

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА  
ПРИ УСТРОЙСТВЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ**

*Методические указания*

Составитель: Фарид Мигдэтович Шакиров

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)  
443086, Самара, Московское шоссе, 34

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

**ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА  
ПРИ УСТРОЙСТВЕ ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ**

Методические указания

Самара 2012

Составитель: *Ф.М. Шакиров*

УДК 658.283 (076.5) : 669

**Исследование удельного сопротивления грунта при устройстве заземлителей:** Метод. указания / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *Ф.М. Шакиров*. Самара, 2012. – 16 с.

Рассматриваются защитное заземление, особенности заземляющего устройства и определения удельного сопротивления грунта при устройстве заземлителей.

Лабораторная работа предназначена для студентов всех факультетов университета, изучающих курс «Безопасность жизнедеятельности»

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени С.П. Королева.

Рецензент: *М.Е. Проданов*

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое электробезопасность?
2. Что такое защитное заземление? Когда оно применяется?
3. Что необходимо для обустройства системы защитного заземления?
4. Как изменяется удельное сопротивление грунта в зависимости от его состояния и типа?
5. Какие виды грунтов и сред применяются при устройстве заземлителей?
6. Как влияют климатические пояса и сезонное состояние земли на удельное сопротивление грунта?
7. Как влияет величина удельного сопротивления грунта на конструкцию, размер и стоимость заземляющего устройства?
8. Как влияет неоднородность и слоистость грунта на его удельное сопротивление?
9. Как улучшить электрофизические свойства грунта (земли)?
10. Какие методы применяются для измерений удельного сопротивления грунта?
11. Какой принцип измерения положен в основу испытателя М416? Как осуществляются измерения удельного сопротивления грунта испытателем М416?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности [Текст]: [учеб. для вузов / С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.В. Ильницкая и др.]; под общ. ред. С.В. Белова. Изд. 7-е, стер. – М.: Высшая школа, 2007. – 616 с.
2. Безопасность жизнедеятельности [Текст]: учебник / М.В. Графкина, В.А. Михайлов, Б.Н. Нюнин. – М.: Проспект: Велби, 2008. – 603 с.
3. Морозов В.В., Несолонов Г.Ф. Основы безопасности жизнедеятельности [Текст]: Учеб. пособие. – Самара: СГАУ, 2002. – 131 с.

$$\rho_{II} = 2,73 \cdot R_{II} \cdot l / \lg(4 \cdot l / d) \quad (2)$$

где  $\rho_{II}$  – удельное сопротивление грунта в момент измерения,  
Ом·м;

$l = 3$  м – глубина забивки трубы контрольного электрода;

$d = 0,05$  м – диаметр трубы контрольного электрода.

6. Определить расчетные значения удельного сопротивления  $\rho_p$ , используя формулу (1) и значения коэффициентов из табл. 2 и 3 для горизонтальных и вертикальных электродов, соответственно.

7. Результаты занести в отчет и сделать выводы по работе.

8. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

9. Сдать работу преподавателю.

### ПРОТОКОЛ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

№№ п.п.	Наименование показателей	Обозначения и единицы измерения	Задание № _____				климатическая зона
			замер I	грунт I	замер II	грунт II	
1	Измеренное сопротивление	$R_{II}$ , Ом					
2	Измеренное удельное сопротивление	$\rho_{II}$ , Ом·м					
3	Расчетное удельное сопротивление: – для вертикали – для горизонтали	Ом·м					
		$\rho_{PB}$ $\rho_{PH}$					
4	Сезонный коэффициент: – для вертикали – для горизонтали	$K_{CB}$					
		$K_{CH}$					
5	Коэффициент состояния земли: – для вертикали – для горизонтали	$K_{IB}$					
		$K_{IH}$					
6	Длина контрольного электрода	$l$ , м	3	-	3	-	
7	Диаметр контрольного электрода	$d$ , м	0,05	-	0,05	-	

\* Примечание. Табл.1...4 и рисунок смотри на планшете у лабораторной установки.

## ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА ПРИ УСТРОЙСТВЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

**Цель работы.** Ознакомление с основными особенностями заземлителей как элементов систем заземления. Изучение влияния основных типов грунта и его состояния на параметры заземлителей. Приобретение практических навыков по измерению удельного сопротивления грунта.

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Безопасность человека в производственной среде, содержащей электросети и электрооборудование, обеспечивается системой организационных и технических мероприятий и средств, направленных на защиту от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества – ГОСТ 12.1.009 «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения».

Защита от поражения электрическим током классифицируется по применяемым способам следующим образом:

- 1) защита от прикосновения к токоведущим частям,
- 2) защита при прикосновении к токоведущим частям,
- 3) защита при прикосновении к нетоковедущим частям, которые по каким-либо причинам могут оказаться под напряжением.

В последнем случае одним из технических способов является **защитное заземление**, представляющее собою преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом нетоковедущих электропроводящих частей (например, корпуса), а также отключенных токоведущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Принцип действия защитного заземления заключается в снижении напряжения прикосновения и шага при замыкании на корпус до допустимых значений.

Область применения защитного заземления – трехфазные трехпроводные сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и выше 1000 В с любым режимом нейтрали.

*Заземлитель* (металлический проводник, находящийся в непосредственном соприкосновении с землей) является наряду с *зазем-*

ляющим проводником (соединитель заземляемых частей электрооборудования с заземлителем) составной частью *заземляющего устройства*. Последнее необходимо для устранения опасности поражения людей и животных электрическим током при появлении электрического напряжения на конструктивных металлических нетоковедущих частях оборудования из-за неисправности изоляции, т.е. при замыкании фазового проводника на корпус.

В помещениях с **повышенной опасностью** и **особо опасных** по условиям поражения током, а также в наружных установках заземление является обязательным при номинальном напряжении электроустановки выше 42 В переменного и выше 110 В постоянного тока. В помещениях **без повышенной опасности** – при переменном напряжении 380 В и выше и постоянном напряжении 440 В и выше. Лишь **во взрывоопасных** помещениях заземление выполняется независимо от значения напряжения установки.

(**Помещения без повышенной опасности** – это сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха и изолирующими полами, в которых отсутствуют условия, свойственные помещениям с повышенной опасностью и особо опасным.

**Помещения с повышенной опасностью** характеризуются реализацией в них одного из следующих условий:

- сырость, определяемая относительной влажностью воздуха более 75% в течение длительного (более суток) времени,
- температура воздуха более суток превышает +35°С,
- выделение по условиям производства токопроводящей пыли в таком количестве, что она оседает на проводах, проникает внутрь машин, аппаратов,
- токопроводящие полы: металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и др.,
- возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическому оборудованию, механизмам – с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

**Помещения особо опасные** характеризуются реализацией в них одного из следующих условий:

- особая сырость, когда относительная влажность воздуха близка к 100%, а стены, потолок, пол и предметы в помещении покрыты конденсированной влагой,
- химически активная или органическая среда, разрушающая изоляцию и токоведущие части электрооборудования,

вует грунту с высоким удельным сопротивлением, а положение «П» указывает, что грунт имеет низкое удельное сопротивление. Второй переключатель стенда – «Диапазоны». При измерениях  $R_H$  положения  $\times I$ ,  $\times 5$ ,  $\times 20$ ,  $\times 100$  ручки переключателя «Диапазоны» стенда должны соответствовать положениям ручки переключателя «Пределы измерения» испытателя М416. Третий переключатель стенда – «Варианты». Его положение определяется преподавателем для каждого студента (или подгруппы) отдельно по табл.4<sup>\*</sup>).

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Зарисовать схему подключения испытателя М416 к измеряемому объекту (рисунок на планшете) в отчет по лабораторной работе.
2. Занести в отчет данные задания (определяется преподавателем).
3. Подготовить стенд к работе. Для этого установить все переключатели стенда на нуль; переключатель «Пределы измерения» испытателя М416 перевести в положение «Контроль 5 Ом», нажать кнопку и вращением ручки «Реохорд» добиться выхода стрелки индикатора на нулевую отметку. На шкале реохорда при этом должно быть показание  $5 \pm 0,35$  Ом.
4. Замерить сопротивление грунта  $R_H$  испытателем М416.

Если грунт с высоким удельным сопротивлением, то ручку переключателя «Род работ» установить в положение «I», переключатели «Пределы измерения» испытателя М416 и «Диапазоны» стенда поставить в положение  $\times 100$  (для заданий № 11... 18 – в положение  $\times 20$ ). Затем нажать кнопку испытателя М416 и, удерживая ее в нажатом положении, вращать ручку «Реохорд», добиваясь максимального приближения стрелки индикатора к нулю (к вертикальному положению). Результат измерения равен произведению показания подвижной шкалы реохорда на множитель переключателя «Пределы измерения» испытателя М416.

Для грунта с низким удельным сопротивлением ручку переключателя «Род работ» установить в положение «II», ручки переключателей «Пределы измерения» и «Диапазоны» поставить в положение  $\times 5$  (для заданий № 15, 16, 18 – в положение  $\times I$ ). Затем аналогично проделать измерения  $R_H$ .

Результаты измерений занести в протокол отчета.

5. Измеренные значения  $R_H$  подставить в формулу:



## ОПИСАНИЕ ПРИБОРОВ

**Испытатель М416.** Измерение удельного сопротивления грунта проводится испытателем М416. Его работа основана на компенсационном методе измерения с применением вспомогательного и потенциального электродов. Потенциальный электрод называют также зондом. Кроме компенсационного используют метод амперметра-вольтметра и мостовой, которые здесь не рассматриваются.

Электросхема М416 состоит из трех блоков: источника постоянного тока, преобразователя постоянного тока в переменный, измерительного устройства. Пределы измерения от 0,1 до 1000 Ом разделены на четыре диапазона: первый 0,1 – 10 Ом, второй 0,5 – 50 Ом, третий 2 – 200 Ом, четвертый 10 – 1000 Ом. Сопротивления вспомогательного и потенциального электродов для первого диапазона –  $\leq 500$  Ом, для второго –  $\leq 1$  кОм, для третьего –  $\leq 2,5$  кОм, для четвертого –  $\leq 5$  кОм.

На рисунке<sup>\*)</sup> приведена электрическая схема измерения удельного сопротивления грунта с помощью контрольного электрода. При этом к зажимам 1 и 2 присоединяется контрольный электрод  $R_K$  в виде металлического стержня или трубы известных размеров. В данной работе в качестве контрольного электрода применяют одиночный заземлитель в виде трубы длиной  $l = 3$  м, т.е. размеры контрольного электрода и основных труб, из которых будет создан заземлитель, совпадают. В местах забивки контрольного электрода, вспомогательного заземлителя и потенциального электрода растительный или насыпной слой должен быть удален в радиусе 0,25 м. Глубина погружения в грунт вспомогательного и потенциального электродов при измерениях не должна быть менее 500 мм, диаметр этих электродов – не менее 5 мм.

Во избежание увеличения переходного сопротивления контрольного, вспомогательного и потенциального электродов, трубы и стержни следует забивать в грунт прямыми ударами, не раскачивая их.

**Измерительный стенд.** Все устройства и измерительные схемы лабораторной работы смонтированы на стенде.

В верхней левой части щита стенда установлен испытатель М 416. На лицевой стороне испытателя М416 расположены (см. рисунок): ручка переключателя «Пределы измерения», ручка «Реохорд», кнопка включения прибора и четыре зажима для подключения измеряемого объекта, вспомогательного и потенциального электродов. В нижней части стенда слева направо установлены четыре переключателя. Первый из них – переключатель «Род работ». На его шкале «I» соответ-

– одновременная реализация двух и более условий, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

**Взрывоопасные помещения** характеризуются следующими признаками:

- использование горючих газов,
- использование легковоспламеняющихся жидкостей либо горючих жидкостей, нагретых до температуры вспышки и выше,
- использование горючих пылей и волокон, нижний концентрационный предел воспламенения которых не выше  $65 \text{ г/м}^3$ ,
- использование веществ и материалов, способных взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таких количествах, что могут образовываться смеси, при воспламенении которых в помещении развивается избыточное давление взрыва, превышающее  $5 \text{ кПа}$ .)

Для введения в действие системы заземления необходимо *заземляющее устройство*, представляющее собою совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

*Заземлитель* – это металлический проводник, находящийся в непосредственном соприкосновении с землей. *Заземляющий проводник* – соединитель заземляемых частей электрооборудования с заземлителем.

Различают заземлители *одиночные* и *составные*, а также **искусственные**, предназначенные только для целей заземления, и *естественные* – металлические предметы, находящиеся в земле с иными целями, но которые могут быть использованы для обеспечения электробезопасности без ущерба для выполнения основных функций.

Для **искусственных** заземлителей применяют обычно вертикальные и горизонтальные электроды. В качестве вертикальных электродов используют стальные трубы  $\varnothing(30\dots 50)$  мм и стальные уголки размером от  $40 \times 40$  до  $60 \times 60$  мм и длиной  $2,5\dots 5$  м. Находят применение также стальные прутки диаметром  $10\dots 15$  мм и длиной до 10 м. Для связи вертикальных электродов, а также в качестве самостоятельного горизонтального электрода используют полосовую сталь сечением не менее  $4 \times 12$  мм и сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

Для установки вертикальных заземлителей роют траншею глубиной  $0,7\dots 0,8$  м, после чего с помощью механизмов вбивают трубы или уголки.

В качестве **естественных** заземлителей используют обсадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т.п.; металлические конструкции и арматуру железобетонных конструкций зданий и сооружений, имеющих соединение с землей; свинцовые оболочки кабе-

лей, проложенных в земле. Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока, и использование их для целей заземления дает большую экономию. Недостатком естественных заземлителей является их доступность и возможность нарушения непрерывности соединения протяженных заземлителей (например, при ремонтных работах).

Сопротивление растеканию тока с корпусов защищаемого оборудования в грунт складывается из следующих основных компонентов:

- сопротивление заземляющего проводника,
- сопротивление заземлителя,
- сопротивление зоны перехода электрических зарядов с заземлителя в грунт,
- сопротивление грунта (среды).

При условии целостности заземляющего проводника, заземлителя, а также связей между ними и заземляемым оборудованием наибольшее влияние на сопротивление растеканию тока оказывают два последних слагаемых.

Сопротивление зоны перехода зарядов с заземлителя в грунт зависит от состояния наружной поверхности заземлителя и плотности прилегания к ней грунта.

Электрофизические свойства земли, в которой находится заземлитель, определяются ее удельным сопротивлением. В табл.1<sup>\*</sup>) приведены приближенные значения удельных сопротивлений различных пород грунта в Ом·м, а также речной и морской воды. Чем меньше удельное сопротивление среды, тем благоприятнее условия для расположения заземлителя; поэтому заземляющее устройство будет содержать меньше количество стержней (труб), и оно будет занимать меньшую площадь. Таким образом, заземлитель, установленный в грунте с пониженным удельным сопротивлением, технически и экономически более выгоден.

Для установки заземлителя необходимо знать не приближенную, а точную величину удельного сопротивления грунта в месте установки заземлителя. Это определяется измерениями на месте.

Свойства грунта могут изменяться в зависимости от его состояния (влажности, температуры и других факторов) и различаются по временам года из-за высыхания или промерзания, а также из-за состояния в момент измерения. Эти факторы при измерениях удельного сопротивления грунта учитываются сезонными коэффициен-

тами и коэффициентами состояния земли с тем, чтобы требующееся сопротивление заземляющего устройства обеспечивалось в любой сезон и при любой влажности грунта.

В табл. 2<sup>\*)</sup> приведены значения сезонных коэффициентов для вертикальных и горизонтальных электродов в разных климатических зонах. Данные относятся к нормальной влажности земли.

Коэффициенты, учитывающие состояние земли при измерениях, приведены в табл.3<sup>\*)</sup>. Коэффициент  $K_1$  применяется, если грунт влажный, т.е. измерениям предшествовало выпадение большого количества осадков;  $K_2$  — если земля (грунт) нормальной влажности, т.е. измерению предшествовало выпадение небольшого количества осадков;  $K_3$  — если земля сухая, т.е. количество осадков выпало ниже нормы. Таким образом, расчетное значение удельного сопротивления грунта

$$\rho_P = K_C K_H \rho_H \quad (1)$$

где  $K_C$  — сезонный коэффициент из табл. 2<sup>\*)</sup>;

$K_H$  — один из коэффициентов табл. 3<sup>\*)</sup>;

$\rho_H$  — измеренное удельное сопротивление грунта.

Земля может быть однородной или состоять из нескольких слоев с разными удельными сопротивлениями. Сопротивление растеканию тока зависит от свойств не только верхнего, но и нижних слоев земли. Чем большую территорию занимает заземляющее устройство, тем значительнее это влияние. При использовании составных заземлителей (состоящих из многих электродов) учет нижних слоев грунта может дать существенную разницу в величине сопротивления растеканию тока и стоимости заземляющего устройства. В таких случаях определяется «эквивалентное удельное сопротивление земли», которое и применяется в расчетах заземлителей.

Электрофизические свойства земли могут быть улучшены искусственным путем. К этому прибегают при высоких удельных сопротивлениях грунта путем добавления в траншеи, где расположены электроды, некоторых веществ или их водных растворов и суспензий. Успешно применяется в этих целях *бентонит* — в природных условиях камень белого цвета. Основная составляющая часть бентонита — алюмогидросиликаты ( $\rho \sim 10$  Ом·м) — способствует длительному сохранению влаги без коррозии заземлителей (что получается, например, при использовании соли или хлористого кальция). Применяется бентонит в виде студня (80...100 кг на 1000 л воды).