Минобрнауки России

Бузулукский гуманитарно-технологический институт

(филиал) федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения

высшего образования

**«Оренбургский государственный университет»**

Кафедра *«Общепрофессиональных и технических дисциплин»*

*А.В. Сидоров*

**Методические указания**

**по освоению дисциплины «Электротехнические материалы»**

Уровень высшего образования

БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки

*44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)*

(код и наименование направления подготовки)

*Энергетика*

(наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Тип образовательной программы

*Программа академического бакалавриата*

Квалификация

*Бакалавр*

Форма обучения

*Очная, заочная*

Бузулук 2022

Электротехнические материалы: методические указания для обучающихся по освоению дисциплины / А.В. Сидоров; Бузулукский гуманитарно-технолог. ин-т (филиал) ОГУ. – Бузулук: БГТИ (филиал) ОГУ, 2022.

Составитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.В. Сидоров

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2022 г.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям) очного и заочного обучения.

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины являются приложением к рабочей программе по дисциплине.

**Содержание**

[Введение](#_Toc466217638) 4

1 Виды работ студентов……………………………………………………………..5

2 Основные виды работ студентов и особенности их проведения при изучении курса…………………………………………………………………………………..5

# Введение

Цель методических указаний – помочь студенту в организации изучения дисциплины выполнения различных форм аудиторной и самостоятельной работы.

Для освоения данной дисциплины в вузе читаются лекции и проводятся практические занятия.

**Цель (цели)** освоения дисциплины: формирование у студентов знаний и представлений о классификации, свойствах и техническом назначении материалов, используемых в различной электронной аппаратуре, при конструировании, эксплуатации и техническом обслуживании учебно-технологической среды

**Задачи:**

- изучение классификации электротехнических материалов по их составу, электрофизическим свойствам и техническому назначению;

- изучение физической сущности процессов, протекающих в проводниковых, полупроводниковых, диэлектрических и магнитных материалах;

- изучение методов оценки основных свойств электротехнических материалов;

- исследование основных характеристик электротехнических материалов;

- изучение основных эксплуатационных характеристик и параметров пассивных элементов;

- получение студентами навыков использования справочного аппарата по выбору требуемых материалов для конкретных применений;

- получение студентами навыков выбора электротехнических материалов заданного назначения с учетом допустимых нагрузок, влияния внешних факторов и стоимости.

# 1 Виды работы студентов

Основные виды занятий: по курсу предусмотрено проведение лекционных занятий, на которых дается основной систематизированный материал, практические занятия, самостоятельная работа, сдача экзамена.

Самостоятельная работа предусматривает аудиторною и внеаудиторную работу.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданиям.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Задания для самостоятельной работы содержатся в фонде оценочных средств по дисциплине. Выполненные задания к каждому разделу сдаются в письменном виде.

Содержание самостоятельной работы определяется в соответствии с рекомендуемыми видами заданий согласно рабочей программы дисциплины.

# 2 Основные виды работы студентов и особенности их проведения при изучении данного курса

**2.1 Рекомендации к прослушиванию лекционного курса**

Лекция – это развернутое, продолжительное и системное изложение сущности какой-либо учебной, научной проблемы. Основа лекции – теоретическое обобщение, в котором конкретный фактический материал служит иллюстрацией или необходимым отправным моментом, это форма учебного занятия, цель которого состоит в рассмотрении теоретических вопросов излагаемой дисциплины в логически выдержанной форме.

В учебном процессе в зависимости от дидактических задач и логики учебного материала мы будем использовать вводные, текущие и обзорные лекции; в зависимости от деятельности студентов - информационные, объяснительные, лекции - беседы.

Лекционная форма целесообразна в процессе:

* изучения нового материала, мало связанного с ранее изученным;
* рассмотрения сложного для самостоятельного изучения материала;
* подачи информации крупными блоками;
* выполнения определенного вида заданий по одной или нескольким темам либо разделам;
* применения изученного материала при решении практических задач.

В состав учебно-методических материалов лекционного курса включаются:

* учебники и учебные пособия, в том числе разработанные преподавателями кафедры, конспекты (тексты, схемы) лекций в печатном виде и /или электронном представлении - электронный учебник, файл с содержанием материала, излагаемого на лекциях, файл с раздаточными материалами;
* тесты и задания по различным темам лекций (разделам учебной дисциплины) для самоконтроля студентов;
* списки учебной литературы, рекомендуемой студентам в качестве основной и дополнительной по темам лекций (по соответствующей дисциплине).

Приступая к изучению дисциплины, студенту необходимо ознакомиться с тематическим планом занятий, списком рекомендованной учебной и научной литературы. Следует уяснить последовательность выполнения индивидуальных учебных заданий, темы и сроки проведения семинаров, написания учебных и творческих работ, завести в свою рабочую тетрадь.

При изучении дисциплины студенты выполняют следующие задания: изучают рекомендованную учебную и научную литературу; пишут контрольные работы, готовят презентации и сообщения к практическим занятиям; выполняют самостоятельные творческие работы, участвуют в выполнении практических заданий. Уровень и глубина усвоения дисциплины зависят от активной и систематической работы в данных направлениях.

**2.2 Рекомендации при подготовке к практическим занятиям**

Практические занятия относятся к основным видам учебных занятий. Они составляют важную часть профессиональной подготовки.

Подготовка к практическому занятию

* подберите необходимую учебную и справочную литературу, конспекты,
* освежите в памяти теоретические сведения, полученные на лекциях и в процессе самостоятельной работы,
* определитесь в целях и специфических особенностях практической работы.
* отберите те задачи и упражнения, которые позволят в полной мере реализовать цели и задачи предстоящей работы,
* прорешайте задачи, примеры из лекции, учебника,
* ответьте на контрольные вопросы.

**Тематика практических занятий**

**Тема 1. Исследование электропроводности диэлектриков**

Основой материал.

Электрический ток – упорядоченное перемещение в веществе электрических зарядов под действием внешних и внутренних электрических полей. Наличие свободных носителей заряда – необходимое условие возникновения электропроводности.

В идеальном диэлектрике вообще не должно существовать свободных

зарядов, заряды в нем должны быть только связанными. Однако опыт показывает, что все электроизоляционные материалы в той или иной степени способны проводить ток. Это означает, что реальный диэлектрик содержит некоторое, хотя и очень малое количество свободных носителей заряда. Их образование происходит по разным причинам в слабых и сильных электрических полях; различаются и механизмы электропроводности в веществах, находящихся в твердом, жидком или газообразном состоянии.

В газах свободные носители заряда возникают под действием внешних ионизирующих факторов (космическое, радиоактивное излучение, высокая температура, столкновение с заряженными частицами большой энергии и др.) в результате распада нейтральных атомов и молекул на положительные ионы и свободные электроны.

В жидкости электропроводность обусловлена, прежде всего, ионами примесей и диссоциацией молекул самого диэлектрика (полярные жидкости). В случае коллоидной системы (частицы одного из компонентов очень малы и распылены в объеме другого) наблюдается молионная (электрофоретическая) проводимость, когда ток переносят заряженные молекулы или группы молекул.

В твердых диэлектриках носителями заряда являются ионы примесей, слабо связанные ионы и ионные вакансии самого материала (в полимерах и стеклах), свободные электроны и дырки (в некоторых видах керамики, полимеров).

Электрическая проводимость (электропроводность) диэлектрика не является величиной постоянной и зависит помимо агрегатного состояния от целого ряда факторов: наличия электролитических (ионогенных) примесей, температуры, влажности, величины электрического поля и т.п. Крайне важно учитывать старение электрической изоляции – необратимое снижение диэлектрических характеристик материала в процессе его эксплуатации.

Электропроводность любого вещества обусловлена воздействием электрического поля напряженностью Е на хаотическое тепловое движение заряженных частиц (носителей заряда qi). Среднюю составляющую скорости частицы i-го типа в направлении поля называют скоростью дрейфа Vi. Величина μ =Vi /E – подвижность частицы. В результате плотность тока j через вещество может быть записана в виде суммы токов:

(1)

а удельная электропроводность

γ= j/E=  (2)

где ni – концентрация носителей заряда; суммирование проводится по всем типам носителей (i=1,2,3…).

Удельная проводимость твердых и жидких диэлектриков экспоненциально возрастает с увеличением температуры вследствие повышения концентрации и подвижности носителей γ=γ0eΔW / kT. В приведенной формуле: ∆W – энергия активации электропроводности, Т – абсолютная температура, γ0 ≈ γ при Т → ∞, k–постоянная Больцмана. Поэтому зависимость lgγ(1/Т) представляет собой прямую, ломаную или слегка искривленную (для жидкостей и полимеров) линию.

В отличие от металлов и полупроводников концентрация свободных носителей заряда ni в диэлектриках весьма мала, поэтому для измерения электропроводности диэлектриков обычно используют чувствительные приборы – гальванометры или электрометры, способные измерять токи до 10-15 и даже до 10-17А. Особое внимание при проведении измерений должно быть уделено устранению паразитных токов утечки, которые могут существенно повлиять на точность получаемых результатов. Поэтому основную измерительную часть цепи, в которой протекает слабый ток, тщательно изолируют от окружающих проводников.

## Качество электроизоляционных конструкций в значительной степени зависит не только от объемного, но и от поверхностного сопротивления RS.

Поверхностный ток IS в основном определяется наличием загрязнений (пленка влаги, растворы солей, кислот), а также нарушениями структуры поверхности материала. Кроме того, поверхность диэлектрика в большей степени подвержена воздействию внешних факторов.

Очевидно, что удельное объемное сопротивление имеет в системе СИ размерность [Ом⋅м], а удельное повефрхностное сопротивление – [Ом], следовательно, эти два параметра не могут быть численно сопоставлены друг с другом так же, как и удельные объемная и поверхностная проводимости.

Поскольку измерять абсорбционные токи даже замедленных видов поляризации достаточно сложно, сопротивление диэлектрика рассчитывается как частное от деления напряжения на ток, измеренный через одну минуту после подачи напряжения, который близок по величине к сквозному току. Необходимо учесть, что более длительная выдержка образца под напряжением может приводить к его старению.

Влияние влаги. Электропроводность диэлектрических материалов в большой степени определяется содержанием влаги в объеме и на поверхности образца. Известно, что вода обладает значительной электропроводностью 10-3-10-4 Ом-1∙м-1 и высокой относительной диэлектрической проницаемостью (ε′=81 при 20°С и частоте менее 105 Гц). Кроме того, в воде легко диссоциируют молекулы многих других веществ (прежде всего электролитических примесей), что существенно увеличивает число свободных носителей заряда и, следовательно, повышает проводимость материалов. Иногда электроизоляционные материалы находятся в прямом контакте с водой, однако, чаще всего источником влаги является обычный атмосферный воздух, относительная влажность которого может меняться в широких пределах от 20 до 100%.

При соприкосновении твердого диэлектрика с окружающей средой, содержащей влагу, протекают два процесса: адсорбция воды на его поверхности и абсорбция воды внутрь материала. В целом это явление называется сорбцией.

Причина адсорбции – силы, действующие между полярными молекулами воды и молекулами поверхности диэлектрика. Эти силы могут быть притягивающими, такие поверхности называют гидрофильными, а могут быть и отталкивающими, тогда говорят, что поверхность гидрофобна. К первому типу в основном относятся полярные диэлектрики со смачиваемой поверхностью, ко второму типу – неполярные диэлектрики, чистая поверхность которых не смачивается водой. Достаточно тончайшего слоя влаги, чтобы обнаружить заметную поверхностную проводимость, которая определяется толщиной этого слоя. Адсорбция влаги на поверхности диэлектрика находится в непосредственной зависимости от относительной влажности атмосферы, поэтому относительная влажность является основным фактором, влияющим на удельную поверхностную проводимость конкретного материала. Пленка влаги – мономолекулярный слой воды – появляется при 20°С, начиная с 30% относительной влажности воздуха.

Причиной абсорбции (проникновения влаги внутрь диэлектрика) является диффузия. Поскольку эффективный диаметр молекулы воды составляет 0,3 нм, то она способна диффундировать практически во все материалы. Межмолекулярная пористость различных веществ колеблется в пределах 1–5 нм, а внутримолекулярная пористость может достигать 1 нм.

Проникновение воды в электроизоляционный материал подчиняется закону Генри, согласно которому концентрация водяных паров на внутренней поверхности диэлектрика пропорциональна давлению паров на внешней стороне поверхности. Коэффициент пропорциональности называется растворимостью. Если концентрация водяного пара с обеих сторон неодинакова, происходит диффузия пара из мест с большей концентрацией в места с меньшей концентрацией.

Существует целый ряд показателей, позволяющих оценить количество поглощенной материалом влаги: влагопроницаемость, влагопоглощаемость и т.п. Однако решающим является не количество поглощенной воды, а вызванное увлажнением ухудшение электрических характеристик изоляции, которое для разных материалов при одинаковом содержании влаги различно.

Влияние влаги на диэлектрик зависит и от того, каким образом вода входи в его структуру. Существует две формы связи воды с твердыми веществами: сорбционная и химическая. В первом случае вода, проникающая в толщу материала в процессе сорбции не входит в его структуру, не вызывает необратимых явлений и ее присутствие или удаление не приводит к образованию новой структуры вещества. Химическая или кристаллогидратная форма связи воды с диэлектриком приводит к получению новых веществ, различным по физическим свойствам, вызывает структурное изменение и перестройку кристаллической решетки. Промежуточное положение между сорбционной и химической формами связи занимают вещества, в которых вода связывается с материалом, образуя водородные связи. К таким диэлектрикам относятся бумага, эфиры целлюлозы и другие.

Кроме вида связи воды с материалом, большое значение имеет форма ее распределения. Форма распределения влаги в диэлектрике определяет его электрические параметры, поскольку систему с водяными включениями можно рассматривать как неоднородный диэлектрик с полупроводящими элементами.

Поглощенная материалом вода может располагаться или в виде сферических образований, или в виде нитей и пленок, причем наиболее благоприятной формой, вызывающей наименьшее снижение характеристик, является сфера, характерная для неполярных диэлектриков.

Лучшей влагостойкостью обладают неорганические материалы: вакуумплотная керамика, глазурованный фарфор, бесщелочное стекло, и т.п. Пористые же неорганические материалы, например. асбест, мрамор, пористая керамика, а также композиционные материалы типа слюдопластов и т.п., поглощают много воды и резко снижают в связи с этим в процессе эксплуатации свои электроизоляционные характеристики.

Из органических материалов меньше всего поглощают влагу и ухудшают электроизоляционные свойства неполярные материалы, например, парафин, полиэтилен, полистирол, политетрафторэтилен (тефлон или фторопласт-4). Полярные органические диэлектрики, например, поливинилхлорид, термореактивные пластмассы, поглощают больше воды, чем неполярные. Особенно легко увлажняются материалы на основе целлюлозы, такие как бумага, картон, лакобумага, гетинакс, ткани, текстолиты. Эти виды изоляции можно использовать только в сухом состоянии, причем они должны защищаться от влаги лакированием, пропиткой. Однако все виды защиты лишь замедляют процесс увлажнения. Единственно надежным средством является герметизация, что не всегда возможно и целесообразно.

Как уже говорилось, электропроводность твердых изоляционных материалов обусловлена как передвижением ионов самого диэлектрика, так и ионов случайных или технологических примесей, а у некоторых материалов может быть вызвана перемещением свободных электронов. То есть в диэлектриках электропроводность обусловлена перемещением ионов, вырываемых из кристаллической решетки под влиянием флуктуаций теплового движения. При низких температурах передвигаются слабо закрепленные ионы, в частности, ионы примесей. При высоких температурах движутся ионы основной кристаллической решетки и свободные собственные электроны.

Самостоятельная работа.

Задание на самостоятельную работу содержаться в фонде оценочных средств.

**Тема 2. Исследование поляризации диэлектриков и диэлектрических потерь**

Основной материал.

Поляризацией называется процесс ограниченного смеще­ния или ориентации связанных электрических зарядов в ди­электрике под действием электрического поля. Этот процесс происходит во всем объеме и сопровождается выделением зарядов на поверхности материала у электро­дов, помещенных на образец диэлектрика (рисунок 5). При наложении поля разноименные заряды в атомах (молекулах) диэлектрика несколько смещаются друг от друга, образуя диполи c электрическим (дипольным) моментом.

Диэлектрик поляризуется под воздействием внешнего электрического поля в результате упругого смещения электронных оболочек (электронная поляризация), ионов кристаллической решетки (ионная поляризация) или ориентации дипольных момен­тов полярных групп и молекул по направлению поля (дипольная или дипольно-релаксационная поляризация), а также за счет перемещения (миграции) зарядов в полупроводящих включениях до их границ и накопления этих заря­дов на границе раздела (миграционная поляризация).

Электронная поляризация представляет собой упругое смещение и деформацию электронных оболочек атомов, молекул и ионов.

Время установления электронной поляризации τ составляет около 10-14 – 10-15 с. Таким образом, электронная поляризация устанавливается практически мгновенно. В диапазоне 0÷1014 Гц диэлектрическая проницаемость практически не зависит от частоты и поляризация не связана с потерями энергии электрического поля. При частотах 1014–1015 Гц проявляются резонансные потери энергии. Величина ε′ вещества с чисто электронной поляризацией равна квадрату показателя преломления света ν (ε′=ν2) и обычно не превышает значений 2–2,5.

Исключительно электронную поляризацию имеют неполярные вещества: газообразные (водород, кислород, азот), жидкие (нефтяные масла, октол),

твердые (парафин, церезин, полиэтилен, политетрафторэтилен и др.).

Электронная поляризация наблюдается также и во всех остальных диэлектриках, но у большинства из них на электронную поляризацию на­кладываются другие виды поляризации.

Самостоятельная работа.

Задание на самостоятельную работу содержаться в фонде оценочных средств.

**Тема 3. Исследование электрической прочности диэлектриков**

Основной материал

Диэлектрик, находясь в электрическом поле, теряет свойства электроизоляционного материала, если напряженность поля превысит некоторое критическое значение. Это явление носит название пробоя диэлектрика, или нарушения его электрической прочности. При пробое наблюдается местное увеличение проводимости (из-за резкого увеличения концентрации свободных носителей) и рост сквозного тока, завершающийся образованием проводящего канала пробоя в диэлектрике.

Для твердого диэлектрика такое восстановление отсутствует – след пробоя имеет вид проплавленного, прожженного сквозного канала неправильной формы, образующего практически короткое замыкание между электродами.

Образование в диэлектрике проводящего канала под действием электрического поля называется пробоем, напряжение, вызывающее пробой,- пробивным напряжением (Uпр), а соответствующая напряженность электрического поля – электрической прочностью (Eпр) диэлектрика. В некоторых случаях при напряжении более низком, чем Uпр, развивается поверхностный электрический разряд, не распространяющийся на значительную глубину материала.

Это явление называется поверхностным пробоем, а напряжение, при котором он происходит, – поверхностным пробивным напряжением. Электрическая прочность является важнейшей характеристикой электроизоляционного материала.

Если в процессе эксплуатации напряженность поля превысит Eпр диэлектрика, то электротехническое устройство, в котором использован данный электроизоляционный материал, выйдет из строя. Поэтому для надежной работы изоляции ее рабочее напряжение (Uраб) должно быть существенно меньше, чем Uпр, а Ераб меньше, чем Епр. Отношение Uпр/Uраб называют коэффициентом запаса электрической прочности электроизоляционного материала.

Самостоятельная работа.

Задание на самостоятельную работу содержаться в фонде оценочных средств.

**2.3 Методические рекомендации по подготовке к тестированию**

Тестирование позволяет путем поиска правильного ответа и разбора допущенных ошибок лучше усвоить тот или иной материал. Для выполнения тестового задания, прежде всего, следует внимательно прочитать поставленный вопрос. После ознакомления с вопросом следует приступать к прочтению предлагаемых вариантов ответа. Необходимо прочитать все варианты и в качестве ответа следует выбрать индекс (цифровое обозначение), соответствующий правильному ответу. На выполнение теста отводится ограниченное время. Оно может варьироваться в зависимости от уровня тестируемых, сложности и объема теста. Как правило, время выполнения тестового задания определяется из расчета 30-45 секунд на один вопрос. К работе над тестовым заданием следует приступать после изучения рекомендованной литературы и материалов лекций.

**2.4 Методические рекомендации по подготовке к экзамену**

Цель экзамена - проверка и оценка уровня полученных студентом специальных познаний по учебной дисциплине, а также умения логически мыслить, аргументировать избранную научную позицию, реагировать на дополнительные вопросы, ориентироваться в массиве правовых норм. Оценке подлежит также и правильность речи студента. Дополнительной целью итогового контроля в виде экзамена является формирование у студента таких качеств, как организованность, ответственность, трудолюбие, самостоятельность. Студент в целях получения качественных и системных знаний должен начинать подготовку к экзамену задолго до его проведения, лучше с самого начала лекционного курса.  В ходе подготовки к экзамену студентам необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания излагаемых проблем.