2. Арсеньев, П. А. Новые материалы в полупроводниковой электронике: учебное пособие для средних профессионально-технических училищ / П. А. Арсеньев, А. И. Попов, В. А. Филиков. - Москва: Высшая школа, 1988. – 80с.
3. Бобылев, О. В. Производство электроизоляционных материалов: учебник для профессионального обучения рабочих на производстве/О. В. Бобылев, А. В. Кудрявцев, Б. И. Левин. - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва: Высшая школа, 1986. – 264с.
4. Штофа, Ян. Электротехнические материалы в вопросах и ответах /Ян Штофа; под ред. Б. М. Тареева; пер. В. И. Васина. - Москва: Энергоатомиздат, 1984 - 200 с.
5. Богородицкий Н. П. Электротехнические материалы: учебник для студентов электротехнических и энергетических специальностей вузов/Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, Б. М. Тареев. - 7-е изд., перераб. и доп. - –Л.: Энергоатомиздат, 1991, 364 с.
6. Стрелецкий А. В., Наймушина Д. А. Твердое тело. Проверено 8 марта 2012. Архивировано 31мая 2012 г. Дроздов, Н. Г. Электроматериаловедение: учебник для профессионально-технических организаций образования.
7. Справочник электрика для профи и не только... Современные технологии XXI века/Под редакцией Корякина-Черняка С.М. - СПб: Наука и Техника, 2013. - 576 с.
8. Конструкционные и электротехнические материалы: учебник для учащихся средних специальных учебных заведений электротехнических специальностей/ [В. Н. Бородулин, А. С. Воробьев, С. Я. Попов и др.]; под ред. В. А. Филикова. - Москва: Высшая школа, 1990 - 295
9. Корицкий Ю. В. Электротехнические материалы: учебник для электромеханических техникумов/Ю. В. Корицкий. - 3-е изд., перераб. - Москва: Энергия, 1985, 319 с.
10. Материалы: учебное пособие для профессионально-технических училищ / под ред. А. Н. Трифонова; [С. В. Серебрянников]. - Москва: Высшая школа, 1992.
11. Электротехнический справочник. Общие вопросы. Электротехнические материалы Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова, П. Г. Грудинского, Л. А. Жукова и др. — 6-е изд., испр. и доп. — М.: Энергия, 1980. — 520 с, ил.
12. Материалы для производства изделий электронной техники: учебное пособие для средних профессионально-технических училищ/[Г. Н. Кадыкова, Г. С. Фонарев, В. Д. Хвостикова и др.]. - Москва: Высшая школа, 1987.
13. Казарновский Д.М., Тареев Б.М. Испытание электроизоляционных материалов. - Л.: Энергия, 1980.



14. Лидин Р.А., Андреева Л.Л., Молочко В.А. Справочник по неорганической химии. Константы неорганических веществ. - М.: «Химия», 1997.
15. Паулинг В.Л. Природа химической связи. - М.-Л.: Издательство химической литературы, 1997. Пиментел Дж., О. Мак-Клеллан. Водородная связь, пер. с англ. - М., 2004.
16. 17. Справочник химика. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.-М.: ГНТИ Химической литературы, 2002.
17. Шусторович Е. М. Химическая связь. Сущность и проблемы. - М.: «Наука», 1993.
18. Антипов Б.Л., Сорокин В.С., Терехов В.А. Материалы электронной техники. Задачи и вопросы. -М.: Высшая школа, 1990, 208 с.
19. Зиман Дж. Электроны в металлах (введение в теорию поверхностей Ферми). Успехи физических наук, 2002.
20. Электротехническое материаловедение: методические указания и индивидуальные задания студентов ИДО, обучающихся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника» / сост. С.Н. Шуликин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 44 с.
21. Вишневецкий Ю.Т. Материаловедение для технических колледжей: Учебник/Ю. Т. Вишневецкий. - М.: Дашков и К, 2007-332с.
22. Электротехнические и конструкционные материалы: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования/ В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, В.М., Матюнин т и др.; Под ред. В.А. Филикова. - М: Мастерство: Высшая школа, 2004-280с.
23. Троицкий, И. Д. Производство кабельных изделий: учебное пособие для средних профессионально-технических училищ / И. Д. Троицкий. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Высшая школа, 1988. – 239с.
24. Рез И. С., Поплавко Ю. М. Диэлектрики. Основные свойства и применения в электронике. - М.: Радио и связь, 1989. — 288 с. — ISBN 5-256-00235-X.
25. Соколов, А. Д. Термореактивные пластмассы для электротехники/А. Д. Соколов, В. С. Артемов. - Москва: Энергоатомиздат, 1984- 160 с
26. Притыкин, Л. М. Клеи и их применение в электротехнике / Л. М. Притыкин, М. Г. Драновский, Х. Р. Паркшеян. - Москва: Энергоатомиздат, 1983-136с.
27. Астахин, В. В. Электроизоляционные лаки, пленки и волокна / В. В. Астахин, В. В. Трезвов, И. В. Суханова. - Москва: Химия, 1986 - 160 с.
28. Богородицкий Н.П., Волокобинский Ю.М., Воробьев А.А., Тареев Б.М. Теория диэлектриков. - М.Л.: Энергия, 1965 - 304 с.ил.
29. Диэлектрик//Большая советская энциклопедия: гл. ред. А. М. Прохоров. - 3-е изд. - М.: Советская энциклопедия, 1969-1978.
30. Барфут Дж., Тейлор Дж. Полярные диэлектрики и их применения. М.: Мир, 1981 - 527 с.

31. Рез И. С., Поплавко Ю. М. Диэлектрики. Основные свойства и применения в электронике. — М.: Радио и связь, 1989. — 288 с: ил. ISBN 5-256-00235-X.

32. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков. — М.: Высшая школа, 1977. — 448 с. — 22 000 экз.

33. Рогачева Л.В. Материаловедение. — М.: Колос-Пресс, 2002. 136 с. - ISBN 5-901-705-12-2.

34. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник / В.Б. Арзамасов, А.Н. Волчков, В.А. Головин и др.; Под ред. В.Б. Арзамасова, А.А. Черепихина. - 3-е изд., стереотип. - М.: Академия, 2011. - 448 с.

35. Целебровский Ю. В. Электротехническое материаловедение. Сборник практических заданий: учеб. пособие / Ю. В. Целебровский, Н. А. Черненко; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. - 148 с. - 500 экз. - ISBN 978-5-7782-2895-5.

36. Никулин, Н. В. Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям/Н. В. Никулин. - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва: Высшая школа, 1982- 216 с.:

37. Васильев, Н. П. Лабораторные работы по электроматериаловедению: учебное пособие для средних профессионально-технических училищ / Н. П. Васильев. - 6-е изд., перераб. и доп. - Москва: Высшая школа, 1987-96 с.

38. Бекмагаметова К.Х. Электротехническое материаловедение. - Алматы: Гылым, 2000, 256 с.

39. Электротехнические и конструкционные материалы: учебник для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы среднего профессионального образования / [В. Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В. М. Матюнин и др.]; под общ. ред. В. А. Филикова. - 8-е изд., испр. - Москва: Academia, 2013 — 280 с

40. <https://mehanik-ua.ru> от 12.06.2018



Б.К.СУЮНДУКОВА, Г.Б.ТУГЕРОВА,  
Г.Б. АРАПОВА, А.В. КЕЛАЗЕВ

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Подписано в печать 10.12.2018 г.  
Формат 60\*84 1/8  
Печать цифровая  
Усл. печ. л. 18,7. Тираж 32 экз.

Отпечатано компания «Профи Полиграф»