**Электроизоляционные материалы.**

Характеристика важная для оценки качества материалов, применяемых для защитных покровов ( шланги кабелей, опрессовка конденсаторов, компаундные заливки, лаковые покрытия деталей ) - **влагопроницаемость** электроизоляционных материалов, т.е способность их пропускать сквозь себя пары воды.

Благодаря наличию мельчайшей пористости большинство материалов обладает поддающейся измерению влагопроницаемостью. Только для стёкол, хорошо обожжённой керамики и металлов влагопроницаемость почти равна нулю.

Можно определить количество влаги m ( в микро граммах ), проходящее за время t через участок поверхности S [см 2 ] слоя изоляционного материала толщиной h [см] под действием разности давлений водяных паров р 1 и р 2 [ мм. рт . ст. ] с двух сторон слоя, по формуле:

m=П

Это уравнение аналогично уравнению для прохождения через тело электрического тока; разность давлений (р 1 - р 2 ) аналогична разности потенциалов, m/t - величине тока, а h/ПS - сопротивлению тела; коэффициент П, аналогичный удельной объёмной проводимости, есть влагопроницаемость данного материала.

Влагопроницаемость для различных материалов изменяется в широких пределах. Например: для парафина значение П равно 0,0007; для полистирола - 0,03; для триацетата целлюлозы - около 1 *мкг* /(см- ч - мм рт. ст. ).

Чтобы уменьшить влагопроницаемость пористых изоляционных материалов широко применяется их **пропитка** . Необходимо помнить, что пропитка волокнистых целлюлозных материалов и других пористых органических диэлектриков даёт лишь замедление увлажнения материала, не влияя на величину r после длительного воздействия влажности. Это связано с тем, что молекулы пропиточных веществ, имеющие весьма большие размеры по сравнению с размерами молекул воды, не в состоянии создать полную непроницаемость пор материала для влаги, а в наиболее мелкие поры пропитываемого материала они вообще не могут проникнуть.

В тропических условиях, при длительном использовании электроаппаратуры, особенно, на органических диэлектриках наблюдается развитие плесени. Плесень ухудшает: удельное поверхностное сопротивление диэлектриков, приводит к росту потерь и ухудшению механической прочности изоляции, вызывает коррозию соприкасающихся с ней металлических частей.

Электроизоляционные материалы и различные электротехнические изделия испытывают на **тропикостойкость** , длительно выдерживая при температуре 40 - 50 0 С в воздухе, насыщенном парами воды, и при воздействии культур плесневых грибков ( точные условия этих испытаний установлены Международной электротехнической комиссией ), после чего определяется степень ухудшения электрических и других свойств исследуемых образцов и отмечается интенсивность роста плесени на них.

С целью повышения плесенеустойчивости органической электрической изоляции в её состав вводят добавки фунгицидов , т.е. веществ, ядовитых для плесневых грибков и задерживающих их развитие, или же покрывают изоляцию лаком, содержащим фунгициды. Имеется большое число рецептур фунгицидов, пригодных для введения в те или иные электроизоляционные материалы. К числу сильнодействующих фунгицидов принадлежат, в частности, некоторые органические соединения, содержащие азот, хлор, ртуть .

Наиболее стойкими к образованию плесени являются неорганические диэлектрики - керамика, стёкла, слюда, кремнийорганические материалы и некоторые из органических, например эпоксидные смолы, фторопласт - 4, [полиэтилен](http://www.polimerportal.ru/index.php/category/polymers/polyethylene/), полистирол.

Наиболее уязвимы для развития плесени целлюлозные материалы, в том числе и пропитанные ( гетинакс , текстолит ), канифоль, масляные лаки и др.

В некоторых случаях для электроизоляционных и других материалов опасны транспортировка и хранение на складах в тропических условиях. А также приходится считаться с возможностью повреждения электрической изоляции, кабельных оболочек термитами и животными.

**Электроизоляционные масла.**

**Трансформаторное масло,** из всех жидких электроизоляционных материалов находит наибольшее применение в электротехнике, им заливают силовые трансформаторы.

Его применяют: во-первых, для заполнения пор в волокнистой изоляции, а также промежутков между проводами обмоток и между обмотками и баком трансформатора, значительно повышая электрическую прочность изоляции;

во-вторых, оно улучшает отвод теплоты, выделяемой за счёт потерь в обмотках и сердечнике трансформатора. Лишь некоторые силовые и измерительные трансформаторы выполняются без заливки маслом ( “ сухие трансформаторы ” );

в-третьих для изготовления масляных выключателей высокого напряжения. В этих аппаратах разрыв электрической дуги между расходящимися контактами выключателя происходит в масле или в находящихся под повышенным давлением газах, выделяемых маслом под действием высокой температуры дуги; это способствует охлаждению канала дуги и быстрому её гашению.

в-четвертых для заливки маслонаполненных вводов, некоторых типов реакторов, реостатов и других электрических аппаратов.

Трансформаторное масло - это жидкость от почти бесцветной до тёмно - жёлтого цвета, по химическому составу представляющая собой смесь различных углеводородов. Трансформаторное масло - горючая жидкость.

Трансформаторные масла получают из нефти посредством её ступенчатой перегонки с выделением на каждой ступени определённой ( по температуре кипения ) фракции и последующей тщательной очистки от химических нестойких примесей в результате обработки серной кислотой, а затем щёлочью, промывки водой и сушки.

Электрическая прочность масла - величина, чрезвычайно чувствительная к его увлажнению. Незначительная примесь воды в масле резко снижает его электрическую прочность. Это объясняется тем, что воды ( около 80 ) значительно выше, чем масла (чистого масла около 2,2 ). Под действием сил электрического поля капельки эмульгированной в масле воды втягиваются в места, где напряжённость электрического поля особенно велика и где, собственно и начинается развитие пробоя. Ещё более резко понижается электрическая прочность масла, если в нём, кроме воды содержатся волокнистые примеси. Волокна бумаги, хлопчатобумажной пряжи, легко впитывают в себя влагу из масла, причём значительно возрастает их e r. Под действием сил поля увлажнённые волокна не только втягиваются в места, где поле сильнее, но и располагаются по направлению силовых линий, что весьма облегчает пробой масла.

Вода легко может попасть в масло при его перевозке, хранении, переливки в недостаточно просушенную тару и т.п., поэтому для сушки масла имеется несколько способов : пропускание под давлением сквозь фильтровальную бумагу в специальных установках - фильтропрессах; воздействие на масло центробежной силы в центрифуге, причём вода, имеющая плотность больше, чем у масла, отжимается с периферии сосуда и отделяется от масла; обработка адсорбентами; распыление нагретого масла в камере, заполненной азотом и т.п. При сушке электрическая плотность увлажнённого масла восстанавливается.

**Конденсаторное масло** служит для пропитки бумажных конденсаторов, в особенности силовых, предназначенных для компенсации индуктивного фазового сдвига. При пропитке бумажного диэлектрика повышаются как его , так и Е ПР ; то и другое даёт возможность уменьшить габаритные размеры, массу и стоимость конденсатора при заданном рабочем напряжении, частоте и ёмкости.

**Нефтяное конденсаторное масло** имеет плотность 0,86 - 0,89 Мг/м 3 , температуру застывания минус 45 0 С, e r =2,1 ¸ 2,3 и tg d 0,002 ( при частоте 1 кГц ).

**Вазелиновое** конденсаторное масло по плотности и электрическим свойствам близко к нефтяному, но имеет более высокую температуру застывания (-5 0 С). Электрическая прочность конденсаторных масел не менее 20 МВ/м.

**Кабельные масла** используются в производстве силовых электрических кабелей; Пропитывая бумажную изоляцию этих кабелей, они повышают её электрическую прочность, а также способствуют отводу теплоты потерь. Кабельные масла бывают различных типов. Для пропитки изоляции силовых кабелей на рабочие напряжения до 35 кВ в свинцовых или алюминиевых оболочках ( кабели с вязкой пропиткой ) применяется масло марки КМ-25 с кинематической вязкостью не менее 23 мм 2 /c при 100 0 С, температурой застывания не выше минус 10 0 С и температурой вспышки не ниже +220 0 С. Для увеличения вязкости к этому маслу дополнительно добавляется канифоль или же синтетический загуститель.

В маслонаполненных кабелях используются менее вязкие масла. Так, масло марки МН-4 применяется для маслонаполненных кабелей на напряжения 110-220 кВ, в которых во время эксплуатации с помощью подпитывающих устройств поддерживается избыточное давление 0,3 - 0,4 МПа.

Для маслонаполненных кабелей высокого давления ( до 1,5 МПа ) на напряжения от 110-500 кВ, прокладываемых в стальных трубах, применяется особо тщательно очищенное масло марки С-200.

**Жидкие синтетические диэлектрики**.

Для пропитки конденсаторов с целью получения повышенной ёмкости в данных габаритных размерах конденсатора желательно иметь жидкий полярный диэлектрик с более высоким, чем у неполярных нефтяных масел, значением e r. Нефтяные масла склонны к электрическому старению, т.е. они, могут ухудшать свои свойства под действием электрического поля высокой напряжённости. Жидкие синтетические диэлектрики, по свойствам превосходят нефтяные электроизоляционные масла.

Рассмотрим наиболее важные:

**Хлорированные углеводороды** (получаются из различных углеводородов путём замены в их молекулах некоторых ( или даже всех ) атомов водорода атомами хлора). Широкое применение имеют полярные продукты хлорирования дифенила , имеющие общий состав С 12 Н 10-n CL n (n - степень хлорирования от 3 до 6).

**Хлорированные дифенилы** обладают e r , повышенной по сравнению с неполярными нефтяными маслами, поэтому замена масел на хлорированные дифенилы при пропитке конденсаторов уменьшает объём конденсатора ( при этой же электрической ёмкости ) почти в 2 раза. Преимуществом хлорированных дифенилов является его не горючесть.

Однако хлорированные дифенилы имеют и свои недостатки: они сильно токсичны, (из-за этого применение их для пропитки конденсаторов в некоторых странах запрещено законом); на их электроизоляционные свойства весьма значительно влияют примеси (наличие которых сказывается на потерях сквозной электропроводности при повышенной температуре); заметное снижение их e r и, следовательно ёмкости пропитанных хлорированными дифенилами конденсаторов при пониженных температурах; хлорированные дифенилы обладают сравнительно высокой вязкостью, что в некоторых случаях вызывает необходимость разбавления их менее вязкими хлорированными углеводородами.

**Фтороорганические жидкости** имеют малый tg d , ничтожно малую гигроскопичность и высокую нагревостойкость. Некоторые фтороорганические жидкости могут длительно работать при температуре 200 0 С и выше. Пары некоторых фтороорганических жидкостей имеют высокую для газообразных диэлектриков электрическую прочность.

Свойства характерные для фтороорганических жидкостей малая вязкость, низкое поверхностное натяжение (что благоприятствует пропитке пористой изоляции ), высокий температурный коэффициент объёмного расширения, высокая летучесть. Последнее обстоятельство требует герметизации аппаратов заливаемых фтороорганическими жидкостями.

Фтороорганические жидкости способны обеспечить интенсивный отвод теплоты потерь от охлаждаемых ими обмоток и магнитопроводов, чем нефтяные масла или кремнийорганические жидкости. Существуют специальные конструкции малогабаритных электротехнических устройств с заливкой фтороорганическими жидкостями, в которых для улучшения отвода теплоты используется испарение жидкости с последующей конденсацией её в охладителе и возвратом в устройство ( кипящая изоляция ); при этом теплота испарения отнимается от охлаждаемых обмоток, а наличие в пространстве над жидкостью фтороорганических паров, особенно под повышенным давлением, значительно увеличивает электрическую прочность газовой среды в аппарате.

Важным преимуществом фтороорганических жидкостей по сравнению с кремнийорганическими является полная не горючесть и высокая дугостойкость ( кремнийорганические жидкости, как и нефтяные масла, сравнительно легко загораются и горят сильно коптящим пламенем ). Как и кремнийорганические соединения, фтороорганические жидкости пока ещё весьма дорогие.

**Кремнийорганические жидкости** обладают малым tg d, низкой гигроскопичностью и повышенной нагревостойкостью. Для них характерна слабовыраженная зависимость вязкости от температуры. Эти жидкости весьма дорогие.

**Прочие синтетические жидкости** . Интересны и некоторые другие полярные электроизоляционные жидкости: нитробензол, этиленгликоль и цианоэтилсахароза имеют высокую диэлектрическую проницаемость e r =35¸39.

Помимо синтетических электроизоляционных жидкостей, отличающихся по химическому составу и свойствам от нефтяных масел, существуют и **синтетические жидкости углеводородного состава.** Эти неполярные жидкости в некоторых случаях обладают более ценными свойствами (лучшие электроизоляционные свойства, стойкость к тепловому старению, газостойкость) по сравнению с нефтяными маслами. Например, пропитка бумажных конденсаторов полиизобутиленом с низкой степенью полимеризации приводит к повышению постоянной времени само заряда конденсатора примерно на порядок по сравнению с нефтяным конденсаторным маслом или вазелином.

Сравнительно дешёвый отечественный материал ( **октол** ) представляет собой смесь полимеров изобутилена и его изомеров, имеющих общий состав С 4 Н 8 и получаемых из газообразных продуктов крекинга нефти. Значение e r октола 2,0 - 2,2; tg d ( при 1кГц ) 0,0001; температура застывания минус 12 0 С.

**Растительные масла.**

Растительные масла - вязкие жидкости, получаемые из семян различных растений. Из этих масел особенно важны высыхающие масла, способные под воздействием нагрева, освещения, соприкосновения с кислородом воздуха и других факторов переходить в твёрдое состояние.

Тонкий слой масла, налитый на поверхность какого-либо материала, высыхает и образует твёрдую, блестящую, прочно пристающую к подложке электроизоляционную плёнку. Высыхание масел является сложным химическим процессом, связанным с поглощением маслом некоторого количества кислорода из воздуха. Скорость высыхания масел увеличивается с повышением температуры, при освещении, а также в присутствии катализаторов химических реакций высыхания - сиккативов. В качестве сиккативов используют соединения свинца, кальция, кобальта и др.

Отверждённые плёнки высыхающих масел в тяжёлых углеводородах, например в трансформаторном масле, не растворяются даже при нагреве, так что являются практически маслостойкими, но к ароматическим углеводородам, например бензолу, они менее стойки. При нагреве отверждённая плёнка не размягчается. Наиболее распространённые высыхающие масла - льняное и тунговое.

**Тунговое (древесное) масло** получают из семян тунгового дерева, которое разводится на Дальнем Востоке и на Кавказе. Тунговое масло не является пищевым и даже токсично. Плотность тунгового масла - 94 МГ/м 3 , температура застывания - от 0 до минус 5 0 С.

**Льняное масло** золотисто - жёлтого цвета получается из семян льна. Его плотность 0,93-0,94 Мг/м 3 , температура застывания - около -20 0 С.

Тунговое масло высыхает быстрее чем льняное . Оно даже в толстом слое высыхает более равномерно и даёт водонепроницаемую плёнку, чем льняное. Высыхающие масла применяются в электропромышленности для изготовления электроизоляционных масляных лаков, лакотканей, для пропитки дерева и для других целей. В последнее время наблюдается тенденция к замене высыхающих масел синтетическими материалами. Невысыхающие масла могут применяться в качестве жидких диэлектриков.

**Касторовое масло** получается из семян клещевины; иногда используется для пропитки бумажных конденсаторов. Плотность касторового масла 0,95-0,97 МГ/м 3 , температура застывания от минус 10 до минус 18 0 С ; e r равно 4,0 - 4,5 при температуре 20 0 С; tg d 0,01 - 0,03, Е ПР =15-20 МВ/м. Касторовое масло не растворяется в бензине, но растворяется в этиловом спирте.

**Природные смолы.**

**Канифоль** - хрупкая смола, получаемая из живицы ( природной смолы сосны ) после отгонки её жидких составных частей ( скипидара ). Канифоль в основном состоит из органических кислот.

Канифоль растворима в нефтяных маслах ( особенно при нагреве) и других углеводородов, растительных маслах, спирте, скипидаре и прочие.

Канифоль, растворённая в нефтяных маслах, применяется при изготовлении пропиточных и заливочных кабельных компаундов.

Электроизоляционные свойства канифоли : r=10 12 - 10 13 Ом · м; Е ПР = 10 - 15 МВ/м; зависимость e r и tg d от температуры характерна для полярных диэлектриков. Температура размягчения канифоли составляет 50 - 70 0 С. На воздухе канифоль постепенно окисляется, при чём температура размягчения её повышается, а растворимость снижается.

**Битумы.**

**Битумы** - аморфные материалы, представляющие собой сложные смеси углеводородов (обычно они содержат некоторое количество кислорода и серы). Они имеют чёрный (или тёмно-коричневый) цвет, при низких температурах хрупки и дают характерный излом в виде раковин.

Битумы растворяются в углеводородах, несколько труднее в бензине, не маслостойкие. В спирте и воде битумы не растворимы, они имеют малую гигроскопичность и в толстом слое практически водонепроницаемы.

Битумы термопластичны, плотность их близка к 1 Мг/м 3 .

Различают **искусственные** (нефтяные), представляющие собой тяжёлые продукты перегонки нефти, и **природные** (ископаемые), называемые также асфальтами.

Температура размягчения асфальта доходит до 200 0 С. Более тугоплавкие битумы имеют лучшие электроизоляционные свойства, которые медленно ухудшаются при повышении температуры; Они труднее растворимы и при низких температурах более тверды и хрупки. Природные асфальты используются в компаундах для заливки трансформаторов. Битумы - слабо полярные вещества с e r = 2,5 - 3,0; tg d около 0,01; Е ПР = 10 - 25 МВ/м и r = 10 13 - 10 14 Ом/м; Эти параметры мало зависят от влажности.

**Воскообразные диэлектрики.**

Давший название группе материалов пчелиный воск для электрической изоляции в настоящее время не используется.

**Воскообразные диэлектрики** представляют собой твёрдые легкоплавкие вещества, обладающие низкой механической прочностью, они употребляются для пропитки и заливки существенный недостаток - значительная усадка при застывании, по этому большая часть объёма пор изоляции оказывается заполненной воздухом, что приводит к понижению электрической прочности пропитанной изоляции.

**Церезин** - смесь твёрдых углеводородов метанового ряда. Изготовляется путём очистки минерала озокерита (горного воска, представляющего собой продукт естественного перерождения нефти в условиях доступа воздуха.

Преимущества - более высокая температура плавления (65 - 80 0 С) и стойкость к окислению; плотность у церезина выше, а тангенс меньше чем у парафина. При пропитке бумажных и слюдяных конденсаторов церезин вытесняет парафин.

**Парафин -** наиболее дешёвая и широко известная неполярное воскообразное вещество. Получают его разгонкой и вымораживанием из соответствующей фракции дистиллата парафинистой нефти.

Имеет плотность 0,85 - 0,9 Мг/м 3 . И температуру плавления 50-55 0 С, tg d 0,0003 - 0,0007, r - более 10 16 Ом · м; Е ПР = 20 - 25 МВ/м. При нормальной температуре парафин обладает высокой химической стабильностью, но при нагреве до 130 0 С на воздухе легко окисляется, снижая плотность в 100 раз. Парафин не растворим в воде и спиртах, но растворяется в жидких углеводородах : нефтяных маслах, бензине, бензоле.

Парафин применяют для пропитки бумажных конденсаторов низкого напряжения, для пропитки дерева и картона, для заливки катушек с невысокой рабочей температурой.

**Синтетический парафин и синтетический церезин** - высокомолекулярные углеводороды с температурой плавления 100 - 130 0 С получают при изготовлении синтетического бензина и масел. Электроизоляционные свойства этих материалов близки к свойствам натурального парафина и натурального церезина используют при пропитке бумажных конденсаторов.

**Вазелин** - близкая к воскообразным веществам масса, мазеобразная;

Вазелин - смесь твёрдых и жидких углеводородов получаемых из нефти. tg d при 1 кГц , нормальной температуре не более 0,0002, r -не менее 5 · 10 12 Ом · м; Е ПР при 50 Гц не менее 20 МВ/м.

Применяется для пропитки бумажных конденсаторов.

# Газообразные диэлектрики

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 является основной изолирующей средой. В ряде электро- и радиотехнических, радиоэлектронных устройств и приборов используются различные газонаполненные элементы, где важны не только общефизические свойства газов, но и их электрические характеристики.

Наиболее важное свойство газов с точки зрения использования в электроаппаратуре — это способность их восстанавливать электрическую прочность. Другими важными свойствами являются малые плотность и диэлектрическая проницаемость, высокое значение удельного сопротивления, практически отсутствие старения, инертность ряда газов по отношению к твердым и жидким материалам, нетоксичность, способность их работать при низких температурах и высоком давлении, негорючесть.

**Электрическая прочность жидких и газообразных диэлектриков Газообразные диэлектрики.**

**Воздух.**

 Среди газообразных диэлектриков прежде всего должен быть упомянут воздух, который в силу своей всеобщей распространённости даже помимо нашей воли, часто входит в состав электрических устройств и играет в них роль электрической изоляции, дополнительной к твёрдым или жидким электроизоляционным материалам. В отдельных частях электрических установок, например на участках воздушных линий электропередачи между опорами, воздух образует единственную изоляцию между неизолированными проводами линии. При недостаточно тщательно проведённой пропитке изоляции электрических машин, кабелей, конденсаторов в ней могут оставаться воздушные включения, часто весьма нежелательные, так как они при высоком рабочем напряжении изоляции могут стать очагами образования ионизации. Перечислим некоторые свойства воздуха: температура кипения 79,0 К, коэффициент теплопроводности 24,0 мВт/(м·К), удельная теплоёмкость при постоянном давлении 1,005 кДж/(кг·К).

**Азот**.

 Азот имеет практически одинаковую с воздухом электрическую прочность; он нередко применяется вместо воздуха для заполнения газовых конденсаторов и для других целей, поскольку, будучи близок по электрическим свойствам к воздуху, не содержит кислорода, который оказывает окисляющее действие на соприкасающиеся с ним материалы.

**Водород.**

 Значительный интерес для электротехники представляет водород. Это очень лёгкий газ, обладающий весьма благоприятными свойствами для использования его в качестве охлаждающей среды вместо воздуха. Водород характеризуется высокой теплопроводностью166,00 мВт/(м·К) и удельной теплоёмкостью 14,20 кДж/(кг·К). При использовании водорода охлаждение вращающихся электрических машин существенно улучшается. Кроме того, при замене воздуха водородом заметно снижаются потери мощности на трение ротора машины о газ и на вентиляцию. Также ввиду отсутствия окисляющего действия кислорода воздуха замедляется старение органической изоляции обмоток машины и устраняет опасность пожара при коротком замыкании внутри машины.

**Инертные газы.**

 Инертные газы обладают низкой электрической прочностью. Следует отметить весьма малую теплопроводность криптона и ксенона; это обстоятельство используется в производстве некоторых типов электрических ламп. Особо большое значение в качестве низкотемпературного хладагента, в частности для устройств, использующих явление сверх проводимости, имеет сжиженный гелий. Так, у него самая низкая по сравнению с другими газами температура сжижения. Жидкий гелий имеет очень малую плотность. Также в промышленности используют и другие инертные газы, такие как: жидкиё неон, криптон, ксенон.

**Бумага электротехническая общего назначения**

**Бумаги из синтетических волоконн**

**Картонн** отличается от бумаги большей толщиной. Картон используют в пропитанном состоянии в качестве межобмоточной и межфазовой изоляции в трансформаторостроении.

**Фибра** – это многослойный пергаментированный картон. Фибру используют в качестве изоляционного и дугогасящего материала. При воздействии электрической дуги фибра разлагается, выделяя большое количество газов, способствующих гашению дуги. В связи с этим, фибровые трубки применяются для изготовления «стреляющих» разрядников.

**Органический текстиль** применяется в качестве защитных покровов кабелей и в изоляции электрических машин. Органический текстиль включает: материалы из натуральных волокон, материалы из искусственных волокон и материалы из синтетических волокон.

**Материалы из натуральных волокон** бывают следующих разновидностей: хлопчатобумажная пряжа, кабельная пряжа, хлопчатобумажные изоляционные ленты, изоляционный шелк. Данные материалы применяются в качестве верхних защитных покровов изоляции.

**Материалы из искусственных волокон** бывают следующих разновидностей: вискозный шелк, ацетатный шелк. Ткани из этих волокон прочны и эластичны.

**Материалы из синтетических волокон** бывают следующих разновидностей: полиамидное волокно (капрон), лавсановый шелк. Данные материалы применяются для изоляции обмоточных проводов.

**Пропитанные волокнистые материалы** получают путем пропитки в электроизоляционных лаках или составах различных материалов из натуральных органических волокон. Сочетание высокой механической прочности пропитываемой ткани с высокими изоляционными свойствами пропитывающих составов позволяет получать материалы, обладающие комплексом свойств, обусловившим их широкое применение для целей электрической изоляции.

К пропитанным волокнистым материалам относят: лакоткани, лакобумаги, лакированные трубки и изоляционные ленты (изоленты).

**Лакоткани** широко применяют для изоляции в электрических машинах, аппаратах, кабельных изделиях в виде обмоток, оберток, прокладок и т.д. Разновидностью лакотканей является **стеклоткань**, у которой в качестве основы используется стекловолокно. Недостаток лакотканей – повышенное тепловое старение.

При пропитке бумаги лаками получают **лакобумаги**, которые дешевле лакотканей и в ряде случаев являются их альтернативой. Недостаток лакобумаг – низкая механическая прочность.

**Лакированные трубки** используются в качестве уплотнителей и дополнительной изоляции.

**Изоляционные ленты** бывают односторонние и двухсторонние, в зависимости от наличия резиновой смеси на одной или двух сторонах.

**Пленочные и слюдяные электроизоляционные материалы**

**Органические полимерные пленки** представляют собой тонкие и гибкие материалы, которые могут быть получены в виде длинных, намотанных в рулоны лент различной ширины. Благодаря высоким изоляционным свойствам, пленки представляют особый интерес для электроизоляционной техники: в электромашиностроении, конденсаторостроении, производстве кабельных изделий.

Полимерные пленки являются важным элементом изоляции низковольтных электрических машин (до 1000 В), где они используются в качестве витковой и корпусной изоляции обмоток. Применение полимерных пленок в кабельной технике позволяет создавать обмоточные и монтажные провода, а также силовые кабели с высокими электрическими и механическими характеристиками при относительно малой толщине изоляции. Пленочные материалы используются также в качестве диэлектрика силовых конденсаторов.

**Слюда** – это природный минеральный электроизоляционный материал. Слюда обладает высокой электрической прочностью, нагревостойкостью, влагостойкостью, механической прочностью и гибкостью. Поэтому она применяется в качестве изоляции электрических машин высоких напряжений и больших мощностей.

**Миканиты** – это листовые или рулонные материалы, склеенные из отдельных лепестков слюды с помощью клеящего лака или сухой смолы. Миканиты используются в качестве коллекторной изоляции и различных изолирующих прокладок в электрических машинах.

**Микалента** представляет собой композиционный материал из одного слоя пластинок слюды, склеенных при помощи лака между собой. В качестве подложки используется стеклоткань, покрывающая слюду с обеих сторон.

Из слюды, полученной синтетическим способом, изготавливают **слюдяную бумагу**. Существует два основных типа изоляционных материалов, изготавливаемых из слюдяных бумаг: слюдиниты и слюдопласты.

**Слюдиниты** применяются в изоляции электрических машин нагревостойкого исполнения (класс нагревостойкости H) в качестве пазовой изоляции и межвитковых прокладок.

Область применения **слюдопластов** включает фасонные изделия электрических машин: коллекторные манжеты, гильзы, трубки, изоляционные цилиндры класса нагревостойкости F.

**Каучуки и резины**

**Натуральный каучук** является продуктом, содержащимся в млечном соке (латексе), который извлекают из стволов каучуконосных деревьев, растущих в тропических странах.

**Синтетические каучуки** являются продуктами различных процессов полимеризации изопрена, бутадиена и других органических соединений.

**Резина** представляет собой вулканизированную многокомпонентную смесь на основе каучуков. Резина применяется в первую очередь в кабельных изделиях.

**Кабельные резины** делятся на два основных класса: изоляционные и шланговые.

**Изоляционные резины** служат для изоляции токопроводящих жил. Резиновая смесь накладывается на жилу в виде трубки определенной толщины и в таком виде вулканизируется.

**Шланговые резины** применяются в качестве защитной оболочки для переносных кабелей и проводов, так как таким изделиям необходима максимальная гибкость.

**Полупроводящие резины** применяются для экранирования гибких кабелей.

**Починочные резины** используются при сращивании и ремонте кабелей.

Применение резин в кабельных изделиях позволяет придать им нужную гибкость, влагостойкость, маслонефтестойкость, способность не распространять горение, путем применения в резиновых смесях современных каучуков и других ингредиентов.

**Электроизоляционные стекла**

Стеклообразное состояние является разновидностью аморфного. По твердости, хрупкости и упругости стекло сходно с типичными твердыми телами, но отличается от них характерным для жидкостей отсутствием симметрии в кристаллической решетке. Наибольшее распространение находят конденсаторные стекла (диэлектрик конденсаторов), установочные стекла (установочные детали, изоляторы, платы), ламповые стекла (колбы и ножки осветительных ламп, различных электровакуумных приборов), порошковые стекла (стеклянные припои, эмали, прессованные фасонные детали) и стекловолокно.

**Микалекс** – это стекло, наполненное слюдяным порошком. Это дорогостоящий материал. Область применения: держатели мощных ламп, панели воздушных конденсаторов, гребенки катушек индуктивности, платы переключателей.

Лаки, эмали, компаунды

Электроизоляционные лаки представляют собой коллоидные растворы на лаковой основе, образующей после удаления растворителя пленку, которая обладает электроизоляционными свойствами.

Лаковая основа представляет собой ту часть лака, которая образует пленку и состоит из битумов, высыхающих растительных масел, природных или синтетических смол, а также из их композиций.

Синтетические и природные смолы, применяемые при изготовлении электроизоляционных лаков, эмалей и компаундов, также применяются для лаковой основы растительные масла и битумы.

Растительные масла, получаемые из семян различных растений, способны под действием нагрева, освещения, соприкосновения с кислородом воздуха и других факторов переходить в твердое состояние. Высыхание масел является сложным химическим процессом, связанным с полимеризационными процессами и поглощением маслом некоторого количества кислорода из воздуха, . поэтому масса льняного и подобного масел при сушке может несколько увеличиваться. Наиболее широко применяются льняное и тунговое масла. Эти масла, если их нанести на поверхность, быстро высыхают с образованием твердой неплавкой пленки. Пленки из тунгового масла не растворяются в органических растворителях, стойки к действию воды, а пленки льняного масла почти не растворяются в растворителях. Наиболее высокими электроизоляционными свойствами обладает тунговое масло, которое является токсичным продуктом. Катализаторами реакций высыхания масел являются соединения свинца, кобальта, кальция, вводимые в масла в виде солей, различных кислот. Такие вещества называются сиккативами.

Битумы — черные, твердые или пластичные вещества с аморфной структурой, состоящие в основном из сложной смеси углеводородов и продуктов их дальнейшей полимеризации и окисления. Природные битумы, называемые также асфальтами, содержат различные минеральные примеси. Битумы при нагревании переходят в жидкое состояние, при охлаждении затвердевают. При низких температурах они хрупки и дают характерный излом в виде раковины. Лучшие электроизоляционные свойства, как правило, имеют более тугоплавкие битумы, они труднее растворяются и более хрупки. Температура размягчения битумов может быть повышена путем пропускания воздуха через расплавленный битум. По своим диэлектрическим характеристикам битумы могут быть отнесены к слабополярным соединениям. Для электроизоляционной техники наиболее широко применяют нефтяные битумы марок БН-1П, БН-IV, БН-V и более тугоплавкие спецбитумы марок В и Г.

Растворители — летучие жидкости, применяемые для растворения лаковых основ и улетучивающиеся в процессе образования пленки. Растворителями могут служить ароматические углеводороды, спирты, сложные и простые эфиры, скипидар и др. В состав лака, кроме того, могут входить следующие дополнительные вещества.

Сиккативы — вещества, ускоряющие процесс высыхания растительных масел и лаков. Пластификаторы - вещества, придающие эластичность и ударную прочность лаковой пленке. Отвердители - соединения, способствующие отверждению пленки лака. Инициаторы и ускорители — вещества, ускоряющие процесс образования полимеров. Ингибиторы - соединения, препятствующие преждевременному запустеванию.

Электроизоляционные эмали представляют собой лаки, в состав которых входят пигменты — высокодисперсные неорганические вещества, повышающие твердость и механическую прочность лаковой пленки, теплопроводность, дугостойкость. В качестве .пигментов часто применяют диоксид титана, железный сурик и др.

Электроизоляционные компаунды в основном состоят из тех же веществ, которые входят в состав лаковой основы электроизоляционных лаков, но в отличие от лаков не содержат растворителей. В момент применения при нормальной и повышенной температуре компаунды находятся в жидком состоянии и твердеют после охлаждения или в результате происходящих в них химических процессов.

Кроме того, в состав компаундов могут входить активные разбавители, понижающие вязкость компаунда, пластификаторы, отвердители. инициаторы и ингибиторы, назначения которых те же, что и в лаках. В состав компаунда могут также входить наполнители — неорганические и органические порошкообразные или волокнистые материалы, применяемые для уменьшения усадки, улучшения теплопроводности, уменьшения температурного коэффициента расширения и снижения стоимости. В качестве наполнителей применяют пылевидный кварц, тальк, слюдяную пыль, асбестовое и стеклянное волокно и ряд других.

Электроизоляционные лаки и компаунды широко применяются в электроизоляционной и кабельной технике, в производстве электрических машин, турбо -и гидрогенераторов, аппаратов, трансформаторов, распределительных устройств, в высокочастотной технике.

Выбор электроизоляционных лаков или компаундов для той или иной конструкции основывается на знании технических требований для данной конструкции и условий ее работы, на физических и электрических характеристиках лаков и компаундов, определяемых соответствующими ГОСТами и техническими условиями (ТУ).

По назначению и выполняемым функциям электроизоляционные лаки принято подразделять на три основные группы: пропиточные, покровные и клеящие.

Пропиточные лаки предназначены для пропитки изоляции обмоток электрических машин и аппаратов, для пропитки различных электроизоляционных материалов волокнистого строения — бумаги, ткани, стеклоткани, электрокартона и др.

Покровные лаки используют для создания внешней защитной отделки различных электроизоляционных деталей, металлических - узлов и деталей, покрытия предварительно пропитанных обмоток электрических машин и аппаратов. К этой группе относятся также эмаль-лаки, применяемые в кабельной промышленности, и полупроводящие лаки, обладающие повышенной удельной проводимостью.

По способу сушки электроизоляционные лаки делятся на лаки воздушной, или холодной, сушки и печной, или горячей.

Лаки воздушной сушки высыхают и образуют пленки требуемого качества при комнатной температуре Образование пленки лака воздушной сушки может происходить в результате удаления летучих растворителей, окислительных или полимеризационных процессов (в масляных или битумных лаках), а также при введении соответствующих отвердителей холодного отверждения в лаках на основе некоторых синтетических смол.

Лаки печной, или горячей, сушки содержат в основе высококипящие растворители, медленно улетучивающиеся при нормальной температуре, или композиции различных термореактивных синтетических смол, в которых во время сушки при высокой температуре 100 °С и выше происходят реакции окисления, полимеризации или поликонденсации.

По химическому составу лаковой основы электроизоляционные лаки делятся на три основные группы: масляные, смоляные, эфиро-целлюлозные.

По химическому составу лаковой основы электроизоляционные лаки делятся на три основные группы: масляные, смоляные, эфиро-целлюлозные.  
Масляные (маслосодержащие) лаки состоят из высыхающих растительных масел и натуральных или синтетических смол или битумов с добавкой сиккативов. Из высыхающих масел наиболее часто применяют льняное, тунговое, ойтиспковое или их смеси. Растворителями являются алифатические углеводороды (керосин, уайт-спирит), ароматические (толуол, ксилол) или их смеси, а также скипидар. К группе масляных лаков относятся масляно-битумные, масляно-канифольные. масляно-алкидные лаки. В состав масляно-битумных лаков входят растительные масла в композиции с асфальтами и асфальтитами либо искусственными нефтяными битумами с добавкой сиккатива. В состав масляно-канифольных лаков входят кроме высыхающих растительных масел препараты, содержащие канифоль. Масляно-алкидные лаки представляют собой продукт реакции поликондеисаиии многоатомных спиртов с многоосновными кислотами.

Смоляные лаки получаются на основе синтетических смол. Примером являются фенолоформальдегидные смолы, растворенные в этиловом спирте, водные феноло -или крезолоформальдегидные лаки, не содержащие спирта. К этой же группе относятся лаки на основе полиэфирных, эпоксидных, кремнийорганических смол, лаки на основе полиэфирных, эпоксидных, кремнийорганических смол, лаки на основе натуральных смол или битумов.

Эфироцеллюлозные лаки, представляющие собой растворы различных эфиров целлюлозы (нитроцеллюлоза, этилцеллюлоза) с добавкой пластификаторов смеси со сложными эфирами, спиртами, кетонами и 'ароматическими углеводородами имеют ограниченное применение в электротехнической промышленности.

Электроизоляционные компаунды по своему назначению и выполняемым функциям делятся на две основные группы: пропиточные и заливочные. Пропиточные компаунды служат для заполнения пор. капилляров и воздушных включений в электроизоляционных материалах, используемых главным образом для обмоток электрических машин, катушек аппаратов, трансформаторов и других электротехнических конструкций. После пропитки повышается электрическая прочность материала и всей конструкции в целом, улучшаются теплопроводность, теплоотдача обмоток, что позволяет увеличить мощность электрических машин и аппаратов при тех же габаритах, увеличиваются механическая прочность, влагостойкость, срок службы всей конструкции.

По отношению к нагреву электроизоляционные компаунды делятся на термопластичные и термореактивные.

Термопластичные компаунды твердые при нормальной температуре, при нагревании размягчаются. становятся пластичными и переходят в жидкое состояние, при охлаждении снова затвердевают. Расплавление и отверждение компаундов этой группы можно проводить многократно. Для изготовления этих компаундов часто применяют нефтяные битумы в сочетании с растительными и минеральными маслами, канифолью и некоторыми термопластичными полимерами.

Термореактивные компаунды в момент их применения находятся в жидком состоянии, а затем затвердевают в результате происходящих в них химических реакций. Отверждение компаундов этой группы происходит под действием отвердителя или катализатора. После отверждения компаунд становится твердым, неплавким и не растворимым в обычных растворителях. Как и лаки, эти компаунды делятся на компаунды горячего и холодного отверждения. Компаунды горячего отверждения переходят в твердое состояние при специальной термической обработке, а компаунды холодного отверждения переходят в твердое состояние под действием отвердителей.

По химическому составу электроизоляционные компаунды делятся на компаунды, изготовляемые на основе нефтяных битумов, растительных или минеральных масел и канифоли, и компаунды на основе синтетических смол. В компаунды, изготовляемые на основе различных нефтяных битумов, иногда добавляют льняное или минеральное масло и канифоль. Компаунды на основе синтетических смол изготовляются на основе полиэфирных, эпоксидных, эпоксидно-полиэфирных кремнийорганических и прочих смол и их композиций.

**Электроизоляционные полимеры**

**Полимерами** называют высокомолекулярные соединения, макромолекулы которых состоят из большого числа повторяющихся звеньев, образованных исходными мономерами.

Степень полимеризации – число молекул мономера, объединившихся в одну молекулу полимера. Например, полистирол имеет степень полимеризации около 6000, а полиэтилен – 28500. Молекулы – полимеры образуются благодаря разрыву двойных химических связей молекул – мономеров. По своему строению полимеры могут быть линейными и пространственными.

**Линейные полимеры** гибки, эластичны и легко растворимы. Линейная структура макромолекул способствует получению полимерных волокон, каучуков, пленок.

**Пространственные полимеры** обладают большей жесткостью, чем линейные и их размягчение происходит при очень высоких температурах. Пространственные полимеры трудно растворимы.

**Термопластичными** называют полимеры, способные при многократных нагревах и охлаждениях размягчаться и затвердевать.

**Термореактивные полимеры** при нагреве претерпевают необратимые изменения свойств и затвердевают, приобретая значительную механическую прочность и твердость.

Полимеры имеют очень большое значение в производстве многих изделий электротехнической, электронной, радиотехнической и других отраслях промышленности. Они применяются в качестве отдельных компонентов при изготовлении электрической изоляции или непосредственно.