

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра электроэнергетики и электромеханики

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019

УДК 658.26:621.31 (073)

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ: Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.В. Кривенко, С.В. Бабурин, Н.А. Королев*. СПб, 2019. 46 с.

Приведены краткие теоретические сведения и методические указания по выполнению лабораторных работ и практических занятий по дисциплинам «Эксплуатация систем электропривода» и «Эксплуатация систем электроснабжения» для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Электрификация и автоматизация горного производства». Могут быть использованы студентами магистратуры направления 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» и студентами других специальностей.

Научный редактор проф. *А.Е. Козярук*.

Рецензент канд. техн. наук *В.А. Соловьев* (ООО «НПК «ЭНЕРГОПРОГРЕСС»)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2019

Введение

В настоящем учебно-методическом издании представлены краткие теоретические сведения и методические указания к выполнению работ, посвященных наиболее часто выполняемым измерениям и испытаниям в электроустановках в процессе эксплуатации.

Структура и порядок выполнения всех работ одинаковые:

1. Цель работы.
2. Описание установки и измерительных приборов.
3. Порядок выполнения работы.
4. Содержание отчета.

До выполнения работ студенты должны прослушать лекции по соответствующим разделам дисциплины или самостоятельно проработать теоретический материал. Перед каждым занятием необходимо ознакомиться с целью, теоретическими положениями, заданием и методическими указаниями по выполнению работы. Исходные данные могут быть заданы, изменены или уточнены преподавателем, ведущим занятия.

После выполнения работы каждый студент должен оформить отчет. На титульном листе отчета указываются:

- название дисциплины;
- наименование работы;
- фамилия, инициалы и шифр студента.

Текст отчета должен быть изложен аккуратно, с обязательным приведением цели занятия, исходных данных, необходимых формул, схем, единиц измерения физических величин, распечаток результатов расчетов.

1.Измерение сопротивления изоляции

Цель работы

Целью работы является изучение методов определения сопротивления изоляции и проверки соответствия ее установленным нормам.

Общие положения

Измерение сопротивления изоляции и определение ее увлажненности (коэффициента абсорбции) производят с помощью мегаомметров различных типов.

Значение сопротивления изоляции электрических машин и аппаратов в большой степени зависит от температуры. Замеры следует производить при температуре изоляции не ниже +5°C кроме случаев, оговоренных специальными инструкциями. При более низких температурах результаты измерения из-за нестабильного состояния влаги не отражают истинной характеристики изоляции. При существенных различиях между результатами измерений на месте монтажа и данными завода-изготовителя, обусловленных разностью температур, при которых проводились измерения, следует откорректировать эти результаты по указаниям изготовителя.

Степень увлажненности изоляции характеризуется коэффициентом абсорбции, равным отношению измеренного сопротивления изоляции через 60 секунд после приложения напряжения мегаомметра (R_{60}) к измеренному сопротивлению изоляции через 15 секунд (R_{15}):

$$K_{abc} = R_{60} / R_{15}$$

При измерении сопротивления изоляции силовых трансформаторов используются мегаомметры с выходным напряжением 2500 В. Измерения проводятся между каждой обмоткой и корпусом и между обмотками трансформатора.

При этом R_{60} должно быть приведено к результатам заводских испытаний в зависимости от разности температур, при которых проводились испытания.

Сопротивление изоляции каждой фазы силовых первичных

цепей и кабельных линий измеряют относительно остальных заземленных фаз. При этом величина измеренного сопротивления будет меньше фактического сопротивления изоляции фазы *A* относительно земли и любой другой фазы. Если измерения по этой схеме дадут неудовлетворительный результат, то следует измерить сопротивление каждой фазы относительно земли (остальные фазы не заземляются) и между каждыми двумя фазами. Значения сопротивлений, измеренные по этим схемам, более точны.

При оценке состояния изоляции путем сравнения замеров с заводскими испытаниями возникает необходимость пересчета для приведения сравниваемых величин к одной температуре. Для приведения значений R_{60} , измеренных при температуре t_2 , к температуре t_1 при которой производились измерения R_{60} на заводе (приводится в паспорте трансформатора), надо выполнить пересчет данных измерений с помощью коэффициента K_2 таблица 1.

Таблица 1

Перерасчет значений сопротивления R_{60}

Разность температур t_2-t_1 , °C	1	2	3	4	5
Значение K_2	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22
Разность температур t_2-t_1 , °C	10	15	20	25	30
Значение K_2	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4

Значения K_2 для разности не указанных здесь температур находят путем перемножения соответствующих коэффициентов, дающих в сумме необходимую разность (например, для разности температур 24 °C:

$$K_2^{(20)} \cdot K_2^{(4)} = 2,25 \cdot 1,17 = 2,63$$

Состояние изоляции следует считать неудовлетворительным, если в процессе эксплуатации значение ее сопротивления снизилось на 50 % и более по отношению к измеренному при заводских

испытаниях или стало меньше указанного в правилах технической эксплуатации (ПТЭ) и правилах безопасности (ПБ).

Во вторичных цепях проверяют сопротивление изоляции жил кабелей, проводов, зажимов, обмоток и контактов реле:

по отношению к земле (оболочке кабеля, металлической панели, заземляющему контуру);

между фазами, жилами, проводами и зажимами одной и той же цепи;

между различными цепями (тока, напряжения, управления, сигнализации).

Изоляцию катушек и контактов аппаратов напряжением до 1140 В целесообразно измерять совместно со схемой управления и целом. Отключение отдельных аппаратов разрешается только для отыскания участка схемы с пониженным сопротивлением изоляции. При измерении сопротивления изоляции цепей с полупроводниковыми приборами и конденсаторами последние должны быть отключены или зашунтированы.

На заключительном этапе, когда все работы по наладке и проверке цепей закончены, снимают все заземления и отсоединяют источники питания, закорачивают или отсоединяют элементы с пониженным испытательным напряжением. Затем мегаомметром на напряжение 1000 – 2500 В измеряют сопротивление изоляции собранных цепей тока, напряжения, управления и сигнализации вместе с обмотками измерительных трансформаторов каждой цепи относительно земли и между электрически разделенными цепями (тока и напряжения, тока и управления и т. д.).

При измерениях в сложных вторичных цепях составляют перечень всех элементов (с указанием места установки), которые при измерениях следует защитить от повреждения.

Сопротивление изоляции и коэффициента абсорбции K_{abc} силовых двухобмоточных трансформаторов измеряют последовательно по схемам: ВН – бак + НН; НН – бак + ВН; ВН+НН – бак.

При измерениях выводы измеряемых обмоток одного напряжения должны быть Надежно соединены между собой, а бак трансформатора и остальные обмотки – заземлены. Проводник

«земля» присоединяют к баку под болт. Для исключения токов утечки по поверхности изоляторов последние подключают проводником к зажиму «Э» прибора. Место наложения экранирующего проводника выбирают из условия получения наибольшей разности потенциалов между этим местом и заземленным корпусом (под верхней юбкой изолятора).

При измерении сопротивления изоляции необходимо учитывать следующее: измерение сопротивления изоляции кабелей (за исключением кабелей бронированных) сечением до 16 мм² производится мегаомметром на 1000 В, а выше 16 мм² и бронированных - мегаометром на 2500 В; измерение сопротивления изоляции проводов всех сечений производится мегаометром на 1000 В.

При этом необходимо производить следующие замеры:

на 2- проводных и 3-проводных линиях - три замера: L-N, N-PE, L-PE;

на 4-проводных линиях - 4 замера: L1-L2L3PEN, L2-L3L1PEN, L3-L1L2PEN, PEN- L1L2L3, или 6 замеров: L1-L2, L2-L3, L1-L3, L1-PEN, L2-PEN, L3-PEN;

на 5-проводных линиях - 5 замеров: L1-L2L3NPE, L2-L1L3NPE, L3-L1L2PE, N- L1L2L3PE, PE-NL1L2L3, или 10 замеров: L1-L2, L2-L3, L1-L3, L1-N, L2-N, L3-N, L1-PE, L2-PE, L3-PE, N-PE.

Допускается не проводить измерения сопротивления изоляции в осветительных сетях, находящихся в эксплуатации, если это требует значительных работ по демонтажу схемы, в этом случае, не реже 1 раза в год, требуется выполнять визуальный контроль совместно с проверкой надежности срабатывания средств защиты от сверхтоков (определение токов однофазных замыканий в соответствии с п. 1.7.79 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [1]).

Если электропроводки, находящиеся в эксплуатации, имеют сопротивление изоляции менее 0,5 МОм, то заключение об их пригодности делается после испытания их переменным током промышленной частоты напряжением 1 кВ в соответствии с приведенными

в данном издании рекомендациями.

Минимально допустимое сопротивление изоляции для установок, находящихся в эксплуатации, приведены в приложении 3 к Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) [2], а для установок, вводимых в эксплуатацию - в гл. 1.8. ПУЭ. Сопротивление изоляции ручных электрических машин измеряется относительно корпуса и наружных металлических частей при включенном выключателе.

Корпус электроинструмента и соединенные с ним детали, выполненные из диэлектрического материала, на время испытания должны быть обернуты металлической фольгой, соединенной с контуром заземления.

Если сопротивление изоляции при этом будет не менее 10 МОм, то испытание изоляции повышенным напряжением может быть заменено измерением ее сопротивления мегаомметром с выходящим напряжением 2500 В, в течение 1 минуты.

У переносных трансформаторов измеряется сопротивление изоляции между всеми обмотками, а также между обмотками и корпусом. При измерениях сопротивления изоляции первичной обмотки, вторичная должна быть замкнута и соединена с корпусом.

Сопротивление изоляции автоматических выключателей и устройств защитного отключения (УЗО) производится:

1. Между каждым выводом полюса и соединенными между собой противоположными выводами полюсов при разомкнутом состоянии выключателя или УЗО.

2. Между каждым разноименным полюсом и соединенными между собой оставшимися полюсами при замкнутом состоянии выключателя или УЗО.

3. Между всеми соединенными между собой полюсами и корпусом, обернутым металлической фольгой.

При этом для автоматических выключателей бытового и аналогичного назначения (ГОСТ Р50345-99) и УЗО при измерениях

по п.п. 1, 2 сопротивление изоляции должно быть не менее 2 МОм, по п. 3 не менее 5 МОм.

Для остальных автоматических выключателей (ГОСТ Р50030.2-99) во всех случаях сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

Меры безопасности

1. Технические мероприятия. До начала и в процессе изменений необходимо выполнять технические мероприятия в соответствии с Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТ ЭУ) [3]. При работе с мегомметром необходимо руководствоваться пунктами 2.3, 5.1, 5.4. Измерения сопротивления изоляции мегомметром должно осуществляться на отключенных токоведущих частях, с которых снят заряд путем предварительного их заземления. Заземление с токоведущих частей следует снимать только после подключения мегомметра.

2. Организационные мероприятия. В установках напряжением до 1000 В измерения выполняют два лица, одно из которых должно иметь группу не ниже III. Работы выполняются по распоряжению, в порядке текущей эксплуатации с последующей записью в оперативный журнал.

В электроустановках до 1000 В, расположенных в помещениях, кроме особо опасных в отношении поражения электрическим током, работник, имеющий группу III и право быть производителем работ, может проводить измерения единолично. Измерения сопротивления изоляции ротора работающего генератора разрешается выполнять по распоряжению двумя работниками, имеющими IV и III группу по электробезопасности.

Нормируемые величины

Периодичность испытаний и минимальная допустимая величина сопротивления изоляции должны соответствовать указанным в нормах испытаний электрооборудования и аппаратов ПУЭ и

ПТЭЭП. В соответствии с ГОСТ Р 50571.16-99 нормируемые величины сопротивления изоляции электроустановок зданий приведены в таблице 2.

В соответствии с гл. 1.3 ПУЭ для электроустановок, напряжением до 1000 В допустимые значения сопротивления изоляции представлены в таблице 3.

Таблица 2

Нормируемые величины сопротивления изоляции электроустановок зданий

Номинальное напряжение цепи, В	Испытательное напряжение постоянного тока, В	Сопротивление изоляции, МОм
Системы безопасного сверхнизкого напряжения (БССН) и функционального сверхнизкого напряжения (ФССН)	250	0,25
До 500 включительно, кроме систем БССН и ФССН	500	0,5*
Выше 500	1000	1,0

* Сопротивление стационарных бытовых электрических плит должно быть не менее 1 МОм.

Таблица 3

Допустимые значения сопротивления изоляции для электроустановок напряжением до 1000 В

Испытуемый элемент	Напряжение мегаомметра, В	Наименьшее допустимое значение сопротивления изоляции, МОм

Испытуемый элемент	Напряжение мегаомметра, В	Наименьшее допустимое значение сопротивления изоляции, МОм
1. Шины постоянного тока на щитах управления и в распределительных устройствах (при отсоединенных цепях)	500-1000	10
2. Вторичные цепи каждого присоединения и цепи питания приводов выключателей и разъединителей	500-1000	1
3. Цепи управления, защиты, автоматики и измерений, а так же цепи возбуждения машин постоянного тока, присоединенные к силовым цепям	500-1000	1
4. Вторичные цепи и элементы при питании от отдельного источника или через разделительный трансформатор, рассчитанные на рабочее напряжение 60 В и ниже	500	0,5
5. Электропроводки, в том числе осветительные сети***	1000	0,5
6. Распределительные устройства, щиты и токопроводы (шинопроводы)	500-1000	0,5

*Измерение производится со всеми присоединенными аппаратами (катушки, провода, контакторы, пускатели, автоматические выключатели, реле, приборы, вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения и т.п.).

**Должны быть приняты меры для предотвращения повреждения устройств, в особенности микроэлектронных и полупроводниковых элементов.

***Сопротивление изоляции измеряется между каждым проводом и землей, а так же между каждыми двумя проводками.

****Измеряется сопротивление изоляции каждой секции распределительного устройства.

Приборы для измерения сопротивления изоляции

Мегаомметр Ф4100 имеет внешнее комбинированное питание от сети 127/220 В частотой 50 Гц или от источника постоянного тока напряжением 12 В. Максимальная потребляемая мощность при питании от сети 127/220 В 20 В·А, максимальный ток потребления от внешнего источника постоянного тока 1 А.

Перед началом измерений, а также перед спуском прибора в шахту необходимо проверить прибор, переключив его выходные зажимы. При вращении рукоятки прибора с номинальной частотой 2 с^{-1} стрелка должна установиться в положение «0» шкалы. После этого разомкнуть выходные зажимы; при повторном вращении стрелка прибора должна установиться в положение «∞».

Все измерения сопротивления изоляции в шахте следует производить в соответствии и с ПБ.

При измерении сопротивления изоляции мегаомметром необходимо:

а) разрядить измеряемую цепь от емкостных токов, наложив заземление на 2-3 мин (перед началом и после каждого измерения). Разрядку в шахтных условиях выполнять только после замера содержания метана и при отсутствии его опасной концентрации в рудничной атмосфере;

б) подключить мегаомметр к измеряемой цепи и выбрать предел измерения в соответствии с ожидаемой величиной сопротивления. Мегаомметр к схеме присоединяют одножильными гибкими проводами с сопротивлением изоляции не менее 100 МОм. Концы проводов, присоединяемые к мегаомметру, должны иметь оконцеватели, а противоположные концы – зажимы типа «крокодил» с изолированными ручками или специальными щупами. При

измерении сопротивления изоляции относительно земли зажим «З» (земля) прибора соединяют с заземленным корпусом аппарата, заземленной металлической оболочкой кабеля или с защитным заземлением, а зажим «Л» (линия) – с проводником тока. Если при измерении необходимо исключить поверхностные токи утечки, то на наружный слой изоляции проводника (оболочку кабеля) накладывают электрод, соединяемый с зажимом «Э» (экран прибора). При измерении сопротивления изоляции между токоведущими цепями зажимы «З» и «Л» присоединяют к испытуемым цепям, а зажим «Э» – к заземленному корпусу (оболочке);

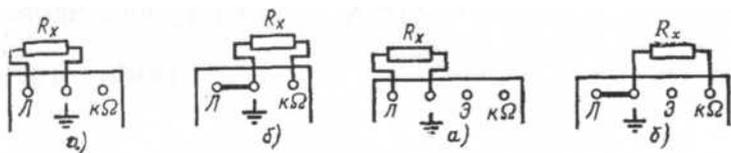


Рис. 1. Схема измерения сопротивления изоляции мегаомметром типа М4100/5: а.— на пределе МΩ; б — на пределе КΩ а — на пределе МΩ; б — на пределе КΩ

в) равномерно вращая рукоятку привода мегаомметра с номинальной частотой, произвести отсчет показания через 15 и 60 с после начала вращения. Если определение коэффициента абсорбции $K_{абс}$ не требуется, то отсчет измерения произвести после успокоения стрелки прибора, но не ранее чем через 60 с от начала вращения.

МИС-3 - цифровой измеритель сопротивления электроизоляции, проводников присоединения к земле и выравнивания потенциалов. МИС-3 предназначен для измерения:

- активного сопротивления электроизоляции кабельных линий, электродвигателей, трансформаторов и другого электрооборудования;

- напряжения постоянного и переменного тока;
- низкоомного сопротивления постоянному току

Прибор также имеет функции:

- автоматического выбора измерительных диапазонов;
- саморазряда емкости измеряемого объекта после окончания измерения активного сопротивления электроизоляции;
- акустического и визуального определения 5-ти секундных интервалов времени, облегчающих снятие временных характеристик при измерении активного сопротивления изоляции.

Расположение гнезд и клавиш показано на рис.2.

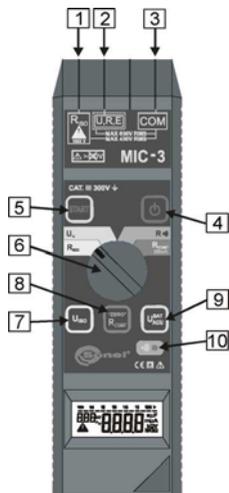


Рис. 2. Вид MIC-3
(Передняя панель)

Гнезда:

1 – гнездо R_{iso} . Выход преобразователя высокого напряжения для измерений активного сопротивления электроизоляции (функция R_{iso}).

2 – измерительное гнездо U,R,E. Измерительный вход для измерений напряжений постоянного или переменного тока, а также для измерений низкоомных активных сопротивлений постоянному току.

3 – измерительное гнездо COM, доступное для всех измерений.

4 – клавиша (!). Включение и выключение питания измерителя.

5 – клавиша START. Для измерительной функции R_{iso} . Запуск функции измерения

активного сопротивления электроизоляции, начало отсчета 5-ти секундных интервалов времени и коммутация измерительного напряжения. Во время измерений активного сопротивления электроизоляции на кончиках измерительных проводов измерителя MIC-3 появляется опасное напряжение до 1 кВ.

6 - поворотный переключатель функций

Выбор функций:

R_{iso} – измерение активного сопротивления электроизоляции;

$U\sim$ - измерение напряжений постоянного и переменного тока;

R - измерение низкоомного сопротивления постоянному току со звуковым сигналом;

R_{cont} 200 мА - измерение активного сопротивления проводников присоединения к земле и выравнивания потенциалов измерительным током > 200 мА.

7 - клавиша U_{iso} . Выбор одного из трёх значений измерительного напряжения.

8 – клавиша R_{CONT}^{ZERO} . Обнуление показаний прибора перед началом измерения целостности цепей измерительным током больше 200 мА.

9 – U_{ACU}^{BAT} . Отображение значения напряжения элементов питания.

10 – диод LED

Измерение сопротивления электроизоляции

Прибор измеряет активное сопротивление электроизоляции, подавая на испытуемое активное сопротивление R_X измерительное напряжение U , и измеряет протекающий через него ток I , контролируемый со стороны зажима 1 - R_{ISO} . Вычисляя значение активного сопротивления электроизоляции, измеритель пользуется формулой Закона Ома для активного сопротивления ($R_X=U/I$).

Измерительное напряжение выбирается из трех значений: 250 В, 500 В или 1000 В.

Выходной ток преобразователя ограничивается на уровне 1 мА. Превышение токового ограничения сигнализируется непрерывным звуковым сигналом. В этом случае результат измерения правильный, но на измерительных зажимах появляется измерительное напряжение ниже, чем выбранное перед измерением. В частности, в результате заряда ёмкости испытуемого объекта, ограничение тока может часто появляться в первой стадии измерения.

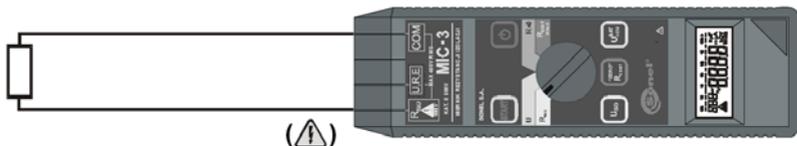


Рис.3. Измерение активного сопротивления электроизоляции

Измеряемый объект не должен находиться под напряжением.

Запрещено отсоединение измерительных проводов до окончания измерения. Это грозит поражением электрическим током и делает невозможным разряд емкости испытуемого объекта.

После включения прибора кнопкой 4 и установления измерительного режима R_{ISO} , прибор находится в режиме измерения напряжения.

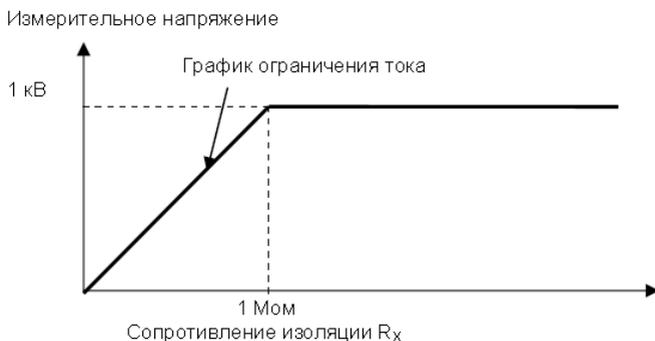


Рис.4 График зависимости реального измерительного напряжения от измеряемого активного сопротивления электроизоляции R_x (для максимального измерительного напряжения)

Измерение может осуществляться ручным и автоматическим способами:

Ручной способ заключается в нажатии и удержании клавиши 5 START. При освобождении клавиши 5 START, измерение прерывается;

Автоматический способ - при нажатии клавиши 5 START одновременно нажимается клавиша 9 и тогда процесс измерения поддерживается без удержания клавиши 5 START. В таком случае измерение можно закончить, повторно нажимая клавишу 5 START.

При включенном процессе измерения на дисплее отображается символ (!), информирующий о присутствии измерительного напряжения на измерительных зажимах прибора. До тех пор, пока напряжение не достигнет 90% заданного значения (а также после превышения 110%), измеритель подает непрерывный звуковой сигнал.

Во время измерений активного сопротивления электроизоляции, на наконечниках измерительных проводов прибора МІС-3 появляется опасное напряжение до 1 кВ.

MPI-520. Приборы серии MPI – это переносные multifunctional измерители, позволяющие всесторонне оценить состояние электроустановки с высокой точностью рис.5.



Рис. 5. MPI-520. (Передняя панель)

Подключение поврежденных или нестандартных измери-

Нажмите и удерживайте клавишу START. Измерение будет проводиться только при условии удерживания клавиши. Для блокировки клавиши START нажмите ее и удерживайте до звукового сигнала (3-5 сек). После нажмите клавишу ENTER и отпустите обе клавиши. Для остановки измерения нажмите клавишу START. Во время измерения на выходах прибора MPI- 520 формируется напряжение до 1000 В.

Во время измерений запрещается отключать измерительные проводники или изменять положение поворотного переключателя MPI-520. Пренебрежение данным правилом может привести к повреждению прибора или/и поражению током пользователя. После окончания измерения прибор автоматически разряжает емкость кабеля через внутренне сопротивление 100 кОм.

Возможные сообщения, отображаемые на экране измерителя
таблица 4.

Таблица 4

Возможные сообщения, отображаемые на экране измерителя

	Наличие измерительного напряжения на выходе измерителя
NOISE!	На объекте измерения присутствует напряжение шума. Измерение продолжится, но стоит учесть возможность появления дополнительной погрешности.
LIMIT !!	Превышено значение максимального тока. Сопровождается продолжительным звуковым сигналом.
	На вход прибора подключены неверные измерительные проводники (отличные от WS-03 или WS-04 или AutoISO-1000c).
	WS-03 или WS-04 измерение трех-проводного объекта (измерение L-PE, L-N и N-PE проводников).

Порядок выполнения работы

По заданию преподавателя выбирается объект измерения сопротивления изоляции и один из приборов описанных в п.4

Произвести измерения и рассчитать коэффициент абсорбции.

Содержание отчета

Отчет по работе должен включать в себя:

1. формулировку цели работы;
2. краткую теоретическую часть;
3. результаты измерения и зависимости;
4. выводы о выполненной работе.

2. Измерение сопротивления заземляющего устройства

Цель работы

Целью работы является изучение методов измерения и расчета сопротивления заземляющего устройства.

Общие положения

С целью предотвращения опасности поражения током, обусловленной переходом напряжения на конструктивные части электрооборудования и установок, выполняют защитное заземление.

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Назначение защитного заземления – снизить до безопасного значения напряжение относительно земли на металлических частях электрооборудования, оказавшегося под напряжением из-за нарушения изоляции, и предотвратить поражение людей электрическим током при прикосновении их к электрооборудованию.

В соответствии с требованиями единых правил безопасности в условиях открытых горных разработок заземлению подлежат корпуса экскаваторов, буровых станков, насосов, конвейеров, трансформаторов, выключателей и другого электрооборудования; приводы коммутационной аппаратуры; вторичные обмотки измерительных трансформаторов; каркасы распределительных щитов, корпуса трансформаторных подстанций, переключательных пунктов; корпуса кабельных муфт, оболочки бронированных кабелей; опоры линий

электропередачи, осветительные устройства и т.д.

Открытые горные работы. Защитное заземление работающих в карьере стационарных и передвижных электрических установок, машин и механизмов напряжением до и свыше 1 кВ выполняется общим. Общая часть заземления стационарных и передвижных установок, машин и механизмов должна осуществляться путем непрерывного электрического соединения между собой заземляющих проводов и заземляющих жил гибких кабелей, с помощью которых заземляющие части присоединяются к заземлителям. Заземляющая сеть должна иметь автоматический контроль ее непрерывности.

Общее заземляющее устройство карьера состоит из центрального и местных заземляющих устройств. Центральные заземляющие устройства располагают у ГПП карьера или отдельно на борту его.

Центральное заземляющее устройство (главный заземлитель) представляет собой контур из заложённых в землю и соединённых между собой вертикальных электродов из стальных труб, угловой и круглой стали, стальных полос и т. п.

В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы диаметром 3-5 см и угловая сталь от 40х40 до 60х60 мм длиной 2,5-3 м, стальные прутки диаметром 12 -16 мм и длиной до 10 м. В районах с вечной мерзлотой главный заземлитель выполняют с использованием скважинных заземлителей в коренных породах. Скважинный глубинный заземлитель в мерзлых коренных осадочных породах (рис. 1) представляет собой скважину диаметром 100-250 мм и глубиной до 50 м, в которую с помощью груза опускают шину. Затем скважину забивают смесью мелкодисперсного грунта (глина, мелкий песок, буровой шлам) с добавлением поваренной соли. В устье скважины помещают отрезок трубы, к которой приваривают вывод заземлителя. В верхнем, наносном слое на глубине 0,2-0,3 м устраивают протяженные (до 50 м) траншейные полосовые заземлители (рис. 2), а в водоемах устраивают стержневые или листовые (площадью 0,75 м², толщиной 5 мм) заземлители (рис. 3). Верхние концы погруженных в землю вертикальных электродов соеди-

няют с помощью сварки стальной полосой или круглой сталью.

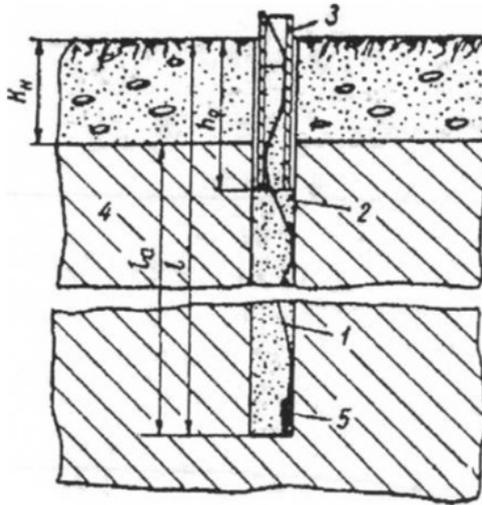


Рис. 1. Скважинный глубинный заземлитель в мерзлых осадочных породах (глинистые и песчано-глинистые сланцы):

H_n – мощность слоя рыхлых отложений; l – глубина заложения;

l_0 – протяженность контакта с коренными породами;

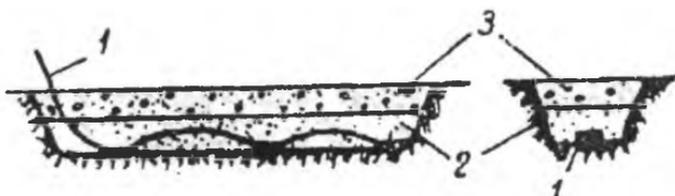
$h_0 = H_n + (1.5 + 2)$ – глубина обсадки, м; l – заземлитель;

2 – заполнитель; 3 – обсадная труба; 4 – коренные породы; 5 – груз

Передвижные переключательные пункты ПКТП 6 - 10/0,4 кВ и другие передвижные установки, расположенные в карьере с удельным сопротивлением грунта свыше 200 Ом·м, должны заземляться присоединением к одному из центральных заземляющих устройств. Общее сопротивление заземления любого потребителя электроэнергии должно быть не более 4 Ом.

Если удельное сопротивление грунта в карьере меньше или равно 200 Ом·м, то все потребители электроэнергии должны дополнительно заземляться путем подсоединения их к местным заземляющим устройствам, выполненным непосредственно у передвижных объектов. Сопротивление местных заземляющих устройств не нормируется.

Примерная схема устройства защитного заземления на карь-



ере приведена на рис. 4.

Рис. 2. Траншейный заземлитель:

1 – стальная полоса; 2 – наполнитель; 3 – грунт

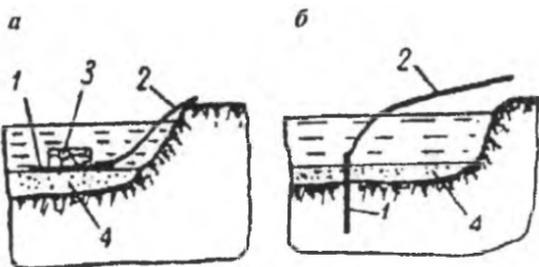


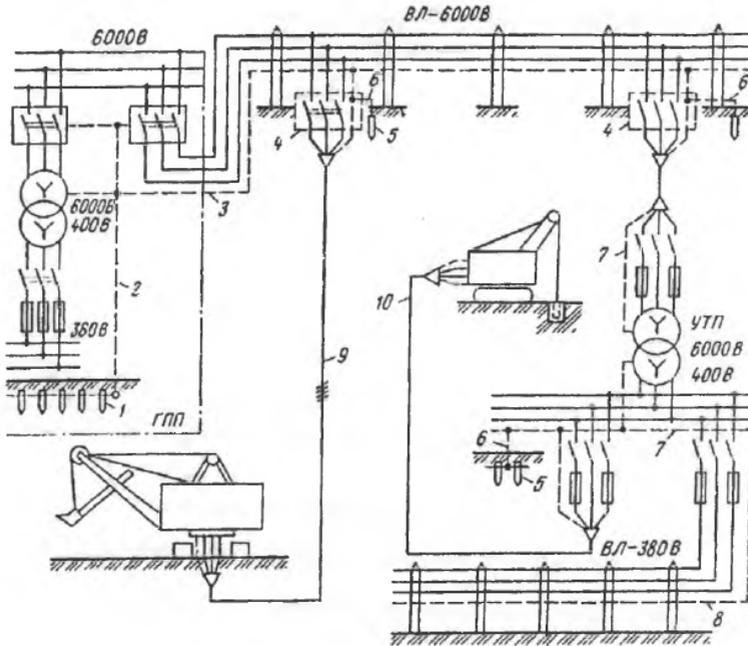
Рис. 3. Листовой (а) и стержневой (б) заземлители в водоеме: 1 – заземлитель; 2 – заземляющий проводник; 3 – груз; 4 – илистое дно

В районах со скалистым грунтом и вечной мерзлотой с удельным сопротивлением грунта более $500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ допускается увеличение нормируемого сопротивления защитного заземления, но не более десятикратного (т. е. не более 40 Ом). В качестве магистральных заземляющих проводов, прокладываемых на опорах воздушных линий электропередачи в карьере, рекомендуется применять для стационарных установок стальные однопроволочные и сталеалюминевые провода, для передвижных установок – алюминиевые и сталеалюминевые провода.

Сечение магистральных заземляющих проводов: стальных однопроволочных диаметром не менее 6 мм , стальных многопроволочных, сталеалюминевых и алюминиевых проводов – не менее 35 мм^2 . Заземление передвижных горных машин и электроустановок выполняется через четвертую (заземляющую) жилу питающего ка-

беля.

Передвижные горные машины и пункты их электропитания, выполненные на металлическом ходу (гусеницы, колеса, лыжи, салазки, опорные базы и т. п.), имеют непосредственное соприкосновение с поверхностью грунта и представляют собой естественные заземлители, включенные параллельно искусственным заземли-



телям.

Рис. 4. Примерная схема защитного заземления на карьере:

- 1 – главный заземлитель; 2 – заземляющие шины ГПП;
- 3 – заземляющий провод; 4 – переключательные пункты;
- 5 – местные заземлители; 6 – отводы от местных заземлителей;

7 – заземляющие жилы УТП; 8 – заземляющий провод; 9 – кабель КГЭ; 10 – кабель

Наибольшее сопротивление такая непрерывная сеть будет иметь в наиболее удаленной от центрального заземлителя точке, т.е. у наиболее удаленной горной машины (экскаватора, бурового стан-

ка), работающей на уступе.

Согласно ПУЭ, сопротивление растеканию общего заземляющего устройства, используемого для заземления электроустановок различных напряжений и назначений, должно удовлетворять требованиям к заземлению оборудования, для которого наименьшее сопротивление растеканию должно быть не более 4 Ом. Указанная величина была принята в предположении стечения всего тока однофазного замыкания в землю и протекания его в две неповрежденные фазы через их активные проводимости и емкость относительно земли.

Характерной особенностью общих сетей заземления карьеров является их непрерывность и расположение в непосредственной близости к токоведущим каналам силовой и осветительной сети на всем их протяжении. Вследствие этого общая сеть заземления представляет собой заземленный экран. На участках, на которых экран полностью охватывает токоведущие каналы (трансформаторы, аппараты, бронированные и экранированные гибкие кабели, электродвигатели), – экранирование полное; на других участках (воздушные линии, неэкранированные гибкие кабели) – экранирование частичное. Эта особенность выполнения общей сети заземления обуславливает весьма незначительную долю участия проводимости токоведущих каналов относительно земли в создании тока однофазного замыкания и сводит практически к нулю вероятность непосредственных замыканий токоведущих каналов на землю. Повреждение электроустановок карьеров приводит, как правило, к замыканию на общую сеть заземления.

При однофазных замыканиях на общую сеть заземления, частично экранирующую электроустановку, образуются две параллельные цепи тока:

в первой цепи ток I' точки замыкания по сети заземления и заземлителем стекает в землю и возвращается в две неповрежденные фазы через их проводимости относительно земли;

во второй цепи ток I'' от точки замыкания протекает по сети заземления и возвращается в две неповрежденные фазы через их проводимости относительно общей сети заземления.

Правила безопасности регламентируют только общее переходное сопротивление сети заземления и не предъявляют никаких требований к переходным сопротивлениям отдельных заземлителей – центрального (главного) и местных заземляющих устройств. При периодических измерениях сопротивления сети контролируется общее переходное сопротивление от точки присоединения измерительного устройства до земли, определяемое сопротивлениями центрального и местных заземляющих устройств, переходными сопротивлениями опорных поверхностей оборудования, а также сопротивлениями соединительных заземляющих проводников.

Таким образом, Правила безопасности регламентируют и предъявляют требование периодического контроля величины переходного сопротивления относительно земли только первой цепи тока. Такое требование возникло из предположения, что весь ток однофазного замыкания стекает в землю по этой цепи. Исследования действия защитного заземления в условиях карьеров, выполненные в МГИ – МГГУ, показали, что в землю стекает не более 20-25 % всего тока однофазного замыкания.

Следовательно, пренебрегать второй цепью тока замыкания на сеть заземления недопустимо, особенно для горных предприятий с высокими удельными сопротивлениями горных пород.

Классификация заземляющих сетей. Сети защитного заземления карьеров тесно связаны с системой внутреннего электроснабжения, которая определяется глубиной и площадью карьерного поля, количеством машин и механизмов и принятой технологией ведения открытых горных работ. Частое и постоянное передвижение карьерных электроустановок и связанное с ним передвижение всех элементов карьерных сетей существенно усложняет выполнение защитного заземления на карьерах.

На большинстве карьеров принята следующая схема электроснабжения приемников: фидер питающей подстанции или секция кольца при бортокольцевой схеме электроснабжения карьера – воздушная распределительная сеть – пункт питания (переключательный пункт или передвижная трансформаторная подстанция) – гибкий шланговый кабель – вводной ящик или кольцевой токоприемник

передвижной рабочей машины (экскаватора, бурового станка и т. п.). Благодаря такой специфической схеме электроснабжения карьерных электроустановок, отличной от общепромышленных схем, соответственно отличается и конструктивное выполнение сети защитного заземления. В случае питания от сетей напряжением свыше 1 кВ передвижные электроустановки связаны через заземляющую жилу гибких кабелей с корпусами передвижных трансформаторных подстанций или переключательных пунктов. Передвижные подстанции и переключательные пункты, в свою очередь, связаны между собой магистральным заземляющим проводником (тросом), проложенным по опорам воздушных ЛЭП.

Местные (индивидуальные) или местное выносное заземление применяется на карьерах наиболее часто и выполняется заземлителями, располагаемыми вблизи объектов, подлежащих заземлению (у карьерных распределительных пунктов, передвижных трансформаторов, приключательных пунктов и т. д.) (рис. 5, а, б). При невозможности выполнить местное заземление непосредственно у электроприемника вследствие повышенной крепости и высоких удельных сопротивлений горных пород, его выносят на уступ или борт карьера в место с рыхлым грунтом, имеющим более высокую проводимость.

На крупных карьерах с большим числом машин и механизмов, с высокой концентрацией передвижного электромеханического заземляющего устройства у ГПП (рис. 5, в) или выносного с размещением нескольких отдельных групповых заземляющих устройств в грунтах с высокой проводимостью (рис. 5, г), нередко в целях экономии средств и сокращения расхода металла в качестве ЦЗУ используется контур заземления подстанции или заземлитель сооружается на поверхности за технологической границей месторождения.

Отличие ЦЗУ состоит в том, что оно является общим для группы объектов, подлежащих заземлению. Магистральный заземляющий проводник при этом прокладывается по опорам воздушной линии ниже фазных проводов и крепится на крюках без изоляторов. Единые правила безопасности, и Инструкция допускают устройство нескольких групповых центральных заземляющих очагов, обеспечи-

вающих норму сопротивления растеканию общей сети заземления. Такой тип заземляющих устройств наиболее целесообразно применять на крупных карьерах со значительными площадями и большими расстояниями от питающих подстанций.

Комбинированные и смешанные схемы заземляющих устройств (рис. 5, д, е) выполняются аналогично схемам (см. рис. 5, в, г) с дополнительным устройством ряда местных заземлителей вдоль линий электропередачи и непосредственно у каждого электроприемника карьера. Местные заземлители устраивают в местах с низкими удельными сопротивлениями горных пород.

Борто-кольцевые комбинированные системы электроснабжения карьеров определили соответственно выполнение кольцевых схем сетей заземления (рис. 5, ж). Кольцевые схемы карьерных сетей заземления выполняются аналогично магистральным схемам при помощи троса, прокладываемого ниже фазных проводов. Такая схема общей сети заземления включает ЦЗУ, расположенное у главной подстанции, и две отходящие от него магистральные линии заземления, соединяемые между собой внутри карьера. К магистральному заземляющему проводнику (тросу) присоединяют корпуса ПКТП, переключательных пунктов (ПП). К корпусам последних присоединяют с помощью заземляющих жил гибких кабелей корпуса горных машин, местные заземлители (МЗ).

Рассмотренные выше схемы выполнения карьерных сетей защитного заземления можно разделить на три группы:

местные (индивидуальные) заземляющие устройства, не имеющие связи с общей сетью заземления (см. рис. 5 а, б);

магистральные заземляющие сети с ответвлениями, присоединенные к одному из ЦЗУ, расположенных на борту карьера или внутри него (с местными заземлителями внутри карьера или без них) (см. рис. 5, в-е);

кольцевые заземляющие сети, соединенные с центральным заземляющим устройством и с местными заземлителями внутри карьера или без них (см. рис. 5, ж). Наибольшее распространение на горных предприятиях получили магистральные схемы сетей защитного заземления.

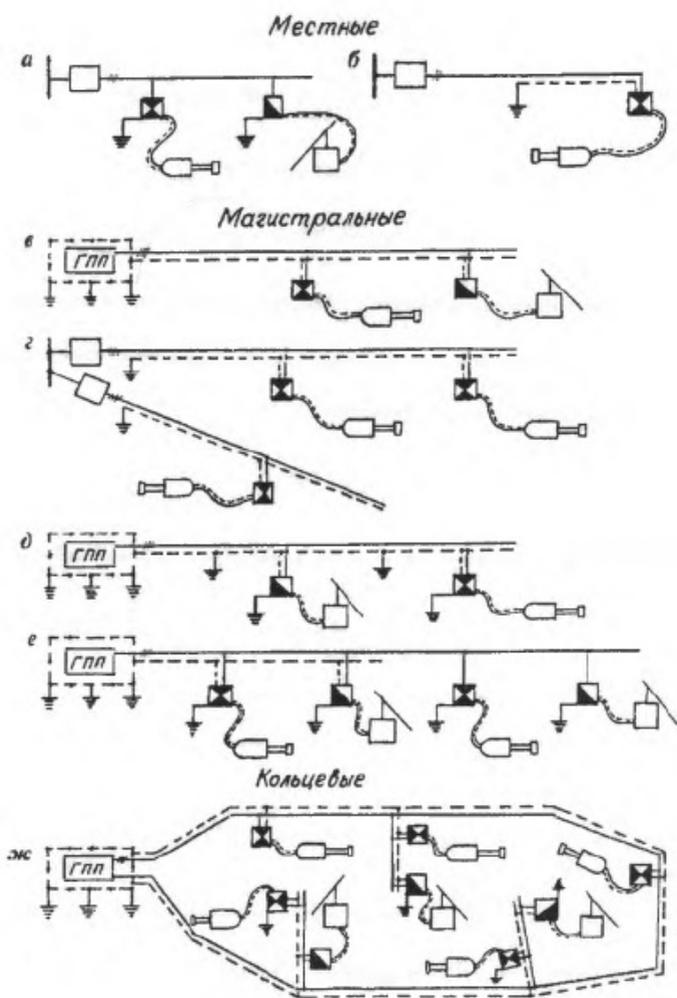


Рис. 5. Схемы сетей заземления на карьерах

Подземные горные работы. Защитное заземление выполняют с помощью заземляющих устройств, состоящих из заземлителя и заземляющих проводников. Заземлению в подземных выработках подлежат все металлические части, кроме нетоковедущих рельсов и

металлической крепи.

Защитное заземление состоит из двух или нескольких заземлителей (с учетом резервирования на периоды ремонта или наладки) достаточно малого сопротивления и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые конструкции с заземлителем. Сопротивление заземляющего устройства суммируется из сопротивления растеканию тока заземлителя и сопротивления заземляющих проводников.

Общее переходное сопротивление сети заземления $R_{НОМ}$ не должно превышать 2 Ом, за исключением шахт, находящихся в районах многолетней мерзлоты, в которых устройство заземления и величина его сопротивления должны соответствовать местной инструкции.

Если в подземных выработках шахт, расположенных в районах многолетней мерзлоты, удельное сопротивление грунта в наиболее неблагоприятное время года $\rho > 500$ Ом·м, то разрешается повышать допустимую минимальную величину переходного сопротивления заземления:

$$R_{ДОП} \leq R_{НОМ} \frac{\rho}{500}$$

где $R_{НОМ}$ – переходное сопротивление заземляющего устройства; ρ – наименьшее значение удельного сопротивления породы, Ом·м.

Полученная величина допустимого сопротивления заземляющего устройства должна быть проверена по току однофазного замыкания на землю по формуле:

$$R_{ДОП} \leq 125/I_K$$

где I_K - расчетный ток однофазного замыкания на землю, А. За допустимую величину $R_{ДОП}$ окончательно принимают наименьшую из двух рассчитанных формул, но не более 40 Ом.

В подземных выработках шахт примеряют протяженные заземлители с расположением их в местах наименьшего удельного сопротивления грунта в зумпфах, водосборниках, сточных канавах и др. (рис. 6).

Главные заземлители устанавливают в зумпфе или водосбор-

нике. Их изготавливают из стальной полосы с площадью поверхности не менее $0,75 \text{ м}^2$, толщиной не менее 5 мм и длиной не менее 2,5 м.

Местные заземлители устанавливают у группы или одиночно стоящего оборудования, подлежащего заземлению. Сопротивления отдельных местных заземлений не нормированы ПБ, поэтому пригодным к эксплуатации следует считать любое местное заземление независимо от переходного сопротивления, выполненное в соответствии с ПБ.

Для местного заземления в сточных канавах следует устанавливать стальные полосы площадью не менее $0,6 \text{ м}^2$, толщиной не менее 3 мм и длиной не менее 2,5 м. В выработках, где нет сточных канав, пробуривают шпур на глубину до 1,4 м и в него вставляют стальную трубу длиной 1,5 м и диаметром не менее 30 мм. Стенки труб должны иметь не менее 20 отверстий диаметром 5 мм. Трубу и пространство между трубой и стенками шпура заполняют смесью гигроскопического материала.

От заземлителя вблизи его концов для подключения заземляющих проводников выполняют не менее двух отводов, которые присоединяют к общешахтной магистрали.

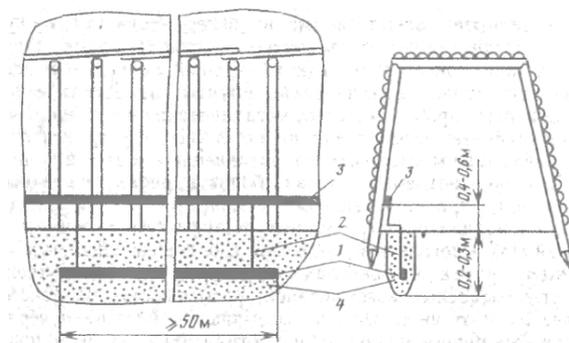


Рис. 6. Устройство главного протяженного заземлителя в подземных выработках: 1 – стальная полоса сечением $>100 \text{ мм}$ и толщиной $> 3 \text{ мм}$; 2 – заземляющие проводники; 3 – общешахтная заземляющая магистраль; 4 – смесь гигроскопического материала с добавлением 10–15 % соли

При питании подземных выработок кабелем, проложенных

по буровым скважинам, главный заземлитель можно установить на поверхности.

Естественными заземлителями на поверхности могут служить обсадные трубы геологоразведочных и гидробуровых скважин. Металлические конструкции зданий и сооружений, частично находящиеся в почве.

Искусственные заземлители на поверхности устанавливают в местах с наименьшим удельным сопротивлением земли: в непромерзающих до дна водоемах, озерах, болотах, реках, в сточных канавах административно-бытовых комбинатов и на площадках, расположенных в районах подмерзлотных зон. В районах многолетней мерзлоты с большим удельным сопротивлением грунта в пределах территории шахты допускается устройство выносных заземлителей, размещаемых на расстоянии не более 2 км от места вывода заземляющей сети на поверхность в местах с меньшим удельным сопротивлением земли: в невымерзающих озерах, болотах, реках или в море. Конструкция и монтаж заземлителей должны быть выполнены в полном соответствии с местной инструкцией. Местные заземлители в условиях многолетней мерзлоты допускается не устраивать (рис. 7).

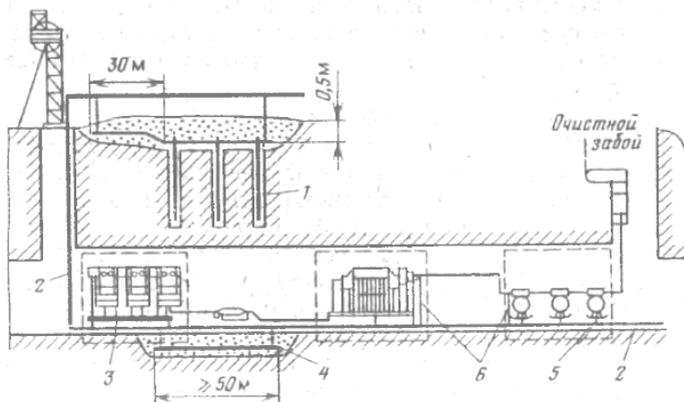


Рис. 7. Принципиальная схема заземления в условиях многолетней мерзлоты: 1 – заземлитель на поверхности; 2 – магистраль заземления; 3 – контур заземления в подземной подстанции; 4 – заземлитель в шахте; 5 – заземляющие проводники

При агрессивной среде или усиленной коррозии следует

применять омедненные или оцинкованные заземлители и заземляющие проводники.

Заземлители с заземляющими магистралями, идущими в шахту, следует соединять не менее чем двумя проводниками, присоединенными к каждому заземлителю по возможности в противоположных местах. Шахтные заземлители (или подземная магистраль заземления) должны быть соединены с поверхностными заземлителями стальным канатом сечением (по металлу) не менее 100 мм² или полосовой (круглой) сталью того же сечения. Если в шахте несколько горизонтов, их заземляющие сети должны быть объединены вышеуказанным способом, а при наличии заземлителей на поверхности – соединены с ними. Все соединения (должны быть доступны для осмотра).

В качестве общей заземляющей магистрали допускается использовать заземляющую жилу магистральных кабелей, но при условии, что такую жилу имеют все используемые в шахте кабели (например, марок ЭВТ, ПВШЭ, ГРШЭ, ГРШС) и имеется устройство автоматического контроля целостности цепи заземлителя.

Высокое качество заземления достигается качественным устройством главных и местных заземлителей и заземляющей сети, а также параллельным соединением всех местных и главных заземлителей шахты в общешахтную сеть заземления.

Заземление передвижного и переносного электрооборудования осуществляют соединением его корпусов с: общешахтной сетью заземления через заземляющие жилы гибких кабелей. Жилы присоединяют к заземляющим зажимам во входных устройствах рудничных электротехнических изделий.

Местные заземлители у передвижного и переносного электрооборудования не устраивают.

Методы измерения сопротивления заземляющих устройств

Ток от заземлителя, оказавшегося под напряжением, растекается в земле по всем направлениям. Вблизи заземлителя плотность тока и, значит, падения напряжения на единицу длины наибольшие, а на некотором расстоянии (в шахте обычно 15 – 20 м) практически равны нулю. Зона внутри окружности радиусом 15-20 м от заземли-

теля называется «зоной растекания», а за ее пределами – «зоной нулевого потенциала» (рис. 8).

Сопротивление каждого заземляющего устройства складывается от переходного сопротивления заземлителя R_3 , и сопротивления заземляющих проводников $R_{Д}$ сети заземления. Сопротивление заземлителя R_3 представляет собой сопротивление растеканию тока I_3 заземлителя в землю:

$$R_3 = U_3 / I_3$$

где U_3 - напряжение заземлителя, т. е. напряжение между заземлителем и зоной нулевого потенциала земли, В.

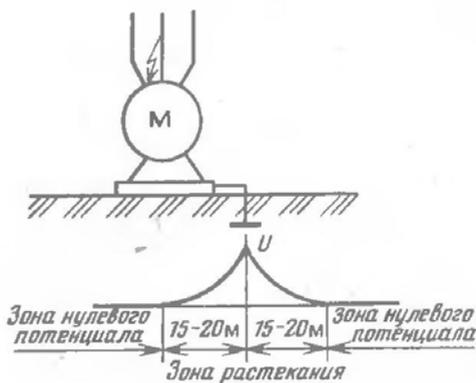


Рис. 8. График изменения потенциала «земли» при пробое токоведущей части на корпус в районе местного заземлителя, оказавшегося под напряжением

В практике обычно применяют два метода определения сопротивления заземления: метод амперметра – вольтметра и метод компенсации (по мостовой схеме).

Для замера переходного сопротивления заземляющего устройства необходимо иметь: измеритель заземления; напильник; два отрезка гибкого изолированного медного провода сечением 2,5-4,0 мм², длиной 25-30 м; отрезок медного изолированного провода сечением 6-10 мм²; два медных штыря по 0,7 м, один конец которых заострен и залужен на длину 0,3-0,4 м, а другой снабжен зажимом для провода.

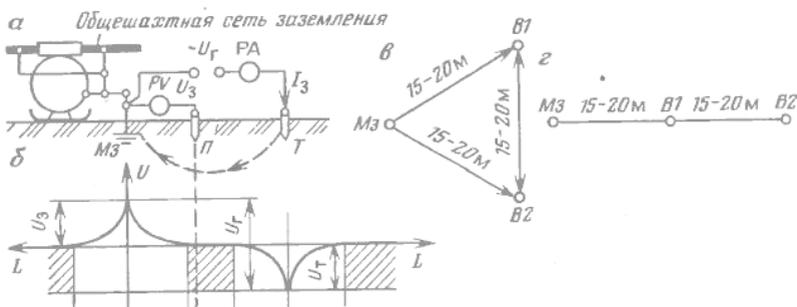


Рис. 9. Схема измерения переходного сопротивления заземлителей (а) и распределения потенциалов при измерении (б), расположение вспомогательных электродов относительно местного заземлителя двулучевое (в) и однолучевое (г)

Штыри – вспомогательные электроды или заземлители – забивают в почву на глубину 0,3-0,5 м (желательно в сырые места) под прямым углом. Забивать следует, не раскачивая электроды, чтобы не ухудшить их контакт с землей. Допускается помещать электроды в водосточную канаву, присыпая углем или породой. Для расположения вспомогательных электродов существуют два варианта (рис. 9, в, г).

Меры безопасности

Организационные мероприятия. К проведению измерений сопротивления растеканию тока заземляющих устройств допускается персонал, прошедший специальную подготовку и проверку знаний и требований "правил устройства электроустановок" (ПУЭ), "Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей" (ПТЭЭП), "Межотраслевых правил по охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок", включая раздел 5. "Испытания и измерения", "Инструкции по охране труда для электромонтеров по испытаниям и измерениям", "Методики измерения сопротивления растеканию тока заземляющих устройств", технических описаний и инструкций по эксплуатации на применяемые приборы.

Работа по измерениям сопротивления растеканию тока заземляющих устройств выполняется по наряду-допуску или по распоряжению. Измерения проводит бригада, в которой производитель работ

должен иметь группу по электробезопасности IV, члены бригады – III.

При измерениях сопротивления растеканию тока заземляющих устройств на территории действующих РУ с использованием выносных токовых и потенциальных электродов должны приниматься меры, исключающие однофазное замыкание во время проведения измерений. Бригада, проводящая измерения, должна применять защитные средства – диэлектрические боты, диэлектрические перчатки, пользоваться ручным изолирующим инструментом.

При сборке измерительной схемы соединительные провода, в первую очередь присоединять к вспомогательным электродам (токовым, потенциальным), затем к измерительному прибору и только после этого к заземляющему устройству (заземлителю).

Работы по измерениям характеристик заземляющих устройств должны выполняться в соответствии с действующими Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок. Работы по измерениям электрических характеристик заземляющих устройств должны выполняться по нарядам или распоряжениям.

Технические мероприятия. При измерениях на действующих РУ с использованием вынесенных токовых и потенциальных электродов должны приниматься меры по защите от воздействия полного напряжения на заземлителе при стекании с него тока однофазного КЗ на землю. Персонал, производящий измерения, должен работать в диэлектрических ботах, диэлектрических перчатках, пользоваться инструментом с изолированными ручками. При сборке измерительных схем следует сначала присоединять провод к вспомогательному электроду (токовому, потенциальному) и лишь затем к соответствующему измерительному прибору.

При выполнении измерений применяют средства измерений и другие технические средства:

- измеритель сопротивления заземления;
- боты диэлектрические;
- перчатки диэлектрические;
- защитная каска;
- инструмент с изолирующими рукоятками.

Нормируемые величины

Согласно ПУЭ. Раздел 1. Глава 1.8, параграф 1.8.39 по п. 5:
Значения сопротивления заземляющих устройств с подсоединенными естественными заземлителями приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения сопротивления заземляющих устройств

Вид электроустановки	Характеристика электроустановки	Сопротивление, Ом
1. Подстанции и распределительные пункты напряжением выше 1 кВ	Электроустановки электрических сетей с глухозаземленной и эффективно заземленной нейтралью	0,5
	Электроустановки электрических сетей с изолированной нейтралью, с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор	$250/I_p$ *
2. Электроустановки напряжением до 1 кВ	Электроустановки с источниками питания в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью (или средней точкой) источника питания (система TN):	
	- в непосредственной близости от нейтрали	15/30/60 **
	- с учетом естественных заземлителей и провальных заземлителей отходящих линий	2/4/8 **
	Электроустановки в электрических сетях с изолированной нейтралью (или средней точкой) источника питания (система IT)	$50/I$ ***, более 4 Ом не требуется
3. Воздушные линии электропередач напряжением выше 1 кВ	Заземляющие устройства опор ВЛ при удельном сопротивлении грунта, r , Ом·м:	
	- до 100	10
	- более 100 до 500	15
	- более 500 до 1000	20
	- более 1000 до 5000	30
- более 5000	$r \times 6 \times 10^{-3}$	

Вид электроустановки	Характеристика электроустановки	Сопротивление, Ом
4. Воздушные линии электропередач напряжением до 1 кВ	Заземляющие устройства опор ВЛ с вторными заземлителями <i>PEN (PE)</i> – проводника	30

I_p^* - расчетный ток замыкания на землю;

** - соответственно при линейных напряжениях 660, 380, 220 В;

I^{***} - полный ток замыкания на землю.

Приборы и порядок проведения измерений

Прибор для измерения сопротивления заземления **M416/1** (рис. 10) в искробезопасном исполнении имеет пределы измерения 0,1–1000 Ом. При положениях переключателя $x1$, $x5$, $x20$ и $x100$ прибор имеет соответственно пределы: 0,1–10; 0,5–50; 2–200 и 10–1000 Ом. Основная погрешность прибора не превышает $\pm (5 N/R_x) \%$ от измеряемой величины R_x (N – конечное значение диапазона, Ом). Питается прибор от сухих элементов (3 шт. \times 1,5 В), потребляя ток не более 70 мА. Один комплект питания обеспечивает не менее 1000 измерений. Напряжение на зажимах прибора при разомкнутой внешней цепи 15 В. На лицевой стороне прибора расположены ручка переключателя пределов измерения, ручка реохорда, кнопка включения прибора, индикатор и четыре зажима для подключения измеряемого заземления.

Действие прибора основано на компенсационном методе измерения с применением вспомогательного **T** и потенциального **II** заземлителей, т. е. на принципе моста.

Прибор состоит из трех основных функциональных узлов: источника постоянного тока батарейного типа G_n ; преобразователя постоянного тока в переменный (генератора) и измерительного устройства.

При измерении сопротивления выход преобразователя тока (усилителя мощности) подключается к вспомогательному заземлителю **T** (зажим 4) и через первичную обмотку выходного трансформатора *TV3* к измеряемому заземлителю **M₃** (зажим 1).

отсчет измеряемого сопротивления. Диапазон измерения расширяют путем переключения резистора и изменения коэффициента трансформации трансформатора.

Перед измерением прибор, не подключая к заземлителям, устанавливают горизонтально, переключатель – в положение «Контроль 5 Ом», затем нажимают кнопку *SBI* и, медленно поворачивая ручку «Реохорд», добиваются установки стрелки индикатора на нуль. При этом на шкале реохорда должно быть показание $5 \pm 0,35$ Ом. Если показание отличается от этой величины, то проверяют напряжение источника питания. При напряжении источника 3,8—4,8 В отсутствие нормального показания проверяемого прибора свидетельствует о его неисправности.

К прибору, удовлетворяющему нормам, подключают измеряемый **М_з** и вспомогательные заземлители **Т** и **П**. К измеряемому заземлителю прибор следует располагать возможно ближе. В грунтах с высоким удельным сопротивлением (сухие песчаники и т. п.) результаты измерения будут ориентировочными.

Для измерения переключатель пределов измерения следует установить в положение **Х1**, нажать кнопку контроля и, поворачивая ручку «Реохорд», добиться максимального приближения стрелки индикатора к нулевой отметке шкалы. Снять результат измерения по шкале реохорда.

При измерении больших сопротивлений переключатель переводят на соответствующий предел и результат измерения умножают соответственно на 5, 20 или 100.

Измерение целостности цепей с использованием прибора **МИС-3** (рис.2 стр. 14)

Все защитные проводники, включая заземляющие устройства и проводники уравнивания потенциалов, не должны иметь обрывов и неудовлетворительных контактов в местах их присоединения к открытым и сторонним проводящим частям. В соответствии с ГОСТ Р 50571.16-99, непрерывность защитных проводников при приемосдаточных испытаниях электроустановок проверяется измерением полного сопротивления цепи «фаза-нуль» или тока однофазного замыкания на корпус или РЕ-проводник. Непрерывность защитных

проводников считается обеспеченной, если ток однофазного замыкания приводит к срабатыванию коммутационно-защитных аппаратов в течение нормированного времени отключения питания. Однако, непрерывность заземляющих проводников и проводников систем уравнивания потенциалов не всегда возможно проверить указанным методом (например, проводники системы уравнивания потенциалов). В этом случае необходимо измерить переходные сопротивления разборных контактных соединений в этих проводниках. Согласно «Норм испытаний электрооборудования и аппаратов электроустановок потребителей» сопротивление контактных соединений не должно превышать 0,05 Ом. Пункт № 26.1 раздела «Заземляющие устройства» «Норм испытаний электрооборудования и аппаратов электроустановок потребителей».

При профилактических испытаниях непрерывность защитных проводников проверяется только измерением сопротивления контактных соединений.

Наличие цепи (металлической связи) между защитными проводниками и проводящими частями определяется измерением сопротивления контактных соединений.

Для измерения целостности измеряемой цепи переключатель функций следует установить в позицию $R_{CONT-200mA}$

Измерительный ток в данной функции увеличен до значения более 200 мА. Измерение производится подсоединением измерительных проводов к измеряемому объекту (см. рис. 12). Последующее измерение запускается отсоединением и повторным подключением одного из измерительных проводов, либо нажатием клавиши *START*.

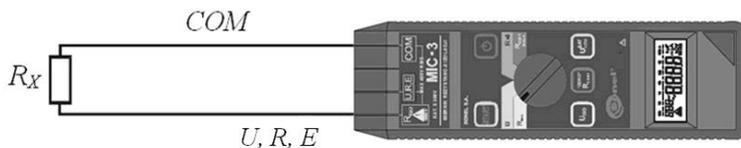


Рис. 12. Измерение целостности цепей

Измерение сопротивления заземляющего устройства с помощью прибора *MPI-520* (рис. 13).



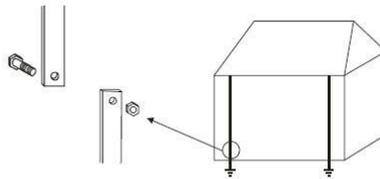
Рис. 13 MPI-520 (Передняя панель)

Подключение поврежденных или нестандартных измерительных проводов, в частности, не рассчитанных на высокое напряжение, грозит поражением электрическим током или очень большими погрешностями измерения.

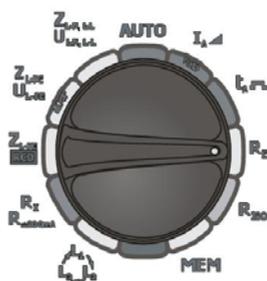
Перед подключением измерителя к объекту, убедитесь в отсутствии на нем напряжения!

Измерение сопротивления заземляющих устройств базируется на 3-х (трех) полюсном методе измерения.

1. Отсоедините измеряемое заземляющее устройство от системы.



2. Установите поворотный переключатель в режим R_E .



3. Установите токовый зонд и подключите к разъему *H* измерителя. Установите потенциальный зонд и подключите к разъему *S* измерителя. Подключите измеряемое 3У к разъему *E* измерителя в соответствии с рис. 14. Соблюдайте однолинейность устанавливаемых зондов.

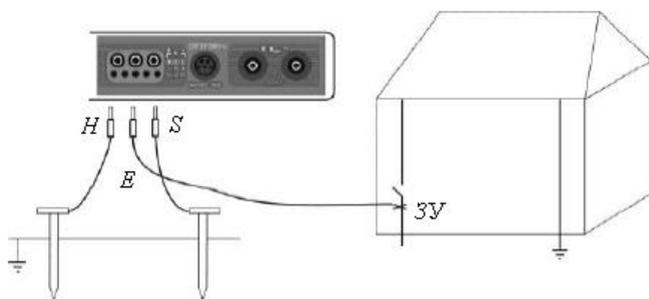


Рис. 14. Измерительная схема

4. Нажмите клавишу *FI* для выбора значения измерительного напряжения. Установите необходимое значение измерительного напряжения и нажмите клавишу *ENTER* в соответствии с рис. 15.

5. Для начала измерения нажмите клавишу *START*.

6. Результат измерений рис. 16.



Рис. 15. Выбор измерительного напряжения



Рис. 16. Результат измерения

Измерение сопротивления возможно только в случае, если напряжение помех не превышает 24 В. Предел измерения напряжения помех – 100 В. Напряжение в диапазоне свыше 50 В сигнализируется как опасное.

Не подключайте прибор к объектам, напряжение на которых превышает 100 В.

Особое внимание должно быть уделено качеству соединения исследуемого заземлителя с измерительными проводниками. Место контакта должно быть очищено от краски, ржавчины, и т. п.

Особенно большая ошибка измерения возникает, если измеряется малая величина заземляющего устройства зондами, которые имеют слабый контакт с грунтом (такая ситуация возникает, если заземлитель является хорошим проводником, в то время как верхний уровень грунта сухой и имеет плохую проводимость).

Контакт измерительных щупов с грунтом может быть улуч-

шен, например, увлажнением водой места, где установлен щуп в грунт или перестановкой щупа в другое место поверхности грунта.

Измерительный провод должен быть также проверен: нет ли повреждений изоляции или не нарушен ли контакт с клеммой щупа, подключен ли зажим к измерительному щупу, не разрушен ли коррозией контакт.

Если сопротивление H и S электродов или одного из них превышает 19,9 кОм, то на дисплее появится соответствующее сообщение.

Возможные сообщения, отображаемые на экране измерителя:

$R_t > 1,99 \text{ k}\Omega$	Превышен диапазон измерений
$U_n!$	Напряжение на измеряемом объекте превышает 24В, но меньше 40В, измерение приостановлено.
$U_n > 50 \text{ V!}$ Продолжительный звуковой сигнал	Напряжение на измеряемых разъемах превышает 50 В.
NOISE!	Превышен диапазон допустимого уровня помех – результат может быть недостоверным, в связи с появлением дополнительной погрешности.
LIMIT!	Отношение сопротивления электродов к сопротивлению заземляющего устройства $> 30\%$.
	Разрыв в измерительной цепи или сопротивление измерительных зондов превышает 60 кОм
Electrode resistance $> 50 \text{ k}\Omega$	Сопротивление зондов находится в пределах 50...60 кОм.
Aborted!	Измерение было прервано нажатием клавиши ESC

Порядок выполнения работы

По заданию преподавателя выбирается объект измерения сопротивления заземляющего устройства и один из приборов описанных в предыдущем разделе

Удостовериться в непрерывности защитных проводников. Произвести измерения и рассчитать сопротивление заземляющего устройства.

Содержание отчета

Отчет по работе должен включать в себя:

1. формулировку цели работы;
2. краткую теоретическую часть;
3. результаты измерения и зависимости;
4. выводы о выполненной работе.

Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок. Главы 1.1, 1.2, 1.7–1.9, 2.4, 2.5, 4.1, 4.2, 6.1–6.6, 7.1, 7.2, 7.5, 7.6, 7.10 [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Москва: ЭНАС, 2015. — 552 с.

<https://e.lanbook.com/book/104571>

2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Москва : ЭНАС, 2016. — 280 с.

<https://e.lanbook.com/book/104555>

3. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Москва : ЭНАС, 2017. — 192 с.

<https://e.lanbook.com/book/104483>

Содержание

Введение.....	3
1.Измерение сопротивления изоляции.....	4
2. Измерение сопротивления заземляющего устройства.....	20
Библиографический список.....	46

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *А.В. Кривенко, С.В. Бабурин, Н.А. Королев*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
электроэнергетики и электромеханики

Ответственный за выпуск *А.В. Кривенко*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 11.04.2019. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,7. Усл.кр.-отт. 2,7. Уч.-изд.л. 2,4. Тираж 50 экз. Заказ 336. С 124.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2