

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

**Методические указания
к лабораторно-практическим занятиям**

Новосибирск 2020

Электротехнические материалы: метод. указания к лабораторно-практическим занятиям / Новосиб. гос. аграр. ун-т; Инженер. ин-т; сост.: Д.С. Болотов, С.А. Никонов, А.Т. Калюжный. – Новосибирск, 2020. – 27 с.

Автор: *Д.С. Болотов, С.А. Никонов, А.Т. Калюжный*

Рецензент: канд. техн. наук, доцент *А.Ю. Кузнецов*

Методические указания предназначены для студентов вузов очного и заочного обучения направления подготовки: Агроинженерия, профили: Электрооборудование и электротехнологии в агропромышленном комплексе.

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института (протокол №__ от __.__.2020 г.).

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2020

© Болотов Д.С., Никонов С.А., Калюжный А.Т.

Содержание

Правила безопасности при работе студентов в лабораториях кафедры техносферной безопасности и электротехнологий Новосибирского ГАУ.....	4
Лабораторная работа №1.Измерение диэлектрической проницаемости и угла диэлектрических потерь твёрдых диэлектриков	5
Лабораторная работа №2. Электрический пробой в диэлектри- ках.....	7
Лабораторная работа №3. Определение удельного сопротивления почвогрунта в лабораторных условиях	12
Лабораторная работа №4. Определение удельного сопротивления почвогрунта в полевых условиях	14
Лабораторная работа №5. Измерение удельного сопротивления и определение температурного коэффициента удельного сопротивле- ния метал- лов.....	18
Лабораторная работа №6. Определение коэффициента светопропус- кания различных светопрозрачных материалов	21
Лабораторная работа №7. Определение коэффициента светоотраже- ния различных поверхностей	24
Библиографический список	26

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ

при работе студентов в лабораториях кафедры техносферной безопасности и электротехнологий Новосибирского ГАУ

1. Перед началом лабораторных работ в лабораториях получите у руководителя работ инструктаж по технике безопасности. Изучите и запомните схему электроснабжения лаборатории, места установки коммутирующей и защитной аппаратуры. После получения инструктажа по технике безопасности распишитесь в журнале о том, что с правилами безопасной работы вы ознакомлены и обязуетесь их выполнять.

2. Не трогайте, не включайте и не выключайте без разрешения преподавателя или лаборанта автоматы и другие приборы. Ошибочное включение может быть причиной несчастного случая или выхода из строя электрооборудования.

3. Перед тем как приступить к выполнению работы, внимательно ознакомьтесь с заданием, оборудованием, материалами и инструментом, проверьте исправность ограждений и предохранительных устройств. О замеченных неисправностях сообщите преподавателю.

4. Перед сборкой схемы убедитесь, что автомат или пакетный выключатель, установленный на щите лабораторного стола, отключён.

5. Помните, что шарфы, косынки и другие подобные им детали одежды могут быть затянуты вращающимися частями машин и послужить причиной несчастного случая.

6. Не загромождайте рабочее место посторонними предметами.

7. Собранный схема проверяется всеми членами бригады, при этом особое внимание следует обратить на надёжность всех клеммных соединений и контактов.

8. По окончании работы приведите в порядок своё рабочее место. После уборки заявите об окончании работы преподавателю и только после его разрешения можете покинуть лабораторию.

9. Не производите излишнего шума в лабораториях.

10. Если с вами или другим студентом произошёл несчастный случай, немедленно сообщите об этом преподавателю или лаборанту для оказания помощи.

Воспрещается:

- Включать настенные групповые автоматы и рубильники распределительных шкафов без разрешения преподавателя.

- Включать собранную схему до проверки и разрешения преподавателя или лаборанта.
- Производить переключение в схемах, находящихся под напряжением.
- Оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.
- Закорачивать или отключать блокировочные устройства.
- Заходить за стенд и протягивать руки за ограждения.

Лабораторная работа №1

ИЗМЕРЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ТВЁРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Цель работы: ознакомиться с образцами диэлектрических материалов. Определить относительную диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь диэлектриков. Сравнить полученные результаты со справочными данными.

Оборудование: модуль «Измеритель RLC», минимодули «Диэлектрическая проницаемость бумаги», «Диэлектрическая проницаемость полиэтилентерефталата», «Диэлектрическая проницаемость полипропилена», соединительные проводники.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Ознакомиться с техникой безопасности.
2. Изучить теоретический материал, достаточный для выполнения лабораторной работы. Ответить на контрольные вопросы и получить у преподавателя допуск к проведению лабораторной работы, либо допуск осуществляется путем тестирования.

В данной лабораторной работе производится измерение емкости C_X и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ моделей конденсаторов, с различными типами диэлектриков, прямым методом - измерителем RLC.

3. Подать напряжение питания на комплект включением автоматического выключателя и УЗО модуля «Модуль питания и USB осциллограф».

4. Подключить минимодуль «Диэлектрическая проницаемость бумаги» к измерителю RLC, как показано на рис. 1.1 (полярность подключения значения не имеет).

Включить измеритель RLC, нажав кнопку "Ө", кнопкой "L/C/R" выбрать режим измерения емкости, о чем будет свидетельствовать символ «F» - фарады в нижнем правом углу дисплея. Выбрать частоту тест сигнала 1 кГц нажатием кнопки «ЧАСТ», значение частоты тест сигнала отображается в правой части дисплея «1 kHz». Установить режим измерения тангенса угла диэлектрических потерь нажатием кнопки «Q/D/R», о чем будет свидетельствовать символ «D» в верхней части дисплея. Выбрать последовательную

схему замещения (кнопка “ПАР|ПОСЛ”), при этом на дисплее RLC-метра отобразится “SER”.

Значение емкости отображается цифрами в центральной части дисплея, правом нижнем углу расположена единица измерения: “nF” - 10-9 Ф; “μF” - 10-12 Ф.

В правой верхней части дисплея отображается значение тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$. После установки показаний RLC метра занести значения емкости C_X и тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$ в таблицу 1.1.

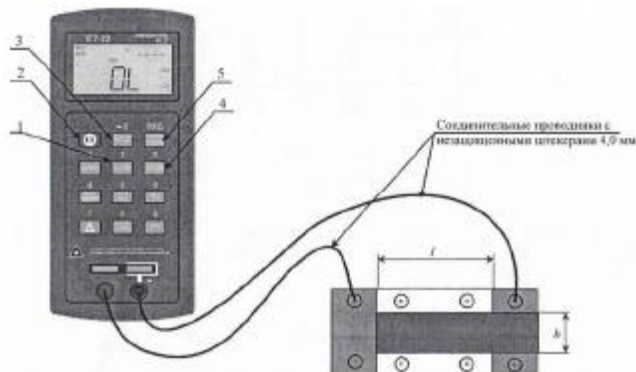


Рис. 1.1. Соединение измерителя RLC и минимодуля «Диэлектрическая проницаемость»: 1 – кнопка выбора режима измерения основного параметра (емкость, индуктивность, сопротивление); 2 – кнопка включения прибора; 3 – кнопка выбора частоты тест сигнала; 4 – кнопка выбора режима измерения дополнительного параметра (активное сопротивление, добротность, тангенс угла диэлектрических потерь); 5 – кнопка выбора схемы замещения; l – длина обкладки модели конденсатора; h – ширина обкладки модели конденсатора.

5. Не выключая измеритель RLC повторить измерения по пункту 4 для минимодулей «Диэлектрическая проницаемость полиэтилентерефталата» и «Диэлектрическая проницаемость полипропилена». Результаты измерений заносить в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Результаты измерений

Вид диэлектрика	F , Гц	$tg\delta$	C_X , Ф	ϵ	D , м	S , м ²
Бумага						
Полиэтилентерефталат						
Полипропилен						

6. Рассчитать относительную диэлектрическую проницаемость ϵ материалов, по формуле:

$$\epsilon = C_X d / (\epsilon_0 S),$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – диэлектрическая постоянная, Ф/м; $S=h \cdot l$ – площадь графитовых обкладок модели конденсатора (рис. 1.1), m^2 ; d - толщина диэлектрика, м (рис. 1.1).

7. После оформления отчета и проверки результатов преподавателем необходимо разобрать схему, предоставить комплект в полном составе и исправности преподавателю или лаборанту.

8. Сравнить экспериментальные значения относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь материалов со справочными.

Используя данные таблицы 1.1 построить гистограммы диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь различных типов диэлектриков, сравнить диэлектрики по величине тангенса угла диэлектрических потерь и относительной диэлектрической проницаемости. Сделать обобщенный вывод по лабораторной работе.

Контрольные вопросы:

1. Назовите определение поляризации диэлектрика.
2. Назовите основные механизмы поляризации диэлектрика.
3. Приведите определение относительной диэлектрической проницаемости материала.
4. Физическая природа диэлектрических потерь материалов.
5. Приведите определение тангенса угла диэлектрических потерь.
6. Перечислите основные виды диэлектрических потерь материалов по их особенностям и физической природе.
7. Приведите векторные диаграммы, соответствующие последовательной и параллельной схемам замещения конденсатора.
8. К чему могут привести высокие диэлектрические потери в конденсаторах и изоляционных материалах?

Лабораторная работа №2

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ В ДИЭЛЕКТРИКАХ

Цель работы: определение электрической прочности воздуха, зависимости электрической прочности воздуха от расстояния между электродами.

Оборудование: набор минимодулей «Электрический пробой в воздухе», прибор МЕГАОММЕТР, защищенные соединительные проводники, входящие в комплект прибора МЕГАОММЕТР.

Теоретическая часть

Пробой - потеря электрической прочности под действием напряжённости электрического поля, может иметь место как в образцах различных диэлектриков и систем изоляции, так и в электроизоляционных системах любого электротехнического устройства, от мощных генераторов и высоковольтных трансформаторов до любого бытового прибора. Сочетание в системах изоляции материалов, различных по электрической прочности, мо-

жет приводить к серьезным осложнениям в эксплуатации самых разнообразных электротехнических устройств, особенно высокого напряжения, где изоляция работает в сильных электрических полях и может возникнуть её пробой.

Причины пробоя бывают различными, поэтому не существует единой универсальной теории пробоя. В любой изоляции пробой приводит к образованию в ней канала повышенной проводимости, достаточно высокой, чтобы произошло короткое замыкание в данном электротехническом устройстве, создающее аварийную ситуацию, по существу выводящую это устройство из строя. Однако в этом отношении пробой может проявлять себя в разных системах изоляции по-разному. В твёрдой изоляции, как правило, канал пробоя сохраняет высокую проводимость после выключения, приведшего к пробую напряжения, явление протекает необратимо. В жидких и газообразных диэлектриках вследствие высокой подвижности частиц, электрическое сопротивление канала пробоя восстанавливается после снятия вызвавшего его напряжения, практически мгновенно.

Пробивное напряжение обозначается $U_{пр}$ и измеряется чаще всего в киловольтах. Электрическая прочность $E_{пр}$ определяется как отношение пробивного напряжения к толщине h диэлектрика в месте пробоя:

$$E_{пр} = U_{пр}/h.$$

Удобные для практических целей численные значения электрической прочности диэлектриков получаются, если пробивное напряжение выражать в киловольтах, а толщину диэлектрика - в миллиметрах. Тогда электрическая прочность будет в киловольтах на миллиметр. Для сохранения численных значений и перехода к единицам системы СИ используют единицу МВ/м:

$$1 \text{ МВ/м} = 1 \text{ кВ/мм} = 10^6 \text{ В/м}.$$

Пробой газа обуславливается явлением ударной и фотонной ионизации. Пробой жидких диэлектриков происходит в результате ионизационных и тепловых процессов. Одним из главнейших факторов, способствующих пробую жидкостей, является наличие в них посторонних примесей. Пробой твердых тел может вызываться как электрическими, так и тепловыми процессами.

Тепловой пробой является следствием уменьшения активного сопротивления диэлектрика под влиянием нагрева в электрическом поле, что приводит к росту активного тока и дальнейшему увеличению нагрева диэлектрика вплоть до его термического разрушения.

При длительном действии напряжения пробой может быть вызван электрохимическими процессами, происходящими в диэлектрике под воздействием электрического поля.

Из изложенного следует, что пробой газов - явление чисто электрическое. Поэтому все численные результаты экспериментов по пробоем газов относятся к максимальным (амплитудным) значениям.

В данной лабораторной работе используется однородное электрическое поле между круглыми электродами. При повышении напряжения между электродами возникает явление электрического пробоя, искра, которая затем переходит в дугу, если источник напряжения имеет достаточную мощность.

Характер зависимости электрической прочности воздуха от расстояния между электродами представлен на рис. 2.1.

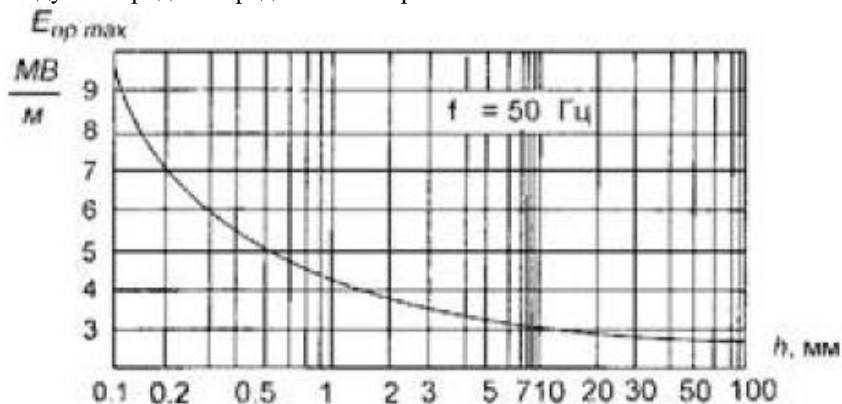


Рис. 2.1. Характер зависимости электрической прочности воздуха от расстояния между электродами

Пробой газа в неоднородном электрическом поле происходит при меньшем напряжении по сравнению с пробоем того же слоя газа в однородном электрическом поле. Вначале наступает неполное электрическое разрушение слоя газа у электрода с меньшим радиусом, так как у его поверхности наблюдаются наибольшие напряженности электрического поля. При повышении напряжения возникает разряд в виде короны. При дальнейшем повышении напряжения корона переходит в искровой разряд, а при достаточной мощности источника - в дугу.

Электроизоляционные свойства бумаги, в первую очередь, характеризуются показателем ее электрической прочности, величиной диэлектрических потерь и удельным электрическим сопротивлением, а также числом токопроводящих включений на 1 м^2 бумаги.

Электрическая прочность бумаги определяется ее пробивным напряжением, т. е. напряжением, при котором происходит пробой диэлектрика с превращением его в проводник. Электрическая прочность бумаги характеризует способность противостоять пробоем и выражается отношением пробивного напряжения к толщине бумаги в месте пробоя. Электрическая

прочность снижается с увеличением толщины и влажности бумаги и увеличивается с ростом плотности бумаги. Электрическая прочность бумаги, пропитанной полярными пропиточными массами, выше, чем непропитанной.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Изучить теоретический материал, достаточный для выполнения лабораторной работы. Ответить на контрольные вопросы и получить у преподавателя допуск к проведению лабораторной работы, либо допуск осуществляется путем тестирования.

2. В лабораторной работе рассматривается электрический пробой газобразного диэлектрика. Расстояние между электродами указано на корпусе мини-модулей. Минимодули подключаются к соответствующим гнездам мегаомметра соединительными проводниками с защищенными штекерами 4,0 мм из комплекта мегаомметра.

При использовании мегаомметра необходимо соблюдать особые меры предосторожности. На выводах прибора присутствует высокое напряжение до 2500 В. Во избежание поражения электрическим током во время работы минимодуль «Электрический пробой в воздухе» не следует держать в руках. Использовать мегаомметр разрешается только лицам имеющим допуск к работе с аппаратурой, функционирующей под напряжением выше 1000 В (лаборант, техник), в противном случае категорически запрещается выполнять данную лабораторную работу.

3. Согласно рис. 2.2 выполнить подключение мегаомметра Е6-32 к электродам минимодуля «Электрический пробой в воздухе $h=0,1$ мм» (соответствие гнезд и расстояние между электродами указаны на корпусе минимодуля). Монтаж схемы производить при отключенном питании мегаомметра Е6-32.

4. Включить мегаомметр Е6-32, нажав кнопку « Θ ». Последовательно нажимая кнопку «РЕЖИМ» выбрать режим измерения напряжения пробоя разрядников, о чем будет свидетельствовать надпись «Уразр» в нижнем левом углу дисплея мегаомметра.

Во избежание преждевременного выхода из строя минимодулей «Электрический пробой в воздухе» КАТЕГОРИЧЕСКИ запрещается проводить измерения и эксперименты в режиме измерения сопротивления изоляции с фиксированными испытательными напряжениями.

Для начала измерения напряжения пробоя $U_{пр}$ нажать кнопку «Rx». После нажатия кнопки «Rx» мегаомметр увеличивает напряжение на электродах до электрического пробоя. Значение увеличивающегося напряжения отображается в нижнем правом углу дисплея мегаомметра и зафиксировано после пробоя. Полученное значение напряжения пробоя $U_{пр}$ занести в соответствующие ячейки табл. 2.1. Провести измерение напряжения пробоя $U_{пр}$ не менее 5 раз, результаты заносить в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты измерений

Минимодуль	№ п/п	$U_{пр}$, В	$U_{пр.ср.}$, В	$E_{пр}$, В/мм
$h = 0,1$ мм	1			
	2			
	...			
	n			

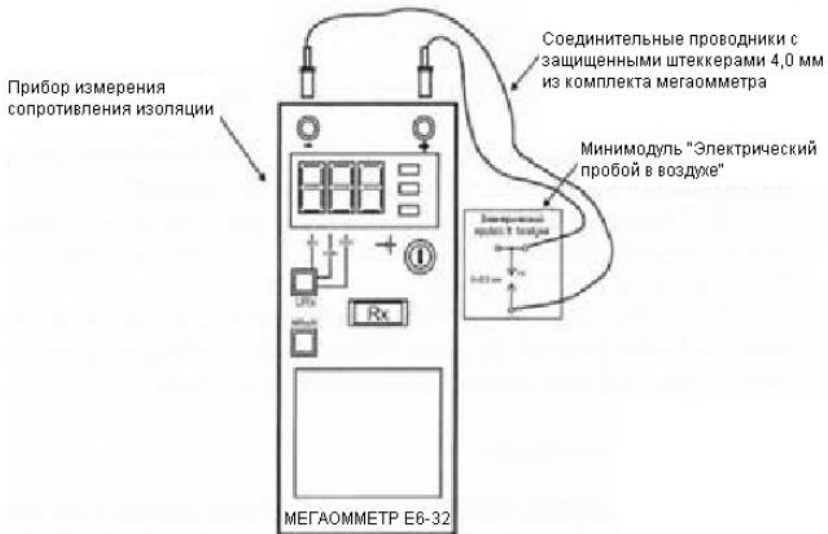


Рис. 2.2. Схема соединений мегаомметра Е6-32 и минимодуля «Электрический пробой в воздухе»

5. Используя данные табл. 2.1 рассчитать среднее значение напряжения пробоя $U_{пр.ср}$ по формуле:

$$U_{пр.ср} = \Sigma U_{пр} / n,$$

где $U_{пр}$ - напряжение пробоя; n - количество измерений.

Полученное значение занести в соответствующую ячейку табл. 2.1.

6. Используя данные табл. 2.1 рассчитать электрическую прочность воздуха $E_{пр}$ по формуле:

$$E_{пр} = U_{пр} \cdot c / h,$$

где h - расстояние между электродами, мм.

Полученное значение занести в соответствующую ячейку табл. 2.1.

7. Повторить работы по п. 4-6 для всех минимодулей «Электрический пробой в воздухе».

8. Используя данные таблице 2.1 построить график зависимости электрической прочности $E_{пр}$ воздуха от расстояния между электродами h .

9. После оформления отчета и проверки результатов преподавателем необходимо разобрать схему, предоставить комплект в полном составе и исправности преподавателю или лаборанту.

10. Сделать вывод о характере изменения электрической прочности воздуха при увеличении расстояния между электродами. Описать явления, сопровождающие электрический пробой в газообразном диэлектрике.

Контрольные вопросы

1. Опишите процесс возникновения электрического пробоя диэлектрика.
2. Какие физические явления сопровождают электрический пробой газообразного и твердого диэлектрика?
3. Какие параметры определяют электроизоляционные свойства бумаги?
4. Приведите формулу расчета электрической прочности диэлектрика.
5. Как влияет давление газа на его электрическую прочность?
6. Приведите зависимость электрической прочности воздуха от расстояния между электродами.

Лабораторная работа №3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЧВОГРУНТА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Цель работы: изучения способа определения удельного сопротивления почвогрунта в лабораторных условиях

Программа работы

1. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.
2. Собрать схему, состоящую из понижающего трансформатора 220/12В, амперметра, вольтметра и металлических пластин, помещенных в прямоугольный контейнер из непроводящего материала, наполненный грунтом согласно рис. 3.1.

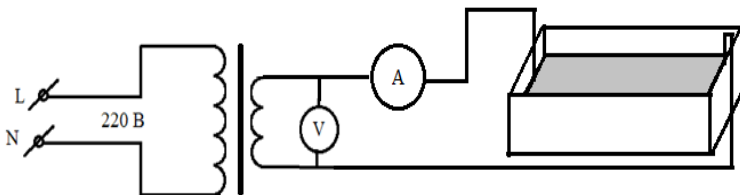


Рис. 3.1. Схема для определения удельного сопротивления грунта

3. Снять значения тока и напряжения.
4. Вычислить удельное электрическое сопротивление грунта.

Краткие теоретические сведения:

Проводимость грунта

Верхний слой Земли обладает проводящими свойствами, которые характеризуются удельным электрическим сопротивлением. Для различных типов грунтов сопротивления различны и меняются в широких пределах. Обычно чернозем, глина, суглинки обладают удельным сопротивлением до 100 Ом·м; суглинки с содержанием гальки до 40% и влажные супеси имеют удельное сопротивление от 100 до 300 Ом·м; лесс, супеси и влажные пески – от 300 до 500 Ом·м; пески с незначительным содержанием влаги, с галькой и валунами – от 500 до 1000 Ом·м.

Методика выполнения работы

Удельное сопротивление грунта ρ в лабораторных условиях можно определить по падению напряжения U на «бруске грунта» при протекании через него тока I . Так как сопротивление проводника:

$$R = \frac{U}{I} = \rho \frac{l}{S}$$

То его удельное сопротивление ρ :

$$\rho = \frac{US}{Il}$$

Для определения удельного сопротивления грунта необходимо:

1. Заполнить прямоугольный контейнер из непроводящего материала грунтом и уплотнить его.
2. Установить электроды в виде металлических пластин впрыток к 2-м противоположным сторонам контейнера.
3. Измерить расстояние l между электродами и поперечное сечение S грунта
4. Собрать измерительную схему согласно рис. 3.1.

Включить понижающий трансформатор в розетку, записать показания амперметра и вольтметра, и вычислить удельное сопротивление образца грунта.

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами обладает верхний слой грунта?
2. Как в лабораторных условиях определить удельное сопротивление грунта?
3. Какие формулы используются для расчета сопротивления «бруска грунта»?

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Электрическая принципиальная схема для проведения эксперимента.
3. Последовательность расчёта удельного сопротивления грунта и его результаты.
4. Выводы по работе.

Лабораторная работа №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЧВОГРУНТА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Цель работы: изучения способа определения удельного сопротивления почвогрунта в полевых условиях

Программа работы

1. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.
2. Собрать схему согласно рис. 4.1 и измерить величины тока и напряжения.

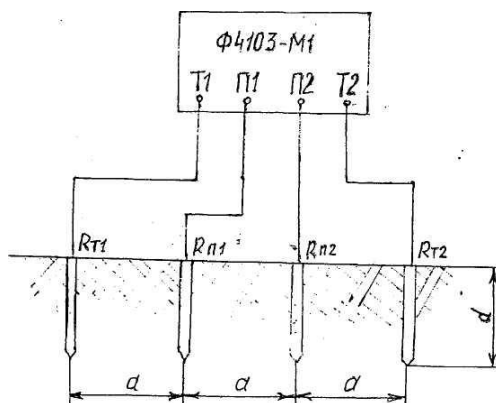


Рис. 4.1. Схема для определения удельного сопротивления грунта при помощи измерителя Ф4103-М1

3. Вычислить кажущееся удельное сопротивление земли.

Краткие теоретические сведения:

Удельное сопротивление почвы можно принять равным $100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, а железа – $10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, поэтому их отношение равно 10^9 . Следовательно, железный проводник сечением 1 мм^2 имеет такое же сопротивление, как слой почвы сечением 1000 м^2 – это поверхность полусферы радиусом $12,6 \text{ м}$.

Стекание тока с электродов в землю

Пусть два полусферических электрода расположены на поверхности земли на значительном удалении друг от друга. При наличии между ними электрического напряжения через электроды течет ток.

Если грунт однородный во всем рассматриваемом объеме, растекание тока является лучевым, то-есть ток растекает равномерно по всем направлениям. При этом удельная плотность тока

$$j = I/S = I/2\pi r^2,$$

где r – расстояние до центра электрода.

Результирующий ток двух токовых электродов равен векторной сумме токов каждого:

$$j_{\Sigma} = \sqrt{j_1^2 + j_2^2 + 2j_1j_2 \cos(\beta_1 + \beta_2)},$$

где β_1 и β_2 – углы между разномом АВ и направлениями на точку наблюдения тока, измеряемые в местах нахождения токовых электродов.

Вдоль прямой, соединяющей электроды, результирующий вектор тока равен алгебраической сумме токов каждого электрода, поэтому при сближении электродов суммарный ток между ними возрастает, а за ними – снижается. Одновременно с этим будет происходить возрастание тока электродов, поскольку каждый из них окажется в зоне действия тока второго электрода, создающего в земле потенциал противоположной полярности.

Определение удельного сопротивления однородной земли

Удельное сопротивление земли можно измерять различными способами. На практике широкое применение находит т.н. «четырёхэлектродный метод», суть которого в следующем.

В землю заглубляют на равном расстоянии друг от друга четыре электрода, рис. 4.2. Крайние электроды A и B служат для создания в земле токовой цепи и называют «токовыми»; внутренние электроды M и N называют «потенциальными» и используют для измерения разности потенциалов между ними.

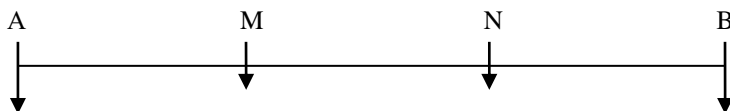


Рис. 4.2. Схема четырехэлектродной установки для измерения удельного сопротивления грунта

Пусть расстояние AM много больше наибольшего габаритного размера электрода A . Тогда потенциал в точке M от протекания тока I через электрод A составит:

$$\varphi_{M(A)} = I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{A}\dot{I}},$$

а от протекания такого же тока через электрод B :

$$\varphi_{M(B)} = I \frac{\rho}{2\pi \cdot B\dot{I}}.$$

В отличие от напряженности электрического поля или тока, электрический потенциал – величина не векторная, а скалярная. Поэтому фактическое значение потенциала точки M равно арифметической разности потенциалов, создаваемых разнонаправленными токами электродов A и B :

$$\varphi_M = I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{A}\dot{I}} - I \frac{\rho}{2\pi \cdot B\dot{I}}$$

Аналогично для точки N :

$$\varphi_N = I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{A}N} - I \frac{\rho}{2\pi \cdot BN}$$

Напряжение между точками M и N равно разности потенциалов между ними:

$$U_{MN} = I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{A}\dot{I}} - I \frac{\rho}{2\pi \cdot B\dot{I}} - I \frac{\rho}{2\pi \cdot \dot{A}N} + I \frac{\rho}{2\pi \cdot BN}.$$

Откуда удельное сопротивление грунта:

$$\rho = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{BM}} \frac{U_{MN}}{I} = k \frac{U_{MN}}{I}.$$

Если $AM = MN = NB = a$, то $\rho = 2\pi aR$, где $R = U/I$.

Определение удельного сопротивления неоднородного грунта

В действительности грунт однороден только в ограниченном объеме; углубление даже на 1-2 метра обнаруживает неоднородность его физического и химического состава. В глубине могут оказаться скальные породы с высоким удельным сопротивлением или подпочвенные воды – с низким. Поэтому измеренное по приведенному выше способу удельное сопротивление грунта называют «кажущимся» - оно не соответствует фактическому значению какого-либо слоя, является интегральным показателем проводимости земли во всем объеме между токовыми электродами.

Ток протекает по пути наименьшего сопротивления. Если в глубине земли находится, например, сильно минерализованная вода с низким сопротивлением, ток электродов углубится с поверхности земли вглубь, в результате чего плотность тока j и падение напряжения U между потенциальными электродами уменьшатся при том же токе I электродов – вычисленное значение удельного сопротивления грунта снизится. И наоборот – если в глубине скальные породы с высоким удельным сопротивлением, ток будет «выжиматься» к поверхности земли, отклоняясь от лучевого распространения, поэтому падение напряжения между потенциальными электродами и вычисляемое значение удельного сопротивления возрастут.

Обнаружить двухслойный характер земли можно по зависимости кажущегося сопротивления от величины разноса AB между электродами. Если с увеличением разноса кажущееся удельное сопротивление снижается – второй (подстилающий) слой земли обладает более низким сопротивлением, чем первый (верхний). И наоборот.

Снятие зависимости кажущегося удельного сопротивления земли от величины разноса называют «вертикальным электрическим зондированием» ВЭЗ, результат которого оценивают при помощи т.н. «палеток», рис. 4.3.

Зная удельное сопротивление верхнего слоя земли и его мощность (толщину), при помощи набора палеток можно определить удельное сопротивление и мощность второго слоя. Для этого в логарифмическом масштабе на прозрачной бумаге (кальке) строят зависимость кажущегося сопротивления от величины отношения разноса токовых электродов к мощности верхнего слоя земли. Наложив построенный график на двухслойную палетку, перемещают его вдоль горизонтальной оси до совмещения построенной кривой с одной из кривых палетки. По смещению начала координат определяют мощность подстилающего слоя, а по номеру кривой палетки – удельное сопротивление подстилающего слоя.

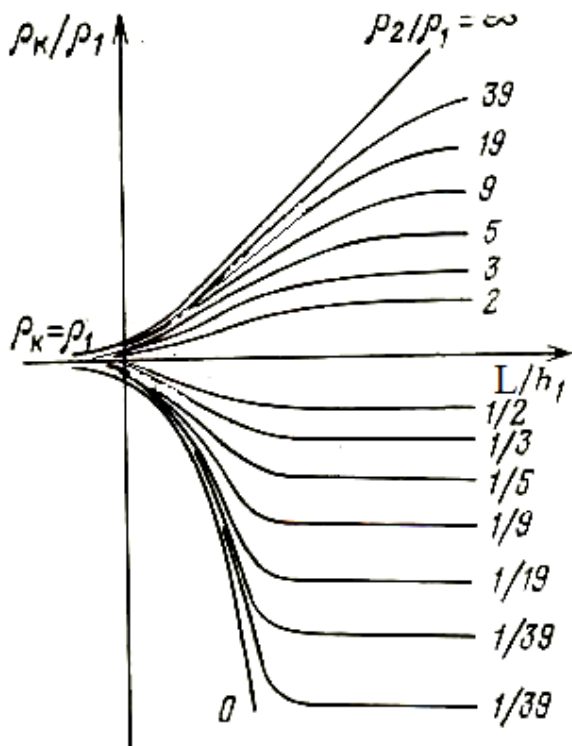


Рис. 4.3. Палетка для вертикального электрического зондирования земли

Методика выполнения работы

Разместить измерительные электроды на исследуемом участке почвы на территории сада Мичуринцев, подключить к ним измеритель сопротивления заземления типа Ф4103-М1 (рис. 4.4) и провести измерение кажущегося удельного сопротивления земли методом вертикального электрического зондирования по симметричной схеме Веннера (рис. 4.1).



Рис. 4.4. Измеритель сопротивления заземления типа Ф4103-М1

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 4.1:

Таблица 4.1

AB, м							
-------	--	--	--	--	--	--	--

MN, м							
I, mA							
U, мВ							
R, Ом							
$\rho_{\text{каж}}$, Ом·м							
ρ_1/ρ_2							

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы определения удельного сопротивления земли?
2. Какие особенности существуют при определении удельного сопротивления неоднородного грунта?
3. В чём состоит метод вертикального электрического зондирования по симметричной схеме Веннера?

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Электрическая принципиальная схема для проведения эксперимента.
3. Последовательность расчёта удельного сопротивления грунта и его результаты.
4. Выводы по работе.

Лабораторная работа №5

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

1. Общие положения. Для выполнения работы используется специально созданная установка, в которой сопротивление проводников определяется по методу “амперметра-вольтметра”, а нагрев осуществляется рабочим током. Схема установки представлена на рис. 5.1.

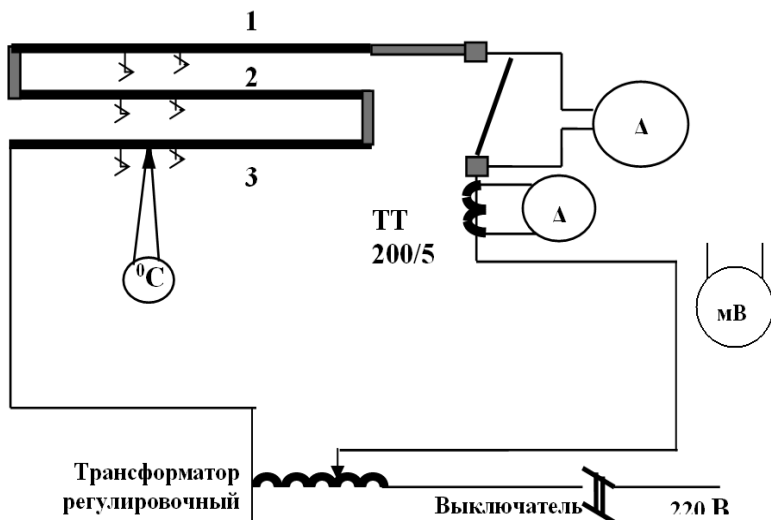


Рис. 5.1. Схема установки

Цифрами 1, 2, 3 обозначены испытуемые проволоки. Ток через них устанавливается регулировочным трансформатором и измеряется амперметром А. Падение напряжения измеряется милливольтметром мВ на длине 10 см. Температура проводников измеряется при помощи установленных на проводах термопар и соединенного с ними измерителя. Термопары и участки, на которых измеряется падение напряжения закрыты стеклотканью.

2. Методические указания. Перед началом работы следует вспомнить, что называется удельным электрическим сопротивлением и температурным коэффициентом, как они вычисляются, и на этом основании разработать план работы.

Измерения при комнатной температуре проводятся при токе 5 Ампер, который измеряется непосредственно амперметром, включенным в рассечку рубильника. При этом рубильник Р должен быть отключен.

Нагреваются проводники большим током при максимальном напряжении, выдаваемом регулировочным трансформатором. Нагрев производится до полной стабилизации параметров (тока, падения напряжения и температуры). При этом ток измеряется с использованием трансформатора тока с коэффициентом трансформации 200/5. То есть, если стрелка прибора отклоняется на полную шкалу, значит по проводам течет ток 200А. **Внимание!** При измерении больших токов рубильник Р должен быть включен, чтобы зашунтировать амперметр с пределом 5А и не сжечь этот прибор.

Для измерения комнатной температуры служит электронный термометр и милливольтметр, измеряющий ЭДС термопар. Для измерения температу-

ры нагретых проводников используется пирометр, либо милливольтметр, который измеряет ЭДС термопары и выдает показания в ° С.

Для измерения диаметра проводников служит штангенциркуль.

3. Оформление результатов. В отчете по работе должны быть представлены все измеренные значения: токи, падения напряжения (при разных температурах), диаметр проводников, измеренные температуры.

По данным измерений вычисляют удельные сопротивления. Далее вычисляют температурные коэффициенты удельного сопротивления.

Все вычисленные значения и найденные справочные данные заносятся в удобную для просмотра таблицу.

По окончании работы, используя данные измерения и необходимые справочные данные, рассчитываются значения токов, которые разогреют каждый из проводов до температуры плавления за 1 с. Расчет проводится по выражению, учитывающему зависимость удельного сопротивления материала от температуры:

$$\frac{I^2}{S^2} = \frac{cd}{TK\rho_t\tau\rho_t} \ln \frac{TK\rho_t^{-1} - t + t_k}{TK\rho_t^{-1} - t + t_0}$$

В выражении I - ток; S - сечение проводника; c и d соответственно теплоемкость и плотность материала провода; $TK\rho_t$ и ρ_t - температурный коэффициент и удельное сопротивление, определенные при температуре t; t_k и t_0 - конечная и начальная температуры проводника.

Указанный расчет выполняется и оформляется индивидуально каждым членом бригады для разных проводников.

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

Контрольные вопросы:

1. Что такое удельное электрическое сопротивление, как его вычислить по сопротивлению образца?
2. Что такое температурный коэффициент удельного электрического сопротивления, что нужно знать для его вычисления?
3. Какое значение имеет удельное электрическое сопротивление меди при комнатной температуре ?
4. Какое значение имеет удельное электрическое сопротивление алюминия при комнатной температуре ?
5. Какое значение имеет удельное электрическое сопротивление стали при комнатной температуре ?
6. В каких единицах измеряется температурный коэффициент?
7. Почему падение напряжения на алюминиевой проволоке меньше, чем на медной?
8. В какую сторону изменяется удельное электрическое сопротивление металлического проводника при его нагревании и почему?

9. В каких единицах измеряется удельное электрическое сопротивление и удельная электрическая проводимость?

10. Какой знак имеет температурный коэффициент длины проводников?

11. Каковы по данным ваших расчетов предельные плотности тока для проводов из меди, стали, алюминия?

12. Что такое сталь?

Лабораторная работа №6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СВЕТОПРОПУСКАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы:

Научиться определять фактический коэффициент светопропускания различных светопрозрачных материалов.

Приборы и принадлежности:

Люксметр Ю-17, фильтры уменьшения светового потока, набор светопрозрачных материалов, источник света, лабораторная установка.

Теоретические положения и методика выполнения работы

Освещенность помещения естественным светом зависит от общего коэффициента светопропускания световых проемов, который представляет собой отношение:

$$\tau_0 = \frac{E_B}{E_H} \quad (6.1)$$

где E_B – световой поток (лм), прошедший через световой проем в помещение, или освещенность в плоскости окна со стороны помещения, лк;

E_H – световой поток или освещенность в плоскости окна, лк.

Величина общего коэффициента светопропускания окна при боковом его расположении и без учета затенения солнцезащитными устройствами для практических расчетов естественной освещенности определяются по формуле:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2, \quad (6.2)$$

где $\tau_1 = \tau_3 \cdot \tau_4$ – коэффициент светопропускания, учитывающий потери света при прохождении его через слой стекла;

τ_3 – коэффициент светопропускания, учитывающий потери света при прохождении его через слой чистого стекла;

τ_4 – коэффициент светопропускания, учитывающий потери света при прохождении через слой загрязнения (пыль копоть и т. д.), образующийся на стекле с течением времени;

τ_2 – коэффициент светопропускания, учитывающий потери света за счет

наличия в конструкции окна непрозрачных элементов (переплетов, импостов и т. п.).

Точные определения коэффициентов светопропускания чистых и загрязненных стекол (τ_3 , τ_4) осуществляются в лабораторных условиях на специальных установках.

Коэффициент светопропускания τ_2 приближенно вычисляют по формуле

$$\tau_2 = K \cdot \frac{S_c}{S_0} \quad (6.3)$$

где S_c – площадь остекления;

S_0 – полная площадь оконного проема;

K – коэффициент, зависящий от конструктивного решения окна (приближенно принимается для окон с одинарным или спаренными переплетами $K=1,0$; с отдельными переплетами $K=0,8$).

Снижение общего коэффициента светопропускания окна приводит к увеличению эксплуатационных затрат (повышенный расход электроэнергии на искусственное освещение). Увеличение площади светопроемов с целью повышения общего коэффициента светопропускания нерационально, т. к. ведет к удорожанию строительства (стоимость заполнения световых проемов обычно выше стоимости, равной площади глухой стены) и увеличению эксплуатационных затрат на отопление.

Описание установки и методика выполнения работ

Определение коэффициента светопропускания светопрозрачного материала производится с учетом фактического его загрязнения с помощью люксметра Ю-17. Фотоэлемент следует размещать на одном створе, перпендикулярном светопрозрачному материалу (рис. 6.1, рис. 6.2). Яркость небосвода, а, следовательно, и освещенность непостоянны во времени, поэтому измерения нужно производить достаточно быстро. Работа выполняется при отсутствии прямого солнечного освещения через светопроем, измерения производится трижды. При сильно освещенности применяются соответствующие светофильтры.

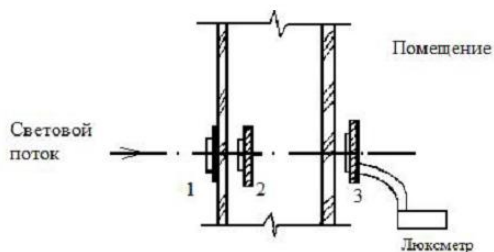


Рис. 6.1. Схема размещения фотоэлемента для определения коэффициента светопропускания: 1 – измерение падающего на стекло света; 2 – измерение света,

прошедшего через одинарное остекление; 3 – измерение света, прошедшего через двойное остекление



Рис. 6.2. Установки для измерения коэффициента светопропускания светопрозрачного материала (общий вид)

Порядок выполнения работы

1. Фотоэлемент люксметра последовательно прикладывают рабочей поверхностью наружу: а) к внешней поверхности наружного стекла; б) к внутренней поверхности наружного стекла; в) к внутренней поверхности второго стекла.
2. Измерения заносят в таблицу 6.1.
3. Производят вычисления коэффициента светопропускания и заносят в таблицу.
4. Проанализировав полученный результат, делается вывод.

Таблица 6.1

Результаты измерений

№ Измерений	Отсчеты по шкале люксметра при положении фотоэлемента				Коэффициент светопропускания светопрозрачного материала			Примечание
	С наружной стороны стекла E_H	За первым стеклом E_{B1}	За вторым стеклом E_{B2}	За третьем стеклом E_{B3}	При одинарном остеклении	При двойном остеклении	При тройном остеклении	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
2								
3								

Контрольные вопросы:

1. Что такое коэффициента светопропускания?
2. Какие светопрозрачные материалы применяются в сельском хозяйстве?

Лабораторная работа №7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СВЕТООТРАЖЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Цель работы:

Определение в натуральных условиях коэффициентов светоотражения различных поверхностей с последующим расчетом средневзвешенного коэффициента отражения.

Приборы и принадлежности:

Люксметр Ю-17, фильтры уменьшения светового потока, набор поверхностей светоотражающих материалов.

Теоретические положения и методика выполнения работы

Естественная освещенность в значительной мере зависит от отражения света в помещении. Правильное использование светоотражения дает возможность повысить общую освещенность помещения.

Измерение коэффициента светоотражения производится для пола, потолка, стен. Необходимо равномерное освещение исследуемых поверхностей естественным или близким по спектральному составу искусственным светом (люминесцентными лампами). Коэффициент светоотражения поверхностей определяется путем измерения освещенности от падающего и отраженного световых потоков. Затем рассчитывается средневзвешенный коэффициент отражения по формуле

$$\rho_{\text{ср.}} = \frac{\rho_1 \cdot S_1 + \rho_2 \cdot S_2 + \rho_3 \cdot S_3}{S_1 + S_2 + S_3}, \quad (7.1)$$

где ρ_1, ρ_2, ρ_3 – коэффициенты светоотражения соответственно потолка, стен и пола;

S_1, S_2, S_3 - площади соответственно потолка, стен и пола.

При замерах освещенности необходимо следить, чтобы тень от работающего человека не падала на поверхность вблизи фотозлемента.

Порядок выполнения работы

1. Определяют падающий и отраженный световой поток на стену. Для этого фотозлемент (рис. 7.1) прикладывают сначала тыльной стороной к середине исследуемого участка, а затем поворачивают его на рабочую поверхность к стене на расстояние 25–30 см. Замеры производят трижды.

2. Полученные результаты заносятся в таблицу 7.1.

3. Вычисляют коэффициент светоотражения и заносят его в таблицу 7.1.

4. Определяется падающий и отраженный световой поток на потолок, и аналогично пунктам 1,2,3 производят расчет.

5. Определяется падающий и отраженный световой поток на пол, и аналогично пунктам 1, 2, 3 производят расчет.

6. Все измерения выполняют по три раза.

7. Производят расчет средневзвешенного коэффициента отражения.
8. Занеся результаты в таблицу 7.1, делается анализ, и вывод по выполненной работе.

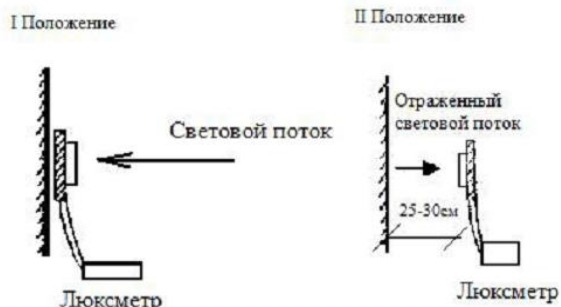


Рис. 7.1. Схема измерения падающего и отраженного световых потоков

Таблица 7.1

Результаты измерений

№	Наименование участка и его площадь	№ замера	Отсчеты при положении фотоэлемента		Коэффициент отражения $\frac{E_{отр}}{E_{пад}}$	Характеристика света и контуры участка
			I Положение	II Положение		
1	2	3	4	5	6	7
1	Стена S=...	1				
		2				
		3				
2	Пол S=...	1				
		2				
		3				
3	Потолок S=...	1				
		2				
		3				
	$\rho_{ср.}$					

Контрольные вопросы:

1. Что такое коэффициента светоотражения?
2. Для чего нужны сведения о коэффициенте светоотражения стен, потолка и рабочей поверхности сельскохозяйственного сооружения?
3. Для чего измеряют освещенность при определении коэффициента отражения?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гадалов, В.Н. Электротехническое и конструкционное материаловедение: учебное пособие / В.Н. Гадалов, А.Н. Горлов, И.В. Ворначева [и др.]. – Москва: Инфра-М, 2019. – 142 с. – ISBN 978-5-16-106519-8. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1058858>.

2. Привалов, Е.Е. Электроматериаловедение [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е. Е. Привалов, Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2012 – 196 с. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/515127>.

3. Тимофеев, И.А. Электротехнические материалы и изделия: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 272 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).

4. Коптева, А.В. Электротехническое и конструкционное материаловедение: Методические указания для лабораторных работ / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: А.В. Коптева, Ю.В. Гульков. СПб, 2017. - 63 с.

5. Архитектурно-строительная физика: методические указания к лабораторным работам для студентов направления 27080062 «Строительство», дисциплина «Основы архитектуры и строительных конструкций», для студентов направления 27030062 «Дизайн архитектурной среды», дисциплина «Архитектурная физика»/сост.: И. И. Исаевич, А. В. Тур, Г. Н. Фурсова. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. □ 43 с.

Авторы:
Болотов Денис Сергеевич
Никонов Сергей Александрович
Калужный Анатолий Тимофеевич

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Методические указания к лабораторно-практическим занятиям

Редактор
Компьютерная верстка

Подписано к печати 20 __ г.
Объем __ уч.-изд.л., усл. печ. л. Формат 60×84^{1/16}
Тираж 100 экз. Изд. № Заказ №

Отпечатано в издательстве Новосибирского ГАУ
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160