

**Теоретические основы по учебному предмету
«ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»**

**ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТАХ**

(справочник)

*Теоретические основы по учебному предмету
«Электроматериаловедение» разработаны на основании типовой
учебной программы по учебному предмету «Электроматериаловедение»,
утверждённой постановлением Министерства образования
Республики Беларусь 19.04.2021 г. №70.*

*Рекомендуется для использования преподавателями, мастерами п/о при
организации и проведении теоретических и практических занятий;
учащимися для изучения учебного материала.*

*Предназначены для подготовки рабочих кадров по квалификации
3-36 03 52 - 51 «Электромонтер по ремонту и обслуживанию
электрооборудования» – 2, 3, 4-й разряды*

Содержание

Содержание	1
Введение	2
ТЕМА 2. Диэлектрики	3
Слоистые пластмассы	3
Керамика	3
Металлокерамика	4
Минеральные твердые диэлектрики	4
Асбест	4
Бакелит	5
Композиционные материалы (пластмассы)	6
Общие сведения	6
Термопластические пластмассы (термопласты)	7
Терморезистивные пластмассы (реактопласты)	8
Киперная лента	8
ТЕМА 3. Проводниковые материалы и изделия	10
Медь (Cu)	10
Таблица 2. Применение меди	12
Проводниковые сплавы	12
Манганин	12
Константан	13
Нихром	13
Проводниковые материалы с малым удельным сопротивлением	14
Алюминий	14
Серебро	15
Обмоточные провода	16
Назначение	16
Классификация обмоточных проводов	16
ТЕМА 8. Конструкционные материалы	21
Стали	21
Общие сведения	21
Углеродистые стали	21
Легированные стали	23
Сплавы на основе меди	24
ТЕМА 5. Магнитные материалы	26
Технически чистое железо	26
Карбонильное железо	26
Электротехническая листовая сталь	26
Приложения	30
Приложение 1. Основной сортамент обмоточных проводов с эмалевой изоляцией	30
Приложение 2. Характеристики некоторых медных и алюминиевых проводов с эмалевой изоляцией	31
Приложение 3. Основной сортамент обмоточных проводов с волокнистой изоляцией	32
Приложение 4. Основной сортамент обмоточных проводов с эмалево-волокнистой изоляцией	33
Приложение 5. Характеристики некоторых медных монтажных проводов	34
Приложение 6. Группы электротехнических сталей	35

ВВЕДЕНИЕ

Основные материалы, применяемые в электрических аппаратах, могут быть разбиты на следующие группы:

проводниковые - главным образом [медь](#), [алюминий](#), [сталь](#), [латунь](#);

магнитные – различного рода стали и сплавы для магнитопроводов;

изоляционные - [киперная лента](#), [текстолит](#), [гетинакс](#), [бакелитовые сплавы](#), [керамика](#);

дуго(огне)стойкие изоляционные материалы - [асбест](#), [керамика](#), [пластмассы](#) для дугогасительных камер;

сплавы высокого сопротивления – [нихром](#), [манганин](#), [константан](#);

контактные материалы - [серебро](#), [медь](#), [металлокерамика](#);

биметаллы – используется разное линейное удлинение механически соединённых стали и алюминия, при нагревании протекающим по ним током;

конструкционные материалы – [металлы](#) и [пластмассы](#), обеспечивающие форму элементов конструкций и воспринимающие механические усилия.

Кроме того, к проводниковым изделиям относятся [обмоточные провода](#).

ТЕМА 2. ДИЭЛЕКТРИКИ

Слоистые пластмассы

Представляют собой сочетание термореактивной смолы с листовыми наполнителями, в качестве которых применяют: хлопчатобумажные, асбестовые и стеклянные ткани, бумагу, древесный шпон.

Гетинакс (наполнитель — бумага, пропитанная фенолоформальдегидной смолой или другими смолами этого же типа). *Огнестойкие* варианты гетинакса обозначаются **FR-1**, **FR-2** (с пропиткой фенольной смолой) и **FR-3** (с пропиткой эпоксидной смолой).

Свойства и характеристики: обладает высокими диэлектрическими свойствами и удовлетворительной механической прочностью; обладает анизотропными свойствами; удельное объемное сопротивление (в 50...100 раз), электрическая прочность (в 5... 8 раз), влажностные и механические свойства продольных слоев в несколько раз ниже, чем поперечных; недугостоек (электрические разряды на поверхности гетинакса оставляют следы с большой проводимостью); относится к числу сильнополярных диэлектриков; электрическая прочность (перпендикулярно слоям) составляет около 30 МВ/м, $\epsilon = 6...7$, $\text{tg}\delta = 0,04...0,08$ (на частоте 10^6 Гц).

Область применения: аппаратура низкого и высокого напряжения для изготовления барьеров, перегородок, панелей, щитков, различного рода плоских электроизоляционных деталей и оснований и т. д.

Гетинакс марки ЛГ (на основе лавсановой бумаги и эпоксидной смолы).

Отличительные особенности: высокие влажностная, механические и электрические свойства (детали из него не требуют лакировки в условиях повышенной влажности). *Применение:* успешно заменяет электротехнические текстолиты.

Текстолит изготавливают методом горячего прессования хлопчатобумажной ткани, пропитанной фенолформальдегидной смолой.

Марки: А, Б и Г — на основе бязи и на шифоне.

Свойства и характеристики: обладает повышенной стойкостью к истиранию и расслоению; водопоглощаемость несколько меньше, чем у гетинакса; электрические характеристики ниже.

Область применения: используют там, где не требуется высоких электроизоляционных свойств, но требуется большая механическая прочность (для изделий, подвергающихся ударным нагрузкам или работающих на истирание — детали переключателей, подшипники); в интервале температур от -60 до $+150$ °С.

Керамика

Керамика — твердый плотный поликристаллический неорганический материал, который получают спеканием (обжиг) неорганических солей с минералами и оксидами металлов.

Состав: в качестве исходных материалов используют непластичные кристаллообразующие (неорганические соли (хлористый алюминий, хлористое железо, хлористый магний и др.), минералы (кварц, глинозем и тальк), карбонаты) и пластичные компоненты (различные глинистые материалы).

Керамические материалы представляют собой *многофазную систему*, состоящую из кристаллической, аморфной или стекловидной и газовой фаз.

Свойства и характеристики: более или менее пористые (даже в обожженной до максимальной плотности керамике объем закрытых пор составляет 2...6%, а в пористых материалах, таких как фарфор, объем пор 15...25%, причем у фарфора открытая пористость); обладают высокой нагревостойкостью, износостойкостью и механической прочностью; радиационной стойкостью; устойчивостью против старения; влагостойкостью, высокими диэлектрическими свойствами, стабильностью и надежностью параметров при эксплуатации, возможностью получения заранее заданных характеристик путем изменения состава массы; невозможно изготовить гибкие изделия; трудность механической обработки (изделия поддаются только шлифовке).

Классификация: по применению – различают керамику установочную и конденсаторную (каждый вид делится на 5 классов), по величине диэлектрических потерь – низкочастотную и высокочастотную.

Металлокерамика

Металлокерамика — искусственный материал, представляющий собой гетерогенную композицию металлов или сплавов с неметаллами (керамикой).

Другие названия: керметы, керамико-металлические материалы, спечённые антифрикционные материалы, твёрдые сплавы.

Металлокерамики объединяют важные конструкционные и эксплуатационные свойства металлов и неметаллов. Они отличаются большой прочностью, высокими износо- и теплостойкостью, антикоррозионными свойствами. Применяются в качестве антифрикционных или защитных покрытий деталей и самостоятельных конструкционных материалов в авиастроении, автомобилестроении, транспортном и химическом машиностроении, электроприборостроении, трубостроении и других отраслях промышленности.

Минеральные твердые диэлектрики

Асбест

Асбест (горный лен) (см. **Рисунок 1**) – это природный минерал, обладающий волокнистым строением.

Наиболее распространенный тип асбеста – *хризотилвый* – представляет собой волокнистую разновидность минерала хризотила.

Свойства и характеристики: плотность 2500 кг/м^3 ; $\sigma_p = (300 \div 400) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; волокна не впитывают воду, но покрываются водяной пленкой; достоинство – высокая нагревостойкость и негорючесть; при $t=1450^\circ\text{C}$ плавится; рабочая температура $t=450^\circ\text{C}$ (при $t>450^\circ\text{C}$ волокна теряют механическую прочность, так как удаляется химически связанная вода); электрические свойства (асбестовые бумаги и ткани) невысоки: $\rho_v=109 \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$, $E_{пр}=1 \div 2 \text{ кВ/мм}$.



Рисунок 1. Асбест (горный лен)

Область применения: изготавливают пряжу, ленты, ткани, картоны и др. изделия; электроизоляционную бумагу толщиной $0,2 \div 1$ мм; ленты полотняного переплетения толщиной $0,4 - 0,6$ мм и шириной $20 - 30$ мм, которые служат для изоляции катушек полюсов и секций обмоток электрических машин высокого напряжения; ленты из железистого асбеста применяют для выравнивания электрического поля на частях обмоток, выходящих из пазов сердечника статора, где наблюдается концентрация силовых линий электрического поля (это может вызвать пробой изоляции обмоток); ленты с высоким содержанием магнетита (железистые асбестовые ленты) используют в электрических машинах высокого напряжения для улучшения картины электрического поля в местах выхода секций обмотки из пазов; асбестовые ткани толщиной $1,6 - 2,9$ мм.

Бакелит

Электроугольные изделия изготавливают методами порошковой технологии из: *основание* – смеси углеродистых материалов (графита, кокса, сажи, антрацита); *связующие вещества* – каменноугольные и синтетические смолы; бакелитовые, кремнийорганические и др.; в исходный состав иногда вводят еще металлические порошки (медный, свинцовый, оловянный и др.).

Бакелитовая смола (бакелит) – это твердое хрупкое вещество коричневого цвета (при комнатной температуре), которая имеет характерный запах фенола (карболовой кислоты). Получают ее из резольной.

Может находиться в трех стадиях: резол, резитол, резит.

Основные свойства и характеристики:

резол (находится в твердом или жидком состоянии) – может растворяться в органических растворителях и плавиться);

резитол (твердая смола) – не растворяется в органических растворителях, но набухает в них; не плавится, но может размягчаться при повышении температуры);

резит (твердая смола) – не набухает в растворителях, не плавится, обладает механической прочностью, хорошими электроизоляционными свойствами; устойчива в водных и слабокислых средах, бензине, маслах).

Область применения: в качестве связующего вещества в пластмассах; для получения бакелитовых лаков; применяют жидкие водно-эмульсионные бакелитовые смолы (содержат 15—20% воды); спиртовыми лаками и жидкими смолами пропитывают волокнистые основы (бумага, ткани), применяемые для производства слоистых электроизоляционных материалов (гетинакса, текстолита, стеклотекстолита и др.); пластмассовые изделия, изготовленные на основе резольных смол, не рекомендуется применять там, где возможно образование сильных электрических искр.

Композиционные материалы (пластмассы)

Общие сведения

Пластическими массами (пластмассами, пластиками) называют группу неметаллических материалов, которые способны изменять свою форму при определенных давлениях и температурах и устойчиво сохраняют приданную им форму после прекращения действия этих факторов пластмассы.

Состав: *пластмассы* - композиционные материалы, т.е. в их состав входит несколько компонентов:

связующие – органические, синтетические и натуральные полимеры (смолы), кремнийорганические и фторорганические полимеры и другие вещества – основа пластмасс, определяют свойства (характеристики) изготавливаемых изделий;

наполнители (40-60 %) – обладают способностью прочно сцепляться со связующим веществом, придают пластмассам требуемые свойства: механическую прочность (древесная мука, асбест), теплопроводность (молотый мрамор, кварц), диэлектрические свойства (молотая слюда или кварц), нагревостойкость (асбест, стекловолокно);

пластификаторы – маслообразные синтетические жидкости с высокой температурой кипения (стеарин, парафин, камфару, олеиновую кислоту, сульфитную целлюлозу и др.) – увеличивают эластичность, хладостойкость, уменьшают хрупкость, адгезию к стенкам пресс-форм;

отвердители – кислоты, ангидриды и т. п. – вводятся с целью соединения (сшивки) связей между молекулами для образования неплавких пластмасс;

стабилизаторы – способствуют сохранению пластмассами своих основных свойств;

красители – для придания определенного цвета.

Классификация:

в зависимости от наполнителя: **пресс-порошки** – с порошковым; **волокниты** – с волокнистым; **слоистые пластикаты** – со слоистым;

по способу переработки – пресс-порошки и пресс-материалы, листовые и фасонные слоистые материалы и пленочные материалы;

по нагревостойкости – подразделяют на несколько классов:

- ▶ **Е** — с нагревостойкостью до 120 °С; к нему относятся пластмассы на основе фенол- и меламиноформальдегидных смол с органическими наполнителями, текстолит, гетинакс;
- ▶ **В** — с нагревостойкостью до 130 °С; к нему относятся те же пластмассы, что и в классе *Е*, но с неорганическими наполнителями;
- ▶ **F** — с нагревостойкостью до 155 °С; к нему относятся сложные пластики на основе стекла или асбеста;
- ▶ **С** — с нагревостойкостью до 180 °С; к нему относятся прессовочные и слоистые пластмассы на основе асбеста и стекла с кремнийорганической связкой;

по химическим свойствам – термопластичные и терморезистивные.

Свойства и основные характеристики: обладают высокими механическими свойствами, достаточными для изготовления изделий, которые не подвергаются значительным динамическим нагрузкам; хорошими электроизоляционными свойствами, что позволяет использовать их в качестве диэлектриков; высокой стойкостью к коррозии; высокой химической стойкостью; низкой гигроскопичностью; легкостью (плотность пластмасс обычно составляет 900... 1800 кг/м³); имеют широкий диапазон коэффициентов трения и высокое сопротивление истиранию; хорошие оптические свойства и прозрачность.

Область применения композиционных пластмасс в качестве электроизоляционных и конструкционных: из них выполняют корпуса радиоприемников, телевизоров, измерительных приборов, наушники, ламповые панельки, клеммные щитки, головки кнопок, рукоятки, штепсельные разъемы и др.

Термопластические пластмассы (термопласты)

Термопласты обладают способностью под действием температуры и давления плавиться, а при охлаждении затвердевать, принимая требуемую форму: чаще всего используют чистые полимеры (полиэтилен, поливинилхлорид, фторопласты), композиционные пластмассы (полиамиды с наполнителями, полиимиды).

Называют *литьевыми*, так как перерабатываются в детали (изделия) преимущественно методом литья под давлением или экструзией.

Свойства и характеристики: низкий температурный предел (60—80° С), при котором деталь (изделие), находясь под нагрузкой, сохраняет свою форму; отличаются значительной ползучестью (хладотекучестью) под влиянием постоянно действующей нагрузки, которая повышается с увеличением нагрузки и повышением температуры; резкое изменение механических свойств с изменением температуры даже в интервале температур, лежащих ниже температурного предела теплостойкости.

Область применения: для изготовления деталей различных приборов общего назначения, в электро- и радиотехнике и т. д.

Винипласт – жесткий термопластичный материал, в состав которого кроме поливинилхлорида входят наполнители, стабилизаторы, модификаторы и пластифицирующие агенты.

Свойства и характеристики: обладает сравнительно высокой для пластмасс прочностью, эластичностью и малым удельным весом; высокой химической стойкостью к различным агрессивным средам.

Пластикат – термопластичная смесь пластифицированного поливинилхлорида.

Область применения: применяется для изготовления прокладок, трубок, лент.

Полиолефины (полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен, поливинилциклогексан и другие) – группа материалов на основе высокомолекулярных соединений, образующихся при гомо- или сополимеризации олефинов, большинство из них – кристаллические пластмассы со сравнительно высокой степенью кристалличности.

Фторопласты (фторлоны) – это группа пластмасс на основе полимеров различных ненасыщенных фторсодержащих соединений. К ним относится фторопласт - 4 (фторлон - 4) - политетрафторэтилен, не содержащий никаких добавок и модификаторов, который не переходит в вязкотекучее состояние даже при температуре разложения (выше 415°C).

Акриловый пластмасс – группа включает пластмассы и сополимеры акриловой и метакриловой кислот и их производных. Например, полиметилметакрилат, представляющий собой аморфный прозрачный полимер.

Свойства и характеристики полиметилметакрилата: обладает высокой проницаемостью для излучения видимого и ультрафиолетового спектра; при нагревании выше температуры 120°C размягчается, переходит в высокоэластическое состояние и легко формуется; выше температуры 200 °C начинается заметная деполимеризация полимера.

Термореактивные пластмассы (реактопласты)

Термореактивные пластмассы размягчаются под действием температуры и давления, при дальнейшем нагревании они необратимо переходят в неплавкое и нерастворимое состояние, сохраняя приобретенную форму: чаще используются фенопласты, аминопласты, кремнепласты, пластмассы на основе эпоксидных смол с различными наполнителями. Термореактивные пластмассы не поддаются вторичной переработке.

Исходный материал для изготовления большинства изделий из термореактивных пластмасс – *прессовочные порошки*.

К группе *термореактивных пластмасс* относятся **пресс-порошки, волокниты и слоистые пластики**.

Киперная лента

Киперная лента (см. **Рисунок 2**) представляет собой полоску хлопчатобумажной ткани шириной от 8 до 50 мм.

Состав: хлопок, который переплетается с синтетическими нитями полиэстера или вискозы.



Рисунок 2. Киперная лента

Ленты промышленные — изготавливаются для решения производственных задач. Акцент делается на эксплуатационные свойства ленты, а не на внешний вид.

В таком типе лент дополнительно к хлопку вплетают прорезиненные нити или стекловолокна: готовое изделие становится прочнее и выдерживает нагрузку в несколько килограмм. Ленты промышленного типа не окрашиваются, края их остаются не заделанными.

Свойства: прочность, стойкость к истиранию.

Метод получения: получают методом саржевого переплетения, когда нити основы и утка пересекаются друг с другом под определенным углом, образуя диагональный рисунок.

Применение: применение киперной ленты позволяет проводить монтаж электрических сетей, осуществлять обмотку трансформаторов и укрепление мест стыка кабелей и проводов. Участки, обмотанные такой лентой, не представляют опасности и позволяют безопасно эксплуатировать электрические приборы. Киперная лента одновременно выполняет функцию уплотнительного и изоляционного материала.

ТЕМА 3. ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Медь (Cu)

Проводниковая медь (см. **Рисунок 3**) представляет собой очищенный от различных примесей металл красновато-оранжевого цвета.

Марки:

методом холодной протяжки получают твердую медь (МТ), после отжига - мягкую медь (ММ);



Рисунок 3. Медь

марок, которые классифицируются по чистоте содержания основного металла достаточно много: М00, М0, М1, М2 и М3. В качестве электротехнической меди применяются лишь две марки (М0 и М1) по ГОСТ 859-2014;

распространены также марки М1р, М2р и М3р, которые характеризуются содержанием кислорода в пределах 0,01% и фосфора 0,04%;

из электролитической меди переплавом в вакууме получают бескислородную медь марки М00 (99,99% Cu);

вакуумная медь марки МВ выполняется в вакуумных индукционных печах.

Основные свойства и характеристики:

медь – температура плавления 1083°C; температурный коэффициент линейного расширения – $17 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/\text{C}$; хорошие механические свойства, пластичность; устойчива к атмосферной коррозии; по удельному сопротивлению (у чистой меди $\rho=0,017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$) уступает только серебру;

марки М0 и М1: свободная от содержания кислорода и окислов меди; меньшее количество примесей и существенно более высокая пластичность в сравнении с марками М0 и М1; по проводимости не отличается от меди М0 и М1.

марки МТ и ММ – см. **Таблица 1**.

Таблица 1. Свойства меди марок МТ и ММ

Марка меди	σ_p , МПа	НВ	Относительно удлинение I_p , %	ρ , мкОм·м
ММ	250...280	< 35	6...35	0,0172...0,01724
МТ	340...450	65...120	0,5...2	0,0177...0,0180

Любая примесь уменьшает электропроводность меди (см. **Рисунок 4**).

Бериллий, мышьяк, железо, кремний и фосфор, присутствующие в меди в долях процента, снижают ее удельную проводимость до 50% и более. Висмут и свинец в тысячных долях процента вызывают растрескивание при горячей обработке давлением (красноломкость) из-за образования легкоплавких эвтектик.

Кислород с медью образует оксиды, что затрудняет пайку, лужение и повышает ρ .

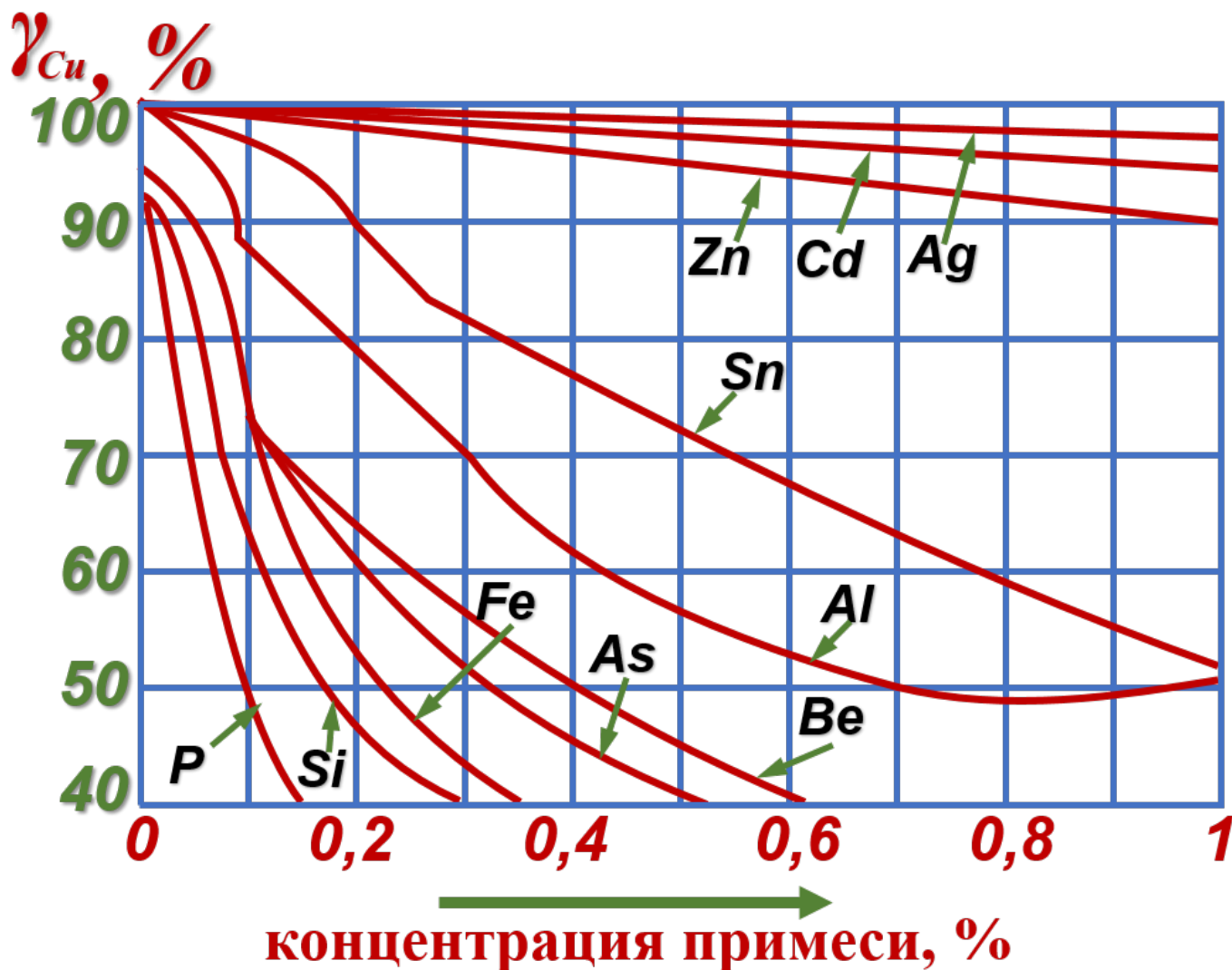


Рисунок 4. Влияние примесей на удельную электропроводность меди

Водород вызывает хрупкость, образуя микротрещины.

Область применения:

медь — для изготовления медной проволоки круглого (диаметром от 0,02 до 10 мм) и прямоугольного сечения (меньшая сторона проволоки (шин) находится в пределах от 0,8 до 4 мм, большая сторона — от 2 до 30 мм); проводниковых изделий (обмоточные и монтажные провода и кабели) — содержание примесей не более 0,05 — 0,1 %; тонкой ленты.

марка МТ: используют, если необходимо обеспечить высокую прочность, твердость и износостойкость; для изготовления контактных проводов, шин распределительных устройств, коллекторных пластин электрических машин, волноводов, экранов, жил кабелей и приводов диаметром до 0,2 мм;

марка ММ: где важны гибкость и пластичность; применяют для проводов различного назначения, жил кабелей, шин распределительных устройств, обмоток трансформаторов, токоведущих деталей приборов, анодов в гальванопластике, обмоточных проводов;

остальные — см. **Таблица 2**.

Таблица 2. Применение меди

Материал	Применение
М0	для проводников тока и сплавов высокой чистоты
М00	для проводников тока и сплавов высокой чистоты
М001	Для изготовления проволоки контактных проводов, шин и других электротехнических изделий
М001б	Для изготовления проволоки контактных проводов, шин и других электротехнических изделий
М00б	для изготовления проводников тока и сплавов высокой чистоты: приборов электровакуумной промышленности
М0б	для проводников тока и сплавов высокой чистоты
М1	Для проводников тока, проката и высококачественных бронз, не содержащих олова: для изготовления изделий криогенной техники; для изготовления проволоки и прутков для автоматической сварки в среде инертных газов, под флюсом и газовой сварки неотчетственных конструкций из меди а также изготовление электродов для сварки меди и чугуна
М1б	для изготовления проводников тока и сплавов высокой чистоты приборов электровакуумной промышленности
М1Е	Для производства холоднокатаных фольги и ленты, холоднокатаных и горячекатаных листов и плит, предназначенных для электротехнической промышленности
М1к	как исходное сырье для производства литых и деформированных полуфабрикатов из меди и медных сплавов
М1р	Для проводников тока, проката и высококачественных бронз, не содержащих олова; для изготовления проволоки и прутков для автоматической сварки в среде инертных газов, под флюсом и газовой сварки неотчетственных конструкций из меди, а также изготовление электродов для сварки меди и чугуна
М2	для высококачественных полуфабрикатов и сплавов на медной основе, обрабатываемых давлением, для изготовления изделий криогенной техники
М2к	как исходное сырье для производства литых и деформированных полуфабрикатов из меди и медных сплавов
М2р	Для высококачественных полуфабрикатов и сплавов на медной основе, обрабатываемых давлением; для изготовления прутков для газовой сварки конструкций общего назначения из меди
М3	для проката, сплавов на медной основе и прочих литейных сплавов: для изготовления изделий криогенной техники

Проводниковые сплавы

Манганин

Описание: светло-оранжевый сплав, который получил свое название из-за содержания в нем марганца (лат. *манганум*).

Состав: 84-86% - меди, 2-3% - никеля и 12-13% - марганца.

Основные свойства и характеристики:

марганина: плотность $D = 8400 \text{ кг/м}^2$; рабочая температура 200°C ; $t_{\text{пл}} = 960^\circ\text{C}$; $\text{ТКЛР} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$; $\rho = 0,42 \dots 0,47 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$; $\delta = 450 \dots 600 \text{ МПа}$; сравнительно пластичный;

твердых изделий: $\sigma_p = (55 \div 58) \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$; $\varepsilon_p = 5 \div 9\%$; $\rho = 0,47 \div 0,5 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$; $\text{ТК } \rho = (2 \div 6) \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Область применения: прокаткой и волочением получают мягкие и твердотянутые проволоки диаметром 0,02-6 мм (при температуре 60°C она окисляется), которую применяют в стеклянной изоляции (ей присущи высокие электроизоляционные свойства, повышенная нагрево- и влагостойкость); микропровод (имеет пониженную гибкость из-за хрупкости стеклянной изоляции) используют в миниатюрных высокоточных элементах, в том числе для изготовления прецизионных резисторов больших номиналов.

Константан

Описание: твердый серебристо-желтый раствор никеля и меди, который получил свое название за высокое постоянство (константа) коэффициента удельного электрического сопротивления при изменении температуры.

Состав: медь – 58,5%, никель – 40%, марганец – 1,5%.

Основные свойства и характеристики: $\rho = 0,48 \dots 0,52 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$; $D = 8900 \text{ кг/м}^2$; рабочая температура 400°C ; при нагревании до высокой температуры (примерно 900°C) на поверхности образуется оксидная изолирующая пленка.

Область применения: изготавливают мягкие и твердые изделия: проволоку диаметром от 0,03 до 5 мм и ленту толщиной до 0,1 мм; для изготовления реостатов, резисторов и электронагревательных элементов без специальной межвитковой изоляции; изолированная константановая проволока в паре с медной применяется для изготовления термопар; проволока, ленты могут использоваться при температурах не выше 500°C .

Нихром

Описание: представляют собой твердые растворы никель-хром или тройные сплавы никель-хром-железо.

Маркировка:

общая: первая позиция – буква «Х» - хром; вторая позиция – процентное содержание хрома; третья позиция – буква Н (никель); четвертая позиция – его процентное содержание. **Пример:** Х20Н80 – хрома 20 %, никеля 80%;

с дополнительными присадками. **Пример:** Х20Н80-Н, Х15Н60-Н – содержат в качестве добавки цирконий.

с информацией о способе производства сплава. **Пример:** Х15Н60-ВИ и Х20Н80-ВИ – изготовлены методом вакуумно-индукционной плавки.

Основные свойства и характеристики:

общие: $\rho = 1,1 \dots 1,2$ мкОм·м; $\sigma_p = 650 \dots 700$ МПа; $D = 8200 \dots 8300$ кг/м²; рабочая температура 1000°C; при резких сменах температуры происходит растрескивание оксидных пленок;

марок X20H80, X15H60: см. в таблице (см. Таблица 3).

Таблица 3. Свойства нихрома

Свойство	Марки	
	X20H80	X15H60
Плотность, г/см ³	8,4	8,2
Температура плавления, °С	1400	1390
Удельное сопротивление, Ом·м	1,0-1,1·10 ⁻⁶	
Магнитность	не магнитен	не магнитен
Твердость, НВ	140-150	140-150
Удельная теплоемкость, кДж/кг·К при 25°C	0,44	0,46

Формы выпуска (см. Рисунок 5): нихромовая проволока, нить (проволока малых диаметров) и лента; прутки и круги.



Рисунок 5. Формы выпуска нихрома (слева направо): проволока, нить, лента, прутки

Область применения:

нихром: для изготовления электронагревательных элементов; применяется в высокотемпературных электропечах, печах обжига и сушки, различных электрических аппаратах теплового действия;

нихромовая проволока (диаметр до 0,12 мм): используют для изготовления проволочных резисторов, потенциометров, паяльников, электропечей и пленочных резисторов интегральных схем.

Проводниковые материалы с малым удельным сопротивлением

Алюминий

Алюминий (см. Рисунок 6) – легкий металл.



Рисунок 6. Алюминий

Основные свойства и характеристики: малый удельный вес: плотность алюминия составляет 2,7 г/см³, (почти в 3,5 раза ниже, чем у меди); низкая механическая прочность; высокая пластичность и коррозионная стойкость в водяном паре, пресной и морской воде; на воздухе очень быстро покрывается тонкой пленкой оксида, который надежно защищает алюминий от проникновения кислорода воздуха, а пленка обладает значительным электрическим сопротивлением; высокая электропроводность ($\rho = 0,028$ мкОм·м); удельное электрическое сопротивление в 1,63 раза больше, чем у меди; удельная теплоемкость и теплота плавления выше, чем у меди; при увлажнении мест соединения алюминиевых проводов с проводами из других металлов могут образоваться гальванические пары..

Маркировка: см. в ГОСТ 4784-2019.

Область применения:

– **проводниковый алюминий:** изготавливают проволоку (марки: **АТП – твердая, повышенной прочности, АТ – твердая, АПТ – полутвердая, АМ – мягкая**), шины (толщиной от 3 до 12 мм при ширине от 10 до 120 мм), трубки, листовой материал, фольгу (толщиной от 0,006 до 0,15 мм используется в качестве обкладок в бумажных и пленочных конденсаторах разных типов), пленки (особой чистоты широко используют в микроэлектронике в качестве межэлементных соединений и контактов) и прочие изделия; используют для обмоточных, монтажных, установочных проводов (алюминиевые провода можно применять неизолированными, благодаря наличию на поверхности металла тонкой и прочной оксидной пленки), линий электропередач, кабельных жил; для формирования токоведущих дорожек, контактных площадок;

– **алюминий высокой степени чистоты, примесей не более 0,001...0,01 %:** для изготовления анодной и катодной фольги электролитических конденсаторов и в микроэлектронике для получения тонких пленок;

– **алюминий с содержанием примесей не более 0,03 %:** для корпусов электролитических конденсаторов, статорных и роторных пластин воздушных конденсаторов;

– **алюминий в окисленном виде:** для изоляции элементов и в качестве межуровневой изоляции в многослойных структурах; алюминиевая оксидная изоляция получила применение в электролитических конденсаторах, а также в различных катушках без дополнительной межвитковой и межслойной изоляции (до 100...250 В).

Серебро

Описание: благородный металл (белый, блестящий), не окисляющийся на воздухе при комнатной температуре.

Маркировка (ГОСТ 6836-2002):

– **марки по химическому составу** – **Ср 99,99** и **Ср 99,9:** «Ср» - серебро; число – массовая доля серебра;

– **марки по химическому составу сплавов:** «Ср» - серебро; «буква» - обозначающая второй компонент сплавов (**М** – медь, **Пл** – платина, **Пд** – палладий), «число-число» – процент содержания серебра и другого компонента.

Пример: **СрПд 80-20** – серебряно-палладиевый сплав, в котором содержится 80% серебра и 20 % палладия.

Основные свойства и характеристики:

– **серебро**: плотность $10\,500\text{ кг/м}^3$; температура плавления $960,5^\circ\text{C}$; температурный коэффициент линейного расширения – $19,3 \cdot 10^{-6}\text{ 1/}^\circ\text{C}$, т. е. немного больше, чем у меди; обладает высокой пластичностью; высокими механическими свойствами ($\sigma_p=200\text{ МПа}$); свойственны низкая дугостойкость, значительная эрозия и свариваемость; при взаимодействии с сероводородом во влажном воздухе образуются непроводящие пленки сульфида серебра; при вжигании или напылении образует прочные покрытия на диэлектриках; химическая стойкость ниже, чем у других благородных металлов (золото, платина, палладий); имеет самую высокую электропроводность ($\rho = 0,016\text{ мкОм}\cdot\text{м}$) и теплопроводность;

– **изделий из мягкого серебра**: $\sigma_p = (15\div 18)\cdot 10^7\text{ Н/м}^2$; $\varepsilon_p = 45\div 50\%$; $\rho = 0,015\text{ мкОм}\cdot\text{м}$;

– **изделий из твердого серебра**: $\sigma_p = (20\div 30)\cdot 10^7\text{ Н/м}^2$; $\varepsilon_p = 46\%$; $\rho = 0,0158\text{ мкОм}\cdot\text{м}$; $\text{TK}_p = 0,00369\text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Область применения: при изготовлении проводников диаметром до 20 мкм и менее; используют в производстве конденсаторов как материал для контактов, в виде гальванических покрытий в ответственных ВЧ и СВЧ устройствах, в виде тонких токопроводящих пленок и печатных платах, монтажных проводах; для покрытия изделий из меди и латуни (серебрение) с целью защиты от окисления и повышения проводимости; входит в состав тугоплавких серебряных припоев; изготавливают тонкую фольгу и проволоку диаметром до $0,01\text{ мм}$; в сплавах с медью, никелем или кадмием – для контактов реле и в других приборах на небольшие токи.

Обмоточные провода

Назначение

Назначение: применяют для изготовления обмоток электрических машин, электрических аппаратов и приборов.

Провод обмоточный имеет в качестве основного параметра диаметр токопроводящей жилы, а не ее сечение.

Жилой называют одну или несколько скрученных между собой проволок, заключённых в общую изоляционную оболочку.

Материал жил: проводниковая медь, проводниковый алюминий и сплавы с большим удельным сопротивлением (манганин, константан, нихром и др.).

Изоляция: эмалевая, пленочная, волокнистая и эмалево-волокнистая.

Классификация обмоточных проводов

1. По материалу изоляции:

– **С волокнистой изоляцией.**

Изоляция: представляет собой одинарную или двойную обмотку из хлопчатобумажной, шелковой пряжи или пряжи из синтетических (лавсан, капрон) или стеклянных волокон.

Материал жил: медные и алюминиевые круглого и прямоугольного сечений.

Свойства и характеристика: толщина волокнистой изоляции намного превосходит толщину эмаль-лаковой изоляции (может достигать до 0,4 мм на сторону); имеют повышенную механическую прочность; электрическая прочность изоляции, пропитанной лаками или компаундами, намного превосходит электрическую прочность эмалевой изоляции; химическая стойкость и влагостойкость проводов невысока; обмотки, изготовленные из проводов с волокнистой изоляцией, требуют тщательной сушки и пропитки изоляционными лаками или компаундами; наибольшей нагревостойкостью обладают провода со стекловолокнистой изоляцией; наибольшей механической прочностью и сопротивлением на истирание обладает изоляция из лавсановых и капроновых волокон.

Основной сортамент: см. **Приложение 3**.

– С эмалевой изоляцией.

Описание: представляет собой гибкое лаковое покрытие, полученное в результате отверждения сплошного слоя эмаль-лака, нанесенного на провод, на специальных эмалировочных машинах; имеет наименьшую толщину (0,003 — 0,060 мм) по сравнению с пленочной и волокнистой.

Область применения: используется только для обмоток катушек, работающих в неподвижном состоянии. Высокопрочный эмалевый провод ПЭТВ, а также ПЭТ-155 применяется для обмоток электродвигателей мощностью до 100 киловатт.

Состав: материалом изоляции служит винифлекс, металвин, кремнийорганическая основа, полиэфиротерефталевая кислота, полиуретан.

Свойства и характеристика: обладает электрической прочностью, устойчивостью к влаге, агрессивным химическим веществам, высокой термостойкостью (способны выдерживать температуру до 155°C).

Маркировка (ГОСТ 26615-85):

1. **Обозначение марки эмалированного провода** (ПЭ) должно состоять из последовательно расположенных букв, обозначающих:

- вид изоляции, форму сечения провода, тип изоляции;
- через дефис конструктивное исполнение, температурный индекс, материал проволоки.

Пример. ПЭВП1-Д 120 А – провод с изоляцией винифлекс, прямоугольного сечения, с толщиной изоляции типа 1, двухслойной изоляцией, с температурным индексом 120°C, с алюминиевой проволокой.

2. **В условное обозначение провода** должны входить:

- марка провода с добавлением (через интервал) номинального диаметра круглой проволоки или размеры сторон прямоугольной проволоки (для прямоугольного провода);
- обозначение стандарта или технических условий на провода конкретных марок.

Примеры. Провод ПЭАИ 1—200 0,100 ТУ* (конкретный НТД) – эмалированный провод с медной проволокой с полиимидной изоляцией, с толщиной изоляции по типу 1, с температурным индексом 200°C и номинальным диаметром проволоки 0,100 мм *;

Провод ПЭУ—К120 0,125 ОСТ* – то же, эмалированный лаком на полиуретановой основе с термопластичным покрытием, с температурным индексом 120°C и номинальным диаметром проволоки 0,125 мм

Провод ПЭЭП-130 1,25Х3,15 ТУ* – то же с медной прямоугольной проволокой, эмалированный лаком на полиэфирной основе, с температурным индексом 130 °С и номинальным размером проволоки 1,25Х3,15 мм:

Основной сортамент медных обмоточных проводов с эмалевой изоляцией – см. **Приложение 1**.

Провода ПЭВ-1, ПЭВ-2 и ПЭМ-1, ПЭМ-2 – основные виды эмалированных проводов.

Основные свойства и характеристики: по нагревостойкости относятся к классу А (105 °С); имеют механически прочную эмалевую изоляцию на основе поливинилацеталевых смол; изоляция проводов ПЭМ-1 и ПЭМ-2 стойка к нефтяному маслу.

Область применения: широко применяются для изготовления обмоток электрических машин общепромышленного применения; провода ПЭМ-1 и ПЭМ-2 находят применение для изготовления обмоток маслонаполненных аппаратов.

Провода ПЭВТЛ-1 и ПЭВТЛ-2 – провода, эмалированные полиуретановыми эмаль-лаками.

Основные свойства и характеристики: по нагревостойкости относятся к классу Е (120 °С); эмаль-лаки образуют механически прочное изоляционное покрытие проводов, обладающее термопластичностью, т. е. оно размягчается при температуре 160 °С; их можно обслуживать и паять без предварительной зачистки изоляции (при пайке изоляция размягчается и в расплавленном виде является флюсующим веществом, обеспечивающим пайку проводов оловянно-свинцовыми припоями).

Область применения: область применения этих проводов ограничена (обмотки электрических машин и аппаратов малой мощности).

Провода ПЭТВ – провода, эмалированные полиэфирным лаком на основе лавсана.

Основные свойства и характеристики: имеют более высокую нагревостойкость (130 °С); хорошие электроизоляционные свойствами.

ПЭТВМ – провода этого же типа с увеличенной толщиной изоляции.

Описание: можно производить механизированную намотку обмоток электрических машин и аппаратов, т. е. хорошо выдерживают многократные перегибы и растяжения.

ПЭТ-155 – провода с эмаль-лаковой изоляцией на полиэфиримидной основе.

Основные свойства и характеристики: по нагревостойкости относятся к классу F (155 °С), обладают хорошими изоляционными свойствами.

ПЭТМ – провода с эмаль-лаковой изоляцией, которая при той же нагревостойкости обладает повышенной механической прочностью. Применяют для механизированной намотки катушек с изоляцией.

ПЭТ-200 – провода с эмаль-лаковой изоляцией, которая изготавливается на основе полиимидов (обладают высоким уровнем электрических и механических свойств). **Область применения:** для работы при температуре 180 — 200 °С.

ПНЭТ-имид – провода, состоящие из медной никелированной жилы, покрытой эмаль-лаковой изоляцией на полиимидной нагревостойкой основе.

Обладают высоким уровнем электрических свойств. **Область применения:** для работы при температуре 220 °С.

ПЭЖБ – обмоточные провода с неорганической изоляцией (стеклоэмаль), которые могут работать при температуре 300 °С, а кратковременно — до 600 °С.

– **С комбинированной изоляцией (с эмалево-волоконистой изоляцией).**

Свойства и характеристика: по своим параметрам находится в промежуточном положении между рассмотренными двумя видами проводов; имеют повышенную механическую и электрическую прочность.

Состав: включает в себя несколько слоев – наружное покрытие обычно состоит из волокнистого материала (из хлопчатобумажной, шелковой, лавсановой или стеклянной пряжи), а внутреннее покрытие – эмаль.

Материал и форма жил: медные круглого сечения.

Область применения: 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 их эксплуатации.

*Например, провод ПЭЛШО (см. **Рисунок 7**)* обозначает: провод медный обмоточный с изоляцией из шелка и лаковой эмали. Если проводник пропитан термостойким лаком и покрыт стекловолокном, то его маркировка содержит букву «К». Этот вид используется для электродвигателей подъемно-транспортных механизмов, в том числе судостроительных кранов.

– **С бумажной изоляцией.**

Материал жил: медные и алюминиевые.

Изоляция: в виде обмотки из кабельной бумаги толщиной 0,10 — 0,12 мм.

Область применения: обмотки трансформаторов с внутренней масляной изоляцией.

Описание: бумажная изоляция, пропитанная маслом, обладает большой электрической прочностью, порядка 80 МВ/м; толщина изоляции во много раз превосходит толщину эмаль-лаковой изоляции, но отличается значительно большей электрической прочностью.

Основной сортамент: см.

Приложение 4.

2. По форме сечения: круглой; прямоугольной (см. **Рисунок 8**).

Размеры прямоугольных сечений проводов стандартизированы. Применяется для обмоток трансформаторов. Толщина прямоугольных проводов достигает до 5,9 мм, а ширина до 14,5 мм. Соотношение этих размеров может различаться.

3. По материалу жилы: алюминиевые, медные.



Рисунок 7. Провод марки ПЭЛШО



Провода с сечением круглой формы



Провода с сечением прямоугольной формы

Рисунок 8. Виды проводов по форме сечения

ТЕМА 8. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Стали

Общие сведения

Стали – это железные сплавы с содержанием углерода 0,05-2,14%.

Классификация сталей:

по химическому составу (основной классификационный признак): углеродистые; легированные (содержат специальные легирующие добавки);

по качеству (по максимально допустимому содержанию вредных примесей серы и фосфора): обыкновенного качества, качественные (меньшее содержание вредных примесей – серы, фосфора, хрома, никеля, меди), высококачественные (см. **Таблица 4**).

Таблица 4. Классификация сталей по качеству

Сталь	Содержание, %, не более		Символ
	серы	фосфора	
Обыкновенного качества	0,050	0,040	Ст (перед условным номером)
Качественная	0,035	0,035	нет
Высококачественная	0,025	0,025	А (в конце обозначения)

по назначению:

▶ **конструкционные стели** применяют для изготовления деталей машин и конструкций *Отличительная особенность:* содержание углерода не более 0,65% и невысокое (1...3%) содержание легирующих элементов: Cr, Ni, Mn, Mo, V, Ti и т.д.;

▶ **инструментальные стали** применяют для изготовления режущего, измерительного и ударно-штампового инструмента. *Отличительная особенность:* содержание углерода 0,7... 1,3% независимо от легирующих элементов;

▶ **с особыми свойствами** (специальные стали): износостойкие; коррозионностойкие (нержавеющие); жаростойкие; теплостойкие; хладостойкие; электротехнические; электромагнитные и ряд других. *Отличительная особенность:* высокое содержание легирующих элементов, как правило, хрома и марганца 12% и выше, никеля 9% и выше.

Углеродистые стали

Классификация:

по содержанию углерода: низкоуглеродистые стали (содержат до 0,3% углерода), среднеуглеродистые (0,3-0,7% углерода), высокоуглеродистые (более 0,7% углерода);

по степени раскисления (проводится с целью предотвращения хрупкого разрушения стали при горячей деформации) и **характеру затвердевания:** спокойные (сп), полуспокойные (пс), кипящие (кп).

Маркировка стали:

1) Обыкновенное качество: буквы **А, Б, В** (в зависимости от гарантийных свойств (см. ниже); буква «А» не ставится); сочетание букв «Ст»; цифры (от 0 до 6) – номер марки; **степень раскисления** (см. выше классификацию).

Стали группы:

▶ **«А»** – поставляются с гарантированными механическими свойствами, химический состав – не указан. С увеличением номера марки повышается прочность и снижается пластичность стали.

▶ **«Б»** – поставляются с гарантированным химическим составом;

▶ **«В»** – поставляются с гарантированными механическими свойствами и химическим составом.

Пример маркировки: СтЗсп – углеродистая сталь обыкновенного качества, по степени раскисления спокойная; БСтЗпс – углеродистая сталь обыкновенного качества с гарантийными свойствами «Б», по степени раскисления полуспокойная; СтЗ – сталь конструкционная, углеродистая, обыкновенного качества, условный номер которой 3.

2) Качественные: двузначными цифрами **05, 08, 10, 15, 20...85** – среднее содержание углерода в сотых долях процента, добавляют индекс «пс», «кп». Индекс «сп» не ставится (см. выше).

3) Конструкционные стали для отливок (ГОСТ 977-88): маркируют аналогично конструкционным качественным углеродистым сталям, только в конце обозначения марки добавляют букву «Л» (литейная).

Пример маркировки: сталь **30Л** – углеродистая, конструкционная, качественная, литейная, содержащая в среднем 0,3% углерода.

4) Инструментальные углеродистые стали (ГОСТ 1435-99): 1) буква «У» (углеродистые); 2) цифры – указывают среднее содержание углерода в десятых долях процента. Различают:

- *качественную* - сталь У7, У8, У9, У10, У12;
- *высококачественную* - У7А...У12А.

Пример маркировки: У10А – инструментальная, углеродистая, высококачественная сталь, которая содержит в среднем 1 % углерода.

Область применения:

- **обыкновенного качества:** для изготовления различных металлоконструкций, слабонагруженных деталей машин и приборов; **стали группы «А»** – используют в горячекатаном состоянии для изделий, изготовление которых не сопровождается горячей обкаткой; **стали группы «Б»** – для изделий, изготавливаемых с использованием горячей обработки (ковки, сварки, термической обработки); **стали группы «В»** – используют для сварных конструкций; в котло-, мосто- и судостроении; **стали группы «Б» и «В» номеров 1-4** – изготавливают сварные фермы, рамы и другие строительные металлоконструкции; **№3, 4 всех групп** – применяют в сельском хозяйстве; **№5, 6 всех групп** – для рельсов, железнодорожных колес, валов, шестерен, шкивов и других деталей высокой прочности;

- **углеродистые качественные стали:** **низкоуглеродистые** – для холодной штамповки различных изделий; **низкоуглеродистые стали 15, 20, 25** – для деталей небольшого размера, от которых требуется твердая износостойкая поверхность и вязкая сердцевина; **среднеуглеродистые стали 30-55** – для изготовления зубчатых колес, шатунов, маховиков, осей, валов и т.п.; **высокоуглеродистые стали 60-85** – в качестве рессорно-пружинных.

Легированные стали

Классификация:

– **по химическому составу (в зависимости от вводимых элементов):** хромистые, марганцовистые, хромоникелевые, хромоникельмолибденовые и т.д.;

– **по общему количеству легирующего элемента:** низколегированные (до 2,5% легирующих элементов), среднелегированные (2,5...10%), высоколегированные (более 10%);

– **по качеству (определяется содержанием газов (кислород, азот, водород) и вредных примесей (сера, фосфор):** качественные (до 0,04% серы и до 0,035% фосфора), высококачественные (до 0,025% серы и до 0,025% фосфора), особовысококачественные (до 0,015% серы и до 0,025% фосфора).

Маркировка:

1. Легированная сталь:

– **число** – для легированных – количество углерода, указанное в сотых долях процента; для инструментальных – среднее содержание углерода в десятых долях процента, если его содержание менее 1% (если 1% или больше – цифру не ставят);

– **буква русского алфавита** – легирующий элемент: **Г** – марганец; **С** – кремний, **Х** – хром, **Н** – никель, **В** – вольфрам, **Ф** – ванадий, **Т** – титан, **М** – молибден, **К** – кобальт, **Ю** – алюминий, **Д** – медь, **Р** – бор (если буква стоит не в начале марки), **Б** – ниобий, **П** – фосфор, **Ц** – цирконий, **А** – азот (если буква стоит не в начале и не в конце марки);

– **число после соответствующего индекса** – количество легирующего элемента в процентах;

– **буква А в конце** – высококачественные стали;

– **буква Ш в конце** – особовысококачественные стали.

В маркировке сталей с особыми свойствами ставят иногда букву, указывающую на их применение: **А** – автоматные, **Р** – быстрорежущие, **Ш** – шарикоподшипниковые, **Э** – электротехнические.

Пример:

▶ **легированная сталь 12Х2Н4А** – высококачественная сталь содержит 0,12% углерода, около 2% хрома, 4% никеля, до 0,025% фосфора и до 0,025% серы (см. выше классификацию по качеству);

▶ **инструментальная сталь 3Х2В8Ф** – содержит 0,3% углерода, около 2% хрома, 8% вольфрама, ванадий;

▶ **инструментальная сталь ХВГ** – содержит углерода более 1%.

2. **Инструментальные легированные стали** (ГОСТ 5950 - 2000): 1) *первые цифры* – среднее содержание углерода в десятых долях процента (если первых цифр (перед буквами) нет, содержание углерода около 1%); 2) принципы расшифровки остальных букв и цифр этих марок изложены выше. К этой группе относятся стали марок 9ХС, Х12М, 9ХФ, Х12Ф, Х, 7Х3, В2Ф.

Пример: сталь **9Х5 ВФ** – инструментальная, легированная, качественная, содержащая 0,9% углерода, 5% хрома, 1 % вольфрама, 1 % ванадия.

3. Быстрорежущие стали (ГОСТ 19265-73): 1) буква **Р** – быстрорежущая (рапид - скорость); 2) цифры после неё указывают среднее содержание основного легирующего элемента (вольфрама) в целых единицах процента; 3) расшифровка остальных букв и цифр изложены выше. К этой группе относятся стали марок Р9К5, Р12Ф3, Р18, Р9М4К8, Р2АМ9К5, Р6М5.

Пример: сталь **Р6М5** – легированная, быстрорежущая (инструментальная), качественная, содержащая 1% углерода, 6% вольфрама, 5% молибдена.

3. Сталь подшипниковая (ГОСТ 801-78): 1) первые буквы означают: **Ш** – подшипниковая, **Х** – хром; 2) цифры после **Х** – содержание хрома в десятых долях процента, буквы **С** и **Г** – легирующие элементы – кремний и марганец (каждого около процента). К этой группе относятся стали марок ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ.

Пример: сталь **ШХ15** – легированная, подшипниковая, качественная, содержащая 1% углерода, 1,5% хрома.

Область применения:

- **хромистые стали** (15Х, 20Х) – для небольших деталей, работающих со средней нагрузкой;
- **хромоникелевые** – для крупных деталей ответственного назначения;
- **хромоникельмолибденовая** (18Х2Н4МА) – используют для крупных деталей особо ответственного назначения (роторы турбогенераторов, работающих при больших нагрузках и температурах);
- **хромомарганцевые с титаном** (19ХГТ, 30ХГТ) и молибденом (25ХГМ) – для деталей массового производства (зубчатые колеса автомобилей);
- **хромокремнемарганцевые** (30ХГСА, 35ХГСА) – для валов, сварных конструкции, деталей рулевого управления;
- **высокопрочные** – в самолетостроении (30ХГСН2А), в изготовлении оружия, корпусов подводных лодок, тросов и т.д.;
- **жаростойкие** (10Х13СЮ, 08Х17Т, 36Х18Н25С2) – в теплообменниках, сопловых аппаратах, газотурбинных установках;
- **жаропрочные** – для работы под нагрузкой в условиях высокой температуры; для изготовления лопаток турбин, камер сгорания и т.д.

Сплавы на основе меди

Латуни (см. **Рисунок 9**) – сплавы меди с цинком. Остальные – **бронзы**.

Маркировка:

► деформируемые латуни:

- 1) **Л** – буква, обозначающая латунь;
- 2) **число** – массовая содержание меди в сплаве в процентах.

Например, Л96, Л63 – деформируемая латунь с содержанием 96 (63) % меди.



Рисунок 9. Латунь

► **легирована другими элементами:** **1) буква после Л** (С – свинец, О – олово, Ж – железо, А – алюминий, К – кремний, Мц – марганец, Н – никель); **2) число после букв** – массовая доля меди (%); **3) через дефис числа** – массовое содержание легирующих элементов, кроме цинка (%).

Например, ЛАН59-3-2 – деформируемая латунь с содержанием 59% меди, 3% алюминия, 2% никеля, остальное – цинк;

► **литейные латуни:** **1) Л** – буква, обозначающая латунь; **2) Ц** – основной легирующий элемент (цинк); **3) число** – массовое содержание его в процентах; **4) буквы** (как и в сталях); **5) числа** после них – легирующие элементы и массовое содержание их в процентах.

Например, ЛЦ23А6ЖЗМц2 – литейная латунь содержит 23% цинка, 6% алюминия, 3% железа, 2% марганца.

Основные свойства и характеристики: обладают большой прочностью, твердостью, коррозионной стойкостью, жидкотекучестью.

Область применения:

- *деформируемые* – изготавливают радиаторные трубки, сильфоны, гильзы, трубопроводы, шайбы, втулки, токопроводящие детали и др.
- *литейные* – используют для фасонного литья;

ТЕМА 5. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Технически чистое железо

Технически чистое железо называется армко-железо.

Содержит менее 0,05% примесей: углерода 0,025%, кремния 0,02%, марганца 0,035%, серы 0,01%; кислород почти полностью отсутствует.

Основные свойства и характеристики: имеет наиболее высокое значение индукции насыщения B_s , низкое удельное сопротивление; технологично (хорошо штампуются и обрабатываются); коэрцитивная сила H_c и магнитная проницаемость μ изменяются в широких пределах; на магнитные свойства кроме химического состава влияет его структура, особенно размеры зерна; магнитные характеристики см. Ошибка! Источник ссылки не найден..

Область применения: как шихтовый материал для получения почти всех ферромагнитных сплавов; для изготовления изделий, работающих в постоянных магнитных полях.

Карбонильное железо

Карбонильное железо (см. Рисунок 10) представляет собой порошкообразное вещество (или губчатое железо), состоящее из мелкодисперсных частиц высокочистого железа (чаще всего размер таких частиц составляет не более 25 мкм). Получают путем термического разложения пентакарбонила железа.

Марки: Р-10, Р-20, Р-100Ф-1, Р-100Ф-2 - для сердечников катушек индуктивности радиоаппаратуры; Пс (ОКП 24 3652 0604) - для сердечников катушек индуктивности проводной аппаратуры и радиоаппаратуры.



Рисунок 10. Карбонильное железо

Основные свойства и характеристики: совершенно не содержит таких примесей, как кремний, фосфор и сера; кислород и углерод содержатся в очень небольших количествах; сердечники из магнитоникелевых сплавов на основе карбонильного железа имеют широкий рабочий диапазон частот; минимальную величину магнитных потерь; высокую временную стабильность; высокую влагопоглощаемость (поэтому должны герметизироваться).

Область применения: для изготовления магнитных сердечников, работающих на высоких частотах; для изготовления сердечников катушек индуктивности фильтров, контуров; в качестве ферромагнитной фазы магнитодиэлектриков.

Электротехническая листовая сталь

Стали могут изготавливаться с незащищённой металлической поверхностью или иметь электроизоляционное покрытие.

Основные свойства и характеристики: начальная магнитная проницаемость – 200...600; максимальная магнитная проницаемость – 3000...8000; индукция насыщения – 1,95...2,02 Тл; коэрцитивная сила – 10...65 А/м; малые потери на гистерезис; удельное электрическое сопротивление – 0,17...0,6 мкОм·м.

Классификация:

1) в зависимости от массовой доли главного легирующего элемента (кремний или кремний совместно с алюминием): нелегированная, низколегированная, слаболегированная, среднелегированная, повышеннолегированная, высоколегированная;

2) по сортаменту и видам продукции подразделяются следующим образом:

– для электромашин промышленной частоты тока (трансформаторы, генераторы, электродвигатели) они выпускаются в виде рулонов, листов и резаных лент;

– для аппаратов, работающих при повышенных частотах тока, – в виде лент;

– для магнитопроводов машин и приборов, работающих в режиме включения – отключение (реле, пускатели, электромагниты), – в виде листов, рулонов, лент и профилей из релейных сталей.

Область применения: для изготовления магнитно-активных частей электромашин и приборов, вырабатывающих и преобразующих электрическую энергию: генераторов, трансформаторов, электродвигателей, реле, электромагнитов.

Маркировка: сталь обозначают буквой Э и следующими за ней цифрами (из четырёх-пяти цифр с возможным добавлением одной-двух букв). Цифрами обозначают степень легирования и гарантированные электромагнитные свойства стали.

Первая цифра означает класс по структурному состоянию и виду прокатки: 1 – горячекатаная изотропная, 2 – холоднокатаная изотропная, 3 – холоднокатаная анизотропная.

Вторая цифра – группа стали по содержанию кремния (см. **Приложение 6**).

Третья цифра – вид стали по основным нормируемым характеристикам магнитных свойств.

– **при цифре 0** – это величина удельных магнитных потерь при частоте тока в 50 Гц и индукции 1,7 Тл, а также индукция при напряжённости поля 100 А/м;

– **при цифре 1** – величина удельных магнитных потерь при частоте тока в 50 Гц и индукции 1 и 1,5 Тл, а также индукция при напряжённости поля 2500 А/м;

– **при цифре 2** – величина удельных магнитных потерь при частоте тока от 200 Гц и индукции 0,75, 1 и 1,5 Тл;

– **при цифре 6** – величина индукции в слабых полях при напряжённости поля 0,4 А/м;

- **при цифре 7** – величина индукции в сильных полях при напряжённости поля 10 А/м;

- **цифра 8** характеризует релейные стали.

Таким образом, первые три цифры определяют тип стали. Для всех сталей, кроме релейных, *четвёртая (последняя) цифра* означает уровень основных нормируемых характеристик: **1** – нормальный, **2** – повышенный, **3** – высокий, **4** и более – высшие уровни.

Для релейных сталей четвёртая и пятая цифры задают величину их характеристики (значение коэрцитивной силы в А/м).

Термостойкость обозначается в марке буквой **Т** (без отжига), улучшение штампуемости – буквой **Ш**, нетермостойкое покрытие – буквой **Н**. Если для листовой стали проводился контроль внутренних дефектов, то добавляется буква **У**.

Низкоуглеродистая электротехническая сталь подвергается термообработке (для повышения магнитных свойств).

Свойства: обладают коэрцитивной силой $H_c = 64...96$ А/м; максимальной магнитной проницаемостью – 3500...4500 и содержанием углерода 0,1 %.

Кремнистые электротехнические стали представляют собой твердый раствор кремния в железе.

Холоднокатаные кремнистые стали, у которых кристаллы железа расположены преимущественно в направлении прокатки, называются **текстурованными**.

Основные свойства (стали марок Э1-Э4): 0,25 – Э1 (слабелегированная сталь с содержанием кремния 0,8...1,8%); 0,40 – Э2 (среднелегированная, кремния – 1,8...2,8%); 0,50 – Э3 (повышеннолегированная, кремния – 3,8...4,8%).

При содержании кремния более 5 % снижается индукция насыщения и ухудшаются механические свойства (повышаются твердость и хрупкость).

Область применения:

- **холоднокатаные стали** – в ленточных сердечниках и других конструкциях, где направление магнитного потока совпадает с направлением прокатки;

- **холоднокатаные стали малотекстурированные или горячекатаные стали** – для сердечников электрических машин, имеющих круглую форму.

Пермаллоу представляют собой пластичные сплавы железа с никелем или железа с никелем и кобальтом, обычно легированных молибденом, хромом и другими элементами.

Классификация по содержанию никеля: низконикелевые – 40-50%; высоконикелевые – 70-80%.

Маркировка: цифры: процентное содержание никеля в %; **буквы:** **Н** – никель, **Х** – хром (1-3%), **С** – кремний (1-2%), **Д** – медь (5-14%), **М** – молибден (3-5%); **П** – с прямоугольной петлей гистерезиса; дополнительная **У** – с улучшенными свойствами.

Примеры: 45Н, 50Н, 50НХС, 76НХС, 79НМ, 50НП, 65НП.

Свойства приведены в **Приложении 10**.

Область применения:

– низконикелевые – в качестве магнитных материалов в изделиях, работающих в переменных магнитных полях, особенно при повышенных частотах; для изготовления сердечников дросселей, малогабаритных трансформаторов и магнитных усилителей;

– высоконикелевые – для сердечников мощных силовых трансформаторов и других устройств, требующих создание большого магнитного потока; деталей аппаратуры, работающих на частотах несколько выше звуковых;

– по маркам сплавов: 45Н и 50Н – для изготовления сердечников малогабаритных силовых трансформаторов, дросселей, реле и деталей магнитных цепей, работающих при повышенных индукциях без подмагничивания или с небольшим подмагничиванием; 50НХС – выполняют сердечники импульсных трансформаторов и аппаратуры связи звуковых и высоких частот в режиме без подмагничивания или с небольшим подмагничиванием; 79НМ, 80НХС, 76НХД – для изготовления сердечников малогабаритных трансформаторов, реле и магнитных экранов; при толщине 0,02 мм—сердечников импульсных трансформаторов, магнитных усилителей и бесконтактных реле.

Приложение 1. Основной сортамент обмоточных проводов с эмалевой изоляцией

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции	Наружный диаметр провода, мм	Общая характеристика
ПЭВ-1	0,02-2,5	0,035-2,6	Провод медный, изолированный лаком ВЛ-931
ПЭВ-2	0,05-2,5	0,08-2,63	То же, но слой эмаль-лаковый изоляции большей толщины
ПЭВА	0,08-2,44	0,105-2,55	То же, но с алюминиевой жилой
ПЭМ-1	0,05-2,12	0,07-2,22	Провод медный, изолированный лаком ВЛ-941
ПЭМ-2	0,05-2,12	0,08-2,25	То же, но слой эмаль-лаковой изоляции большей толщины
ПЭВТЛ-1	0,02-1,6	0,027-1,64	Провод медный, изолированный полиуретановым лаком, лудящийся
ПЭВТЛ-2	0,02-1,6	0,03-1,67	То же, но слой эмаль-лаковой изоляции большей толщины
ПЭТВ	0,06-2,5	0,07-2,57	Провод медный, изолированный полиэфирным лаком ПЭ-943
ПЭТВА	0,08-2,4	0,08-2,55	То же, но с алюминиевой жилой
ПЭТ-155	0,06-2,5	0,08 - 2,63	Провод медный, изолированный теплостойким лаком на полиэфиримидной основе
ПЭТ-200	0,05-2,5	0,057-2,63	Провод медный, изолированный теплостойким полиимидным лаком
ПНЭТ-имид	0,02-2,5	0,035-2,6	Провод медный, никелированный, изолированный нагрелостойким полиимидным лаком.

Приложение 2. Характеристики некоторых медных и алюминиевых проводов с эмалевой изоляцией

Марка провода	Диаметр жилы (без изоляции), мм	Толщина слоя изоляции (с одной стороны), мм	Характеристика провода	Область применения
Медные				
ПЭЛ	0,02...2,44	0,0075...0,05	Провод, изолированный эмалью на высыхающих маслах	Для катушек в электрических аппаратах и приборах. Наибольшая допустимая температура — 150 °С
ПЭВ-1	0,05... 2,44	0,012...0,05	Провод, изолированный высокопрочной эмалью (винифлекс)	Для обмоток в электрических машинах и аппаратах. Наибольшая допустимая температур — 110 °С
ПЭВТЛ-1	0,06... 1,0	0,010...0,05	Провод, изолированный высокопрочной полиуретановой эмалью повышенной теплоемкости, лудящийся	Для обмоток в электрических машинах и аппаратах. Наибольшая допустимая температура 120 °С. Эмаль при пайке не требует зачистки, так как она плавится и служит флюсом
ПЭВТЛ-2	0,06... 1,0	0,015...0,065	Провод, изолированный высокопрочной полиуретановой эмалью повышенной теплоемкости, лудящийся, с утолщенным слоем эмали	Тоже
ПЭВТ	0,06...2,44	0,015...0,065	Провод, изолированный высокопрочной теплостойкой полиэфирной эмалью	Для обмоток в электрических машинах и аппаратах. Наибольшая допустимая температура — 130° С
Алюминиевые				
ПЭЛ	0,03...0,55	0,007...0,025	Провод, изолированный эмалью на высыхающих маслах	Для катушек в электрических аппаратах и приборах. Наибольшая допустимая температура — 105 °С
ПЭВА	0,82... 2,44	0,015... 0,065	Провод, изолированный высокопрочной эмалью (винифлекс)	Для обмоток в электрических машинах. Наибольшая допустимая температура — 110 °С
ПЭЛРА	0,08... 2,44	0,015...0,065	Провод, изолированный высокопрочной эмалью (полиимидно-резольной)	Для катушек в электрических аппаратах и приборах. Наибольшая допустимая температура 105 °С

Приложение 3. Основной сортамент обмоточных проводов с волокнистой изоляцией

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции	Наружный диаметр провода	Общая характеристика
ПБД	0,38-5,2	0,60-5,35	Провод медный, изолированный двумя слоями обмотки из хлопчатобумажной пряжи
АП БД	1,35-8,0	1,62-8,35	То же, но с алюминиевой жилой
ПЛ БД	0,38-5,2	0,59-5,53	Провод медный, изолированный одним слоем обмотки из лавсанового волокна и одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи
АПЛБД	1,35-8,0	1,62-8,35	То же, но с алюминиевой жилой
ПЛД	0,38-1,3	0,57-1,52	Провод медный, изолированный двумя слоями обмотки из лавсанового волокна
ПСД	0,31-5,2	0,55-5,58	Провод медный, изолированный двумя слоями обмотки из стекловолокна, пропитанной нагревостойким лаком
АПСД	1,65-5,2	1,90-5,52	То же, но с алюминиевой жилой
ПСДК	0,31-5,52	0,55-5,58	Провод медный, изолированный двумя слоями обмотки из стекловолокна, пропитанной нагревостойким кремнийорганическим лаком

* Здесь приведены провода с жилами круглого сечения, наряду с ними выпускают обмоточные провода и прямоугольного сечения.

Приложение 4. Основной сортамент обмоточных проводов с эмалево-волоконистой изоляцией

Марка провода	Диаметр жилы без изоляции	Наружный диаметр провода	Общая характеристика
ПЭВБД	0,69-2,1	0,90-2,4	Провод медный, изолированный высокопрочной эмалью и двумя слоями хлопчатобумажной пряжи
ПЭВШО	0,2-1,5	0,29-1,65	Провод медный, изолированный высокопрочной эмалью и одним слоем обмотки из натурального шелка
ПЭТЛО	0,2-1,3	0,33-1,5	Провод, изолированный лаком повышенной нагревостойкости и одним слоем обмотки из лавсанового волокна
ПЭТКСОТ	0,33-1,56	0,48-1,74	Провод, изолированный кремнийорганическим лаком и одним слоем обмотки из утоненного стекловолокна, пропитанной нагревостойким кремнийорганическим лаком

Приложение 5. Характеристики некоторых медных монтажных проводов

Марка провода	Сечение провода (по меди), мм ²	Характеристика	Область применения
МР	0,35 ... 1,5	Однопроволочный с резиновой изоляцией	Для жесткого монтажа при напряжении до 380 В переменного тока и до 500 В постоянного тока в интервале температур от -40 до +65 °С
МРГ	0,35 ... 1,50	Многопроволочный с резиновой изоляцией	Для жесткого монтажа при напряжении до 380 В переменного тока и до 500 В постоянного тока в интервале температур от -40 до +65 °С — где нужна повышенная гибкость провода
ПМВ	0,20... 0,75	Однопроволочный с полихлорвиниловой изоляцией, влагостойкий	Для жесткого монтажа при повышенной влажности при напряжении до 380 В переменного тока и до 500 В постоянного тока в интервале температур от -55 до +55 °С
ПМОВ	0,20... 0,75	Однопроволочный, изолированный обмоткой из хлопчатобумажной пряжи и поли- хлорвиниловы- м пластикатом	Тоже
МТБ	0,10... 1,0	Многопроволочный, изолированный полихлорвиниловым пластикатом	Для жесткого монтажа при повышенной влажности при напряжении до 380 В переменного тока и до 500 В постоянного тока в интервале температур от -55 до +55 °С и для проволоки к аккумуляторам в интервале температур от -50 до +70 °С
МГСЛ	0,20... 1,5	Многопроволочный, изолированный двойной обмоткой и оплеткой из стеклянной пряжи, лакированный	Для жесткого монтажа при повышенной влажности при напряжении до 380 В переменного тока и до 500 В постоянного тока в интервале температур от -55 до +55 °С и для проволоки к аккумуляторам в интервале температур от -50 до +100 °С

Приложение 6. Группы электротехнических сталей

Номер группы	0	1	2	3	4	5
Наименование группы	Нелегированная	Низколегированная	Слаболегированная	Среднелегированная	Повышеннолегированная	Высоколегированная
Si+Al, %	≤0,5	0,5-0,8	0,8-2,1	1,8-2,8	2,5-3,8	3,8-4,8
γ, кг/м ³	7820	7800	7750	7700	7600	7550
ρ, нОм·м	140	170	250	400	500	600