

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»
в г. Петровске

УТВЕРЖДАЮ
Директор филиала СГТУ
имени Гагарина Ю.А. в г. Петровске
Е.А. Бесшапошникова
«30» июня 2021 г.



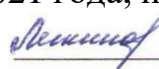
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

по дисциплине

ОП.05 «Материаловедение»

специальности

13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)»

Методические указания рассмотрены
на заседании предметной (цикловой)
комиссии общепрофессиональных дисциплин,
профессиональных модулей специальностей
технического профиля
«14» июня 2021 года, протокол № 13
Председатель ПЦК  /Т.А.Лескина/

Петровск 2021

Пояснительная записка

Методические указания по выполнению лабораторных работ разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Материаловедение», требованиями Федерального государственного образовательного стандарта (далее – ФГОС) по специальности среднего профессионального образования (далее - СПО) 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 14.12.2017 № 1216 и соответствующих общих (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций:

ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;

ОК 02. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности;

ОК 03. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие;

ОК 04. Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами;

ОК 05. Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста;

ОК 06. Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей;

ОК 07. Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях;

ОК 08. Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности;

ОК 09. Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности;

ОК 10. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках;

ОК 11. Использовать знания по финансовой грамотности, планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере.

ПК 2.1. Читать и составлять электрические схемы электрических подстанций и сетей;

ПК 2.2. Выполнять основные виды работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии;

ПК 2.3. Выполнять основные виды работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок, систем релейных защит и автоматизированных систем;

ПК 2.4. Выполнять основные виды работ по обслуживанию воздушных и кабельных линий электроснабжения;

ПК 2.5. Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию.

ПК 3.1. Планировать и организовывать работу по ремонту оборудования;
ПК 3.2. Находить и устранять повреждения оборудования;
ПК 3.3. Выполнять работы по ремонту устройств электроснабжения;
ПК 3.4. Оценивать затраты на выполнение работ по ремонту устройств электроснабжения;

ПК 3.5. Выполнять проверку и анализ состояния устройств и приборов, используемых при ремонте и наладке оборудования;

ПК 3.6. Производить настройку и регулировку устройств и приборов для ремонта оборудования электрических установок и сетей.

ПК 4.1. Обеспечивать безопасное производство плановых и аварийных работ в электрических установках и сетях.

При выполнении лабораторных работ студент должен **знать:**

- виды механической, химической и термической обработки металлов и сплавов;
- виды прокладочных и уплотнительных материалов;
- закономерности процессов кристаллизации и структурообразования металлов и сплавов, защиты от коррозии;
- классификация, основные виды, маркировка, область применения и виды обработки конструкционных материалов, основные сведения об их назначении и свойствах, принципы их выбора для применения в производстве;
- методы измерения параметров и определения свойств материалов;
- основные сведения о кристаллизации и структуре расплавов;
- основные сведения о назначении и свойствах металлов и сплавов, о технологии их производства;
- основные свойства полимеров и их использование;
- особенности строения металлов и сплавов;
- свойства смазочных и абразивных материалов;
- способы получения композиционных материалов;
- сущность технологических процессов литья, сварки, обработки металлов давлением и резанием.

При выполнении лабораторных работ студент должен **уметь:**

- определять свойства конструкционных и сырьевых материалов, применяемых в производстве, по маркировке, внешнему виду, происхождению, свойствам, составу, назначению и способу приготовления;
- определять твердость материалов;
- определять режимы отжига, закалки и отпуска стали;
- подбирать конструкционные материалы по их назначению и условиям эксплуатации;
- подбирать способы и режимы обработки металлов (литьем, давлением, сваркой, резанием) для изготовления различных деталей.

Содержание лабораторных занятий определено рабочей программой и тематическим планированием, соответствует теоретическому материалу изучаемых разделов учебной дисциплины.

Объём лабораторных занятий по дисциплине определяется учебным планом по данной специальности.

Продолжительность лабораторного занятия - 2 академических часа. Перед проведением лабораторного занятия преподавателем организуется инструктаж, а по ее окончании – обсуждение итогов.

Комплект методических указаний по выполнению лабораторных работ дисциплины «Материаловедение» содержит 3 лабораторных занятия.

**Перечень лабораторных работ
по дисциплине «Материаловедение»**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.

Тема: Исследование зависимости электрической прочности воздуха

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2.

Тема: Определение удельного сопротивления твёрдых диэлектриков

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.

Тема: Определение электрической прочности изоляции кабеля

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Тема: «Исследование зависимости электрической прочности воздуха»

Цели:

- изучение особенностей развития разряда в неоднородных полях;
- исследование влияния полярности электродов на разрядные напряжения в резко неоднородном электрическом поле воздушного промежутка;
- исследование влияния барьера на электрическую прочность воздушного промежутка;
- экспериментальное определение оптимального расположения барьера.

Оборудование: испытательная выпрямительная установка

Справочный материал

Электрическая прочность воздушных промежутков зависит от ряда факторов, в том числе от рода напряжения, формы электродов и их полярности.

В однородном электрическом поле ($E = \text{const}$) разряд в воздухе возникает при напряженности поля, близкой к 3 МВ/м, и не сопровождается явлением короны.

Степень неоднородности электрического поля принято характеризовать коэффициентом неоднородности K_n , равным отношению максимальной напряженности поля между электродами (E_{max}) к средней ее величине (E_{cp}):

$$K_n = E_{\text{max}} / E_{\text{cp}}, \text{ где } E_{\text{cp}} = U/S.$$

Для однородных полей $K_n = 1$, для неоднородных $K_n > 1$ и увеличивается при уменьшении радиуса кривизны электродов и росте расстояния между ними. Условно считается, что поле будет слабонеоднородным при $K_n < 2$ и резко неоднородным при $K_n > 2 \dots 4$.

Эта граница характерна:

- для случая концентрических цилиндров при $R/r=3$,
 - для параллельных проводов $S/r=30$
 - для двух сфер одинакового радиуса $S/r=8$
- (S - везде расстояние между электродами) .

Электрическое поле промежутка с электродами острие-плоскость является неоднородным ($K_n > 4$). В таком промежутке разрядные напряжения оказываются значительно более низкими, чем в воздушных промежутках с однородными или слабо неоднородными полями. При этом искровому разряду (пробою) предшествует корона.

При любой полярности электродов острие-плоскость ионизации начинается у острия, поскольку напряженность поля здесь больше, чем у плоскости. Образующийся при этом объемный заряд состоит, в основном, из

положительных ионов, т.к. электроны, обладающие малой массой и, следовательно, большей подвижностью, практически мгновенно покидают область ионизации. Положительный объемный заряд искажает поле и оказывает существенное влияние на процесс развития разряда.

Как видно из рис. 2.1, при положительной полярности острия возникающий при ионизации объемный заряд уменьшает напряженность поля непосредственно у острия и увеличивают ее в остальной части промежутка.

При отрицательной полярности острия влияние объемного заряда будет противоположным, - он увеличивает напряженность поля около острия и ослабляет ее в остальной части промежутка. В результате изменяется напряжение возникновения короны $U_{ки}$ разрядное напряжение промежутка U_p .

При положительной полярности острия возникновение короны будет затруднено, т.к. напряженность поля непосредственно у острия понижена. Для возникновения короны потребуется более высокое напряжение, т.е. $U_k^+ > U_k^-$.

Поскольку напряженность поля по направлению к плоскости при положительной полярности острия увеличивается, а при отрицательной уменьшается (рис.1), то при дальнейшем повышении напряжения при положительном острие разряд в промежутке произойдет при более низком напряжении, т.е. $U_p^+ < U_p^-$.

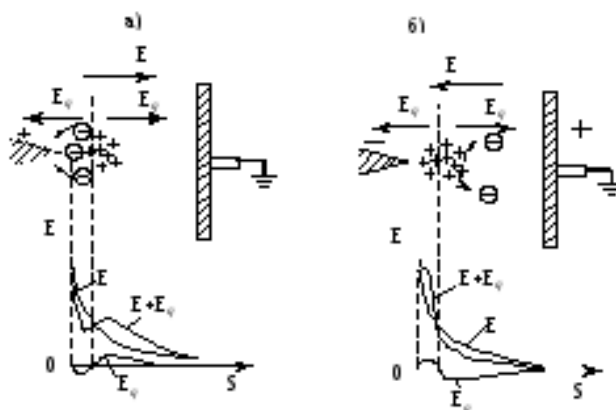


Рис.1. Напряженность электрического поля в промежутке острие-плоскость: E - без учета влияния объемных зарядов; E_q - создаваемая положительными объемными зарядами; $E+E_q$ - результирующая

Зависимость разрядного напряжения в несимметричных полях от полярности электродов называют эффектом полярности.

Управлять электрическим полем разрядного промежутка и его электрической прочностью можно, например, поместив между электродами тороидальный проводящий экран, на который подан тот или иной потенциал. В зависимости от положения экрана и значения его потенциала можно добиться увеличения или уменьшения разрядного напряжения промежутка.

Устранить эффект полярности частично или полностью можно, поместив между электродами барьер (перегородку) Б (рис. 2.) из диэлектрика.

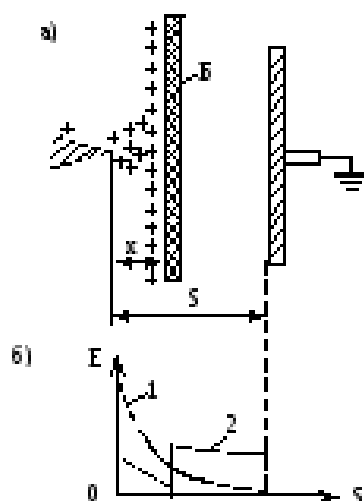


Рис. 2. Барьер (а) и напряженность электрического поля (б) в промежутке острие-плоскость: 1 - без барьера; 2 - с барьером

Материал барьера существенного значения не имеет; важно, чтобы барьер был достаточно плотным, непроницаемым для ионов.

При наличии барьера и положительной полярности острия положительные ионы на поверхности барьера, распределяются тем более равномерным слоем, чем дальше от острия установлен барьер. В результате напряженность электрического поля на участке барьер-плоскость несколько повышается, но, распределяется более равномерно (рис. 2,б) в промежутке, что и приводит к заметному увеличению разрядного напряжения при оптимальном положении экрана.

При наличии барьера и отрицательной полярности острия наблюдается как снижение разрядного напряжения промежутка, так и незначительное его увеличение (рис. 3).

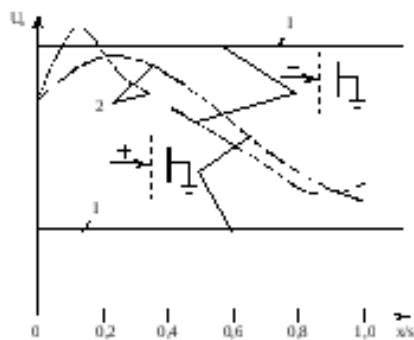


Рис.3. Разрядные напряжения промежутка острие-плоскость: 1 – без барьера; 2 – с барьером.

При переменном напряжении (при частоте 50 Гц) в промежутке острие-плоскость разряд возникает при положительной полярности напряжения на стержне, поскольку при этом разрядное напряжение значительно ниже, чем при отрицательной полярности острия. Поэтому применение барьера для увеличения прочности промежутков эффективно и при напряжении промышленной частоты.

Разрядные напряжения промежутка с электродами острие-острие при переменном напряжении будут выше, чем разрядные напряжения промежутка острие-плоскость. Это объясняется тем, что в последнем случае (в силу большой емкости системы канал стримера - плоскость) плотность заряда на фронте стримера и, следовательно, напряженность поля вблизи него оказываются более высокими, что облегчает условие распространения стримера вглубь промежутка.

Описание выпрямительной установки и порядок работы на ней

Работа выполняется на выпрямительной установке, схема которой приведена на рис. 4.

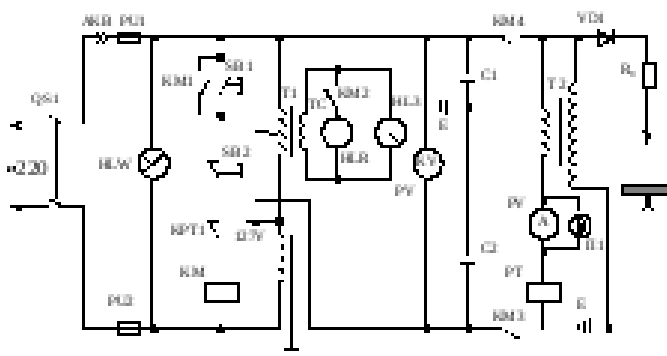


Рис. 4. Принципиальная схема выпрямительной установки:

HLW, HLR, и HL3 - сигнальные лампы; АКВ – контакты цепи блокировки; R₀- токоограничивающий резистор; QS1 - рубильник щитка питания; KPT1 – контакты токового реле PT; SB1, SB2 – кнопки включения и выключения на пульте управления; KM1, KM2, KM3, KM4 – контакты магнитного пускателя KM.

Работа на установке производится в следующем порядке:

1.Необходимо убедиться, что установка полностью отключена от сети:

Выключены рубильник QS1 щитка управления, регулятор регулировочного трансформатора T1 находится в отключенном положении, и на выход высокого напряжения ВН установки наложено временное заземление.

2.После этого можно заходить за ограждение установки и производить необходимые изменения в схеме исследования.

3.Закончив работу за ограждением, закрывают дверь ограждения, включают цепь блокировки АКВ, снимают временное заземление.

4.Включают рубильник QS1 щитка питания, при этом подается напряжение на регулировочный трансформатор T1, загораются сигнальные лампы HLW и HL3.

5.Включают кнопку QS1 на пульте управления, при этом замыкаются контакты магнитного пускателя KM и подается напряжение на высоковольтный трансформатор T2, сигнальную лампу HLR и обмотку токового реле PT.

Порядок выполнения работы и содержание отчета

1. Определить разрядные напряжения воздушного промежутка острие-плоскость в зависимости от расстояния S между электродами при положительной и отрицательной полярности острия.

Результаты опытов сводят в таблицу следующей формы.

Таблица 1

S, см	U, кВ			U _{р,ср} , кВ	S, см	U, кВ			U _{р,ср} , кВ
	1	2	3			1	2	3	
1					0,5				
5					2,5				

Здесь $U_{р,ср}$ – среднее значение напряжения между электродами в момент пробоя, кВ.

На основании полученных данных построить зависимость $U_p = f(S)$.

1. Определить разрядные напряжения промежутка острие-плоскость с барьером при различном положении барьера и различной полярности острия.

Барьер располагают в специальном приспособлении; расстояние S указывает преподаватель. Результаты опытов заносят в таблицу следующей формы.

Таблица 2.

x/S	U, кВ			U _{р,ср} , кВ	U, кВ			U _{р,ср} , кВ
	1	2	3		1	2	3	
0,0								
0,25 (0,2)								
0,75 (0,8)								
1,0								

2. На основании полученных результатов построить зависимости $U_p = f(x/S)$ для различной полярности электродов. На этом же графике показать разрядные напряжения промежутка для данного расстояния S при различных полярностях острия без барьера.

Распределение и напряженности электрического поля влияют на конструктивные особенности и эксплуатационные характеристики электротехнического оборудования. Поэтому расчет напряженности

электрического поля представляет важную задачу при проектировании токопроводов, изоляторов, экранов и других конструкций изоляции.

В изоляционных конструкциях с неоднородным полем, например, в коаксиальных токопроводах (рис. 2.5,а) напряженность электрического поля E в любой точке на расстоянии r от оси равна

$$E = \frac{U}{r \ln \frac{r_2}{r_1}},$$

где U - напряжение между жилой и оболочкой;

r_1, r_2 - внутренний и наружный радиусы изоляции.



Рис.2.5. Расчет напряженности электрического поля в изоляционных конструкциях с неоднородным полем:

а – в коаксиальных токопроводах; б – в сферическом конденсаторе

Расчет напряженности поля в любой точке сферического конденсатора (рис. 2.5,б) выполняется по формуле

$$E = \frac{U \cdot r_1 \cdot r_2}{r^2 (r_2 - r_1)}$$

Подобные точные соотношения получены и для других сравнительно простых систем электродов.

Расчет напряженности электрического поля в реальных изоляционных конструкциях часто представляет собой сложную и трудоемкую задачу, и поэтому выполняется с применением численных методов и ЭВМ.

Содержание отчета

1. Схема испытательной установки.
2. Результаты испытаний в виде таблиц и графиков.
3. Выводы по результатам работы и заключение о наиболее выгодном расположении барьера для данных электродов.

Расчет напряженности электрического поля для электродов острие-плоскость по программе. По отдельной программе и инструкции.

Контрольные вопросы

- 1.Объяснить механизм развития разряда в неоднородном несимметричном поле при различной полярности электродов.
- 2.Объяснить влияние барьера на разрядные напряжения промежутка при различной полярности электродов.
- 3.Имеет ли смысл ставить барьеры в электроизоляционных конструкциях, работающих на переменных напряжениях?
- 4.Приведите примеры использования барьеров в электротехнических конструкциях.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Тема: «Определение удельного сопротивления твердых диэлектриков»

Цель: изучение методов и приобретение навыков определения удельного объемного и удельного поверхностного электрических сопротивлений диэлектриков.

Оборудование: установка для определения удельных сопротивлений диэлектриков при постоянном напряжении.

Справочный материал

Электроизоляционные материалы по своему назначению при воздействии постоянного напряжения совершенно не должны пропускать электрический ток. Однако применяемые на практике электроизоляционные материалы за счет наличия свободных зарядов, хотя и в чрезвычайно малом количестве, обладают некоторой проводимостью. Свойство вещества проводить под действием не изменяющегося во времени электрического поля не изменяющийся во времени электрический ток называется *электропроводностью*.

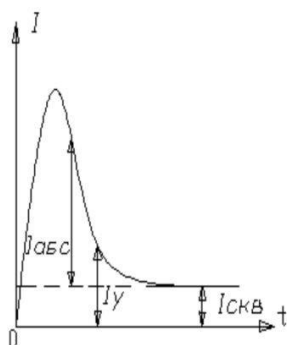


Рис.1. Зависимость тока через диэлектрик от времени

Различают объемную и поверхностную электрические проводимости диэлектрика. Объемная проводимость диэлектрика равна отношению объемного тока к приложенному напряжению. Поверхностная проводимость равна отношению поверхностного тока к приложенному напряжению. Величины, обратные объемной и поверхностной электрических проводимостей, характеризуют собой объемное и поверхностное электрические сопротивления диэлектрика.

Этот ток получил название тока утечки I_y . Ток утечки содержит постоянную и переменную составляющие: постоянная составляющая образует сквозной ток диэлектрика $I_{скв}$, обусловленный упорядоченным перемещением свободных носителей электрического заряда; переменная составляющая тока утечки - ток абсорбции $I_{абс}$ - обусловлена смещением связанных электрических зарядов диэлектрика под действием электрического поля.

Изменение переменной составляющей тока утечки I_y может протекать быстрее или медленнее в зависимости от того, какими видами электрической поляризации обладает диэлектрик. Если диэлектрику присущи медленно протекающие виды поляризации, то спадание тока абсорбции в таком

диэлектрике будет медленное, в противном же случае - быстрое. Поэтому, определяя при постоянном напряжении проводимость диэлектрика по сквозному току, следует учитывать абсорбции со временем и за величину сквозного тока принимать ток, установившийся в диэлектрике спустя определенное время. Так, например, для измерения сквозного тока: через твердые диэлектрики типа гетинакс, текстолит, асбестоцемент, лакоткань и другие это время берется равным 1 мин.

Электрическая проводимость диэлектрика равна $G = I_{скв}/U$. В системе СИ единицей электрической проводимости является сименс (См), а электрического сопротивления - Ом.

Для сравнительной оценки различных диэлектриков в технике принято пользоваться удельными величинами электрического сопротивления или электрической проводимости.

Для плоского образца $p_v = R_v (S/h)$,

где R_v - объемное электрическое сопротивление образца, Ом;

S - площадь электрода, м²

h - толщина образца, м.

Удельное поверхностное сопротивление равно сопротивлению квадрата поверхности материала $p_s = R_s(b/l)$, где R_s - поверхностное электрическое сопротивление материала между параллельно поставленными электродами длиной l , м, отстоящими друг от друга на расстоянии b , м.

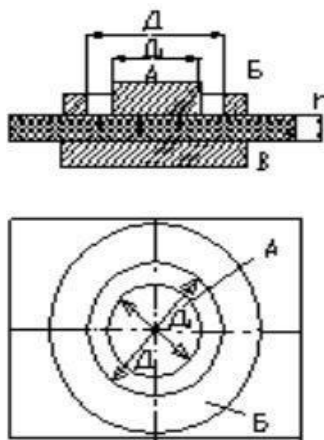


Рис. 2. Кольцевые электроды для измерения сопротивления твердых диэлектриков методом непосредственного отключения

Удельное объемное сопротивление электроизоляционных материалов зависит от температуры. С повышением температуры p_v уменьшается по экспоненциальному закону, который в пределах температур, встречающихся на практике, может быть записан в виде

$$p_{vt} = p_{vo} e^{-at},$$

где p_{vo} - удельное объемное сопротивление при начальной температуре,

a - коэффициент, зависящий от природы материала, характеризующий скорость снижения сопротивления диэлектрика с ростом температуры.

Поверхностная электропроводность обусловлена присутствием влаги на поверхности диэлектрика. Однако, поскольку сопротивление абсорбированной пленки влаги связано с природой материала, на поверхности которого она

находится, то поверхность электропроводность рассматривают как свойство самого диэлектрика. Удельная поверхностная электрическая проводимость тем ниже, чем меньше полярность вещества и влажность окружающего его воздуха, чем чище поверхность диэлектрика, чем лучше она отполирована.

Измерение удельного объемного и удельного поверхностного электрических сопротивлений производится по ГОСТ 6433.2-71 и сводится к измерению R_v и R_s .

Определение сопротивлений диэлектриков в зависимости от их величин производится различными методами, схемами и приборами.

Для определения сопротивлений, не превышающих 10^{11} - 10^{12} Ом, наибольшее широкое применение нашел метод непосредственного отключения, при сопротивлениях не выше 10^{13} - 10^{14} Ом – метод заряда конденсатора, а при величинах сопротивлений 10^{14} - 10^{17} Ом и выше применяют электронные измерительные приборы – тераометры, в которых измеряемый ток I_v или I_s усиливается до необходимой величины.

Сущность метода непосредственного отключения заключается в следующем: на испытуемый образец, имеющий три электрода (рис. 2), подается постоянное напряжение, измеряемое электростатическим вольтметром. Ток, проходящий через диэлектрик, измеряется зеркальным гальванометром, снабженным в целях регулирования его чувствительности универсальным шунтом. Кроме того, с помощью шунта можно предохранить гальванометр от перегрузки его током. Регулируя шунтом ток в гальванометре и фиксируя число делений отклонения «зайчика» на его шкале и знаменатель дроби шунтового числа, можно определить величину тока, протекающего через испытуемый образец по формуле

$$I = a C_g n,$$

где a - число делений шкалы гальванометра, на которое отклонился "зайчик" на шкале гальванометра спустя 1 мин после подачи на образец напряжения;

C_g – динамическая постоянная гальванометра, т.е. величина тока в амперах, вызывающая отклонения "зайчика" на шкале гальванометра на одно деление при расстоянии между гальванометром и шкалой, принятом на данной установке;

n – знаменатель дроби шунтового числа, указывающий, какая часть от полного тока I прошла через гальванометр.

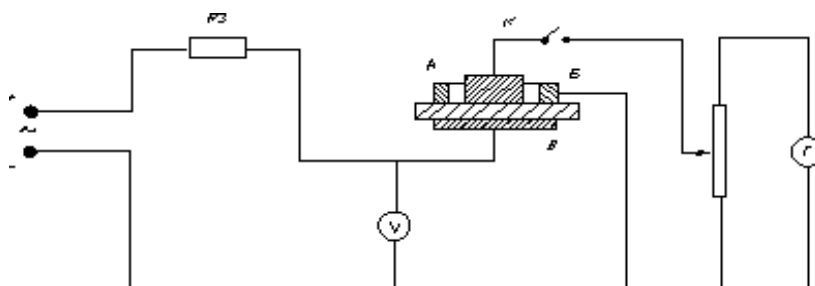


Рис. 3. Принципиальная схема для определения объемного сопротивления диэлектриков

Величина сопротивления образца определяется по формуле

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{\alpha C_g n}$$

Для измерения объемного сопротивления применяется схема, приведенная на рис.3. Из которой видно, что в результате заземления охранного кольца-электрода через гальванометр потечет только объемный ток I_v . Следовательно $R_v = U/I_v$.

Для определения поверхностного сопротивления применяется схема, приведенная на рис.4, из которой видно, что вследствие заземления электрода **В** через гальванометр потечет поверхностный ток I_s . Поэтому $R_s = U/I_s$.

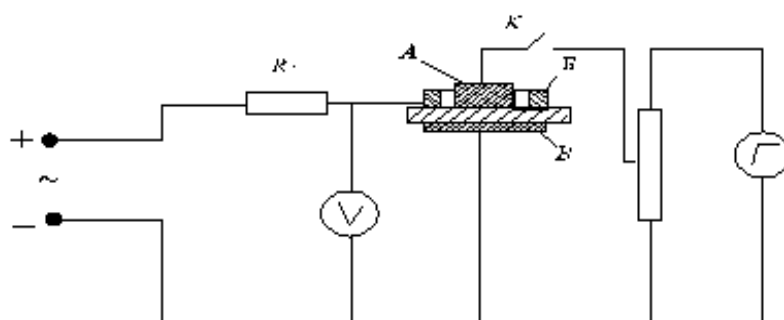


Рис. 4. Принципиальная схема для определения поверхностного сопротивления диэлектриков

Порядок выполнения работы и содержание отчета

Устройство установки для определения удельных сопротивлений диэлектриков при постоянном напряжении соответствует схеме, представленной на рис. 5.

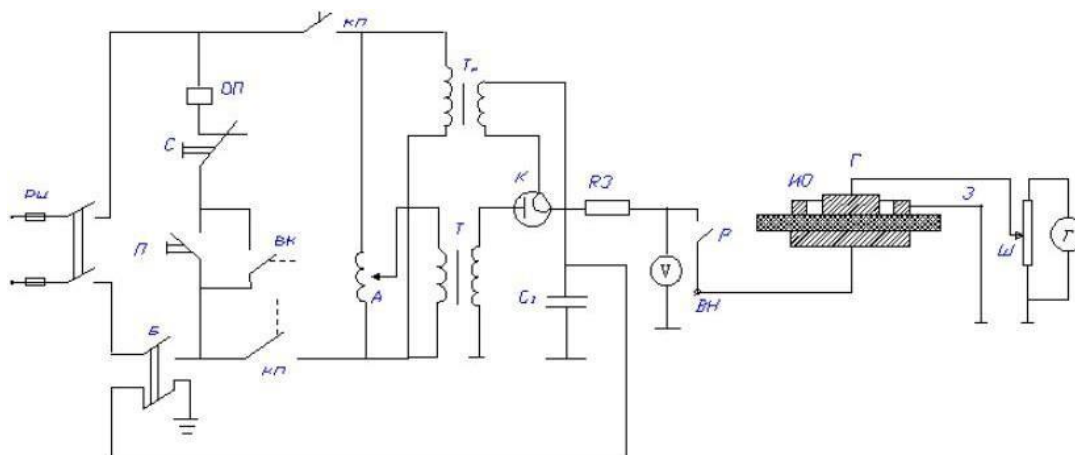


Рис. 5. Схема установки для определения удельных сопротивлений диэлектриков:

РЩ- щитовой рубильник;

Б - дверные блок -контакты;
 КП - контакты магнитного пускателя;
 ВК -вспомогательный контакт магнитного пускателя;
 ОП - обмотка магнитного пуска- теля;
 П - кнопка "пуск" магнитного пускателя;
 С -кнопка "стоп" магнитного пускателя;
 А - лабораторный автотрансформатор;
 Т - высоковольтный трансформатор;
 Т_н - трансформатор накала кенотрона;
 К- кенотрон; Q - конденсатор выпрямителя;
 R_з - защитный резистор;
 V - вольтметр;
 Р - рубильник;
 ИО - испытуемый образец;
 В_н - клемма "высокое напряжение";
 Г - клемма "гальванометр";
 З - клемма "земля";
 Г - гальванометр;
 Ш - шунт гальванометра

Источником постоянного тока установки является выпрямитель, состоящий из высоковольтного трансформатора Т, кенотрона К с трансформатором накала Т_н и конденсатора С₁, служащего для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения. Трансформатор Т присоединяется к сети через авто- трансформатор А, предназначенный для регулирования напряжения, подаваемого на трансформатор выпрямителя. Этим достигается регулирование величины выпрямленного напряжения, снимаемого с конденсатора С₁.

Испытуемый образец может располагаться либо внутри камеры из органического стекла, либо в термостате, если необходимо снять температурную зависимость. Дверцы камеры и термостата снабжены блокконтактами Б. При открывании любой дверцы, когда открывается доступ к клемме "высокое напряжение", верхний (на схеме) блок-контакт размыкается и установка отключается от сети. Одновременно замыкается нижний блок-контакт и конденсатор С₁ разряжается. Следовательно, при любой открытой дверце (камеры из оргстекла или термостата) установка работать не будет, напряжение на образец не подается, и прикосновение к клемме "высокое напряжение" безопасно.

Внутри камеры и в термостате имеется изолированный металлический столик, на который кладется испытуемый образец таким образом, чтобы центральный и кольцевой электроды А и В (см. рис.2) были расположены сверху. Электрод А всегда присоединяется к клемме "гальванометр", а электроды В и С

– к клеммам "высокое напряжение" или "земля" в зависимости от цели испытания, т.е. при измерении объемного сопротивления согласно рис.3.(то же

и на рис.5), а при измерении поверхностного – согласно рис.4.

Ток через образец измеряется зеркальным гальванометром магнитоэлектрической системы, снабженным универсальным шунтом. Напряжение на образце измеряется вольтметром с малой потребляемой мощностью. Установка снабжена защитным резистором R_z и рубильником P для подачи напряжения на образец.

Контрольные вопросы

1. Что такое удельное объемное и удельное поверхностное электрическое сопротивление диэлектриков? Каковы методы их измерения?
2. Чем обусловлена электропроводность диэлектрика?
3. Объясните влияние влажности и температуры на ρ_v и ρ_s .
4. Как скажется на результатах вычисления ρ_v отсутствие заземления охранного кольца на исследуемом образце?
5. Как скажется на результатах вычисления ρ_s отсутствие заземления нижнего электрода B у исследуемого образца?
6. Почему принято определить сопротивление диэлектрика при постоянном напряжении?
7. Выведите формулу для расчета ρ_s .

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Тема «Определение электрической прочности изоляции кабеля»

Цель: определить значение электрической прочности для диэлектрика и сравнить со справочными, объяснить возможные расхождения.

Оборудование: аппарат АИМ-90

Справочный материал

Пробой газообразных диэлектриков

Газообразные диэлектрики широко применяются в газонаполненных и вакуумных конденсаторах. Воздух является хорошим изолятором, но только в слабых полях. Электрическая прочность газообразных диэлектриков не превышает 2–3 МВ/м. Процесс пробоя обусловлен лавинным умножением электронов под действием ударной ионизации и фотоионизации.

Число электронов, образующихся в течение 1 с в 1см^3 воздуха под действием радиоактивности Земли или космических лучей, составляет от 10 до 20 [2]. Эти электроны являются начальными зарядами, приводящими к пробую в достаточно сильном поле.

При увеличении напряженности электрического поля E электроны на длине свободного пробега λ приобретают энергию $W = e \lambda E$, достаточную для ионизации молекул газа: $W \geq W_u$ (W_u - энергия ионизации, e - заряд электрона). Энергия ионизации – это наименьшая энергия, которую нужно затратить для отрыва одного электрона от нейтральной молекулы (атома). В результате при столкновении с молекулами и атомами «первичные» электроны порождают новые электроны. «Вторичные» электроны под действием поля, в свою очередь, вызывают ионизацию молекул газа. В результате этого процесса число электронов в газовом промежутке, лавинообразно нарастая, очень быстро увеличивается. Электроны распределяются в межэлектродном пространстве в виде компактного облачка, называемого *электронной лавиной*.

Известны два механизма пробоя газов: лавинный и лавинно-стримерный.

При *лавинном* механизме ударная ионизация электронами сопровождается вторичными процессами на катоде, в результате которых заряды в газовом промежутке восполняются. Пробой газа сопровождается образованием серии лавин, причем каждая вновь образующаяся лавина по сравнению с предыдущей содержит большее число электронов - происходит «раскачивание» электронных лавин. Лавинный пробой, как правило, развивается в течение относительно длительного времени (более 1 мкс) и не характерен для импульсных напряжений.

При лавинно-стримерном механизме на развитие пробоя существенно влияет совместное действие поля пространственного заряда лавины и фотоионизации в объеме газа.

В некоторых случаях электрон, ускоренный электрическим полем, может не ионизировать молекулу, а привести ее в возбужденное состояние: электрон, находящийся внутри молекулы, переходит из равновесного состояния с

меньшей энергией в состояние с более высокой энергией (на более удаленную от ядра орбиту). Такая возбужденная молекула в следующий момент (за 10^{-7} с) отдает свою избыточную энергию в форме излучения - испускает фотон. Фотон поглощается какой-либо другой молекулой, которая при этом может ионизироваться. Такая внутренняя *фотонная ионизация* газа благодаря большой скорости распространения излучения приводит к быстрому развитию в разрядном промежутке каналов с повышенной концентрацией носителей заряда, которая достаточна для преобразования лавины в стример [3].

На рис.1. представлена схема, поясняющая, почему рост электропроводящего канала — *стримера* — происходит быстрее, чем продвижение электронной лавины. На рис. 2.13 лавины условно показаны в виде заштрихованных конусов, а волнистыми линиями изображены пути фотонов. Внутри каждого конуса, представляющего собой развивающуюся лавину, газ ионизируется ударами электронов; вновь отщепленные электроны, разгоняемые полем, ионизируют встречаемые ими частицы газа, и, таким образом, лавинообразно нарастает число электронов, движущихся к аноду, и число положительных ионов, направляющихся к катоду.

Волнистые линии исходят из атомов, которые были возбуждены ударами электронов и вслед за тем испустили фотоны. Двигаясь со скоростью $3 \cdot 10^8$ м/с, фотоны обгоняют лавину и в каком-то месте, соответствующем концу волнистой линии, ионизируют частицу газа. Отщепленный здесь электрон, устремляясь к аноду, порождает новую лавину далеко впереди первой лавины. Таким образом, пока первая лавина вырастает, скажем, на длину малой стрелки АВ (рис.1), намечающийся канал повышенной проводимости газа, т. е. стример, распространяется на длину большой стрелки CD.

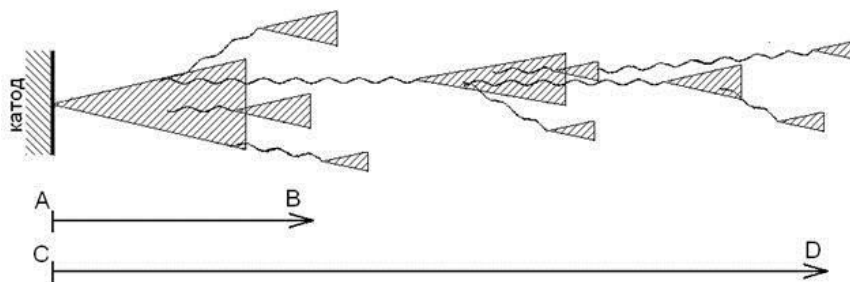


Рис.1. Схематическое изображение распространения стримера при пробое газа

В следующей стадии отдельные лавины в отрицательном стримере, нагоняя друг друга, сливаются, образуя сплошной канал ионизированного газа.

Одновременно с ростом стримера, направленного от катода к аноду, начинается образование встречного лавинного потока положительно заряженных частиц, направленного к катоду. Положительный стример представляет собой канал газоразрядной плазмы. Поясним это подробнее. Электронные лавины оставляют на своем пути большое число вновь образованных положительных ионов, концентрация которых особенно велика там, где лавины получили свое наибольшее развитие, т. е. около анода. Если концентрация положительных ионов здесь достигает определенного значения (близкого к 10^{12} ионам в 1 см^3), то, во-первых, обнаруживается интенсивная

фотонная ионизация, во-вторых, электроны, освобожденные частицами газа, поглотившими фотоны, притягиваются положительным пространственным зарядом в головную часть положительного стримера и, в-третьих, вследствие ионизации концентрация положительных ионов на пути стримера увеличивается, насыщение электронами пространства, заполненного положительными зарядами, превращает эту область в проводящую газоразрядную плазму. Под влиянием ударов положительных ионов на катоде образуется катодное пятно, излучающее электроны. В результате указанных процессов и возникает пробой газа. Обычно пробой газа совершается практически мгновенно: длительность подготовки пробоя газа при длине промежутка 1 см составляет 10^{-7} – 10^{-8} с. Чем больше напряжение, приложенное к газовому промежутку, тем быстрее может развиваться пробой. Если длительность воздействия напряжения очень мала, то пробивное напряжение повышается.

Электрическая прочность газов уменьшается с ростом расстояния между электродами, имеет немонотонную зависимость от давления с минимумом, соответствующим давлению, близкому к атмосферному [2].

Общие положения.

В лабораторной работе используется аппарат типа АИМ-90, обеспечивающий подъем напряжения на электродах до 90 кВ. Данный аппарат может применяться в промышленных условиях для определения диэлектрической прочности жидких диэлектриков. Внешний вид и описание органов управления аппарата показано на рис.2

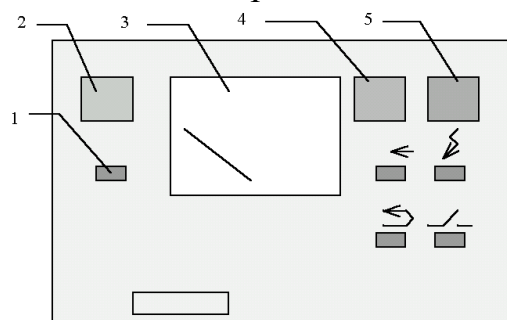


Рис.2. Внешний вид аппарата АИМ-90

- 1-кнопка включения сети
- 2-индикатор включения сети (зеленый)
- 3-измерительный прибор
- 4-индикатор готовности аппарата к включению высокого напряжения (желтый)
- 5-включено высокое напряжение (красный)
- 6-возврат стрелки прибора в нулевое положение
- 7-автовозврат стрелки в нулевое положение после пробоя
- 8-кнопка включения высокого напряжения
- 9- кнопка прерывания подъема высокого напряжения

Пробой диэлектрика осуществляется в пространстве между двумя электродами, расположенными в съемной ячейке. Съемная ячейка стандартна и

необходимые для расчетов характеристики (расстояние между электродами) можно взять в /1/.

Напряжение, приложенное к электродам, индицируется с помощью двух приборов - стрелочным (3, рис. 1) и выносным цифровым. Для цифрового прибора установить диапазон измерения 20 мА. Показания приборов следует умножать на 10, чтобы получить напряжение в кВ (одно деление шкалы стрелочного прибора - 2 кВ, следовательно, крайняя первая «10» соответствует 10 кВ)

Порядок выполнения работы и содержание отчета

В лабораторной работе проводится измерение электрической прочности промежутка, заполненного диэлектриком. В качестве диэлектрика используется:

а) воздух;

Для определения среднего значения электрической прочности необходимо провести не менее 6 опытов диэлектриком.

В процессе работы кнопка автовозврата стрелки (7, рис. 1) должна быть отжата.

Описание работы с аппаратом АИМ-90.

Измерение пробивного напряжения производится в следующем порядке:

а) открыть крышку и осторожно установить в аппарат необходимую ячейку. При этом: смену ячеек в процессе работы производить только при отключенном питании аппарата - кнопка 1, рис. 1 отжата !

б) закрыть крышку - при неплотно закрытой крышке защита не позволит произвести подачу высокого напряжения.

в) включить кнопку питания аппарата (1, рис. 1), при этом должен загореться индикатор зеленого цвета (2, рис. 1). Если стрелка прибора стоит на нуле, должен гореть индикатор желтого цвета (4, рис. 1). Если стрелка прибора стоит не на нуле, один раз нажать кнопку возврата стрелки в нулевое положение (6, рис. 1), стрелка должна установиться в «0» и должен зажегаться индикатор желтого цвета (4, рис. 1).

г) нажать кнопку подачи высокого напряжения (8, рис. 1), должен загореться индикатор красного цвета (5, рис. 1) и погаснуть индикатор желтого цвета.

д) следя за показаниями прибора, зафиксировать величину подводимого высокого напряжения в момент пробоя диэлектрика, сопровождающегося характерным треском. После пробоя стрелка прибора останавливается, но при этом за счет инерционности определенных узлов аппарата движется еще некоторое время, поэтому желательно следить за показаниями приборов непосредственно в момент пробоя. Тем не менее, можно использовать значение, которое показывают приборы после полной остановки, но необходимо данное значение (в кВ) уменьшить на 1,5 кВ для опытов с воздухом и сложным диэлектриком и на 3,0 кВ для опыта с трансформаторным маслом.

е) нажать кнопку возврата стрелки в нулевое положение (б, рис. 1) и дождаться загорания индикатора желтого цвета.

ж) после пробоя диэлектрика (особенно масла) выждать не менее 3 мин.

з) для каждого вида диэлектрика провести не менее 6 измерений пробивного напряжения (см. п. «г» и далее).

и) если для диэлектрика проведено 6 измерений, следует выключить питание аппарата и сменить ячейку (см. п. «а» и далее).

Содержание отчета

В отчете должны быть представлены все экспериментальные данные в порядке их проведения.

На основании полученного среднего пробивного напряжения диэлектриков рассчитать их электрическую прочность.

Привести справочные данные электрической прочности диэлектриков и сравнить их с экспериментальными, имеющиеся расхождения объяснить.

Привести расчет и полученное значение диэлектрической проницаемости стекла, сравнить со справочным.

Отчет выполняется один на подгруппу и защищается индивидуально каждым членом подгруппы.

Контрольные вопросы

1. Где применяются газообразные диэлектрики?
2. Как можно определить электрическую прочность изоляции кабеля?
3. В каком порядке производится измерение пробивного напряжения ?

Информационное обеспечение обучения

Печатные и электронные издания

Основные учебные издания:

1. Алексеев, В. С. Материаловедение : учебное пособие для СПО / В. С. Алексеев. — Саратов : Научная книга, 2019. — 159 с. — ISBN 978-5-9758-1894-2.- Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/87077>
2. Земсков Ю. П. Материаловедение: учебное пособие для СПО / Ю. П. Земсков, Е. В. Асмолова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 228 с. — ISBN 978-5-8114-8482-9. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/176895>.
3. Мельников, А. Г. Материаловедение : учебное пособие для СПО / А. Г. Мельников, И. А. Хворова, Е. П. Чинков. — Саратов : Профобразование, 2021. — 223 с. — ISBN 978-5-4488-0919-4. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование: [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/99930>
4. Материаловедение: учебник для СПО / А. А. Воробьев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко [и др.]. — Саратов, Москва : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 356 с. — ISBN 978-5-4488-0866-1, 978-5-4497-0618-8. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/96962.html>.
5. Солнцев, Ю. П. Материаловедение: учебник / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин; под редакцией Ю. П. Солнцева. — 7-е изд. — Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2020. — 783 с. — ISBN 078-5-93808-345-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/97813.html>.

Дополнительные учебные издания:

6. Кузьмин, О. В. Материаловедение: учебное пособие / О. В. Кузьмин, В. И. Новиков. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2020. — 118 с. — ISBN 978-5- 9227-1075-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/108048.html>.
7. Морозова, Е. А. Основы металловедения и термической обработки металлов: учебное пособие для СПО / Е. А. Морозова, В. С. Муратов. — Саратов: Профобразование, 2021. — 206 с. — ISBN 978-5-4488-1235-4. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/106841.html>.
8. Пасютина, О. В. Материаловедение : учебное пособие / О. В. Пасютина. — 2-е изд., испр. — Минск : РИПО, 2020. — 264 с. — ISBN 978-985-7234-48-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/154173>.

9. Сапунов, С. В. Материаловедение: учебное пособие для СПО / С. В. Сапунов. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 208 с. — ISBN 978-5-8114-7909-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.

— URL: <https://e.lanbook.com/book/167188>.

10. Тимофеев, И. А. Электротехнические материалы и изделия: учебное пособие для СПО / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 268 с. — ISBN 978-5-8114-6836-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/>.

Интернет ресурсы:

11. Электронно-библиотечная система: <https://profspo.ru/catalog>

12. Лань: электронно-библиотечная система: <https://e.lanbook.com>

13. Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: <https://book.ru>

Электронно-библиотечная система:

14. ЭБС «elibrary», ООО «РУНЭБ»

15. ЭБС «IPRbooks», ООО «Ай Пи Ар Медиа»

16. ЭБС «Лань», ООО «Издательство Лань»

17. ЭБС «PROФобразование»

18. ЭБС «Book.ru»