

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Кафедра «Охрана труда»

**ОХРАНА ТРУДА.
ИССЛЕДОВАНИЕ, РАСЧЕТ
И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ**

**Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторной работы**

Гомель 2015

УДК 658.345 (075.8)
ББК 65.247
О-92

А в т о р ы: С. Н. Шатило, С. В. Дорошко, Т. В. Ивлева, В. В. Карпенко

Р е ц е н з е н т – зав. кафедрой «Автоматика и телемеханика» канд. техн.
наук, доцент **А. Н. Коврига** (УО «БелГУТ»)

Охрана труда. Исследование, расчет и проектирование защитного
О-92 заземления : учеб.-метод. пособие / С. Н. Шатило [и др.] ; М-во трансп.
и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель :
БелГУТ, 2015. – 48 с.

ISBN 978-985-554-422-8

Приведены краткие сведения из теории, описание приборов для исследова-
ния защитного заземления и порядок выполнения замеров, методика измерений
электрических параметров заземляющих устройств, методы расчета
защитного заземления электрического оборудования.

Предназначено для выполнения лабораторной работы по курсу «Охрана тру-
да» и самостоятельного изучения дисциплины студентами всех специальностей.

УДК 658.345 (075.8)
ББК 65.247

ISBN 978-985-554-422-8

© Оформление. УО «БелГУТ», 2015

1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Общие сведения

Корпуса электрических машин, трансформаторов, переносного электроинструмента, светильников и другие металлические нетоковедущие части электрических установок, нормально изолированные от токоведущих частей, при пробое изоляции оказываются под напряжением относительно земли. В таких аварийных условиях прикосновение к нетоковедущим частям установок равноценно прикосновению к токоведущим частям. Ток, протекающий через тело человека, при этом может превысить опасное значение и вызвать смертельный исход. Учитывая, что в ряде случаев прикосновение к нетоковедущим частям является нормальной рабочей операцией (например, корпус электроинструмента), то возникает опасность поражения электрическим током при пробое изоляции.

Устранение опасности поражения током при переходе напряжения на нетоковедущие части электроустановки в сетях с изолированной нейтралью достигается устройством защитного заземления и защитного отключения (УЗО).

В данном учебно-методическом пособии применяются следующие термины с соответствующими определениями.

Естественный заземлитель – заземлитель, в качестве которого используют электропроводящие части строительных и производственных конструкций и коммуникаций.

Заземленная нейтраль – нейтраль генератора (трансформатора), присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

Заземлитель – проводник или совокупность металлических соединенных проводников, находящихся в соприкосновении с землей или ее эквивалентом.

Заземляющий проводник – проводник, соединяющий заземляемые части с заземлителем.

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Защитный (PE) проводник – проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

Замыкание на землю – случайное соединение находящихся под напряжением частей электроустановки с конструктивными частями, не изолированными от земли, или непосредственно с землей.

Замыкание на корпус – случайное соединение находящихся под напряжением частей электроустановки с их конструктивными частями, нормально не находящимися под напряжением.

Зона растекания тока замыкания на землю – зона земли, за пределами которой электрический потенциал, обусловленный токами замыкания на землю, может быть условно принят равным нулю.

Изолированная нейтраль – нейтраль генератора (трансформатора), не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление.

Искусственный заземлитель – заземлитель, специально выполняемый для целей заземления.

Коэффициент замыкания на землю в трехфазной электрической сети – отношение разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания.

Магистраль заземления (зануления) – заземляющий (нулевой защитный) проводник с двумя или более ответвлениями.

Напряжение шага – напряжение между двумя точками цепи тока, находящихся одна от другой на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек.

Нулевой защитный проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ – проводник, соединяющий зануляемые части с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с заземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока.

Нулевой рабочий проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ – проводник, используемый для питания электроприемников и соединенный с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с заземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной средней точкой источника в трехпроводных сетях постоянного тока.

В электроустановках напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью нулевой рабочий проводник может выполнять функции нулевого защитного проводника.

Рабочая изоляция – электрическая изоляция токоведущих частей электроустановки, обеспечивающая ее нормальную работу и защиту от поражения электрическим током.

Рабочее заземление – заземление какой-либо точки токоведущих частей электроустановки, необходимое для обеспечения работы электроустановки.

Сверхнизкое (малое) напряжение – напряжение, не превышающее 50 В переменного тока и 120 В постоянного тока, применяемое в целях уменьшения опасности поражения электрическим током.

Совмещенные нулевой защитный и нулевой рабочий (PEN) проводники – проводники в электроустановках напряжением до 1 кВ, совмещающие функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.

Сопротивление заземляющего устройства – отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

Ток замыкания на землю – ток, проходящий через место замыкания на землю.

Усиленная изоляция – улучшенная рабочая изоляция, обеспечивающая такую же степень защиты от поражения электрическим током, как и двойная изоляция.

Эквивалентное удельное сопротивление земли с неоднородной структурой – такое удельное сопротивление земли с однородной структурой, при котором сопротивление заземляющего устройства имеет то же значение, что и в земле с неоднородной структурой.

Электроразщитные средства – переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги и электромагнитного поля.

Электроустановка – совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

Электротравма – травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

Электротравматизм – явление, характеризующееся совокупностью электротравм.

1.2 Требования безопасности при выполнении лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда при работе с установкой для исследования защитного заземления и ознакомленные с данным методическим пособием.

Инструктаж по охране труда проводит преподаватель, ведущий лабораторные занятия, после прохождения инструктажа каждый студент расписывается в журнале инструктажа.

Выполнение работы одним студентом в лаборатории не допускается.

Приступать к выполнению лабораторной работы необходимо только после ознакомления с порядком работы с приборами.

Не допускается производить переключение в приборах, не предусмотренное порядком выполнения работы. Изменять схему подключения приборов можно только после согласования с преподавателем.

1.3 Воздействие электрического тока на организм человека

При поражении человека электрическим током основным поражающим фактором является величина тока, проходящего через его тело.

Однако имеется и ряд других не менее опасных факторов. Классификация факторов, влияющих на исход поражения электрическим током, представлена на рисунке 1.

Условно различают три степени воздействия электрического тока на организм человека и три его пороговых значения: ощутимый, неотпускающий и фибрилляционный.

Ощутимый ток вызывает при прохождении через человека ощутимые раздражения. Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него переменного тока частотой 50 Гц значением 0,5–1,5 мА и постоянного тока значением 5–7 мА. Указанные значения тока являются *граничными* (пороговыми), с которых начинается область ощутимого воздействия.

Неотпускающий ток вызывает при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник.

Пороговым неотпускающим током называют наименьшее значение неотпускающего тока. Для переменного тока частотой 50 Гц оно составляет 10–15 мА. При этих значениях тока человек чувствует непереносимую боль, а судороги мышц руки оказываются настолько сильными, что он не в состоянии их преодолеть.

Фибрилляционный ток при прохождении через тело человека вызывает фибрилляцию сердца.

Фибрилляция (fibrillatio) – быстрое хаотическое сокращение многих отдельных мышечных волокон сердца, в результате которого сердце теряет способность к эффективным и синхронным сокращениям. Пораженный участок сердца после этого перестает нагнетать кровь. Фибрилляция может возникнуть независимо в предсердиях или желудочках сердца. Фибрилляция предсердий (atrial fibrillation) является типичной разновидностью аритмии; проявляется учащенным и неритмичным пульсом и сердцебиением. При фибрилляции желудочков (ventricular fibrillation) сердце перестает сокращаться. Чаще всего причиной такой фибрилляции является инфаркт миокарда.

Пороговым фибрилляционным током называют наименьшее значение фибрилляционного тока. Для переменного тока частотой 50 Гц фибрилляционным является ток от 100 мА до 5 А, пороговым – 100 мА. Для постоян-

ного тока пороговым фибрилляционным током считается ток 300 мА, верхним пределом – 5 А.



Рисунок 1 – Классификация факторов, влияющих на исход поражения человека электрическим током

Следует подчеркнуть, что эти данные справедливы при условии длительного прохождения тока через человека (не менее 2–3 с) по пути *рука – рука* или *рука – ноги*. Ток больше 5 А при постоянном напряжении и частотой 50 Гц фибрилляцию сердца, как правило, не вызывает. При протекании такого тока происходит немедленная остановка сердца, минуя состояние фибрилляции. Если воздействие тока было кратковременным (до 1–2 с) и не

вызвало паралич сердца, то сердце, как правило, самостоятельно возобновляет нормальную деятельность.

При большом токе, даже в случае кратковременного воздействия, наряду с остановкой сердца происходит и паралич дыхания.

Рост тока с увеличением времени его действия объясняется уменьшением сопротивления тела человека. Последствия воздействия тока на организм выражаются в нарушении функций центральной нервной системы, изменении состава крови, местном разрушении тканей организма под влиянием выделяющейся теплоты, нарушении работы сердца и легких и т. п.

В таблице 1 приведены характеристики физиологического воздействия тока в зависимости от его величины.

Т а б л и ц а 1 – Характеристики физиологического воздействия тока в зависимости от его величины

Ток, мА	Характер воздействия	
	Переменный ток частотой 50–60 Гц	Постоянный ток
0,6–1,5	Начало ощущения, легкое дрожание рук	Не ощущается
2–3	Сильное дрожание рук	Не ощущается
5–7	Судороги в руках	Зуд, ощущение нагрева
8–10	Руки с трудом, но можно оторвать от электродов. Сильные боли в пальцах, кистях рук	Усиление ощущения нагрева
20–25	Руки парализуются мгновенно, оторваться от электродов невозможно. Сильные боли, затрудняется дыхание	Еще большее усиление ощущения нагрева. Незначительные сокращения мышц рук
50–80	Паралич дыхания. Начало трепетания желудочков сердца	Сильное ощущение нагрева. Сокращения мышц рук, судорога. Затруднение дыхания
90–100	Паралич дыхания. При длительности 3 с и более – паралич сердца, трепетание желудочков	Паралич дыхания
3000 и более	Паралич дыхания и сердца при воздействии дольше 0,1 с. Разрушение тканей тела теплом тока	Паралич дыхания и сердца, трепетание желудочков
<i>Примечание</i> – Для постоянного тока пороговое значение неотпускающего тока составляет 50–80 мА.		

1.4 Виды поражения электрическим током

Многообразие действий электрического тока на организм человека нередко приводит к различным электротравмам, которые условно можно свести к двум видам:

– местные электротравмы, при которых возникает местное (локальное) повреждение организма;

– общие электротравмы, так называемый электрический удар, когда из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем поражается весь организм (или создается угроза поражения).

На рисунке 2 представлена классификация видов поражения электрическим током.



Рисунок 2 – Классификация видов поражения электрическим током

Примерное распределение несчастных случаев от электрического тока в промышленности по видам электротравм: 20 % – местные электротравмы; 25 % – электрические удары; 55 % – смешанные травмы, т. е. одновременно местные электротравмы и электрические удары.

Оба вида травм часто сопутствуют друг другу. Тем не менее, они различны и должны рассматриваться отдельно.

В зависимости от условий возникновения различают два основных вида ожога:

- *токовый* (или контактный) – возникает при прохождении тока непосредственно через тело человека;

- *дуговой* – обусловлен воздействием на тело человека электрической дуги.

Токовый (контактный) ожог возникает в ЭУ относительно небольшого напряжения – не выше 2 кВ. При более высоких напряжениях, как правило, образуется электрическая дуга или искра, которые и обуславливают возникновение ожога другого вида – дугового.

1.5 Причины поражения электрическим током

Основными причинами воздействия тока на человека являются:

- случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям;

- шаговое напряжение на поверхности земли в результате замыкания провода;

- прикосновение к нетоковедущим, но токопроводящим частям, оказавшимся под напряжением из-за неисправности изоляции или защитных устройств;

- нарушение правил технической эксплуатации электроустановок;

- механическое повреждение, старение, износ изоляции;

- преднамеренная порча изоляции;

- отсутствие или нарушение заземления, зануления;

- невыполнение организационных мероприятий, низкая квалификация, необученность персонала;

- отсутствие блокировок, ограждающих устройств, предупредительной сигнализации, надписей, плакатов, знаков безопасности;

- отсутствие или неправильное применение средств индивидуальной защиты (СИЗ).

1.6 Классификация производственных помещений и электроустановок по степени опасности поражения электрическим током

1.6.1 Классификация помещений по электробезопасности

Закрытые помещения согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) делятся по характеру окружающей среды: на электротехнические помещения, сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, пыльные, с химически активной и органической средой (таблица 2).

Т а б л и ц а 2 – Классификация электроопасности помещений по характеру окружающей среды

Класс помещения	Характеристика помещения
Электропомещение	Помещения доступны только для квалифицированного персонала и в которых расположены электроустановки
Сухие или нормальные	Относительная влажность воздуха не превышает 60 %. При отсутствии в таком помещении условий, приведенных ниже в таблице, оно называется нормальным
Влажные	Относительная влажность воздуха более 60 %, но не превышает 75 %
Сырые	Относительная влажность длительно превышает 75 %
Особо сырые	Относительная влажность близка к 100 %
Жаркие	Температура превышает постоянно или периодически +35 °С
Пыльные	Выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она может оседать на проводниках и проникать внутрь машин, аппаратов и др.
Помещения с химически активной и органической средой	Постоянно или длительно содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования и заземляющие устройства электроустановок

1.6.2 Классификация помещений и территорий по опасности электропоражения

Все помещения согласно ПУЭ делятся по степени опасности поражения людей электрическим током на три класса: без повышенной опасности, с повышенной опасностью, особо опасные (таблица 3).

Т а б л и ц а 3 – Классификация помещений по степени опасности поражения людей электрическим током

Класс помещения	Характеристика помещения
Без повышенной опасности	Отсутствуют условия, создающие повышенную опасность или особую опасность
Повышенной опасности	Помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих опасность: <ul style="list-style-type: none"> – сырости; – токопроводящей пыли; – токопроводящих полов; – высокой температуры; – возможности одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий и тому подобным, имеющим соединение с землей с одной стороны и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой

Окончание таблицы 3

Класс помещения	Характеристика помещения
Особо опасные	Помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: – особой сырости; – химически активной среды; – одновременно двух или более условий повышенной опасности
Территория размещения наружных электроустановок	По опасности поражения людей электрическим током эта территория приравнивается к особо опасному помещению

1.6.3 Классификация электроустановок по мерам электробезопасности

В основу классификации электроустановок по мерам электробезопасности положено номинальное напряжение электроустановки (до 1 кВ и выше 1 кВ) и режим ее нейтрали (таблица 4).

Т а б л и ц а 4 – Классификация электроустановок по мерам электробезопасности

Номинальное напряжение электроустановки	Режим нейтрали	Классификация электроустановок
До 1 кВ	Заземленная нейтраль. Изолированная нейтраль	Электроустановка до 1 кВ с заземленной нейтралью. Электроустановка до 1 кВ с изолированной нейтралью
Выше 1 кВ	Эффективно заземленная нейтраль. Изолированная нейтраль	Электроустановка выше 1 кВ в сетях с эффективно заземленной нейтралью. Электроустановка выше 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью

2 НАЗНАЧЕНИЕ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Защитное заземление предназначено для защиты людей от поражения электрическим поражающим током при косвенном прикосновении с открытыми проводящими частями электроустановки и сторонними проводящими частями, не являющимися частями электроустановки (например, металлоконструкции здания, металлические газовые сети, водопровод, трубы отопления и т. п. и неэлектрические аппараты, полы и стены из неизоляционного материала), которые могут оказаться под напряжением в случае повреждения.

2.1 Виды заземляющих устройств

Заземляющее устройство – это совокупность заземлителя и заземляющих элементов, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем [1].

Принцип действия защитного заземления основан на снижении до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, возникающие на оборудовании и возле него (на поверхности земли, пола) в результате замыкания на корпус. Снижают напряжение путем уменьшения потенциала заземленного оборудования за счет уменьшения сопротивления заземления.

При замыкании фазы $L1$ на корпус электроустановки (рисунок 3) человек, прикоснувшийся к этому корпусу, попадает под фазное напряжение, опасное для жизни.

При наличии заземляющего устройства для участка корпус-земля, к которому подключается человек, согласно закону Ома

$$U_{\text{к}} = I_3 R_3,$$

где $U_{\text{к}}$ – напряжение на корпусе, В;

I_3 – ток замыкания на землю, А;

R_3 – сопротивление заземлителя, Ом.

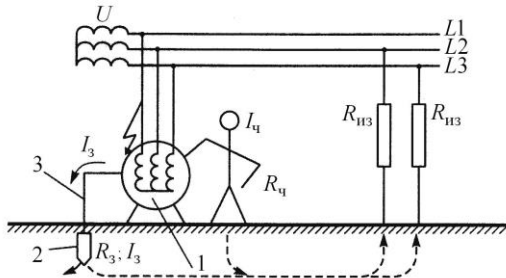


Рисунок 3 – Принципиальная схема действия защитного заземления:

1 – электроустановка; 2 – заземлитель; 3 – заземляющий проводник

Отсюда следует, что уменьшить напряжение на корпус, к которому прикасается человек, можно путем уменьшения сопротивления участка корпус-земля. Уменьшают сопротивление этого участка снижением сопротивления заземлителя R_3 . Это может быть достигнуто увеличением сечения слоя земли, через который проходит ток, что в свою очередь обеспечивается увеличением поверхности заземлителя, т.е. применением заземлителей сложной формы (групповых).

Защитное заземление используется как основная защита в сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и в сетях напряжением выше 1000 В как с изолированной, так и с заземленной нейтралью. В сети с

заземленной нейтралью напряжением до 1000 В защитное заземление неэффективно, так как не обеспечивает надежную защиту.

Заземление выполняется при переменном токе напряжением 380 В и выше и постоянном токе 440 В и выше во всех электроустановках; при номинальных напряжениях переменного тока выше 42 В и постоянного тока выше 110 В только в электроустановках, размещенных в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных установках; во взрывоопасных установках – при любом напряжении переменного и постоянного тока.

Устройство защитного заземления может быть осуществлено двумя способами: контурным расположением заземляющих проводников и выносным (рисунок 4).

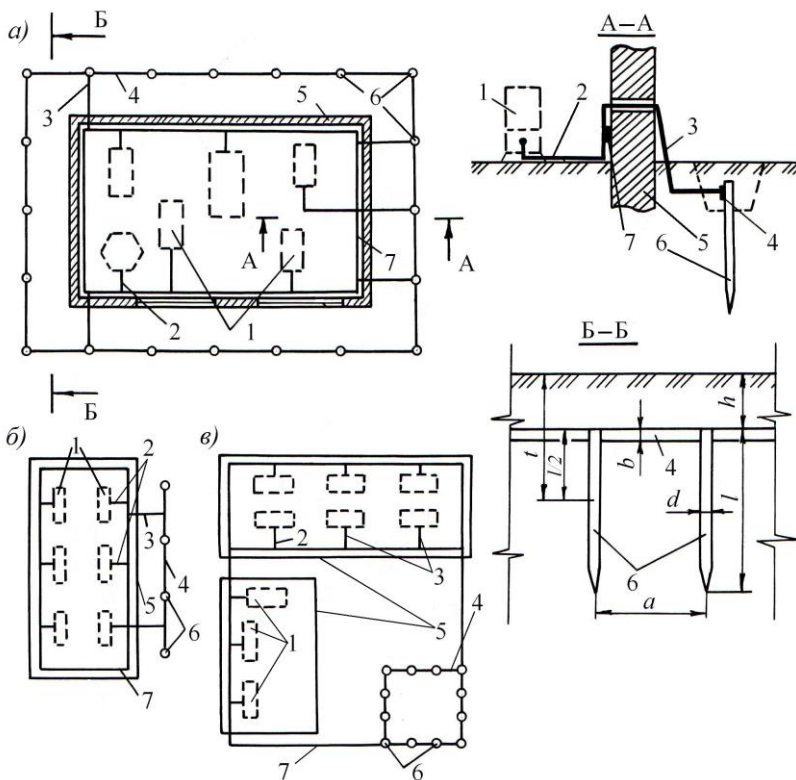


Рисунок 4 – Устройство защитного заземления:

а – контурное заземляющее устройство; *б* – выносное заземляющее устройство с размещением вертикальных электродов в ряд; *в* – выносное заземляющее устройство с размещением вертикальных электродов по контуру

При контурном размещении заземлителей обеспечивается выравнивание потенциалов при однофазном замыкании на землю. Кроме того, благодаря взаимному влиянию заземлителей уменьшается напряжение прикосновения и напряжение шага в защищаемой зоне.

Выносные заземления этими свойствами не обладают. Зато при выносном способе размещения есть выбор места для заглубления заземлителей.

Технологическое оборудование 1, установленное в помещении 5, заземляют по схеме, показанной на рисунке 4. Это оборудование соединяют с внутренним заземляющим контуром 7 из стальной полосы сечением не менее 48 мм² с помощью заземляющего проводника 2 сечением не менее 24 мм.

Внутренний заземляющий контур (магистраль) проводниками 3 соединяют со сложным (групповым) заземлителем, состоящим из вертикальных электродов (труб, стержней, угловой стали и т.п.) 6 и заземляющего горизонтального проводника (полосы связи) 4 между ними. Сложный заземлитель может быть контурным (рисунок 4, а) или выносным (рисунок 4, б). При этом одиночные заземлители внутри группового могут располагаться по одной из двух схем: в ряд (рисунок 4, б), если их число 10 и менее, либо по контуру (рисунок 4, в) при числе электродов более 10.

2.2 Классификация систем электроснабжения в электроустановках

Системы электроснабжения в зависимости от способа заземления распределительной сети и примененных мер защиты от поражения электрическим током классифицируются Международной электротехнической комиссией (МЭК). Распределительные сети подразделяются на сети с заземленной нейтралью и сети с изолированной нейтралью. Стандарт МЭК-364 подразделяет распределительные сети в зависимости от конфигурации токоведущих проводников, включая нулевой рабочий (нейтральный) проводник, и типов систем заземления (таблица 5). При этом используются следующие обозначения. Первая буква, *I* или *T*, характеризует связь с землей токоведущих проводников (заземление сети). Вторая буква, *T* или *N*, характеризует связь с землей открытых проводящих частей (ОПЧ) и сторонних проводящих частей (СПЧ) (заземление оборудования).

Первая буква (I или T). Первая буква *I* означает, что все токоведущие части изолированы от земли, или одна точка сети связана с землей через сопротивление, через разрядник или воздушный промежуток.

Сети с изолированной нейтралью (*I*) могут быть:

– весьма малыми сетями, такими как сети безопасного сверхнизкого напряжения (БСНН или *SELV*) с электрическим отделением с помощью разделяющих трансформаторов;

– средними по размеру – такими, которые используются для питания отдельных цехов;

– распределительные сети для питания целых районов города, такие как трехфазные сети напряжением 230 В (система *IT*).

Первая буква *T* указывает на прямую связь по меньшей мере одной точки сети с землей (*terra*). Например, питаемая от вторичной обмотки трансформатора, соединенной в звезду, трехфазная распределительная сеть с нейтральным проводником, напряжением 127/220 В или 220/380 В с нейтралью, соединенной с землей через заземляющее устройство.

Вторая буква (T или N). Вторая буква означает тип соединения между ОПЧ, защитным заземляющим проводником (заземление оборудования) электроустановки и землей. Вторая буква *T* означает прямое соединение между ОПЧ и СГТЧ и землей (*terra*), независимое от системного заземления, которое может содержать или не содержать токоведущие части системы. Вторая буква *N* означает прямое соединение ОПЧ и СПЧ с заземленной точкой (точками) сети посредством *PEN*- или *PE*-проводника.

Токоведущие части сети соединяются с землей для ограничения напряжения, которое может появиться на них в результате прямого удара молнии или вторичных проявлений молнии (индуцированные волны перенапряжений), или в результате непреднамеренного контакта с линиями более высокого напряжения, или в результате пробоя изоляции токоведущих частей распределительной сети.

Т а б л и ц а 5 – Сетевое (рабочее) и защитное заземление

Обозначение системы	Сетевое заземление	Защитное заземление проводящих частей
<i>IT</i>	Непосредственное соединение с землей отсутствует. Допускается соединение с землей через сопротивление, воздушный промежуток, разрядник и т. д.	Непосредственное соединение с землей, независимое от сетевого заземления
<i>TT</i>	Соединение с землей в одной или нескольких точках распределительной сети за пределами сети потребителя	Непосредственное соединение с землей, независимое от сетевого заземления
<i>TN</i>	Соединение с землей в одной или нескольких точках распределительной сети и в одной или более точках в сети потребителя	Соединение с «сетевой землей» с помощью <i>PE</i> - или <i>PEN</i> -проводника
<i>TI</i>	Соединение с землей в одной или нескольких точках распределительной сети	Отсутствуют соединения с землей и с сетевым заземлением

Заземление электрооборудования, а точнее – заземление открытых проводящих частей (ОПЧ), является одной из многочисленных мер, которые могут быть использованы для защиты от поражения электрическим током. Заземление ОПЧ предполагает создание эквипотенциальной среды, что снижает вероятность появления напряжения на теле человека. В системе *TN* заземление ОПЧ обеспечивает создание для тока замыкания цепи с низким сопротивлением. Это облегчает работу устройств защиты от сверхтока.

Обозначения *TN*, *TT* и *IT* относятся только к конфигурации распределительных сетей. Эти обозначения имеют ограниченное отношение к различным методам, которые могут быть использованы для обеспечения защиты от поражения электрическим током, включая заземление ОПЧ.

На рисунках 5–9 даны системы трехфазных сетей. Принятые на рисунках обозначения имеют следующий смысл:

T – непосредственное присоединение одной точки токоведущих частей источника питания к земле;

I – все токоведущие части изолированы от земли, или одна точка заземлена через сопротивление.

Вторая буква – характер заземления открытых проводящих частей (ОПЧ) электроустановки:


T – непосредственная связь ОПЧ с землей, независимо от характера связи источника питания с землей;

N – непосредственная связь ОПЧ с точкой заземления источника питания (в системах переменного тока обычно заземляется нейтралью).


Последующие буквы (если таковые имеются) – устройство нулевого рабочего и нулевого защитного проводника:

S – функция нулевого защитного и нулевого рабочего проводника обеспечивается раздельными проводниками;

C – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике (*PEN*-проводник);

 – нулевой рабочий проводник (*N*);

 – нулевой защитный проводник (*PE*);

 – совмещенный нулевой рабочий и нулевой защитный проводник (*PEN*).

Система *TN*. Питающие сети системы *TN* имеют непосредственно присоединенную к земле точку. Открытые проводящие части электроустановки присоединяются к этой точке посредством нулевых защитных проводников.

В зависимости от устройства нулевого рабочего и нулевого защитного проводников различают следующие три типа системы *TN*:

Система TN-S – нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно по всей системе.

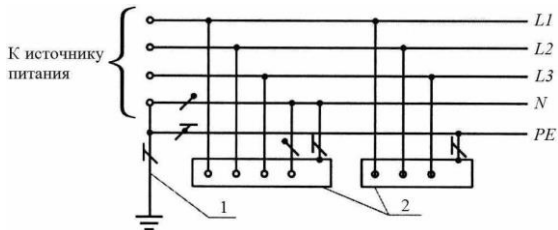


Рисунок 5 – Система TN-S

(нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно):

1 – заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части

Система TN-C-S – функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников объединены в одном проводнике в части сети.

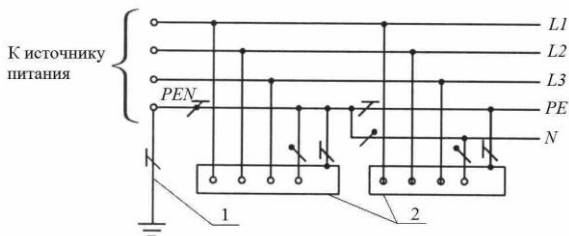


Рисунок 6 – Система TN-C-S

(в части сети нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены):

1 – заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части

Система TN-C – функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников объединены в одном проводнике по всей сети.

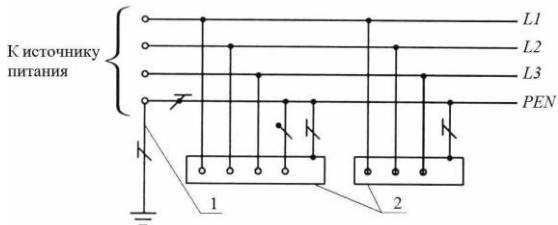


Рисунок 7 – Система TN-C

(нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены по всей сети):

1 – заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части

Система TT. Питающая сеть системы TT имеет точку, непосредственно связанную с землей, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к заземлителю, электрически независимому от заземлителя нейтрали источника питания.

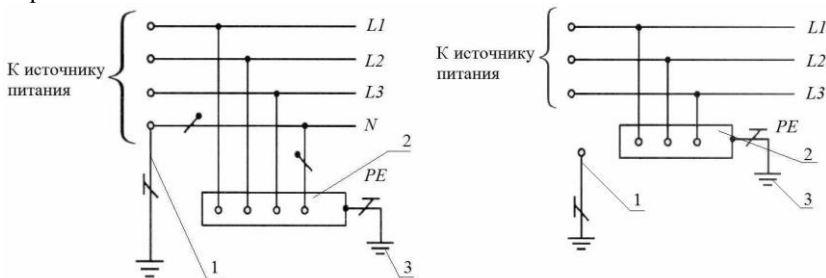


Рисунок 8 – Система TT:

1 – заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части;
3 – заземление корпусов оборудования

Система IT. Питающая сеть системы IT не имеет непосредственной связи токоведущих частей с землей, а открытые проводящие части электроустановки заземлены.

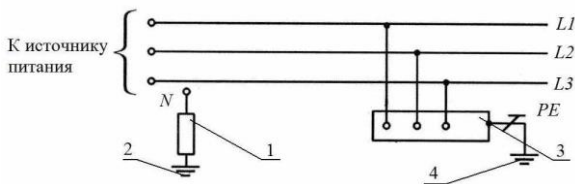


Рисунок 9 – Система IT:

1 – сопротивление; 2 – заземление источника питания; 3 – открытые проводящие части;
4 – заземление корпусов оборудования

2.3 Расчет защитного заземления

Расчет защитного заземления имеет целью определить основные параметры заземления – количество выбранных конструктивных элементов и порядок размещения одиночных заземлителей и заземляющих проводников, при которых напряжения прикосновения и шага в период замыкания фазы на заземленный корпус не превышают допустимых значений.

Для расчета заземления необходимы следующие сведения:

1) характеристика электроустановки – тип установки, виды основного оборудования, рабочие напряжения, способы заземления нейтралей трансформаторов и генераторов и т. п.;

2) план электроустановки с указанием основных размеров и размещения оборудования;

3) формы и размеры электродов, из которых предусмотрено изготовить проектируемый групповой заземлитель, а также предполагаемая глубина погружения их в землю;

4) данные измерения удельного сопротивления грунта на участке, где должен быть сооружен заземлитель, и сведения о погодных (климатических) условиях, при которых производились эти измерения, а также характеристика климатической зоны. Если земля принимается двухслойной, то необходимо иметь данные измерений удельного сопротивления обоих слоев земли и толщины верхнего слоя;

5) данные о естественных заземлителях: какие сооружения могут быть использованы для этой цели и сопротивление их растеканию тока, полученные непосредственным измерением. Если по каким-либо причинам измерить сопротивление естественного заземлителя невозможно, то должны быть представлены сведения, позволяющие определить это сопротивление расчетным путем;

6) расчетный ток замыкания на землю. Если ток неизвестен, то его вычисляют обычными способами;

7) расчетные значения допустимых напряжений прикосновения (и шага) и время действия защиты, в случае если расчет производится по напряжениям прикосновения (и шага).

Расчет заземления производится обычно для случаев размещения заземлителя в однородной земле. В последние годы разработаны и начали применяться инженерные способы расчета заземлителей в многослойном грунте.

При расчете заземлителей в однородной земле учитывается сопротивление верхнего слоя земли (слоя сезонных изменений), обусловленное промерзанием или высыханием грунта. Расчет производят *способом коэффициентов использования*, основанным на применении коэффициентов использования проводимости заземлителя. Его выполняют как при простых, так и при сложных конструкциях групповых заземлителей.

При расчете заземлителей в многослойной земле обычно принимают двухслойную модель земли с удельными сопротивлениями верхнего и нижнего слоев ρ_1 , и ρ_2 соответственно и толщиной (мощностью) верхнего слоя h_1 . Расчет производится *способом наведенных потенциалов*, основанным на учете потенциалов, наведенных на электроды, входящие в состав группового заземлителя. Расчет заземлителей в многослойной земле более трудоемкий. Вместе с тем он дает более точные результаты. Его целесообразно применять при сложных конструкциях групповых заземлителей, которые обычно имеют место в электроустановках с эффективно заземленной нейтралью, т. е. в установках напряжением 110 кВ и выше.

При расчете заземляющего устройства любым способом необходимо определить для него требуемое сопротивление.

Расчет заземляющего устройства выполняется в последовательности, приведенной ниже

1 По характеристике электроустановки определяют нормированное (наибольшее допустимое) значение сопротивления заземления R_3 (таблица А.3).

2 Вычисляют сопротивление растеканию тока одиночного заземлителя (вертикального электрода)

$$R_0 = 0,366 \frac{\rho}{l} \left[\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right], \quad (1)$$

где l – расчетная длина заземлителя, м;

d – диаметр заземлителя, м;

t – расстояние от поверхности земли до середины вертикального заземлителя, м. Рассчитывается с учетом расстояния h от поверхности земли до верхнего торца заземлителя по формуле $t = (l/2) + h$.

При расчетах сопротивлений растеканию заземлителей необходимо учитывать колебания влажности и, как следствие, проводимости грунта из-за высыхания почвы летом и промерзания зимой. В связи с этим за расчетное удельное сопротивление грунта принимается его наибольшее значение в течение года:

$$\rho_{гр} = \rho_{изм} k_c, \quad (2)$$

где $\rho_{изм}$ – измеренное (или принятое по таблице А.1 или приложению 2 [12] удельное сопротивление грунта, Ом·м;

k_c – коэффициент, учитывающий увеличение удельного сопротивления земли в течение года в зависимости от климатических условий, типа и глубины заложения заземлителя (таблица А.2 или приложение 3 [12]).

При глубине заложения полосы $h = 0$ (см. рисунок 4, а, Б–Б), что имеет место при устройстве временных заземлителей

$$R_0 = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{d}. \quad (3)$$

3 Полученное значение R_0 сравнивается с наибольшим допустимым R_3 : при $R_0 \leq R_3$, что случается крайне редко, принимают заземлитель из двух электродов и расчет заканчивают; при $R_0 > R_3$ методом последовательных приближений определяют число вертикальных электродов n по формуле

$$n = \frac{R_0}{R_3 \eta_0}, \quad (4)$$

где η_0 – коэффициент использования вертикальных заземлителей, при помощи которого учитывают явление взаимного экранирования электрических полей отдельных электродов. Взаимно мешающее действие растеканию тока замыкания, стекающего с параллельно соединенных одиночных заземлителей и соединяющей полосы, приводит к уменьшению действующего сечения земли около каждого электрода и увеличению сопротивления растеканию группового заземлителя в целом.

Значения коэффициентов использования вертикальных электродов η_0 приведены в таблице А.4 или приложении 4 [12]. Они зависят от числа заземлителей, схемы их расположения (в ряд или по контуру) и от отношения расстояния между отдельными электродами a к их длине l . Для повышения коэффициента использования заземлителей принимают отношение $a/l = 1, 2, 3$, но не менее 1.

Подбор необходимого числа n ведут в такой последовательности. При $\eta_0 = 1$ находят исходное число n . Для найденного n по таблице А.4 или приложению 4 [12] определяют соответствующее значение η_{01} . Затем по этой величине находят новое число n и т. д. до получения разницы между последними числами заземлителей меньше единицы (т. е. $n_i - n_{i-1} \leq 1$).

Окончательное число n принимают равным ближайшему меньшему и для него определяют η_0 .

4 С учетом полученного числа электродов и принятого между ними расстояния a определяют требуемую длину соединительной полосы:

$L_{\pi} = 1,05 a (n - 1)$ – при установке вертикальных заземлителей в ряд;

$L_{\pi} = 1,05 an$ – при размещении вертикальных заземлителей по контуру.

5 Вычисляют сопротивление растеканию полосового (горизонтального) заземлителя, расположенного в земле,

$$R_{\pi} = 0,366 \frac{\rho_{\pi}}{L_{\pi}} \lg \frac{2L_{\pi}^2}{bh}, \quad (5)$$

где ρ_{π} – расчетное удельное сопротивление грунта, Ом·м, с учетом коэффициента сезонности k_c^{π} для горизонтального заземлителя;

b – ширина соединительной полосы, м (при использовании в качестве горизонтального заземлителя стали круглого сечения или трубы $b = 2d$);

h – глубина заложения горизонтального заземлителя, м.

6 Определяют результирующее сопротивление растеканию группового заземлителя (всего заземляющего устройства) $R_{гр}$:

$$R_{гр} = \frac{R_0 R_{\pi}}{R_0 \eta_{\pi} + R_{\pi} n \eta_0}, \quad (6)$$

где η_n – коэффициент использования полосы, учитывающий экранирование между горизонтальным и вертикальными электродами (см. таблицу А.4 или приложение 4 [12]).

7 Сравнивают вычисленное по формуле значение $R_{гр}$ с допустимой величиной R_3 . Если будет обнаружено, что $R_{гр} > R_3$, необходимо проверить правильность вычислений. В случае, если $R_{гр} \ll R_3$, следует выполнить корректировку расчета путем уменьшения числа n .

2.4 Конструктивное исполнение заземляющих устройств

Различают заземлители **искусственные**, предназначенные исключительно для целей заземления, и **естественные** – находящиеся в земле металлические предметы иного назначения.

Для искусственных заземлителей применяются обычно вертикальные и горизонтальные электроды. В качестве вертикальных электродов стальные трубы с толщиной стенки не менее 3,5 мм (обычно это трубы диаметром 5–6 см) и угловая сталь с толщиной полок не менее 4 мм (обычно это угловая сталь размером от 40×40 до 60×60 мм) длиной 2,5–3,0 м. Для связи вертикальных электродов и в качестве самостоятельного горизонтального электрода применяется полосовая сталь сечением не менее 4×12 мм и сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм. Верхние концы погруженных в землю вертикальных электродов соединяют стальной полосой с помощью сварки. Размещение электродов в траншее приведено на рисунке 4, а (вид Б – Б).

Для искусственных заземлителей в агрессивных почвах (щелочных, кислых и др.), где они подвергаются усиленной коррозии, применяются медь, омедненный или оцинкованный металл.

В качестве искусственных заземлителей нельзя применять алюминиевые оболочки кабелей, а также голые алюминиевые проводники, так как в почве они окисляются, а окись алюминия – изолятор.

В качестве естественных заземлителей могут быть использованы проложенные в земле водопроводные, канализационные и другие металлические трубопроводы; металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций, имеющие соединение с землей; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.

Не допускается использовать в качестве заземлителей трубопроводы горючих жидкостей и газов.

Каждый отдельный проводник, находящийся в контакте с землей, называется одиночным заземлителем, или электродом. Если заземлитель состоит из нескольких электродов, соединенных между собой параллельно, он называется групповым заземлителем.

Монтаж заземляющих устройств состоит из следующих операций:

– установки заземлителей;

- прокладки заземляющих проводников;
- соединения заземляющих проводников друг с другом;
- присоединения заземляющих проводников к заземлителям и электрооборудованию.

Вертикальные заземлители из угловой стали и отбракованных труб погружают в грунт забивкой или вдавливанием, из круглой стали – ввертыванием или вдавливанием.

При устройстве заземления вертикальные заземлители должны закладываться на глубину 0,5–0,6 м от уровня планировочной отметки земли и выступать от дна траншеи на 0,1–0,2 м. Расстояние между электродами 2,5–3 м. Горизонтальные заземлители и соединительные полосы между вертикальными заземлителями укладывают в траншеи глубиной 0,6–0,7 м от уровня планировочной отметки земли.

Все соединения в цепях заземлителей выполняют сваркой внахлестку; места сварки покрывают битумом во избежание коррозии. Траншею роют обычно шириной 0,5 и глубиной 0,7 м. Устройство внешнего заземляющего контура и прокладку внутренней заземляющей сети производят по рабочим чертежам проекта электроустановки.

Вводы в здание заземляющих проводников выполняют не менее чем в двух местах. После монтажа заземлителей составляют акт на скрытые работы, указывая на чертежах привязки заземляющих устройств к стационарным ориентирам.


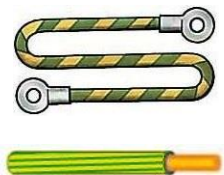

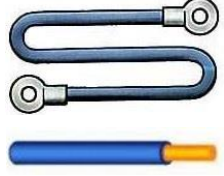


Согласно ПУЭ электропроводка должна обеспечивать возможность легкого распознавания по всей длине проводников по цветам (таблица 6).

Заземляющие магистральные проводники прокладывают по стенам на расстоянии 0,5–0,10 м от поверхностей на высоте 0,4–0,6 м от уровня пола. Расстояние между точками крепления 0,6–1,0 м. В сухих помещениях и при отсутствии химически активной среды допускается прокладка заземляющих проводников вплотную к стене.

Заземляющие полосы к стенам крепят дюбелями, которые пристреливают строительно-монтажным пистолетом либо непосредственно к стене, либо через промежуточные детали. Широко применяют также закладные детали, к которым приваривают полосы заземления.

В сырых, особо сырых помещениях и в помещениях с едкими испарениями (с агрессивной средой) заземляющие проводники приваривают к опорам, закрепленным дюбелями-гвоздями. Для создания зазора между заземляющим проводником и основанием в таких помещениях используют штампованный держатель из полосовой стали шириной 25–30 мм и толщиной 4 мм, а также кронштейн для прокладки круглых заземляющих проводников диаметром 12–19 мм. Длина нахлестки при сварке должна быть равна двойной ширине полосы для прямоугольных полос или шести диаметрам для круглой стали.

Т а б л и ц а 6 – **Обозначение проводников в электроустановках**

Обозначение (буквенное и графическое)	Определение	Цвет
<p><i>PE</i></p> 	<p>Защитный – проводник для целей электробезопасности. Защитный заземляющий – проводник для защитного заземления. Защитный проводник уравнивания потенциалов – проводник для защитного уравнивания потенциалов. Нулевой защитный – проводник для присоединения открытых проводящих частей к глухозаземленной нейтрали источника питания</p>	<p>Двухцветная комбинация зелено-желтого цвета</p> 
<p><i>N</i></p> 	<p>Нулевой рабочий (нейтральный) – проводник для питания электроприемников, соединенный: – с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока; – с глухозаземленным выводом источника однофазного тока; – с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока</p>	<p>Голубого цвета</p> 
<p><i>PEN</i></p> 	<p>Совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий – проводник, совмещающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников</p>	<p>Двухцветная комбинация зелено-желтого цвета по всей длине с голубыми метками на концах линии</p> 

К трубопроводам заземляющие проводники присоединяют при наличии на трубах задвижек или болтовых фланцевых соединений выполняют обходные перемычки.

Каждая заземляемая часть электроустановки должна быть присоединена к магистрали заземления или зануления при помощи отдельного ответвления. Способ присоединения заземляющих проводников к отдельным аппаратам выбирается в зависимости от основания, на котором крепится аппа-

рат. При установке аппаратов на металлических конструкциях заземляющие проводники присоединяются сваркой к конструкции, а также способами, приведенными в приложении В.

Соединение электрооборудования, подвергающегося частому демонтажу, вибрации или установленного на движущихся частях, выполняется с помощью гибких заземляющих или нулевых защитных проводников.

Способы присоединения заземляющих проводников к корпусам силового оборудования указаны в приложении Г.

Места присоединения и крепления заземляющих и нулевых защитных проводников к силовому оборудованию даны в ГОСТ 21130–75.

Для определения технического состояния заземляющего устройства периодически проводятся:

- внешний осмотр видимой части заземляющего устройства;
- осмотр с проверкой цепи между заземлителем и заземляемыми элементами (отсутствие обрывов и неудовлетворительных контактов в проводке, соединяющей аппарат с заземляющим устройством), а также проверка пробивных предохранителей трансформаторов;
- измерение сопротивления заземляющего устройства;
- проверка цепи фаза-нуль;
- проверка надежности соединений естественных заземлителей;
- выборочное вскрытие грунта для осмотра элементов заземляющего устройства, находящихся в земле;
- измерение удельного сопротивления грунта для опор линий электропередачи напряжением выше 1000 В.

На каждое находящееся в эксплуатации заземляющее устройство должен иметься паспорт, содержащий схему заземления, основные технические данные, данные о результатах проверки состояния заземляющего устройства, о характере ремонтов и изменениях, внесенных в данное устройство.

Периодичность и порядок измерений параметров защитного заземления определены действующими техническими нормативными правовыми актами.

2.5 Нормирование параметров защитного заземления

Электробезопасность будет достигнута, если напряжение, под которым человек может оказаться, прикасаясь к заземленным открытым проводящим частям (напряжение прикосновения) или только стоя на земле, не прикасаясь к открытым проводящим частям (шаговое напряжение), не будет превышать допустимых значений напряжений.

В соответствии с [11] нормируются значения R_3 с учетом токов замыкания на землю I_3 , рабочего напряжения установок U и мощности источников тока.

Сопротивление заземляющего устройства защитного заземления типа TN , к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или вы-

воды источника однофазного тока, в любое время года должны быть не более 2,4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Сопротивление заземляющего устройства R защитного заземления типа IT должно соответствовать условию:

$$R \leq U_{\text{пр}} I^{-1},$$

где $U_{\text{пр}}$ – напряжение прикосновения, значение которого принимается равным 50 В в помещениях без повышенной опасности и 25 В в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных электроустановках для переменного тока;

I – полный ток замыкания на землю, А.

Как правило, не требуется принимать значение $R \leq 4$ Ом. Допускается R до 10 Ом, если соблюдено вышеприведенное условие, а мощность генераторов или трансформаторов не превышает 100 кВ·А, в том числе суммарная мощность генераторов и трансформаторов, работающих параллельно.

Сопротивление заземляющего устройства защитного заземления типа TT должно соответствовать условию

$$R_a I_a \leq 50 \text{ В},$$

где R_a – суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника, Ом;

I_a – ток срабатывания защитного устройства, А.

Наибольшие допустимые значения сопротивления растеканию тока в земле представлены в таблице А.3.

3 ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Заземляющие устройства после монтажных работ и периодически, не реже одного раза в год, испытываются согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ). По программе испытаний производится измерение сопротивления заземляющего устройства.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генераторов или трансформаторов или выводов источников однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4, 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Существует несколько методов измерения сопротивления заземлителя: *метод вольтметра-амперметра, мостовой и компенсационный.*

В соответствии с рисунком 10 по методу вольтметра-амперметра на заземлитель I подается электрический ток около 10 А, который образует цепь через вспомогательный токовый зонд 2. Падение напряжения $U_{\text{изм}}$ измеряют между

заземлителем и зоной нулевого потенциала. Для этого включают вольтметр между заземлителем и вспомогательным потенциальным зондом 3.

В качестве токового и потенциального зондов используют специальные штывы с заостренным концом длиной 0,7–0,8 м, диаметром 2 см, которые забивают в грунт.

Непосредственное измерение сопротивления является основным методом контроля состояния заземляющих устройств. Для этого используются измерители типов М-416, МС-08, Ф4103.

На методе вольтметра-амперметра основано действие прибора МС-08, в котором амперметр и вольтметр заменены магнитоэлектрическим логометром.

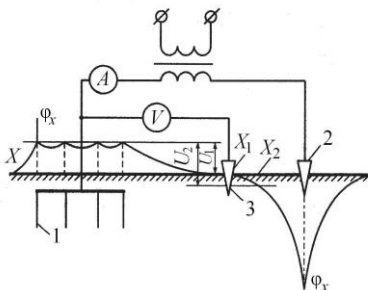


Рисунок 10 – Схема измерения сопротивления заземлителя методом вольтметра-амперметра

Для измерения сопротивления заземляющих устройств в электроустановках напряжением 110 кВ и выше следует применять прибор типа Ф4103.

3.1 Измеритель сопротивления заземления М416

Измеритель заземления М416 (рисунок 11) предназначен для измерения сопротивления заземляющих устройств, активных сопротивлений и может быть использован для определения удельного сопротивления грунта (ρ).



Рисунок 11 – Измеритель сопротивления заземления М416

Технические характеристики.

Диапазон измерения прибора от 0,1 до 1000 Ом. Прибор имеет четыре диапазона измерения:

- 0,1–10 Ом,
- 0,5–50 Ом,
- 2,0–200 Ом,
- 100–1000 Ом.

Источником питания служат три соединенные последовательно сухие гальванические элемента напряжением по 1,5 В.

3.2 Измеритель сопротивления заземления Ф4103-М1

Измеритель сопротивления заземления Ф4103-М1 (рисунок 12) предназначен для измерения сопротивления заземляющих устройств, удельного сопротивления грунтов и активных сопротивлений, как при наличии помех, так и без них с диапазоном измерений от 0–0,3 Ом до 0–15 кОм (10 диапазонов).

Измеритель Ф4103-М1 является безопасным.

При работе с измерителем в сетях с напряжением выше 36 В необходимо выполнять требования безопасности, установленные для таких сетей. Класс точности измерительного прибора Ф4103 – 2,5 и 4 (в зависимости от диапазона измерения).

Технические характеристики.

Частота оперативного тока – 265–310 Гц.

Время установления рабочего режима – не более 10 секунд.

Время установления показаний в положении:

- «ИЗМ I» – не более 6 секунд;
- «ИЗМ II» – не более 30 секунд.

Условия эксплуатации – от –25 до +55 °С.

Продолжительность непрерывной работы не ограничена.

Питание – элемент (R20, RL20) 9 шт.

Габаритные размеры, мм – 305×125×155.

Масса, кг, не более – 2,2.



Рисунок 12 – Измеритель сопротивления заземления Ф4103-М1

3.3 Измерение сопротивления заземляющих устройств

Исследования предназначены для производства измерения сопротивления заземляющего устройства (ЗУ) при испытании электроустановок с целью оценки качества заземляющих устройств и сравнением измеренных величин с нормами.

Эти измерения необходимы для обеспечения устойчивой работы электрооборудования и защиты людей от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции.

Условия проведения измерений

Измерение сопротивления заземляющего устройства проводится в атмосферных условиях, близких к нормальным:

- температура окружающего воздуха от –25 до +35 °С;

– относительная влажность воздуха не более 90 %.

Измерения производятся в период наибольшего просыхания или промерзания грунта.

Подготовка к выполнению измерений

Перед началом проведения измерений необходимо:

- визуально проверить состояние заземляющего устройства;
- проверить на соответствие проекту (если таковой имеется);
- выбрать схему подключения прибора.

Выполнение измерений

Измерение сопротивления заземляющего устройства подстанции прибором Ф4103.

Измерение сопротивления производится без отсоединения грозозащитных тросов, оболочек отходящих кабелей и других естественных заземлителей.

Для подстанций с напряжением на стороне до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью по отдельности измеряется сопротивление ЗУ искусственного заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора, и сопротивление повторных заземлителей отходящих высоковольтных линий (ВЛ) – 0,4 кВ. Далее измеряется общее сопротивление растеканию всех заземлителей (в т. ч. естественных и повторных заземлений нулевого провода каждой ВЛ) и общее сопротивление ЗУ подстанции со всеми присоединенными заземлителями. Для измерения сопротивления растеканию тока исследуемого заземлителя необходимо забить в землю два электрода, диаметр электродов должен быть не менее 5 мм.

Принципиальные схемы измерений приведены на рисунке 13. Направление разноса электродов выбираются так, чтобы соединительные провода не проходили вблизи металлоконструкций и параллельно трассе ЛЭП.

При этом, расстояние между токовыми и потенциальными проводами должно быть не менее 1 м. Присоединение проводов к ЗУ выполняется на одной металлоконструкции, выбирая места подключения на расстоянии 0,2–0,4 м друг от друга. Токовый и потенциальный электроды располагаются на одной линии по территории, свободной от линий электропередачи и других подземных коммуникаций. Расстояние от подстанции до токового и потенциального электродов выбираются в зависимости от размеров ЗУ и особенностей территории вокруг подстанции.

Если заземлитель подстанции имеет небольшие размеры, а вокруг него имеется обширная площадь, свободная от ЛЭП и подземных коммуникаций, то расстояния до электродов выбираются следующим образом:

$$L_{T3} \geq 3d \text{ и } L_{П3} = 0,5L_{T3},$$

где d – наибольший линейный размер РУ, характерный для данного типа заземлителя (для заземлителя в виде многоугольника – диагональ ЗУ, для глубинного заземлителя длина глубинного электрода, для лучевого заземлителя – длина луча).

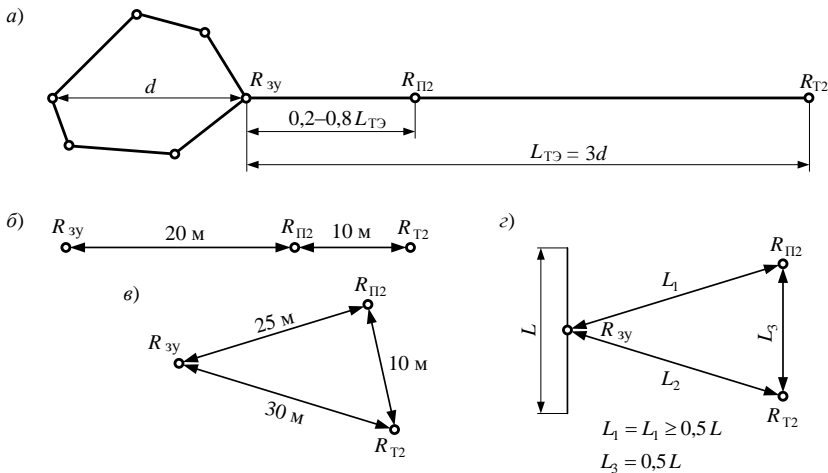


Рисунок 13 – Принципиальные схемы измерений сопротивления заземлений:
 а – сложный заземлитель; б – одиночный заземлитель; в – одиночный заземлитель;
 г – полосовой заземлитель

При измерениях в качестве потенциальных (ПЭ) и токовых (ТЭ) электродов применяют очищенные от краски и ржавчины стальные стержни или трубы диаметром до 50 мм. Электроды забиваются или завинчиваются в грунт на глубину 1,0–1,5 м. Если необходимо, то ТЭ выполняется из нескольких параллельно соединенных электродов, размещенных по окружности, с расстоянием между ними 1,0–0,5 м. При выборе или сооружении ТЭ и ПЭ необходимо проверить соответствие их сопротивления данным таблицы 8.

Т а б л и ц а 8 – Допустимые значения сопротивления электродов

Диапазон измерений, Ом	Диапазон допустимых значений сопротивления электродов, КОм	
	потенциальных или их суммарное сопротивление	токовых или их суммарное сопротивление
0–0,3; 0–1	0–2	0–1
0–3; 0–10	0–6	0–3
0–30; 0–300; 0–1000 и остальные до 0–15000	0–12	0–6

Измерение сопротивления заземлителя прибором М 416.

Измерение сопротивления производится без отсоединения грозозащитных тросов, оболочек отходящих кабелей и других естественных заземлителей. Принципиальные схемы измерений приведены на рисунке 14.

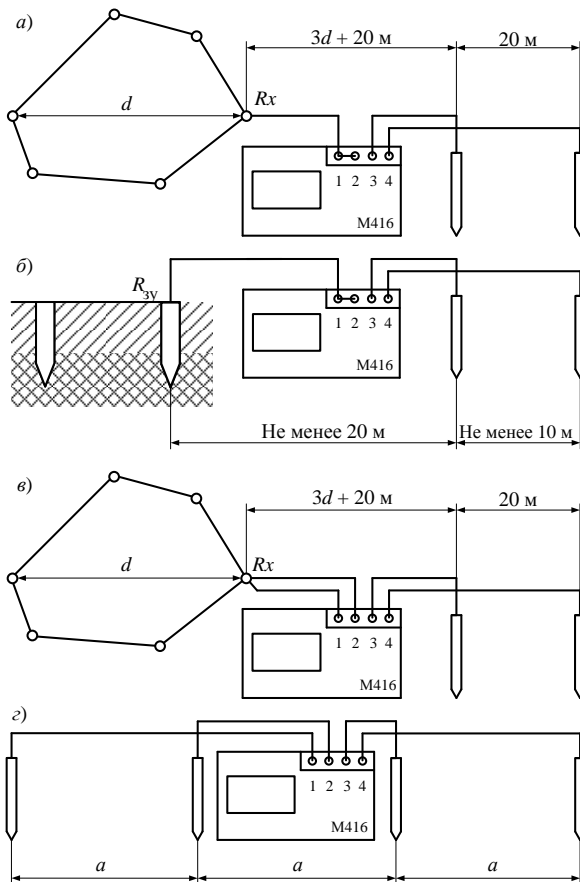


Рисунок 14 – Принципиальные схемы измерений сопротивления заземлений: а – измерение сложного ЗУ по трехзажимной схеме; б – измерение простого ЗУ; в – измерение сложного ЗУ по четырехзажимной схеме; г – измерение удельного сопротивления грунта

Измерение сопротивления защитного заземления прибором МС-08.

Для измерений сопротивления заземляющего устройства широко применяется измеритель заземления типа МС-08.

Основной деталью прибора МС-08 (рисунок 15) является магнитоэлектрический логометр Л с двумя рамками. Рамка I включена как амперметр,

рамка II – как вольтметр. При такой схеме включения рамок показания логометра пропорциональны сопротивлению:

$$R_3 = U_3 / I_3.$$

Поэтому шкала прибора отградуирована в омах.

Источником тока в измерителе МС-08 служит генератор постоянного тока Г, встроенный в прибор и приводимый во вращение ручкой через редуктор. На валу генератора смонтированы два синхронных коммутатора – П и В. Коммутатор П преобразовывает постоянный ток в переменный для внешней цепи измерения, благодаря чему исключается явление электролиза. Коммутатор В преобразовывает переменный ток в постоянный для цепей логометра. Такое преобразование позволяет использовать чувствительную магнитоэлектрическую систему логометра.

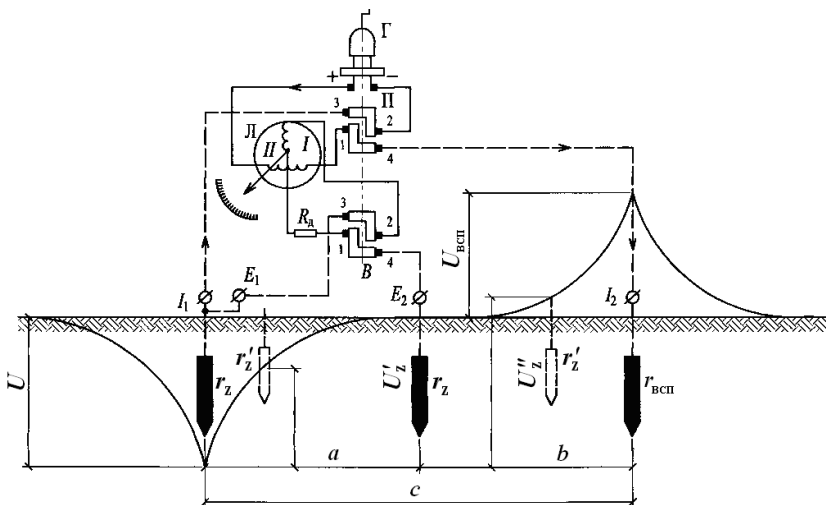


Рисунок 15 – Принципиальная схема измерителя заземления МС-08

Прибор МС-08 имеет три предела измерения: от 0 до 1000, от 0 до 100 и от 0,1 до 10 Ом с рабочей частью шкалы соответственно от 10 до 1000 Ом, от 1 до 100 Ом и от 0,1 до 10 Ом. Для перехода на соответствующий предел служит переключатель пределов измерения.

Градуировка прибора производится при постоянной величине сопротивления потенциальной цепи, не превышающей 1000 Ом. Поэтому перед измерением переключатель ставится в положение «Регулирование» и реостатом сопротивление потенциальной цепи уравнивается до величины, при которой произведена градуировка шкалы прибора.

Последовательная измерительная цепь прибора проходит от зажима «плюс» генератора Г через рамку I, вспомогательный заземлитель $R_{всп}$, испытуемое заземляющее устройство R_3 , прерыватель П и зажим «минус» ге-

нератора. Вспомогательным заземлителем могут служить одна или несколько забитых в землю труб.

На рамку II, подключенную между сопротивлением заземляющего устройства R_3 и зондом R_z , подается напряжение заземлителя

$$U_3 = I_3 R_3.$$

В качестве зонда может служить металлический стержень, забитый в землю.

Зонд R_z и вспомогательный заземлитель $R_{всп}$ могут располагаться по одну сторону от испытуемого заземляющего устройства, на одной линии с ним, а также по обе стороны от него, но зонд следует располагать в зоне нулевого потенциала. В противном случае будет допущена ошибка в измерении.

Расстояния между заземляющим устройством R_3 , вспомогательным заземлителем $R_{всп}$ и зондом R_z должны быть не ниже указанных на рисунке 13.

Определение удельного сопротивления грунта

Данное измерение необходимо выполнять в тех случаях, когда неизвестно удельное сопротивление грунта на месте расположения заземления, а также для расчета нормы сопротивления заземляющего устройства.

При использовании этого способа измеряется среднее удельное сопротивление расстоянию «а» между забитыми стержнями.

На испытываемом участке земли по прямой линии забиваются четыре стержня на равном расстоянии «а» друг от друга (рисунок 14). Расстояние «а» может быть выбрано произвольно от 10 до 20 метров, но не менее чем в 5 раз больше глубины погружения электродов.

Удельное сопротивление грунта ρ определяется по формуле:

$$\rho = 2\pi Ra,$$

где R – показания прибора, Ом.

a – расстояние между стержнями, м.

Обработка и вычисление результатов измерений

Наибольшее сопротивление заземлитель имеет летом при наибольшем пересыхании земли или зимой при наибольшем промерзании. Если измерение сопротивления заземлителя $R_{изм}$ проводилось в эти периоды, то сопротивление заземлителей R_3 вычисляется

$$R_3 = k_c R_{изм},$$

где k_c – сезонный коэффициент сопротивления заземлителя (таблица 9).

Т а б л и ц а 9 – Поправочные коэффициенты к значению измеренного сопротивления заземлителя

Тип заземлителя	Размеры заземлителя	$t = 0,7-0,8$ м			$t = 0,5$ м		
		k_1	k_2	k_3	k_1	k_2	k_3
Горизонтальная полоса	$L = 5$ м $L = 20$ м	3,6	3,0	2,5	6,5	5,2	3,8
Заземляющая сетка или контур	$S = 400$ м ²	2,6	2,3	2,0	4,6	3,8	3,2
	$S = 900$ м ²	2,2	2,0	1,8	3,6	3,0	2,7
	$S = 3600$ м ²	1,8	1,7	1,6	3,0	2,6	2,3
Заземляющая сетка или контур с вертикальными электродами до 5 м	$S = 900$ м ² $N \geq 10$ шт.	1,6	1,5	1,4	2,1	1,9	1,8
	$S = 3600$ м ² $N \geq 15$ шт.	1,5	1,4	1,3	2,0	1,9	1,7
Одиночный вертикальный заземлитель	$L = 2,5$ м	2,0	1,75	1,5	3,8	3,0	2,3
	$L = 3,5$ м	1,6	1,4	1,3	2,0	1,9	1,6
	$L = 5$ м	1,3	1,23	1,15	1,6	1,45	1,3
<p><i>Примечания</i></p> <p>k_1 – применяется, когда измерение производится при влажном грунте или моменту измерения предшествовало выпадение большого количества осадков;</p> <p>k_2 – измерение проводится при грунте средней влажности или моменту измерения предшествовало выпадение небольшого количества осадков;</p> <p>k_3 – измерение производится при сухом грунте или моменту измерения предшествовало выпадение незначительного количества осадков;</p> <p>t – глубина заложения в землю горизонтальной части заземлителя или верхней части вертикальных заземлителей;</p> <p>L – длина горизонтальной полосы или вертикального заземлителя;</p> <p>S – площадь заземляющей сетки или контура;</p> <p>N – количество вертикальных электродов.</p>							

Сезонный коэффициент k_c зависит не только от месяца, когда производятся измерения, но и от конкретных погодных условий, от характера грунта в месте проведения измерений.

Если измеренное сопротивление превышает норму, то следует проверить, все ли естественные заземлители подключены. Если и естественные заземлители не обеспечивают нужных показателей, то требуется измерить в разных местах электроустановки удельное сопротивление грунта. При удельном сопротивлении ρ грунта более 100 Ом·м допускается увеличивать указанные нормы в 0,01р раз, но не более десятикратного.

При проверке цепи между заземлителями и заземленными элементами значения сопротивления, полученные при измерениях, заносятся в рабочую тетрадь, с последующей записью в протокол.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1 Присоединить измеритель заземления МС-08 к испытуемой схеме измеряемого сопротивления заземления (по указанию преподавателя).

2 Произвести регулировку прибора: переключатель поставить в положение «Регулировка», вращая одновременно ручку генератора со скоростью 90–120 об/мин и ручку реостата, добиться совмещения стрелки индикатора с красной риской на шкале прибора.

3 Измерить сопротивление заземляющего устройства. Вращая ручку генератора при положении переключателя «Измерение $\times 1$ », снять отсчет по индикатору. Определив приближенное значение измеряемого сопротивления, произвести уточняющий замер при положении переключателя « $\times 0,1$ » или « $\times 0,01$ ».

4 По результатам произведенных измерений сопротивления защитного заземления сделать необходимые выводы об их соответствии.

Произвести расчет защитного заземления электрического оборудования производственного помещения. Электрооборудование подключено к электрической сети напряжением 380/220 В. Естественные заземлители вблизи отсутствуют.

Исходные данные принять по варианту (по указанию преподавателя), (таблица 10).

Т а б л и ц а 10 – Выбор варианта задачи

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Мощность трансформаторной подстанции, кВ·А	480	520	120	380	90	120	380	420	260	80
Вид грунта	Глина	Чернозем	Супесь	Суглинок	Песок	Суглинок	Глина	Чернозем	Супесь	Песок
Климатическая зона	IV	III	II	I	I	II	III	IV	III	II
Заглубление, м	0,9	1,0	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	1,0	0,8
Длина вертикального заземлителя, м	3,5	2,9	2,0	2,5	3,0	3,2	3,0	2,8	2,5	3,0
Диаметр заземлителя, мм	40	45	50	55	60	40	55	60	50	45
Ширина полосы связи, мм	60	60	50	60	45	70	60	50	50	40

Пример решения задачи представлен в приложении Б.

5 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

5.1 Организационные мероприятия по предупреждению поражения электрическим током

При проведении работ в электроустановках в целях предупреждения электротравматизма очень важно строго выполнять и соблюдать организа-

ционные мероприятия. К организационным мероприятиям, обеспечивающим безопасность работ в электроустановках, относят:

- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое рабочее место, окончания работы.

Оформление работы. Наряд является письменным распоряжением на производство работ в электроустановках, определяющим категорию и характер работы, место, время ее начала и окончания и условия безопасного проведения, квалификационный состав бригады, ответственных за безопасность работы. Ответственными за безопасность работ являются: работник, выдавший наряд или отдающий распоряжение; ответственный руководитель работ; оперативный персонал, допускающий к работе; производитель работ; наблюдающий; рабочие, входящие в состав бригады.

Наряд составляют на специальном бланке в двух экземплярах, первый экземпляр передается руководителю работ, второй остается у лица, выдавшего наряд.

Допуск к работе. Перед допуском к работе ответственный руководитель и производитель работ совместно с допускающим проверяют выполнение технических мероприятий по подготовке рабочего места, затем допускающий проверяет соответствие состава бригады и ее квалификации указанным в наряде, показывает бригаде место работы и в ее присутствии проверяет, нет ли напряжения на отключенных токоведущих частях. После этого он инструктирует бригаду, особо отмечая, какие расположенные поблизости части остались под напряжением, и сдает рабочее место производителю работ с вручением ему одного экземпляра наряда. Члены бригады расписываются в наряде.

Надзор во время работы. С момента допуска бригады к работе надзор за ней в целях предупреждения несчастных случаев возлагается на производителя работ или наблюдающего. Производитель работ и наблюдающий должны все время находиться на месте работы. Причем, если производитель работ может принимать участие в работе, то наблюдающему запрещено совмещать надзор с выполнением какой-либо работы. В зависимости от категории выполняемой бригадой работы наблюдающий должен иметь III или IV квалификационную группу по электробезопасности.

Оформление перерыва в работе, переводов на другое рабочее место, окончания работы. При выполнении работы в течение рабочего дня, а также при переходе от одной категории работы к другой бригаде предоставляют перерывы для отдыха, приема пищи.

Система организационных мероприятий позволяет предотвратить многие аварии и несчастные случаи в электроустановках. Отступление от этой системы – одна из главных причин электротравматизма.

5.2 Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность обслуживающего персонала

Для обеспечения безопасности персонала при непосредственном выполнении работ в электроустановках применяют следующие технические мероприятия:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;
- на приводах ручного и ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;
- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;
- установлено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления);
- вывешены плакаты «Заземлено», ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

Перечисленные технические мероприятия выполняет допускающий к работе по разрешению лица, отдающего распоряжение на производство работ.

Отключение оборудования. Ремонтируемое оборудование отключают со всех сторон, откуда может быть подано напряжение с видимым разрывом (разъединитель, вставки плавких предохранителей, выключатели нагрузки, коммутационные аппараты и т. п.). В установках напряжением до 1000 В отключают те токоведущие части, на которых предполагается проводить работы, а также доступные случайному прикосновению. Если нет возможности обесточить эти части, то их ограждают.

Вывешивание запрещающих плакатов. Плакаты вывешивают с целью предупреждения ошибочных действий обслуживающего персонала, случайной подачи напряжения на работающих. Так, запрещающие плакаты с надписью «Не включать. Работают люди» вывешивают на рукоятках выключателей, основаниях предохранителей, с помощью которых может быть подано напряжение к месту работы.

Проверка отсутствия напряжения. Перед выполнением этой работы проверяют исправность указателя напряжения на токоведущих частях, заведомо находящихся под напряжением. Применяемые для проверки указатели напряжения или переносные вольтметры должны быть рассчитаны на номинальное напряжение установки.

Наложение заземления. Заземление токоведущих частей с помощью переносных заземлителей проводится для защиты работающих от поражения электрическим током при ошибочной подаче напряжения к месту работы. Переносные заземлители накладываются на токоведущие части всех фаз отключенной электроустановки.

Вывешивание плакатов «Заземлено», ограждение рабочих мест. В электроустановках должны быть вывешены плакаты «Заземлено» на приводах разъединителей и выключателей нагрузки, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на заземленный участок электроустановки. Не отключенные токоведущие части ограждают от случайного прикосновения во время работы канатом или шнуром с вывешенными на них плакатами «Стой! Напряжение». На всех подготовленных рабочих местах после наложения заземления и ограждения рабочего места вывешивают плакат «Работать здесь».

5.3 Технические средства защиты, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках

Дополнительно к организационным и техническим мероприятиям по предупреждению поражения человека электрическим током для обеспечения электробезопасности при эксплуатации электроустановок используют технические средства защиты, к которым относят электрическую изоляцию токоведущих частей, защитное заземление, зануление, выравнивание потенциалов, защитное отключение, электрическое разделение сетей, малые напряжения и др. Применение этих средств в различных сочетаниях позволяет обеспечить защиту людей от прикосновения к токоведущим частям, опасности перехода напряжения на металлические нетокпроводящие части, возникновения напряжения шага.

Содержание отчета

Отчет по работе должен включать:

- описание методики и расчетные формулы;
- описание приборов и принципа их действия;
- заполнение протоколов по результатам исследования;
- расчет и проектирование защитного заземления.

Вывод по выполненной лабораторной работе.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение и устройство защитного заземления.
- 2 Нормирование сопротивления защитного заземления.
- 3 Параметры, влияющие на сопротивление растеканию тока.
- 4 Методика расчета защитного заземления.
- 5 Приборы, применяемые для измерения сопротивления заземления.
- 6 Методика измерения сопротивления защитного заземления.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

**СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ
ДЛЯ РАСЧЕТА ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ**

Т а б л и ц а А.1 – Приближенные значения удельных электрических сопротивлений грунтов

В ом-метрах			
Глина	40	Каменистый	500–800
Суглинок	100	Скалистый	$10^4 - 10^7$
Песок	700	Вода морская	0,2–1
Супесь	300	Вода грунтовая	20–70
Торф	20	Вода речная	10–100
Чернозем	200	Вода прудовая	40–50
Земля садовая	40	Вода в ручьях	10–60
<i>Примечание – Удельное сопротивление – сопротивление куба грунта с ребром длиной 1 м.</i>			

Т а б л и ц а А.2 – Значения коэффициентов сезонности

Признаки климатических зон и тип применяемых заземлителей	Климатические зоны			
	I	II	III	IV
Климатические признаки:				
– средняя многолетняя низшая температура, °С	–20...–15	–14...–10	–10...0	0–5
– средняя многолетняя высшая температура, °С	16–18	18–22	22–24	24–26
– среднегодовое количество осадков, см	40	50	50	30–50
– продолжительность замерзания вод, дн.	190–170	150	100	0
Значения коэффициента k_c :				
– вертикальные электроды длиной 2–3 м при глубине заложения вершины 0,5–0,8 м	1,8	1,5–1,8	1,4–1,6	1,2–1,4
– протяженные (горизонтальные) заземлители при глубине заложения 0,8 м	4,5–7,0	3,5–4,5	2,0–2,5	1,5–2,0

Т а б л и ц а А.3 – **Наибольшее допустимое значение сопротивления растеканию тока в земле**

Характеристика электроустановок	R_3
Для электроустановок с напряжением до 1000 В и суммарной мощностью источников питания до 100 кВ·А	$R_3 \leq 10$
Для электроустановок с напряжением до 1000 В и суммарной мощностью источников питания более 100 кВ·А	$R_3 \leq 4$
Для электроустановок с напряжением выше 1000 В с токами замыкания на землю $I_3 > 500$ А	$R_3 \leq 0,5$
Для электроустановок напряжением выше 1000 В и расчетным током замыкания на землю $I_3 \leq 500$ А	$R_3 \leq 250/I_3$, но не более 10 Ом
При использовании заземляющего устройства одновременно для электроустановок до 1000 В и выше 1000 В и расчетном токе замыкания на землю $I_3 \leq 500$ А	$R_3 \leq 125/I_3$, но не более R_3 для заземления соответствующих установок до 1000 В

Т а б л и ц а А.4 – **Значения коэффициентов использования заземлителей**

При расположении заземлителей в ряд				При расположении заземлителей по замкнутому контуру			
a/l	n	η_0	η_n	a/l	n	η_0	η_n
1	4	0,73	0,77	1	4	0,69	0,45
	6	0,65	0,72		6	0,61	0,40
	10	0,59	0,62		10	0,56	0,34
	20	0,48	0,42		20	0,47	0,27
	40	0,40	0,26		40	0,41	0,22
	60	0,37	0,20		60	0,39	0,20
	100	0,32	0,18		100	0,36	0,19
2	4	0,83	0,89	2	4	0,78	0,55
	6	0,77	0,84		6	0,73	0,48
	10	0,74	0,75		10	0,68	0,40
	20	0,67	0,56		20	0,63	0,32
	40	0,62	0,41		40	0,58	0,29
	60	0,59	0,35		60	0,55	0,27
	100	0,57	0,32		100	0,52	0,23
3	4	0,89	0,92	3	4	0,85	0,70
	6	0,85	0,88		6	0,80	0,64
	10	0,81	0,82		10	0,76	0,56
	20	0,76	0,68		20	0,71	0,45
	40	0,74	0,53		40	0,66	0,39
	60	0,72	0,48		60	0,64	0,36
	100	0,70	0,45		100	0,62	0,33

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

**ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ**

Электрооборудование подключено к трансформаторной подстанции мощностью 480 кВ·А, напряжение которой 380/220 В. Естественные заземлители вблизи отсутствуют.

Исходные данные:

- вертикальные электроды из труб длиной $l = 3$ м и диаметром $d = 0,06$ м;
- горизонтальная соединительная полоса стальная шириной $b = 0,04$ м;
- глубина заложения полосы $h = 0,5$ м;
- грунт в месте устройства защитного заземления – суглинок;
- объект расположен во II климатической зоне.

Решение. 1 Согласно имеющимся данным, пользуясь рекомендуемой литературой, устанавливаем:

- а) расчетную схему, которая приведена на рисунке Б.1;

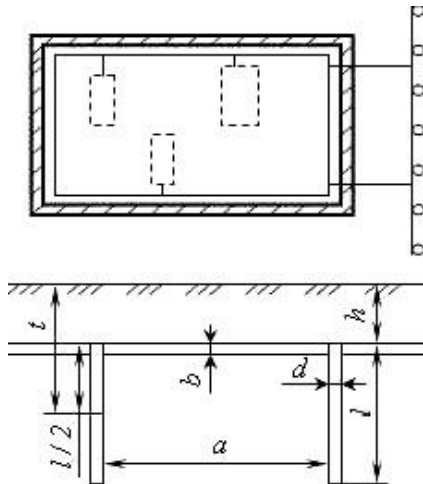


Рисунок Б.1 – Схема устройства защитного заземления

- б) удельное сопротивление грунта определяем по таблице А.1 или приложению 2 [12], величина $\rho_{\text{изм}} = 100$ Ом·м;

в) коэффициенты сезонности заземлителей во II климатической зоне определяем по таблице А.2 или приложению 3 [12], которые соответственно:

– для вертикальных $\kappa_c^B = 1,7$;

– полосовых $\kappa_c^П = 4$;

г) величину наибольшего допустимого сопротивления заземляющего устройства устанавливаем по характеристике заземляемого электрооборудования и мощности питающего трансформатора по таблице А.3 или приложению 3 [12], значение которого $R_3 \leq 4$ Ом.

2 Определяем:

а) расчетное удельное сопротивление грунта

$$\rho_{гр} = \rho_{изм} \kappa_c,$$

тогда: для вертикальных заземлителей $\rho_{гр}^B = 100 \cdot 1,7 = 170$ Ом·м;

полосовых заземлителей $\rho_{гр}^П = 100 \cdot 4 = 400$ Ом·м;

б) сопротивление одиночного вертикального заземлителя

$$R_0 = 0,366 \frac{\rho_{гр}^B}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right).$$

При этом глубина заложения вертикального заземлителя

$$t = (l/2) + h = 3/2 + 0,5 = 2,0 \text{ м.}$$

Подставив значения, получим

$$R_0 = 0,366 \frac{170}{3} \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,06} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 45,03 \text{ Ом};$$

в) потребное количество вертикальных электродов определяем методом последовательных приближений:

$$n = R_0 / (R_3 \eta_0),$$

где η_0 – коэффициент использования заземлителя, определяется по таблице А.4 или приложению 4 [12].

Расчет количества вертикальных электродов прекращается при выполнении условия

$$n_i - n_{i-1} \leq 1.$$

При $\eta_0 = 1$ находим исходное число труб: $n_1 = 45,03/4 = 11$ ед.

Принимая отношение $a/l = 2$ и контурное расположение заземлителей (так как $n > 10$) для количества труб $n = 11$ с учетом интерполяции по таблице А.4 или приложению 4 [12], получим $\eta_{01} = 0,675$.

Уточняем число труб $n_2 = 45,03/(4 \cdot 0,675) = 17$ ед. Так как условие не выполняется, то продолжаем расчет аналогично предыдущему.

По таблице А.4 или приложению 4 [12] находим $\eta_{02} = 0,654$.

Тогда $n_3 = R_0/(R_3 \eta_{02}) = 45,03/(4 \cdot 0,654) = 17,45$ ед.

Полученное число заземлителей отличается от предыдущего значения менее чем на 1, то есть $n_i - n_{i-1} = 17,45 - 17 = 0,45 < 1$.

Поэтому, округляя число вертикальных электродов до ближайшего целого значения, окончательно принимаем $n = 17$ при $\eta_0 = 0,654$;

д) для заземлителей, расположенных в контуре ($n > 10$), рассчитываем длину полосы

$$L_{\pi} = 1,05 a n.$$

После подстановки данных в формулу

$$L_{\pi} = 1,05 \cdot 6 \cdot 17 = 107,1 \text{ м};$$

е) вычисляем сопротивление растеканию горизонтальной соединительной полосы, расположенной в земле

$$R_{\pi} = 0,366 \frac{\rho_{\pi}}{L_{\pi}} \lg \frac{2L^2}{bh}.$$

После подстановки данных получим

$$R_{\pi} = 0,366 \cdot \frac{400}{107,1} \cdot \lg \frac{2 \cdot 107,1^2}{0,04 \cdot 0,5} = 8,28 \text{ Ом}.$$

При $n = 17$, $a/l = 2$ и расположению труб в групповом заземлителе по контуру коэффициент экранирования полосы $\eta_{\pi} = 0,344$ (таблица А.4 или приложение 4 [12]);

ж) рассчитываем сопротивление растеканию группового заземлителя

$$R_{\text{гр}} = \frac{R_0 R_{\pi}}{R_0 \eta_{\pi} + R_{\pi} m \eta_0}.$$

Подставив данные, вычисляем

$$R_{\text{гр}} = \frac{45,03 \cdot 8,28}{45,03 \cdot 0,344 + 17 \cdot 8,28 \cdot 0,654} = 3,51 \text{ Ом}.$$

3 Выводы: так как вычисленное $R_{\text{гр}} < R_3$ ($3,51 < 4$), то определенные в ходе расчета число труб $n = 17$ и длину соединительной полосы $L_{\pi} = 107,1$ м принимают окончательно.

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

**СОЕДИНЕНИЯ И ПРИСОЕДИНЕНИЯ
ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ И НУЛЕВЫХ ЗАЩИТНЫХ ПРОВОДНИКОВ**

Соединяемые проводники	Способы соединения	Дополнительные требования к качеству соединения
Заземляющие и нулевые защитные проводники	Сварка	1 Соединения и присоединения заземляющих и нулевых защитных проводников должны быть доступны для осмотра.
Заземляющие и нулевые защитные проводники в помещениях и в наружных установках без агрессивных сред	Допускается выполнять соединения заземляющих и нулевых защитных проводников другими способами, обеспечивающими требования ГОСТ 10434–82 ко 2-му классу соединений	2 Места и способы соединения заземляющих проводников с протяженными естественными заземлителями должны быть выбраны такими, чтобы при разъединении заземлителей для ремонтных работ было обеспечено расчетное значение сопротивления заземляющего устройства. Водомеры, задвижки должны иметь обходные проводники, обеспечивающие непрерывность цепи заземления.
Стальные трубы электропроводок, короба, лотки и другие конструкции, используемые в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников	Должны иметь соединения, соответствующие требованиям ГОСТ 10434–82, предъявляемым ко 2-му классу соединений	3 Каждая часть электроустановки, подлежащая заземлению или занулению, должна быть присоединена к сети заземления или зануления при помощи отдельного ответвления. Последовательное включение в заземляющий или нулевой защитный проводник заземляемых или зануляемых частей электроустановки не допускается.
Присоединение заземляющих и нулевых защитных проводников к частям оборудования, подлежащим заземлению или занулению	Должно быть выполнено сваркой или болтовым соединением	4 Места и способы соединения заземляющих проводников с протяженными естественными заземлителями должны быть выбраны такими, чтобы при разъединении заземлителей для ремонтных работ было обеспечено расчетное значение сопротивления заземляющего устройства.
Заземление или зануление оборудования, подвергающегося частому демонтажу или установленного на движущихся частях или частях, подверженных сотрясениям или вибрации	Должно выполняться гибкими заземляющими или нулевыми защитными проводниками	5 Каждая часть электроустановки, подлежащая заземлению или занулению, должна быть присоединена к сети заземления или зануления при помощи отдельного ответвления

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(справочное)

**СПОСОБЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ
К СИЛОВОМУ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЮ**

Оборудование	Заземляющие элементы	Способ присоединения к заземляющей сети
Пусковой аппарат (магнитный пускатель, ящик с автоматическим выключателем и т. д.), аппарат управления (кнопочный пост, конечный выключатель, реостат, контроллер и т. д.), щитки, распределительные шкафы	Корпус аппарата, ящика, щитка, шкафа	Заземляющий проводник присоединяется к заземляющему или крепящему болту корпуса аппарата, ящика или щитка; при установке на металлоконструкции заземляющий проводник приваривается к конструкции. Если заземление производится через трубы электропроводки, то оно выполняется: а) присоединением перемычки от фляжка или болта, приваренного к трубе, к заземляющему болту на корпусе аппарата, щитка, ящика б) установкой на трубе двух цапающих гаек или одной цапающей гайки и контргайки с зажимом стального листа корпуса аппарата между гайками
Электрооборудование, установленное на станках и прочих механизмах	Корпус станка или механизма, имеющего металлическую связь с корпусом электродвигателя или другого оборудования	Заземляющий проводник, идущий от магистрали заземления или от стальной трубы электропроводки (если трубы используются в качестве заземляющих проводников), присоединяется к заземляющему болту на станке (механизме). Электрооборудование, установленное на движущейся части станка, заземляется при помощи отдельной жилы в гибком кабеле, питающем движущуюся часть
Электрооборудование мостового крана	Подкрановые рельсы	Ответвления от заземляющего устройства привариваются в двух местах к подкрановым рельсам. Все стыки рельсов должны быть надежно соединены сваркой, на разъёмных стыках должны быть приварены гибкие перемычки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Безопасность жизнедеятельности** : в 2 ч. / К. Б. Кузнецов [и др.] ; под ред. К. Б. Кузнецова. – М. : Маршрут, 2006. – Ч. 2 : Охрана труда на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов. – 534 с.
- 2 **ГОСТ 12.1.009–76**. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения. – Введ. 1977-01-01.– М. : Изд-во стандартов, 1977. – 4 с.
- 3 **ГОСТ 12.1.030–81**. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – Введ. 1982-07-01.– М. : Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.
- 4 **ГОСТ 21130–75**. Изделия электротехнические. Зажимы заземляющие и знаки заземления. Конструкция и размеры. – Введ. 1976-07-01.– М. : Изд-во стандартов, 1976. – 27 с.
- 5 **Долин, П. А.** Основы техники безопасности в электроустановках / П. А. Долин. – М. : Энергия, 1979. – 408 с.
- 6 **Долин, П. А.** Справочник по технике безопасности / П. А. Долин. – М. : Энергия, 1985. – 802 с.
- 7 Инженерные решения по охране труда в строительстве / под ред. Г. Г. Орлова. – М. : Стройиздат, 1985. – 278 с.
- 8 **Карякин, Р. Н.** Заземляющие устройства электроустановок : справ. / Р.Н. Карякин. – 2-е изд., с изм. и доп. – М. : Энергосервис, 2006. – 518 с.
- 9 Охрана труда в электроустановках / под ред. Б. А. Князевского – М. : Энергия, 1977. – 336 с.
- 10 Охрана труда в машиностроении / под ред. Е. Я. Юдина. – М. : Машиностроение, 1983. – 432 с.
- 11 Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1986. – 431 с.
- 12 **Рудницкий, А. М.** Электробезопасность на объектах железнодорожного транспорта: метод. указания / А. М. Рудницкий, С. Н. Шатило, М. И. Грунтова. – Гомель : БелИИЖТ, 1990. – 66 с.
- 13 Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование: справ. / под ред. С. В. Белова. – М. : Машиностроение, 1989. – 368 с.
- 14 **ТКП 339–2011**. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередач воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний. – Введ. 2011-08-23. – Минск : М-во энергетики Респ. Беларусь, 2011. – 329 с.
- 15 **ТКП 427–2012**. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок. – Введ. 2012-11-28. – Минск : М-во энергетики Респ. Беларусь, 2013. – 148 с.
- 16 **ТКП 290–2010**. Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках. – Введ. 2010-12-27. – Минск : М-во энергетики Респ. Беларусь, 2011. – 108 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Основные положения	3
1.1 Общие сведения.....	3
1.2 Требования безопасности при выполнении лабораторной работы.....	5
1.3 Воздействие электрического тока на организм человека.....	6
1.4 Виды поражения электрическим током.....	8
1.5 Причины поражения электрическим током.....	10
1.6 Классификация производственных помещений и электроустановок по степени опасности поражения электрическим током.....	10
1.6.1 Классификация помещений по электробезопасности.....	10
1.6.2 Классификация помещений и территорий по опасности электропоражения.....	11
1.6.3 Классификация электроустановок по мерам электробезопасности.....	12
2 Назначение, область применения и расчет защитного заземления электроустановок	12
2.1 Виды заземляющих устройств.....	13
2.2 Классификация систем электроснабжения в электроустановках.....	15
2.3 Расчет защитного заземления.....	19
2.4 Конструктивное исполнение заземляющих устройств.....	23
2.5 Нормирование параметров защитного заземления.....	26
3 Измерение электрических параметров заземляющих устройств	27
3.1 Измеритель сопротивления заземления М416.....	28
3.2 Измеритель сопротивления заземления Ф4103-М1.....	29
3.3 Измерение сопротивления заземляющих устройств.....	29
4 Порядок выполнения лабораторной работы	35
5 Мероприятия по предупреждению поражения человека электрическим током	36
5.1 Организационные мероприятия по предупреждению поражения электрическим током.....	36
5.2 Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность обслуживающего персонала.....	38
5.3 Технические средства защиты, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках.....	39
Контрольные вопросы	39
Приложение А Справочные данные для расчета защитного заземления.....	40
Приложение Б Пример расчета защитного заземления электрического оборудования производственного помещения.....	42
Приложение В Соединения и присоединения заземляющих и нулевых защитных проводников.....	45
Приложение Г Способы присоединения проводников к силовому электрооборудованию.....	46
Список литературы	47

Учебное издание

ШАТИЛО Сергей Николаевич
ДОРОШКО Сергей Владимирович
ИВЛЕВА Татьяна Викторовна
КАРПЕНКО Валерий Владимирович

**ОХРАНА ТРУДА.
ИССЛЕДОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторной работы

Редактор Н. Г. Ш е м е т к о в а
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а
Корректор Т. А. П у г а ч
Компьютерный набор и верстка – Н. А. Ч е р н ы ш о в а

Подписано в печать 03.06.2015 г. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,87. Тираж 450 экз.
Зак. № Изд. № 112

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий
№ 1 / 361, от 13.06.2014.
№ 2 / 104, от 01.04.2014.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель,