

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
"СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кафедра "Электроэнергетика"

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ»

Учебно-методическое пособие
для студентов направлений подготовки
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,
14.05.02 «Атомные станции: проектирование,
эксплуатация и инжиниринг»

Севастополь
СевГУ
2026

УДК 621.316.9:658.382.3(076.5)

ББК 31.28н-я73

Л13

Р е ц е н з е н т ы :

А.А. Скидан – канд. техн. наук, доцент,
профессор кафедры «Ядерные энергетические установки»
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Коллектив авторов:

А.А. Лавренчук, М.Ю. Сперанский, А.В. Губин, Е.Д. Губина

Л13 Лабораторный практикум по дисциплине «Электробезопасность»: учебно-методическое пособие для студентов направлений подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» / А.А. Лавренчук, М.Ю. Сперанский, А.В. Губин, Е.Д. Губина; Севастопольский государственный университет. – Севастополь: СевГУ, 2026. – 54 с.: ил. – Текст : электронный.

Задания и методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электробезопасность» для студентов направлений подготовки: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг».

В данном пособии рассмотрены вопросы и последовательность действий при оказании первой доврачебной помощи пострадавшему при поражения электрическим током. Практическая значимость пособия заключается в формировании у студентов профессиональных компетенций по обеспечению электробезопасности, включая навыки работы с защитными устройствами, умение проводить измерения параметров электроустановок, способность оценивать риски поражения электрическим током и владение методами оказания первой помощи.

УДК 621.316.9:658.382.3(076.5)
ББК 31.28н-я73

Рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании Ученого совета Института ядерной энергии и промышленности, протокол № 5 от 7 апреля 2026 г.

© Лавренчук А.А., Сперанский М.Ю.,
Губин А.В., Губина Е.Д., 2026
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1. Инструктивно-методические указания по проведению лабораторного занятия Лз-1 на тему «ОКАЗАНИЕ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ ПОСТРАДАВШЕМУ ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ НА VR-ТРЕНАЖЕРЕ».....	6
1.1 Организационные указания	6
1.2 Методические указания по проведению работы	7
1.3 Правила эксплуатации VR гарнитуры.....	7
1.4 Последовательность выполнения работы	15
1.5 Перечень контрольных вопросов	20
2. Инструктивно-методические указания по проведению лабораторного занятия Лз-2 на тему «ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ».....	22
2.1. Организационные указания.....	22
2.2 Методические указания по проведению работы	23
2.3 Описание работы стенда для выполнения лабораторных работ № 2 и 3 по исследованию условий электробезопасности в трехфазных сетях.....	25
2.4 Последовательность выполнения работы.....	29
2.5 Перечень контрольных вопросов	31
3. Инструктивно-методические указания по проведению лабораторного занятия Лз-3 на тему «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ»	32
3.1 Основные теоретические сведения	33
3.2 Последовательность выполнения работы.....	35
3.3 Перечень контрольных вопросов	37
4. Инструктивно-методические указания по проведению лабораторного занятия Лз-4 на тему «ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА».....	39
4.1 Основные определения и конструктивные особенности заземляющего устройства (защитного заземления)	40
4.2 Нормирование параметров защитного заземления	41
4.3 Контроль заземления	42
4.4 Определение удельного сопротивления грунта.....	44
4.5 Проведение измерений	44
4.6. Обработка результатов измерений.....	45
4.7 Перечень контрольных вопросов	45
5. Инструктивно-методические указания по проведению лабораторного занятия Лз-5 на тему «ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ	

ИЗОЛЯЦИИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА АБСОРБЦИИ»	47
5.1 Основные теоретические сведения	47
5.2 Ознакомление с методикой, приборами и схемами измерения	49
5.3 Задание	50
5.4 Перечень контрольных вопросов	52
Приложение 1	53
Приложение 2	54

ВВЕДЕНИЕ

В данном пособии изложены основные разделы дисциплины «Электробезопасность», выполнение лабораторных занятий производится как на физических стендах, так и на VR-тренажере, производится закрепление действий персонала по оказанию первой помощи пострадавшему при поражении электрическим током с проведением сердечно-легочной реанимации при отсутствии сознания, кровообращения и остановке дыхания, также закреплены сведения о работе электрических сетей с изолированной и глухозаземленной нейтралью, указаны назначение и принцип действия защитного заземления, методы и способы определения удельного сопротивления грунта, а также рассмотрены способы исследования сопротивления изоляции в электроустановках и методы определения коэффициента абсорбции.

Целью данного пособия является приобретение практических навыков по оказанию первой помощи пострадавшему при поражении электрическим током и обслуживании сетей с различным режимом нейтрали в нормальном и аварийном режимах работы, проверка эффективности защитного заземления в сетях до 1000 В, в проведении измерений сопротивления заземления, определение удельного сопротивления грунта, а также изучение и практическое исследование сопротивления изоляции электроустановок и определение коэффициента абсорбции.

1. Инструктивно-методические указания по проведению лабораторного занятия Лз-1 на тему «ОКАЗАНИЕ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ ПОСТРАДАВШЕМУ ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ НА VR-ТРЕНАЖЕРЕ»

Тема: Оказание первой помощи пострадавшему при поражении электрическим током на VR-тренажере.

Цель: закрепить знания действий персонала по оказанию первой помощи пострадавшему при поражении электрическим током с проведением сердечно-легочной реанимации при отсутствии сознания, кровообращения и остановке дыхания.

В результате проведения лабораторного занятия студенты должны:

знать:

1. Нормативные акты по электробезопасности.
2. Действие электрического тока на организм человека.
3. Виды электрических травм.

уметь:

1. Пользоваться средствами личной защиты при освобождении пострадавшего от действия электрического тока в электроустановках напряжением до 1000 В.
2. Проводить освобождение пострадавшего от действия электрического тока путем отключения электроустановки.

1.1 Организационные указания

В VR-тренажере должны отрабатываться навыки оказания первой помощи в соответствии с Универсальным алгоритмом оказания первой помощи, рекомендованным МЧС России.

В основу сценариев должны быть:

- заложены темы практических занятий программ обучения по оказанию первой помощи пострадавшим в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 24 декабря 2021 года N 2464 «О порядке обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда».
- учтены требования Приказа Минтруда России "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок" № 903н от 15 декабря 2020 в части обучения приемам освобождения пострадавшего от действия электрического тока.
- учтены требования Приказа Минздрава России от 03.05.2024 N 220н «Об утверждении Порядка оказания первой помощи».

1.2 Методические указания по проведению работы

VR-тренажер должен содержать **три режима прохождения**:

1. Обучение. Теоретическая часть, представляет собой интерактивную анимацию, которая визуализирует процесс оказания первой помощи пострадавшему; Пользователь (обучаемый) полностью погружается в Виртуальное пространство. Виртуальный помощник рассказывает, как правильно и безопасно осуществлять первую помощь пострадавшему, а Пользователь (обучаемый) учится их выполнять. Время прохождения в режиме не ограничено.

2. Тренировка. Практическая часть, представляет собой симуляцию для отработки действий в условиях Виртуальной реальности, приближенных к реальным; сценарии генерируют внештатные ситуации. Пользователь (обучаемый) испытывает на себе возможные негативные последствия, которые могут наступить в случае ошибочных действий. Успешное завершение тренировки происходит после правильного выполнения всех действий.

3. Экзамен. Пользователь (обучаемый) без подсказок выполняет все необходимые действия; по итогам прохождения, виртуальный помощник показывает, что работник выполнил неверно.

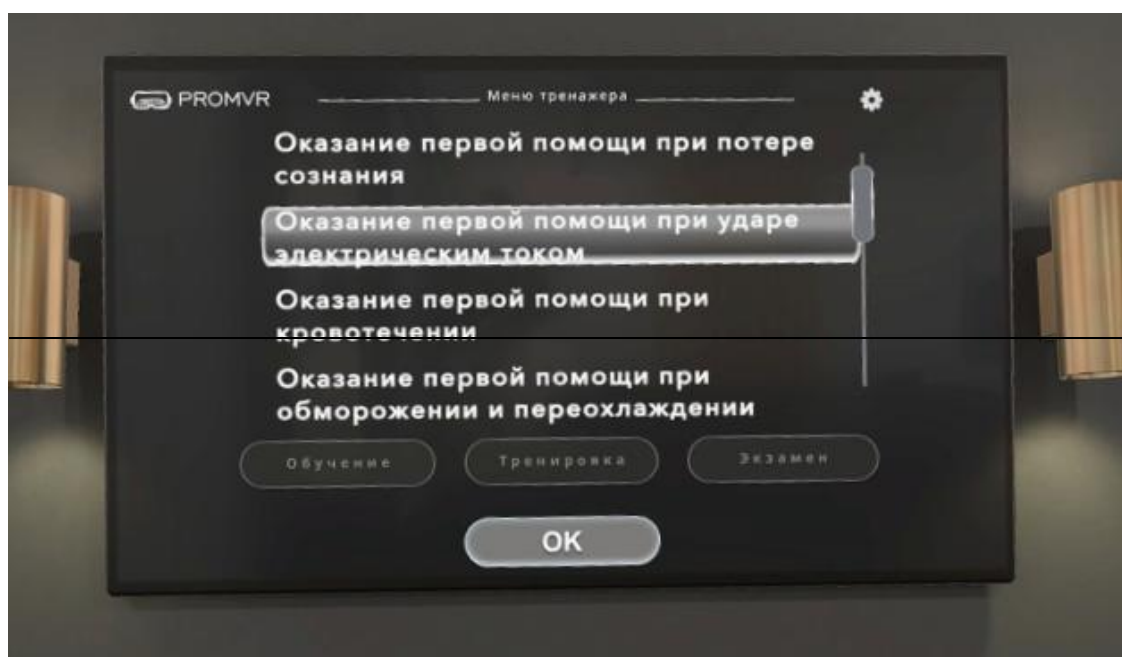


Рис. 1. Интерфейс выбора режима прохождения

1.3 Правила эксплуатации VR гарнитуры

Основные технические характеристики VR-очков приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики PICO 4

Параметр	Значение
Диагональ дисплеев (дюйм)	2.56"
Разрешение на каждый глаз	2160x2160
Общее разрешение	4320x2160
Частота обновления экрана	90 Гц
Угол обзора (градус)	105°
Процессор	Qualcomm Snapdragon XR2
Объем оперативной памяти	8 ГБ
Объем встроенной памяти	128 ГБ
Поддержка беспроводных интерфейсов	Bluetooth, Wi-Fi

Фотография VR-очков, используемых для выполнения работы представлена на рисунке 2.

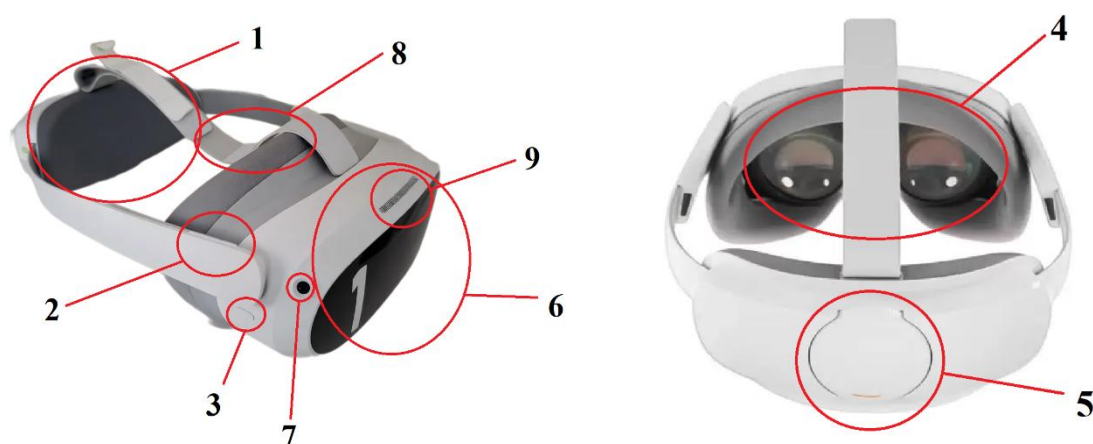


Рис. 2. VR-очки PICO 4

Звук во время прохождения лабораторной работы обеспечивается благодаря внешнему динамику 1 и двух дополнительных динамиков в передней части шлема, обеспечивающему трехмерный объемный звук. Также, в данном блоке находится отсек с аккумулятором. Регулировка громкости звука реализуется с помощью кнопок 2, расположенных на правом держателе. Боковые держатели имеют возможность поворота на 65° вверх для удобства надевания шлема. Включение шлема осуществляется длительным удержанием кнопки питания 3 в течение 2 секунд, для перевода очков в режим сна требуется сделать одно короткое нажатие. Для выключения очков требуется длинное нажатие в течение 5 секунд. Порт Type-C для зарядки и проводного подключения к ПК находится с левой стороны очков. Регулировка шлема для комфортного и надежного крепления на голове осуществляется вращением устройства 5 (по часовой стрелке – укрепить, против – расслабить). Для выхода из режима сна достаточно надеть очки, так как в них установлен датчик приближения. Также возможна настройка ремешка 8 сверху с помощью

липучек. После успешного включения очков запускается интерфейс операционной системы, дальнейшее управление которым выполняется с помощью экранов 4 и контроллеров, представленных на рисунке 3. RGB-камера 6 необходима для просмотра реального мира в режиме реального времени без снятия шлема. Трекинг-камеры 7 необходимы для точного отслеживания движений пользователя и его взаимодействия с виртуальной средой. Намеренное закрытие руками или иными предметами позиций 7 и 8 могут привести к некорректной работе гарнитуры. Позиция 9 – вывод воздушного охлаждения, который закрывать руками строго запрещено. При возникновении выше неуказанных проблем и ошибок обратитесь к преподавателю.

Внимание! Устройство НЕ имеет функции регулировки диоптрий, но шлем позволяет использовать большинство стандартных медицинских очков с шириной оправы до 150 мм.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРАВИЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ ОЧКОВ

1. При выборе места прохождения занятия не допускается попадания солнечных лучей на линзы;

2. Перед выполнением работы убедитесь, что используете шлем в безопасных условиях, посмотрите, что Вас окружает и передвигайтесь только в пределах установленной безопасной зоны;

3. На прибор запрещено класть вещи сверху, чтобы не повредить корпус и линзы;

4. Запрещено размещать очки вблизи нагревательных приборов;

5. Слишком высокая громкость динамика в течение длительного времени может привести к необратимым ухудшениям слуха, рекомендуется выбирать звук, минимально необходимый для ориентирования в пространстве и четкой слышимости команд инструктора (виртуального и преподавателя);

6. При появлении головокружения/тошноты/дискомфорта в глазах/дезориентации сразу же сообщите преподавателю и снимите очки.

Обозначения индикатора VR-гарнитуры:

Синий: Включена, батарея более 20%

Желтый: Зарядка: Аккумулятор менее 98%

Красный: Зарядка: Аккумулятор менее 20%

Зеленый: Зарядка: Аккумулятор заряжен более чем на 98% или зарядка завершена

Синий мигающий: Выключение

Красный мигающий: Аккумулятор менее 20%

Выключенный индикатор: спящий режим или выключенная гарнитура

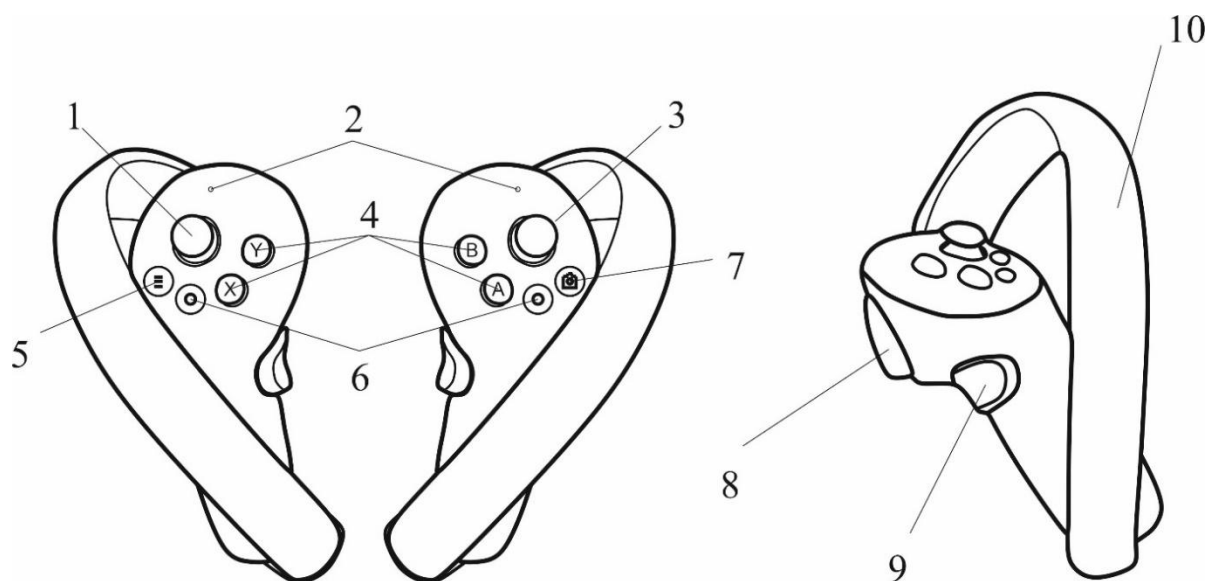


Рис. 3. Контроллеры PICO 4

После включения очков необходимо подключить контроллеры с помощью кнопок 6 коротким нажатием. Для выключения контроллера необходимо зажать кнопки 6 в течение 6 секунд (**ВНИМАНИЕ! КОНТРОЛЛЕРЫ ПОДКЛЮЧЕНЫ К КОНКРЕТНЫМ ОЧКАМ, ПОЭТОМУ ПРИ ЗАВЕРШЕНИИ РАБОТЫ КЛАДИТЕ КОНТРОЛЛЕР К ТОЙ ГАРНИТУРЕ, В КОТОРОЙ ОСУЩЕСТВЛЯЛАСЬ РАБОТА**)

Корректное подключение контроллеров можно идентифицировать с помощью светодиодов 2, которые загораются синим цветом, после чего потухают. Если синий цвет горит длительное время – выполняется обновление встроенного ПО, мигающий синий – поиск соединения (в большинстве случаев означает, что контроллеры не от тех очков), красный и синий сигналы мигают попеременно – выполняется сопряжение со шлемом. С помощью стика 1 на левом контроллере осуществляется перемещение внутри тренажера, поворот в пространстве вокруг своей оси осуществляется с помощью стика 3. Управление стиками осуществляется большими пальцами. Кнопки 4 имеют различное применение, в зависимости от настройки тренажера. Кнопка 5 необходима для возвращения в главное меню. Кнопка 6 «ДОМОЙ» позволяет с помощью короткого нажатия вернуться на главный экран, а также при длительном нажатии отцентровать экран (если это необходимо). Кнопка 7 необходима для создания снимка или видео экрана. Кнопка-триггер 8 «ПОДТВЕРДИТЬ» необходима для подтверждения выбора или действия. Кнопка 9 «ВЗЯТЬ/ЗАХВАТ» необходима для того, чтобы взять виртуальный предмет в виртуальную руку. Трекинг обод 10 необходим для отслеживания гарнитурой движения рук, поэтому их блокировка строго запрещена.

При успешном выполнении вышеуказанных действий и включении очков, пользователю предлагается настроить безопасную зону (рис. 4).

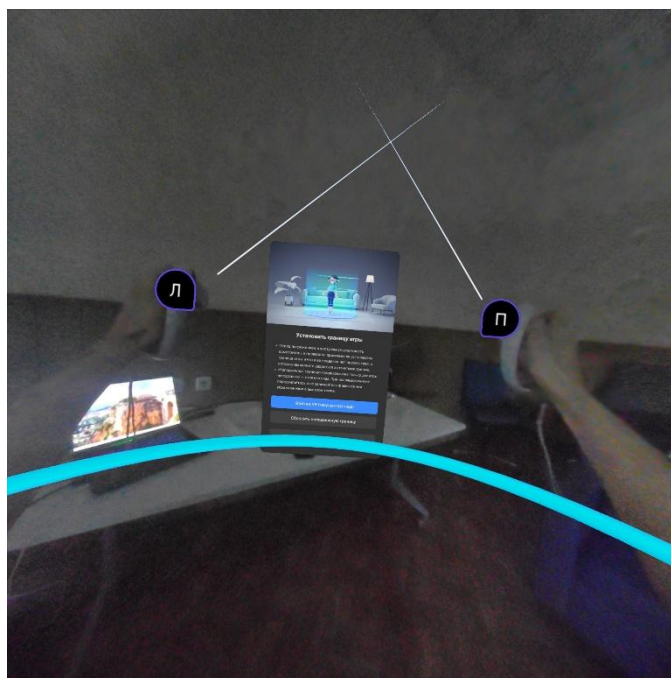


Рис. 4. Интерфейс настройки безопасной зоны

Также на рисунке можно заметить «лучи», исходящие из контроллеров, выполняющие роль курсора, для выбора необходимых действий. Для создания новой границы, пользователю необходимо выбрать пункт «Сбросить неподвижную границу», после чего откроется новое окно (рис. 5).

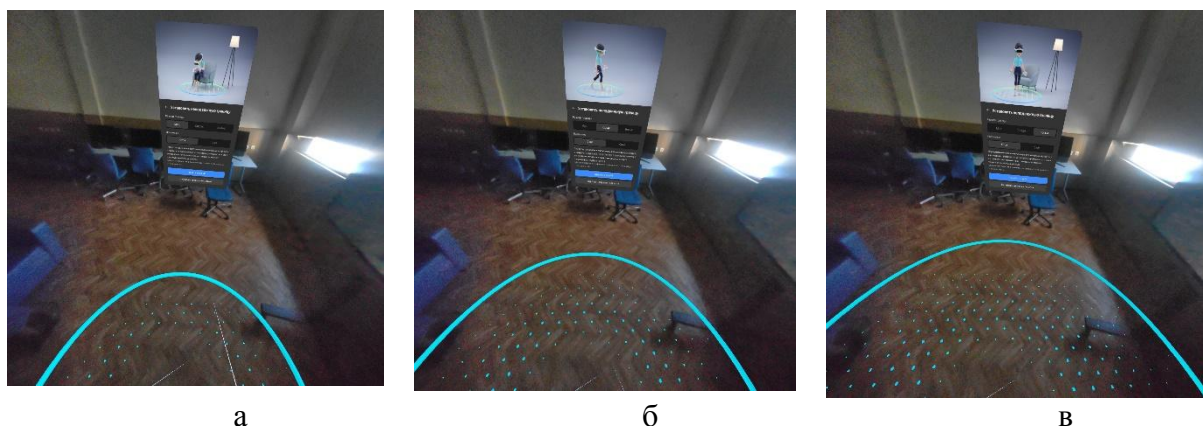


Рис. 5. Настройка безопасной зоны в разных вариантах:
а – малый радиус, б – средний, в – большой

Также возможно управление очками сидя, при корректной настройке. Пользователю необходимо выбрать размер зоны, пункт «Сидя» и настроить высоту пола (рис. 6).

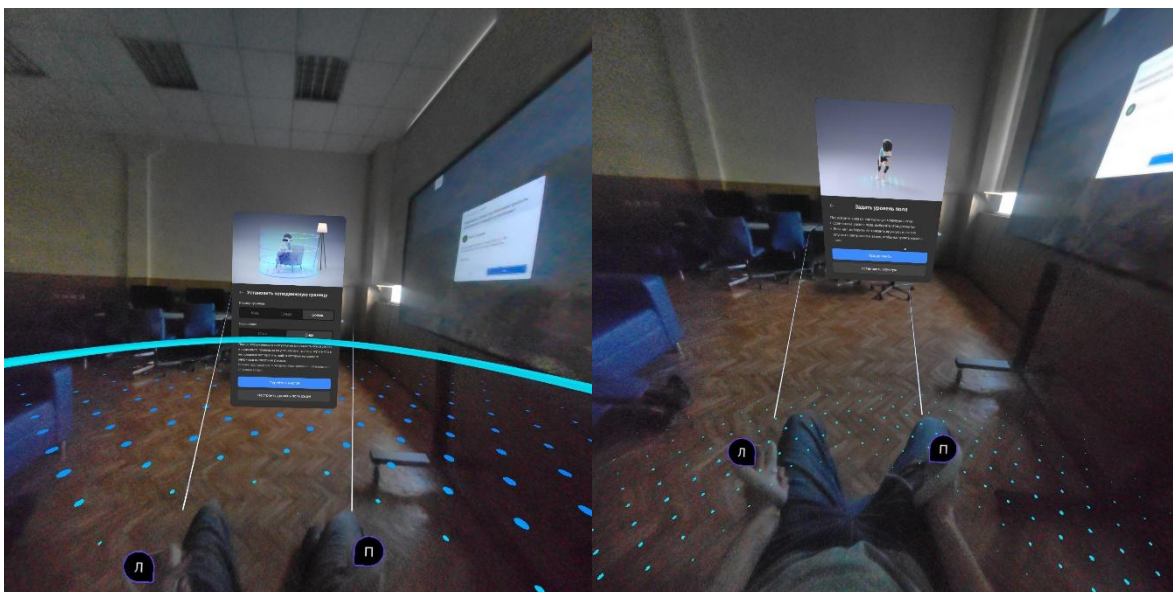


Рис. 6. Настройка безопасной зоны в режиме «Сидя»

Во время настройки необходимо убедиться в отсутствии предметов и людей вокруг. После настройки необходимо нажать на пункт «Войти в VR (текущая граница)», что приведет к успешному переходу в главное меню. При выходе из установленной зоны пользователь вернется в «реальный» мир.

Для запуска тренажера необходимо открыть приложение «PICO Connect» (рис. 7-8) на очках и ПК, предварительно присоединить их с помощью USB или Wi-Fi. При успешном подключении, в интерфейсе очков сразу появится трансляция рабочего стола ПК. Дальнейшее управление рекомендуется осуществлять с помощью ПК для удобства. Также, после подключения, на рабочем столе необходимо открыть приложение «SteamVR», так как тренажер создан с помощью данной надстройки и без нее работать корректно не будет.

Запуск тренажера также осуществляется с рабочего стола. При успешном запуске тренажер предложит обучиться управлению. В данном пособии рассмотрение данного модуля по мнению авторов не является необходимой, так как создатели сделали его достаточно понятным для самостоятельного прохождения. При возникновении проблем или ошибок, обратитесь к преподавателю.

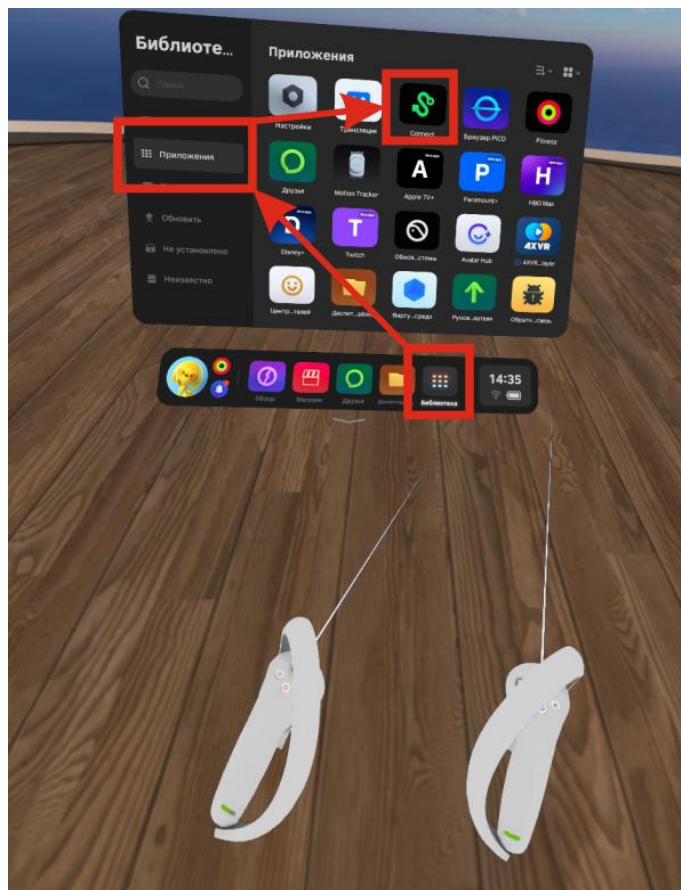


Рис. 7. Интерфейс включения программы «PICO Connect»

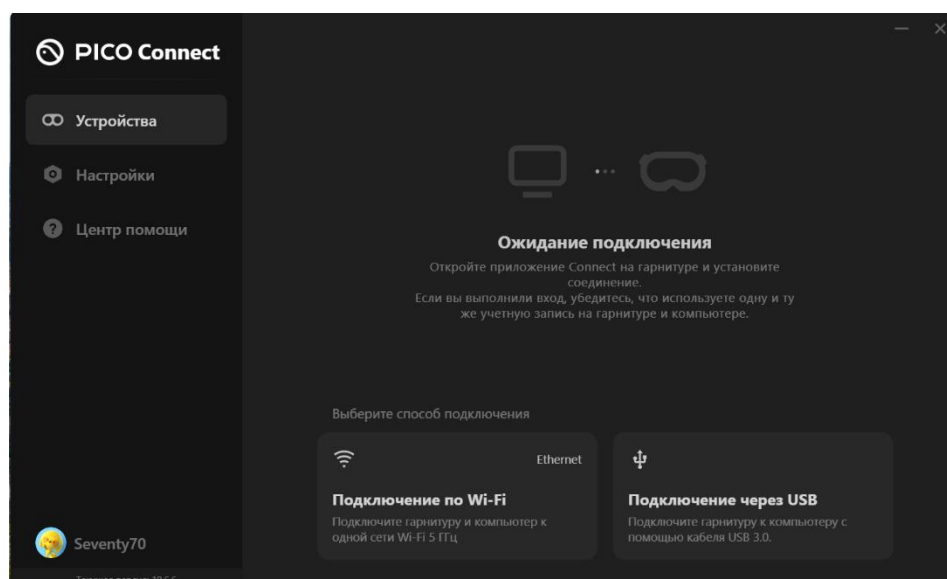


Рис. 8. Интерфейс программы «PICO Connect» на ПК

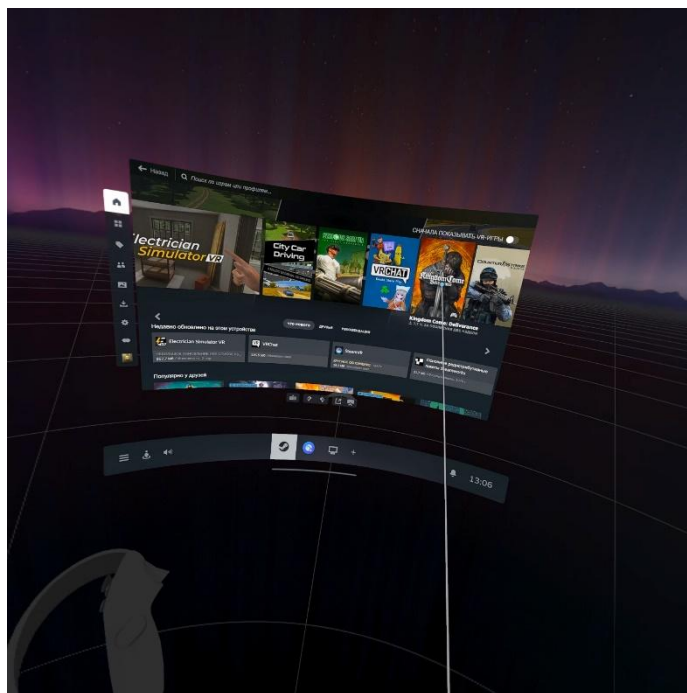


Рис. 9. Интерфейс программы «SteamVR» на ПК

При прохождении VR-тренажера Пользователь (обучаемый) должен изучить и выполнить следующие **действия**:

1. Оценка обстановки
2. Определение основных признаков жизни
3. Применение аптечки и подручных материалов
4. Вызов виртуальной скорой помощи
5. Освобождение пострадавшего от действия электрического тока
6. Оказание первой помощи пострадавшему при поражении электрическим током с проведением сердечно-легочной реанимации при отсутствии сознания, кровообращения и остановке дыхания

В каждом сценарии Пользователю (обучаемому) предоставлены интерактивные (текстовые и аудио) инструкции в определенной последовательности, чтобы максимально эффективно помочь пострадавшему и сохранить его жизнь и здоровье.

В VR-тренажере должны присутствовать следующие проработанные виртуальные модели всех дополнительных персонажей: пострадавший, помощник.

В VR-тренажере должны присутствовать следующие проработанные механики с иммерсивными эффектами, соответствующие физической реальности: перемещение пострадавшего-бота (рук, ног, туловища, головы), оказание первой не медицинской помощи с использованием объектов из аптечки, наложение бинта, наложение жгута, наложение шины, изотермического одеяла, работа со шкафами (открытие/заккрытие), работа с телефоном, выполнение сердечно-легочной реанимации.

В VR-тренажере должны присутствовать следующие проработанные анимации со звуковыми и визуальными эффектами, соответствующие физической реальности: наружное кровотечение, перелом, анимация пострадавшего, анимированный бот-помощник.

В VR-тренажере должна быть реализована возможность сформировать и выгрузить статистику использования VR-тренажера, результатов выполнения упражнений.

1.4 Последовательность выполнения работы

1.4.1 Освобождение от действия электрического тока и оказание первой помощи

а) Лежит пострадавший без признаков жизни после удара электрическим током.



Рис. 10. Пострадавший после полученной травмы

б) Пользователю необходимо:

I Оценить обстановку.



Рис. 11. Оценка обстановки слева и справа от места происшествия

II Освободить пострадавшего от действия электрического тока, соблюдая правила безопасности. В обучающем режиме помогает коллега, в режиме тренировки и экзамена это действие необходимо выполнить самому, используя деревянные бруски у здания и присев.



Рис. 12. Оценка обстановки слева и справа от места происшествия

III Передать информацию по радиии



Рис. 14. Передача данных по радиии

IV Проверить наличие сознания.



Рис. 15. Оценка состояния пострадавшего

V Проверить признаки жизни.

VI Восстановить проходимость дыхательных путей.



Рис. 16. Восстановление проходимости дыхательных путей

VII Начать выполнять СЛР.



Рис. 17. Выполнение СЛР

1.4.2 Отработка приемов удаления инородного тела из верхних дыхательных путей пострадавшего (рис. 16).

а) Определение степени нарушения проходимости верхних дыхательных путей, вызванного инородным телом.

б) Принятие мер по удалению инородного тела.

1.4.3 Оказание первой помощи при поражении электрическим током.

а) На полу лежит пострадавший без признаков жизни после удара электрическим током.

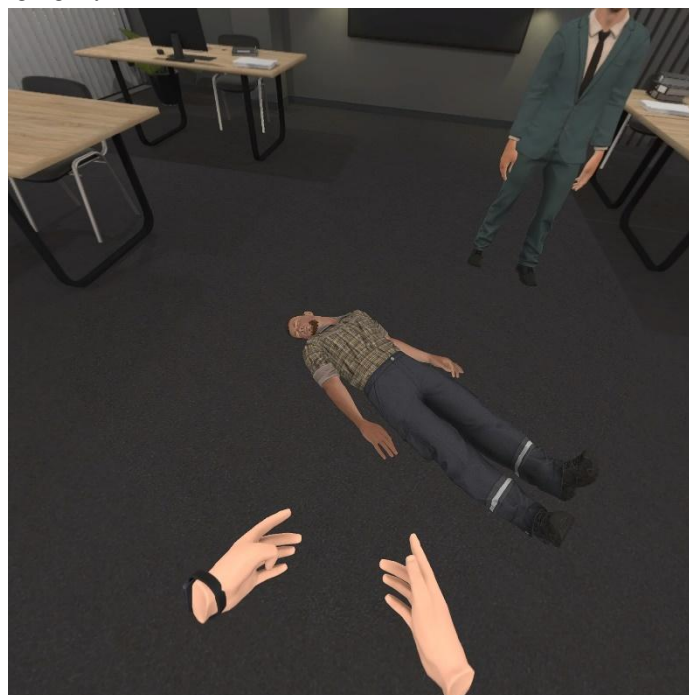


Рис. 18 Пострадавший после полученной травмы

б) Пользователю необходимо:

I Проверить наличие сознания.

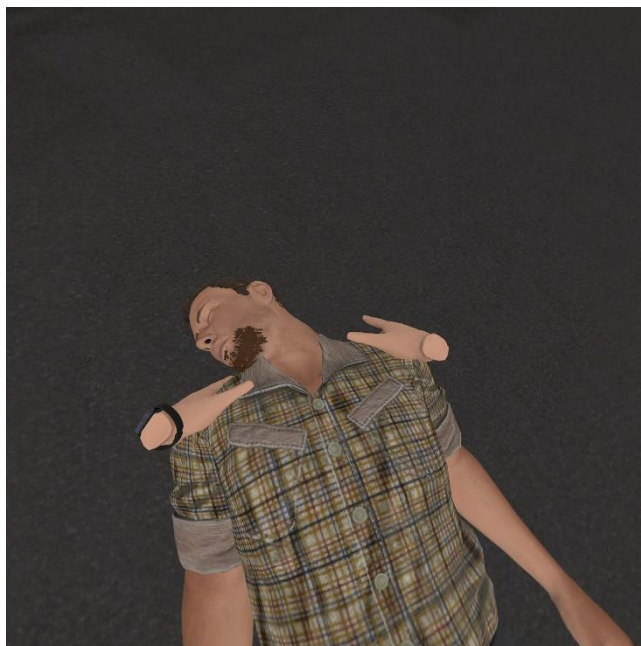


Рис. 19. Оценка состояния пострадавшего

II Проверить признаки жизни.

III Восстановить проходимость дыхательных путей.

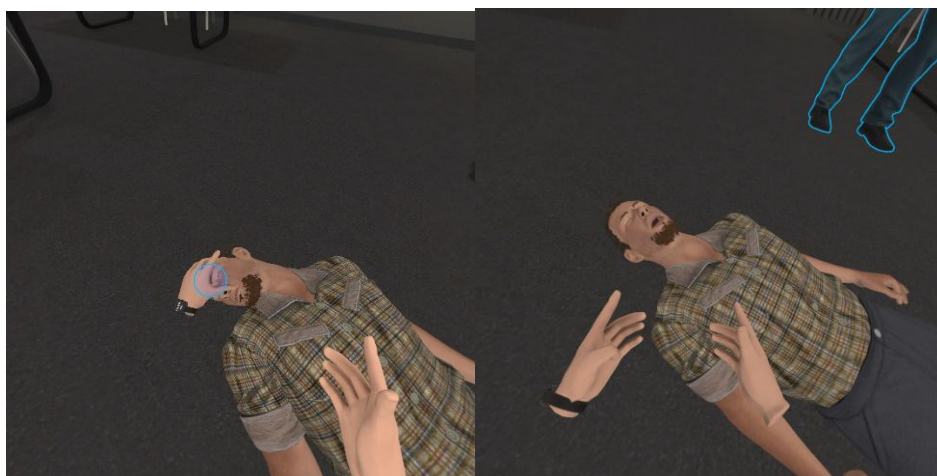


Рис. 20. Восстановление проходимости дыхательных путей

IV Вызвать скорую помощь.



Рис. 21. Вызов скорой помощи с помощью коллеги

V Начать выполнять СЛР.

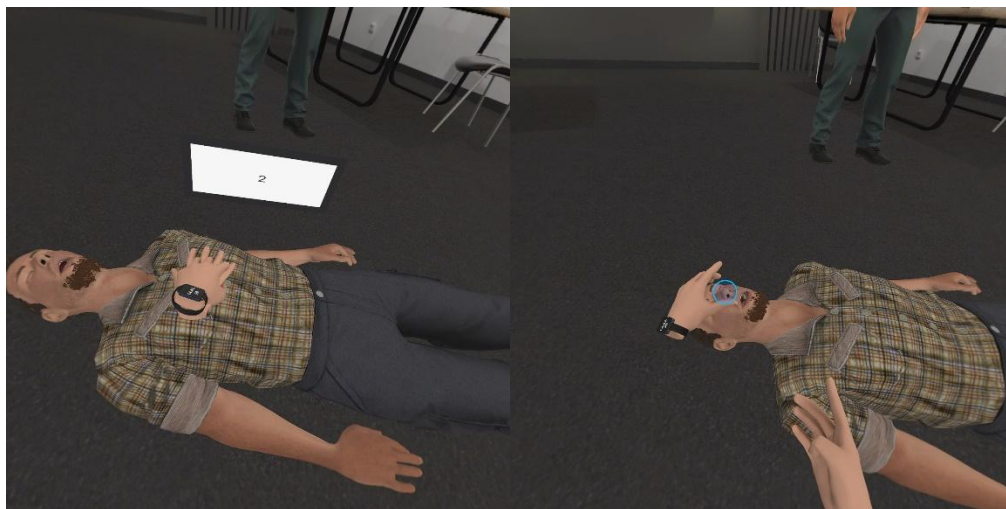


Рис. 22. Выполнение СЛР

1.5 Перечень контрольных вопросов

1. Первоочередные меры безопасности для спасателя. Что необходимо сделать перед тем, как приступить к помощи пострадавшему? Как обеспечить собственную безопасность при работе с электроустановками?

2. Как прекратить воздействие электрического тока на пострадавшего? Какие способы используются в зависимости от ситуации

(отключение источника питания, использование изолирующих предметов, оттаскивание за одежду и т. д.)?

3. Какие меры предосторожности нужно соблюдать при освобождении пострадавшего от действия тока? Что нельзя делать в такой ситуации?

4. Как оценить состояние пострадавшего после освобождения от воздействия тока? Какие признаки нужно проверить (сознание, дыхание, пульс, состояние зрачков и др.)?

5. Когда необходимо вызывать скорую помощь? В каких случаях это обязательно независимо от состояния пострадавшего?

6. Какие действия выполняются при отсутствии дыхания и пульса? Как проводится сердечно-лёгочная реанимация?

7. Как оказать первую помощь при различных состояниях пострадавшего (в сознании, при судорогах, при потере сознания без остановки дыхания)?

8. Что нельзя делать при поражении электрическим током? Какие действия могут усугубить состояние?

9. Какие последствия могут проявиться не сразу, а спустя несколько часов или дней после удара током? Почему пострадавший должен находиться под медицинским наблюдением?

10. Какие меры профилактики электротравм можно назвать? Что нельзя делать при работе с электроприборами?

2 Инструктивно-методические указания по проведению лабораторного занятия Лз-2 на тему «ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ»

Тема: Исследование условий электробезопасности в трехфазных сетях.

Цель: исследовать влияние режима нейтрали, параметров сети и сопротивления тела человека на силу тока, протекающего через человека при случайном прикосновении к фазному проводу сети или корпусу поврежденной электроустановки.

В результате проведения лабораторного занятия студенты должны:

знать:

1. Теоретическое обоснование опасности при двухполюсном и однополюсном прикосновении к фазным проводам или к корпусам, случайно (вследствие неисправности или аварии) находящимся под фазным напряжением.

2. Зависимость тока через тело человека от параметров сети и режима нейтрали.

3. Зависимость опасности прикосновении к фазным проводам от параметров электрической сети;

уметь:

1. Рассчитать напряжение прикосновения и ток через тело человека в сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью в нормальном и аварийном режиме.

2. Провести сравнительную оценку опасности поражения человека током в трехфазных сетях с различными режимами нейтрали.

3. Оценить условия электробезопасности в сетях с изолированной, компенсированной и глухозаземленной нейтралью.

Литература

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках / П.А. Долин. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – С.168 – 182.

2. Охрана труда / Под. ред. Б.А. Князевского. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1982. – С. 129 – 139.

2.1. Организационные указания

2.1.1 Ознакомить студентов с содержанием лабораторного занятия № 2 после прохождения темы «Анализ условий электробезопасности в трехфазных сетях» и выдать задание за неделю до начала лабораторного занятия.

2.1.2 Изучить основные теоретические сведения по теме и уметь ответить на контрольные вопросы (письменно или устно) в начале занятия.

2.1.3 Предложить студентам начертить принципиальную схему установки с ее описанием, подготовить таблицы наблюдений для опытов на стенде с физической моделью сети с изолированной, компенсированной и глухозаземленной нейтралью.

2.1.4 При ознакомлении с лабораторной установкой записать в табличной форме оборудование и приборы, используемые при проведении лабораторного занятия.

2.1.5 Исследования проводить после разрешения преподавателя, под наблюдением сотрудников лаборатории и в последовательности, соответствующей порядку работы, согласно методическим указаниям.

2.2 Методические указания по проведению работы

Основные теоретические сведения

Опасность поражения человека, прикоснувшегося к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение, оценивается током, проходящим через тело человека, I_h и напряжением прикосновения $U_{пр}$, а также зависит от ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь, напряжения сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, а также емкости сети относительно земли и т.п.

Однофазное прикосновение в трехфазной сети следует рассматривать как неполное замыкание на землю, причем величина тока I_h прежде всего зависит от режима нейтрали.

2.2.1. Сети с изолированной нейтралью

В сетях с изолированной нейтралью ток через человека при касании одной фазы зависит прежде всего от сопротивления изоляции и емкости фаз относительно земли (рис. 23):

$$I_h = \frac{U_\phi g_h}{2} \sqrt{\frac{[3(g_c + g_b) + \omega\sqrt{3}(c_c - c_b)]^2 + [\sqrt{3}(g_b - g_c) + 3\omega(c_b + c_c)]^2}{g_a + g_b + g_c + g_h + \omega^2(c_a + c_b + c_c)^2}} \quad (1)$$

где U_ϕ - фазное напряжение сети; g_a, g_b, g_c - проводимость изоляции фазных проводов относительно земли; g_h - проводимость тела человека, $g_h = 1/R_h$; ω, c^{-1} - угловая частота сети, $\omega = 314 c^{-1}$.

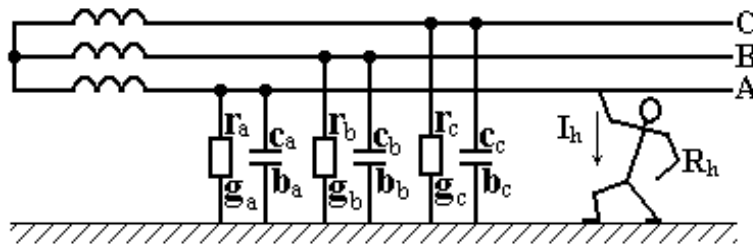


Рис. 23. Однополюсное прикосновение в трехфазной сети с изолированной нейтралью (электрическая схема)

При равенстве сопротивлений утечки и емкости фазных проводов $r_a = r_b = r_c = r$; $c_a = c_b = c_c = c$ ток через человека

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h \sqrt{1 + \frac{r(r+6R_h)}{gR_h^2(1+r^2\omega^2c^2)}}} \quad (2)$$

В случае коротких воздушных сетей сопротивления утечки равны, а емкости фазных проводов малы (можно принять $c \cong 0$). Тогда ток через человека

$$I_h = U_\phi / (R_h + r_b) = 3U_\phi / (3R_h + r) \quad (3)$$

При прикосновении человека к одной фазе в сети с малой емкостью и большим сопротивлением изоляции, если сопротивление фаз относительно земли значительно больше сопротивления цепи человека, т.е. $|Z| \gg R_{ch}$, ток через человека

$$I_h = \frac{3U_\phi}{Z} \quad (4)$$

В кабельных сетях обычно емкости фазных проводов равны и значительны, а активные сопротивления изоляции велики: $C_a = C_b = C_c = C$, $r_a = r_b = r_c \rightarrow \infty$.

В этом случае ток, протекающий через человека,

$$I_h = \frac{3U_\phi \omega C}{\sqrt{9R_h^2 \omega^2 C^2 + 1}} \quad (5)$$

2.2.2 Сети с заземленной нейтралью

В этих сетях напряжение любой фазы относительно земли равно фазному напряжению сети. Ток, протекающий через человека, прикоснувшегося к одной из фаз (рис. 24)

$$I_h = U_\phi / (R_h + r_o) \quad (6)$$

где r_0 - сопротивление рабочего заземления нейтрали.

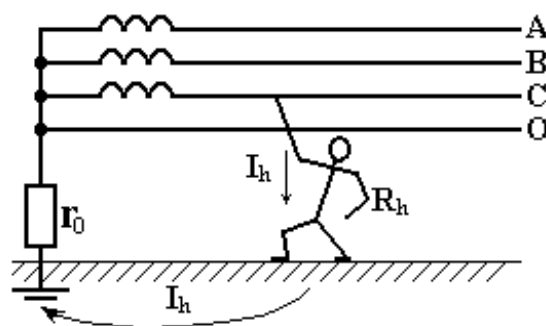


Рис. 24. Прикосновение человека к фазному проводу в сети с заземленной нейтралью

Обычно $r_0 \leq 10 \text{ Ом}$, а сопротивление цепи человека в расчетах принимают 1000 Ом , т.е. $r_a \ll R_h$. Тогда

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h} \quad (7)$$

2.3 Описание работы стенда для выполнения лабораторных работ № 2 и 3 по исследованию условий электробезопасности в трехфазных сетях

Стенд представляет собой физическую модель трехфазной сети с питающим понижающим трансформатором напряжениями 380/220 В.

В зависимости от режима нейтрали источника тока (понижающего трансформатора) на стенде моделируют следующие схемы сети:

- а) трехпроводная сеть с изолированной нейтралью;
- б) трехпроводная сеть с компенсированной нейтралью;
- в) трехпроводная сеть с заземленной нейтралью;
- г) четырехпроводная сеть с заземленной нейтралью.

Электрическая схема стенда (рис. 25) содержит сосредоточенные сопротивления утечки r_a, r_b, r_c и емкости проводов относительно земли C_a, C_b, C_c ; электрическую схему замещения сопротивления тела человека R_h , сосредоточенные активные сопротивления R_a, R_b, R_c, R_0 и индуктивности L_a, L_b, L_c, L_0 проводов линии; сопротивления рабочего r_0 и защитного r_3 и r_p заземлений; компенсирующую катушку L_k , R_{ϕ} – сопротивление эффективного заземления; измерительные приборы: вольтметр U и амперметры A_1 и A_2 , а также необходимые коммутирующие устройства.

В схеме предусмотрена возможность изменения сопротивления утечки (1, 2, 5, 10, 50, 400 кОм и ∞), емкости фаз относительно земли (0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,6 мкФ), активной составляющей сопротивления тела человека (1, 2, 4, 5, 10 кОм), а также сопротивления защитного заземления r_3 , значительно превышающего норму и соответствующего норме.

Стенд снабжен вертикальной панелью с расположенными на ней измерительными приборами, фиксирующими параметры электро-безопасности: ток через тело человека I_h , напряжение прикосновения $U_{пр}$.

Правила техники безопасности при работе на стенде

1. Перед выполнением работы необходимо тщательно ознакомиться с принципиальной схемой, панелью измерений и панелью управления.
2. Перед включением схемы стенда необходимо проверить положение коммутирующих устройств, которые должны быть в исходном положении.
3. Все включения, отключения и переключения разрешаются только после проверки схемы преподавателем или инженером лаборатории.
4. По окончании каждой работы все коммутирующие устройства на стенде должны быть приведены в исходное положение.

2.4.1 Сеть с изолированной нейтралью

1. Ознакомиться с электрической схемой (см. рис. 3), расположением и назначением отдельных элементов схемы (см. прил., табл. 1).
2. Проверить исходное положение всех коммутирующих элементов, обеспечивающих исследуемый режим нейтрали.
3. Подать напряжение на схему стенда включением выключателя Q_1 .
4. Установить переключатель SA-10 в положение 1 ($R_h = 1 \text{ кОм}$).
5. Исследовать влияние сопротивления утечки сети на силу тока I_h и напряжения $U_{пр}$ при $r_a = r_b = r_c$ и $C_a = C_b = C_c = 0$. Переключатели SA6, SA7, SA8 установить в положение “0”, включить тумблер “замыкание”, переключателями SA3, SA4, SA5 симметрично изменять сопротивление утечки.

Наблюдать за изменением тока, протекающего через человека (по миллиамперметру PA2), и напряжения на нем (по вольтметру PV2). Показания приборов занести в таблицу наблюдений (см. прил., табл. 2) (опыт 1).

Переключателем SA9 подключить R_h поочередно к различным фазам. После окончания измерений переключатели SA3, SA4, SA5 привести в исходное положение «0».

Таблица 2 – Таблица исследований

№	Режим нейтрали	R_h , кОм	Сопротивление изоляции (утечки)			Емкость сети относ. земли, мкФ			Ток, протекаю- щий через человека, I_h , мА			Напряжение прикосновения, В			Построить графики
			r_a	r_b	r_c	c_a	c_b	c_c	I_{ha}	I_{hb}	I_{hc}	U_{ha}	U_{hb}	U_{hc}	
1	Сеть с изолирован. нейтралью	1				0	0	0							$I_h = f(r)$ $U_{np} = f(r)$
		1				0	0	0							
		1				0	0	0							
		1				0	0	0							
2	-«-	1	∞	∞	∞										$I_h = f(c)$ $U_{np} = f(c)$
		1	∞	∞	∞										
		1	∞	∞	∞										
		1	∞	∞	∞										
3	-«-	1				0,1	0,1	0,1							Графики совместить $I_h = f(r)$ $U_{np} = f(r)$
		1				0,1	0,1	0,1							
		1				0,1	0,1	0,1							
		1				0,1	0,1	0,1							
4	-«-	1				2,0	2,0	2,0							
		1				2,0	2,0	2,0							
		1				2,0	2,0	2,0							
		1				2,0	2,0	2,0							
5	-«-	1		10кОм	10кОм	0	0	0							$I_{ha} = f(r_a)$ $I_{hbc} = f(r_a)$ $U_{np} = (r_a)$
		1		10кОм	10кОм	0	0	0							
		1		10кОм	10кОм	0	0	0							
		1		10кОм	10кОм	0	0	0							
6		1	0,18кОм	0,18кОм	0,18кОм	2,0	2,0	2,0							$I_h = f(R_h)$ $U_{np} = f(R_h)$
		2,2	0,18кОм	0,18кОм	0,18кОм	2,0	2,0	2,0							
		22	0,18кОм	0,18кОм	0,18кОм	2,0	2,0	2,0							
7	Сеть с заземл. нейтралью	1	∞	∞	∞	0	0	0							
8	-«-	1 2,2 22													$I_h = f(R_h)$ $U_{np} = f(R_h)$

2.4 Последовательность выполнения работы

Таблица 3 – Таблица наблюдений

Режим нейтра- ли	R_h , кОм	Сопротивле- ние изоляции (утечка)			Емкость сети относительно земли, мкФ			Ток, протека- ющий через человека (R_h), мА			Напряжение прикоснове- ния, В		
		r_a	r_b	r_c	C_a	C_b	C_c	I_{ha}	I_{hb}	I_{hc}	U_{ha}	U_{hb}	U_{hc}

6. Исследовать влияние емкости сети на силу тока, протекающего через человека, и напряжение прикосновения при $C_a = C_b = C_c = C$ и $r_a = r_b = r_c \rightarrow \infty$. Переключатели SA3, SA4 и SA5 должны находиться в положении " ∞ ". Симметрично изменяя емкость фазных проводов относительно земли (переключатели SA6, SA7, SA8), наблюдать за изменением тока (по миллиамперметру PA2), протекающего через человека, и напряжения на нем (по вольтметру PV2). Данные наблюдения занести в таблицу (опыт 2). Переключателем SA10 подключать модель человека (R_h) поочередно к различным фазам. По окончании измерений переключатели SA6, SA и SA8 привести в исходное положение «0».

7. Провести исследования для реальной сети, то есть при $r_a = r_b = r_c$ и $C_a = C_b = C_c = C$. По окончании измерений переключатели перевести в исходное положение (опыт 3, 4).

8. Установить влияние сопротивления утечки одной из фаз (например, фазы А) на условия безопасности эксплуатации сети. Переключатели SA6, SA7, SA8 оставить в положении «0», а SA4 и SA5 установить в положении 10 кОм. Изменяя сопротивление изоляции фазы А переключателем SA3, исследовать параметры I_h и $U_{пр}$ аналогично п.п. 6 и 7. По окончании измерений переключатели r_a , r_b и r_c перевести в исходное положение ∞ (опыт 5).

9. Исследовать влияние сопротивления тела человека на силу тока I_h и напряжение прикосновения $U_{пр}$. Исследования проводить для худшего случая $r_a = r_b = r_c = 0,18$ кОм, $C_a = C_b = C_c = 2,0$ мкФ. Установить соответствующими переключателями требуемые сопротивления и емкости фазных проводов. Изменяя переключателем R_h сопротивление тела человека, исследовать I_h и $U_{пр}$. По окончании исследований все переключатели перевести в исходное положение (опыт 6).

10. Выключить стенд.

11. Построить графики зависимостей:

$I_h = f(r)$ и $U_{пр} = f(r)$ по данным п. 5;

$I_h = f(C)$ и $U_{пр} = f(C)$ по данным п. 6;

$I_h = f(r)$ и $U_{пр} = f(r)$ при значениях емкости C_1 и C_2 (графики можно совместить по данным п. 7);

$I_{ha} = f(r_a)$, $I_{hb,c} = f(r_a)$ и $U_{hb,c} = f(r_a)$ по данным п. 8;

$I_h = f(R_h)$, $U_{пр} = f(R_h)$ по данным п. 9.

12. Сделать выводы.

2.4.2 Сеть с заземленной нейтралью

1. Ознакомиться с принципиальной и монтажной электрической схемой, и содержанием работы.

2. Подать напряжение на стенд включением выключателя Q_1 (см. рис. 1).

3. Заземлить нулевую точку источника питания (с низкой стороны трансформатора) включением переключателя SA1.

4. Установить переключатель SA10 в положение “1” ($R_h = 1 \text{ кОм}$).

5. Включить переключатель SA9 и нажать кнопку S3. По миллиамперметру PA2 и вольтметру PV2 определить соответственно I_h и $U_{пр}$. Данные занести в таблицу (опыт 7).

6. Выяснить, влияют ли сопротивления утечки и емкости сети на I_h и $U_{пр}$. Для этого установить 2-3 значения симметричных сопротивлений утечки и емкости сети $r_a = r_b = r_c = r$ и $C_a = C_b = C_c = C$,

определить по показаниям миллиамперметра PA2 и вольтметра PV2 I_h и $U_{пр}$. Данные измерений занести в таблицу (опыт 8). По окончании исследований переключатели установить в исходное положение.

7. Исследовать влияние сопротивления тела человека на силу тока I_h и напряжение $U_{пр}$. Изменяя переключателем SA10 сопротивление R_h , наблюдать за изменением I_h и $U_{пр}$. Данные наблюдений занести в таблицу (опыт 9).

8. Выключить стенд, все переключатели и выключатели вернуть в исходное положение (с отключением от источника питания).

9. Построить графики $I_h = f(R_h)$ и $U = f(R_h)$ и сделать выводы.

2.4.3 Выводы по работе

1. Сравнивая и сопоставляя результаты исследований I_h и $U_{пр}$ при различных условиях работы сети с изолированной и заземленной нейтралью, сделать выводы об условиях электробезопасности при эксплуатации этих сетей.

2. Сделать выводы о зависимости тока, протекающего через тело человека, от R_h :

$$(I_h = f(R_h))$$

2.4.4 Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Ф.И.О. студента.
4. Краткие теоретические сведения.
5. Принципиальная схема стенда.
6. Таблица исследований.
7. Построение графиков.
8. Выводы по результатам исследований.

2.5 Перечень контрольных вопросов

1. Как выполняются трехфазные сети в зависимости от режима нейтрали источника тока и наличия нейтрального или нулевого проводника?
2. В чем заключаются особенности нейтральной и нулевой точки?
3. Что называется глухозаземленной нейтралью?
4. Какие две схемы применяются в странах СНГ при напряжении до и выше 1000 В?
5. Какие могут быть схемы включения человека в цепь тока?
6. От чего зависит опасность прикосновения человека к фазному проводу в трехфазных сетях с изолированной нейтралью в период нормальной работы сети?
7. Под каким напряжением окажется человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправной фазе трехфазной сети с изолированной нейтралью?
8. Как зависят I_h и $U_{пр}$ в трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью в период ее нормальной работы?
9. Под каким напряжением оказывается человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправному проводу трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью?
10. От каких параметров зависят I_h и $U_{пр}$ в сети с изолированной нейтралью?
11. От каких параметров зависит ток, протекающий через человека, и $U_{пр}$ на нем при однофазном прикосновении в сети с заземленной нейтралью?
12. Как влияет сопротивление утечки фазных проводов на ток через человека и $U_{пр}$ в сетях с изолированной и заземленной нейтралью?
13. Как влияет емкость проводов относительно земли на ток I_h и напряжение $U_{пр}$ в сетях с изолированной и заземленной нейтралью?
14. Как влияет сопротивление утечки одной фазы на безопасность эксплуатации сети с изолированной нейтралью?
15. Как влияет сопротивление цепи человека на безопасность эксплуатации электрических сетей?

3 Инструктивно-методические указания по проведению лабораторного занятия Лз-3 на тему «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ»

Тема: Исследование эффективности защитного заземления электроустановок в сети с изолированной нейтралью.

Цель:

1. Ознакомиться с принципом работы защитного заземления.
2. Оценить влияние сопротивления току растекания на эффективность защитного заземления в электроустановках напряжением до 1000 В при изменении сопротивления изоляции и емкости электрической сети относительно земли.

В результате проведения лабораторного занятия студенты должны:

знать:

1. Теоретическое обоснование применения защитного заземления.
2. Требования нормативных документов к величине сопротивления заземляющего устройства.
3. Зависимость тока через человека, прикоснувшегося к заземленному корпусу, оказавшемуся под напряжением, или попавшего под шаговое напряжение, от тока замыкания на землю;

уметь:

1. Рассчитать оценить опасность прикосновения человека к нетоковедущим частям электроустановки в сетях с изолированной нейтралью в нормальном и аварийном режиме.
2. Провести сравнительную оценку опасности поражения человека током при наличии и отсутствии защитного заземления.
3. Объяснить область применения защитного заземления.

Литература

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках / П.А. Долин. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – С.168 – 182.
2. Охрана труда / Под. ред. Б.А. Князевского. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1982. – С. 129 – 139.

3.1 Основные теоретические сведения

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с заземлителем нетоковедущих металлических частей электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением из-за нарушения изоляции и перехода напряжения с токоведущих частей.

Область применения защитного заземления – электрические сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и выше 1000 В с любым режимом нейтрали (рисунок 26).

Принцип действия защитного заземления в сетях с изолированной нейтралью состоит в снижении до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус. Это достигается уменьшением потенциала заземленного оборудования, а также выравниванием потенциалов, то есть повышением потенциала основания до потенциала заземленного оборудования. В электроустановках напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью замыкание на корпус благодаря наличию защитного заземления является коротким. При этом срабатывает максимальная токовая защита и поврежденный участок электроустановки отключается.

В соответствии с ПУЭ заземлению подлежат корпуса электрооборудования при напряжении переменного тока 380 В и выше и постоянного тока 440 В и выше во всех электроустановках; при номинальных напряжениях переменного тока выше 42 В и постоянного тока выше 110 В – только в электроустановках в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных установках; при любом напряжении переменного и постоянного тока – во взрывоопасных установках.

Рассмотрим случай прикосновения человека к заземленному корпусу поврежденного электрооборудования, который получает питание от сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью (см. рис. а). Так как сети напряжением до 1000 В обычно короткие, можно пренебречь емкостью фазных проводов по отношению к земле ($c_a = c_b = c_c = 0$) и принять сопротивления утечки равными $r_a = r_b = r_c = r$. Тогда ток, протекающий через человека:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r/3 + R_n r / (3r_3)} \quad (8)$$

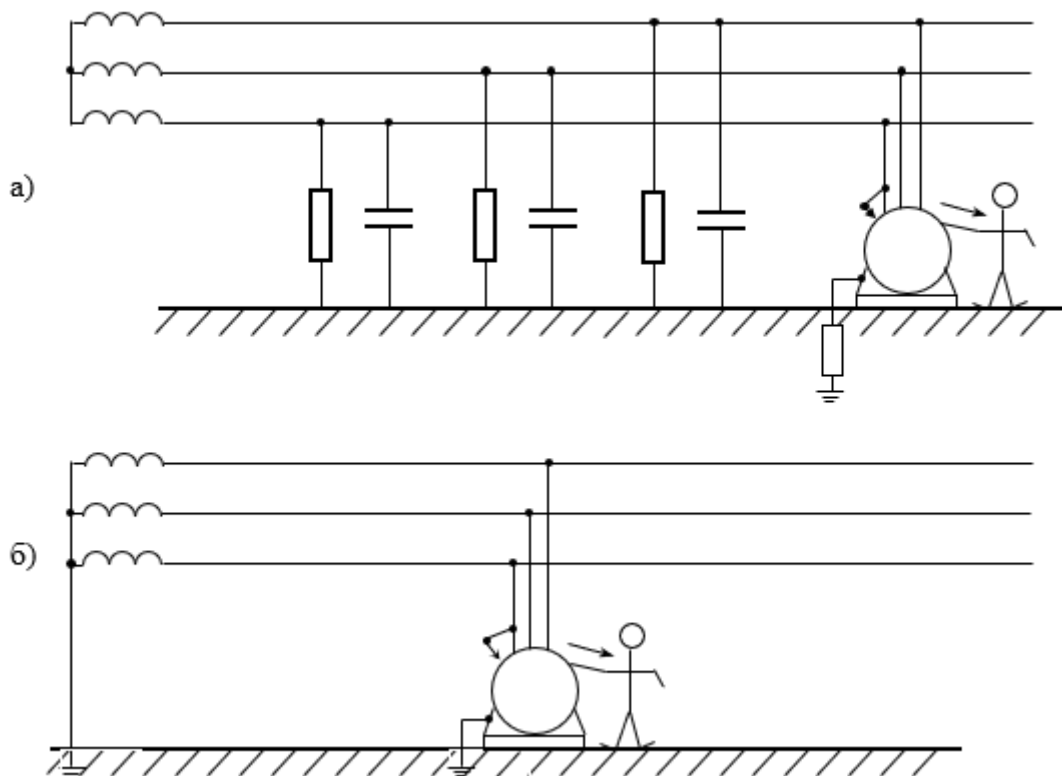


Рис. 26. Схема защитного заземления: а - в электроустановках до 1000 В и выше при изолированной нейтрали питающей сети; б - в электроустановках выше 1000 В при эффективно заземленной нейтрали питающей сети

Так как $R_h + r/3 \ll R_h r/(3 r_3)$, то ток, протекающий через человека, определяется в основном третьим слагаемым и будет тем меньше, чем меньше сопротивление заземляющего устройства r_3 .

ПУЭ ограничивает наибольшие сопротивления заземления:

а) для электроустановок напряжением до 1000 В:

- при суммарной мощности генераторов или трансформаторов в питающей сети не более 100 кВт или 100 кВ·А – 10 Ом;
- в остальных случаях – 4 Ом;

б) для электроустановок напряжением выше 1000 В:

- при эффективно заземленной нейтрали питающей сети (напряжениях 110 кВ и выше и больших токах замыкания на землю) – 0,5 Ом;
- при изолированной нейтрали питающей сети (напряжениях до 35 кВ включительно) и условии, что заземлитель используется только для электроустановок напряжением выше 1000 В, – $250 / I_3 \leq 10$ Ом;
- то же, но при условии, что заземлитель используется одновременно для электроустановок напряжением до 1000 В, – $125 / I_3$; при этом принимается наименьшее рассчитанное сопротивление или требуемое для электроустановок напряжением до 1000 В.

3.2 Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с электрической схемой стенда (см. прил. Лз-1).
2. Подать напряжение на стенд включением Q_1 и Q_2 .
3. Установить переключатель SA 10 в положение «1» ($R_h = 1$ кОм).
4. Исследовать зависимость тока, протекающего через человека и напряжения на нем, от сопротивления утечки сети при прикосновении к незаземленному корпусу поврежденного оборудования. Выключатели SA 11 и SA 12 отключены.

Исследования провести для электрической сети с симметричным сопротивлением изоляции в фазах 10 кОм, 2,5 кОм, 1,0 кОм, 0,18 кОм при емкости сети 0 мкФ и 2,0 мкФ, опыт 1 и 2 (см. табл. исследований). Сопротивления утечки фаз электрической сети переключать переключателем SA 3, SA 4, SA 5; значение емкости электрической сети - переключателями SA 6, SA 7, SA 8. Силу тока, протекающего через человека и напряжение на нем, снять по показаниям приборов PA 2 и PV 2 и записать в таблицу исследований. Переключение фаз электрической сети на корпус электроустановки производится переключателем SA 9 и кнопкой с самовозвратом SB. По окончании исследований переключатели SA 3 - SA 8 привести в исходное положение.

5. Исследовать зависимость тока, протекающего через человека и напряжения на нем, в случае прикосновения к корпусу поврежденной электроустановки, соединенному с заземлителем, сопротивление которого выше нормы. Заземлить корпус электроустановки через r_3 включением SA 12 и провести исследования, аналогичные п. 4. По окончании исследований переключатели SA 3 – SA 8, выключатель SA 12 вернуть в исходное состояние.

6. Провести исследования, аналогичные п. 5, когда корпус электроустановки соединен с заземлителем, сопротивление которого соответствует норме. Для этого заземлить корпус электроустановки через r_p включением SA 11. По окончании исследований переключатели SA 3 - SA 8 и выключатель SA 11 вернуть в исходное состояние.

7. Выключить стенд.

8. Построить графики зависимостей $I_h = f(r)$ и $U_h = f(r)$ для случаев прикосновения к незаземленному корпусу и заземленному с большим сопротивлением заземления и с сопротивлением заземления, соответствующим норме. Зависимость $I_h = f(r)$ для всех случаев построить на одном графике, а $U_h = f(r)$ - на другом.

9. Сделать выводы о зависимости тока, протекающего через человека и напряжения прикосновения от характеристики заземления корпуса.

Таблица 4 – Таблица исследований

№ п/п	Характеристика заземления корпуса	Сопротивление человека	Сопротивление изоляции $r_a=r_b=r_c=r$	Емкость сети относительно земли $c_a=c_b=c_c=c$	Ток, протекающий через человека	Напряжение прикосновения	Построить графики
1	Обрыв заземления электроустановки	R_h (кОм)	r (кОм)	C (мкФ)	I_h (мА)	U_h (В)	
		1,0	10	0			
		1,0	2,5	0			$I_h=f(r)$
		1,0	1,0	0			$U_h=f(r)$
		1,0	0,180	0			
2	Обрыв заземления электроустановки	1,0	10	2			
		1,0	2,5	2			$I_h=f(r)$
		1,0	1,0	2			$U_h=f(r)$
		1,0	0,180	2			
3	Заземление электроустановки выше нормы	1,0	10	0			
		1,0	2,5	0			$I_h=f(r)$
		1,0	1,0	0			$U_h=f(r)$
		1,0	0,180	0			
4	Заземление электроустановки выше нормы	1,0	10	2			
		1,0	2,5	2			$I_h=f(r)$
		1,0	1,0	2			$U_h=f(r)$
		1,0	0,180	2			

Продолжение таблицы 4

№ п/п	Характеристика заземления корпуса	Сопротивление человека	Сопротивление изоляции $r_a=r_b=r_c=r$	Емкость сети относительно земли $c_a=c_b=c_c=c$	Ток, протекающий через человека	Напряжение прикосновения	Построить графики
5	Заземление электроустановки в норме	1,0	10	0			
		1,0	2,5	0			$I_h=f(r)$
		1,0	1,0	0			$U_h=f(r)$
		1,0	0,180	0			
6	Заземление электроустановки в норме	1,0	10	2			
		1,0	2,5	2			$I_h=f(r)$
		1,0	1,0	2			$U_h=f(r)$
		1,0	0,180	2			

3.2.1 Выводы по работе

1. Построить графики зависимости $I_h = f(r)$ для всех шести случаев на одном графике, а для $U_h = f(r)$ - на другом.

2. Сделать выводы о зависимости тока, протекающего через человека и напряжения прикосновения от характеристики заземления корпуса.

3.2.2 Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Название работы.
3. Цель работы.
4. Ф.И.О. студента, класс, дисциплина.
5. Принципиальная схема измерений.
6. Таблица исследований.
7. Построение графиков.
8. Выводы по результатам исследований.

3.3 Перечень контрольных вопросов

1. Что называется защитным заземлением электроустановок?
2. Объясните условия применения защитного заземления и его принцип действия.
3. Назовите допустимые сопротивления защитного заземления.
4. Как влияет сопротивление утечки сети с изолированной нейтралью на ток, который проходит через человека и напряжение на нем при

прикосновении к незаземленному и заземленному корпусу поврежденного электрооборудования?

5. Как влияет сопротивление заземления на ток, протекающий через человека и напряжение на нем?

6. Объяснить принцип действия выносного и контурного защитного заземления.

4 Инструктивно-методические указания по проведению лабораторного занятия Лз-4 на тему «ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА»

Тема: Измерение сопротивления заземления и определение удельного сопротивления грунта.

Цель: изучение приборов и методов измерения сопротивления заземления и удельного сопротивления грунта.

В результате проведения лабораторного занятия студенты должны:
знать:

1. Теоретическое обоснование и сущность существующих методов измерения сопротивления заземления растеканию тока в грунте и определения (измерения) удельного сопротивления грунта.

2. Особенности специализированных приборов и методики их использования для измерений сопротивления заземления и удельного сопротивления грунта.

3. Наибольшие допустимые значения сопротивления заземляющего устройства ($R_{\text{зз}}$), установленные «Правилами устройства электроустановок».

4. Устройство одиночного и группового заземлений;

уметь:

1. Провести измерения сопротивления заземления:

а) методом амперметра, вольтметра;

б) с помощью измерителя заземления типа МС- 08.

2. Провести замеры параметров для определения удельного сопротивления грунта с помощью прибора МС-08 и рассчитать его в однородном грунте.

3. Оценить эффективность заземлителя по результатам измерений с точки зрения условий электробезопасности.

4. Заполнить протокол измерений.

Литература

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках / П.А. Долин. - М.: Энергоатомиздат, 1984.- С. 205 - 206; 219 - 221.

2. Охрана труда / Под. ред. Б.А. Князевского. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1982. - С. 172 - 177.

4.1 Основные определения и конструктивные особенности заземляющего устройства (защитного заземления)

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников. Заземляющими проводниками называют металлические проводники, соединяющие заземляемые части электроустановки с заземлителем. По расположению заземлителей относительно заземленных корпусов заземления делятся на выносные и контурные.

Выносное заземление характерно тем, что заземлители располагаются на некотором удалении от заземляемого оборудования.

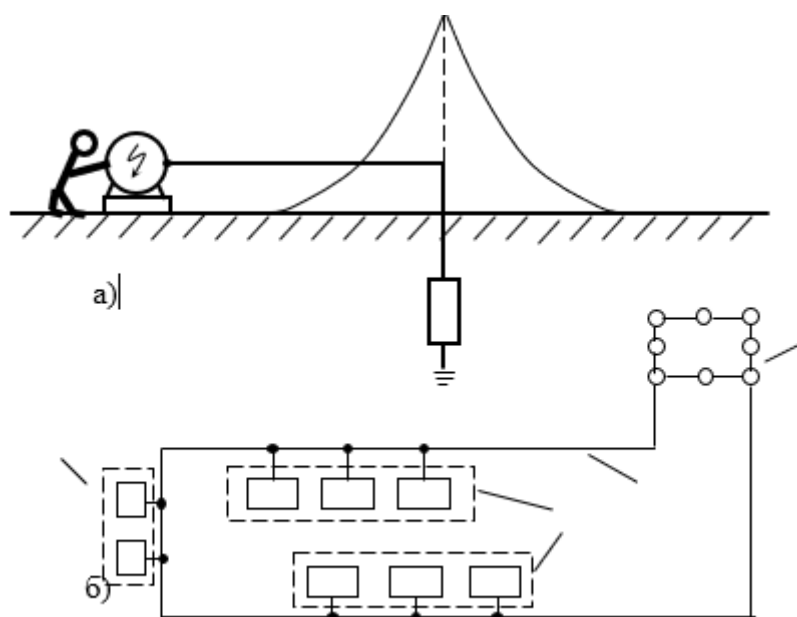


Рис. 27. Выносное заземление:

а - принципиальная схема; б - вид в плане:

1- заземляемое оборудование; 2 - заземляющие проводники; 3 - заземлитель

Ввиду этого заземленные корпуса обычно находятся вне поля растекания тока в грунте, и человек, касаясь корпуса, оказывается под полным напряжением относительно земли, если не учитывать коэффициент α_2 в формуле напряжения прикосновения $U_{пр} = U_3 \alpha_1 \alpha_2$. Так как $\alpha_1 = 1$, то ток, проходящий через человека, $I_h = I_3 R_3 / R_h$.

Итак, выносное заземление защищает только за счет малого сопротивления заземления.

Контурное заземление состоит из ряда параллельно соединенных электродов заземлителя, расположенных по контуру (периметру) заземленного оборудования на небольшом расстоянии друг от друга, и любая точка поверхности грунта внутри корпуса имеет значительный потенциал. Вследствие этого разность потенциалов между точками,

находящимися внутри контура, снижена и коэффициент напряжения прикосновения α_1 намного меньше единицы.

Коэффициент напряжения шага также меньше единицы. Ток, проходящий через человека, касающегося поврежденного (под напряжением) корпуса, меньше, чем при выносном заземлении.

Устройство искусственных заземлителей состоит из металлических стержней длиной 2,5...3 м, погружаемых вертикально в землю (грунт) в специально подготовленной траншее (рис. 28).

Вертикальные заземлители соединяются стальной шиной, которая приваривается к каждому заземлителю.

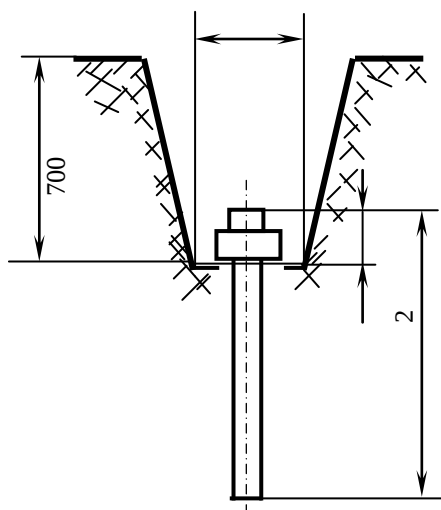


Рис. 28. Устройство искусственного заземлителя, погружаемого вертикально в грунт (разрез с основными размерами)

4.2 Нормирование параметров защитного заземления

Поскольку заземление должно обеспечивать безопасность при прикосновении к нетоковедущим частям, случайно оказавшимся под напряжением, и при возникновении шагового напряжения нормированию подлежат наибольшие допустимые напряжения прикосновения внутри контура, наибольшее шаговое напряжение и напряжение относительно земли. Эти величины не должны превышать длительно допустимые $U_{пр} \leq U_{пр д.д.}$; $U_{ш} \leq U_{ш д.д.}$.

Исходя из этих условий можно нормировать сопротивление заземления R_z и коэффициенты напряжения прикосновения α_1 и шага β_1 , учитывая величину тока замыкания на землю I_z . Расчетный ток замыкания на землю – наибольший возможный в данной установке ток замыкания на землю.

В сетях напряжением до 1000 В ток однофазного замыкания на землю обычно не превышает 10 А, так как при нормальном состоянии изоляции и

емкости сопротивление фазы относительно земли не бывает менее 100 Ом ($r > 100 \text{ Ом}$) [1].

В электроустановках выше 1000 В с изолированной нейтралью в качестве расчетного тока принимают ток, обусловленный только емкостью, вычисленный по формуле:

$$I_s = \frac{\sqrt{3}U_{\phi}(3,5l_k + l_v)}{35} \quad (9)$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение, кВ; l_k - общая длина подключенных к сети кабельных линий, км; l_v - общая длина подключенных к сети воздушных линий, км.

В ПУЭ нормируется сопротивление заземляющих устройств в зависимости от напряжения электроустановки и мощности источников питания.

В электроустановках напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью сопротивление заземляющих устройств должно быть не более 4 Ом. При мощности источников питания (трансформаторов, генераторов), подключенных к сети, составляющей 100 кВА и меньше, заземляющие устройства могут иметь сопротивление не более 10 Ом.

В электроустановках напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью (6...35 кВ) сопротивление заземляющего устройства при протекании расчетного тока замыкания на землю должно быть не более (Ом):

- 1) если заземляющее устройство одновременно используется для электроустановок напряжением до 1000 В, то $R_z = 125 / I_z$;
- 2) если заземляющее устройство используется только для электроустановок напряжением выше 1000 В, то $R_z = 250 / I_z$.

В электроустановках свыше 1000 В с глухозаземленной нейтралью (110...750 кВ) заземляющие устройства следует выполнять, как правило, с соблюдением требований, предъявляемых к напряжению прикосновения. Ввиду этого напряжение заземлителя относительно земли при наибольшем токе замыкания на землю рекомендуется ограничить величиной 5 кВ.

Допускается выполнение заземляющего устройства в этих установках, при которых его сопротивление не должно превышать 0,5 Ом.

4.3 Контроль заземления

Внешний осмотр и измерение сопротивления заземляющих устройств производится при приемке в эксплуатацию и периодически в сроки, установленные правилами, при перестановке оборудования и ремонте заземлителей. Между заземляемыми объектами и заземлителями должна быть надежная цепь, не должно быть обрывов и неудовлетворительных контактов.

Одним из методов измерения сопротивления растеканию контрольного зонда (сопротивление заземления) является *метод амперметра - вольтметра*.

Сущность метода заключается в том, что с помощью амперметра измеряется ток I_x , проходящий через контрольный зонд (вертикальный электрод) в землю, а с помощью вольтметра - потенциал этого зонда ϕ_k . В результате получаем искомое сопротивление растеканию контрольного зонда, Ом:

$$R_{изм} = \phi_x / I_x. \quad (10)$$

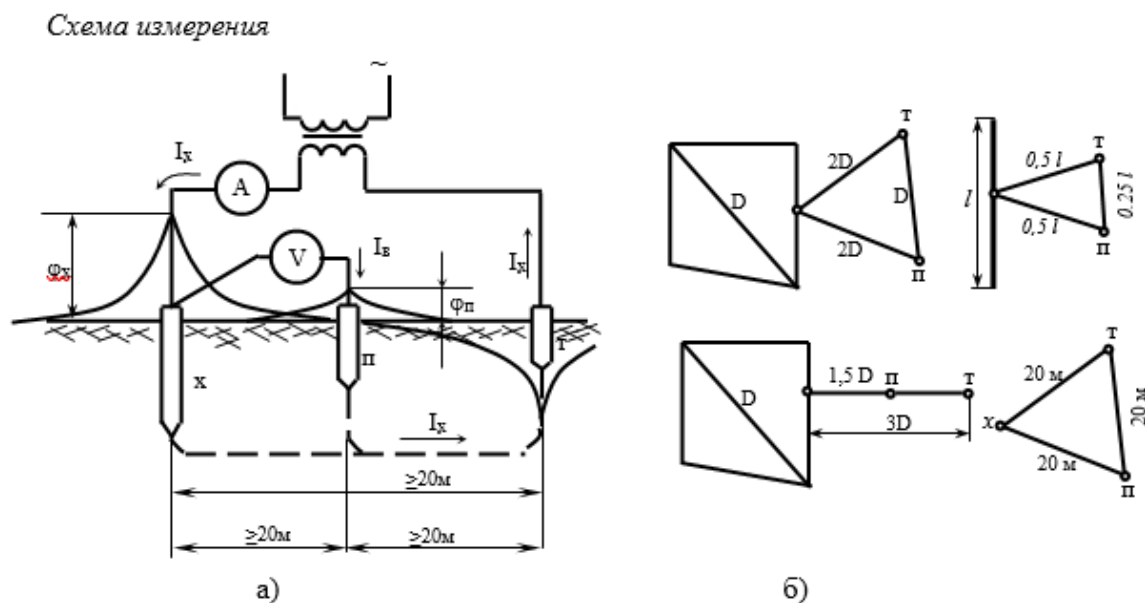


Рис. 29. Измерение сопротивления растеканию контрольного зонда (электрода) X и заземлителей различной конфигурации методом амперметра – вольтметра:
а – схема измерения; б – рекомендуемое взаимное расположение электродов (зондов) и минимальное расстояние между ними и испытуемым заземлителем

Эта же схема может быть использована для измерения сопротивления группового заземлителя. При этом расстояния между заземлителями и электродами должно быть не менее указанного на рис. 6.

В качестве источника тока применяется однофазный понижающий трансформатор. Питание непосредственно от сети недопустимо, так как всякая связь сети с землей (заземленная нейтраль, плохая изоляция) существенно понижает результаты измерений.

Сопротивление растеканию контрольного зонда (заземлителя), а также сопротивление заземляющих устройств можно измерять различными приборами для измерения малых сопротивлений, в том числе специальными измерительными приборами сопротивления заземления М-416, М-372 и широко известными приборами МС-08.

4.4 Определение удельного сопротивления грунта

Удельное электрическое сопротивление грунта измеряется методом контрольного электрода или методом четырех электродов.

Метод контрольного электрода состоит в следующем: в грунт устанавливается заземлитель, измеряется его сопротивление растеканию и по формуле (табл. прил. 1) определяется удельное электрическое сопротивление грунта:

$$\rho_{\text{изм}} = R_{\text{изм}} \frac{2\pi l}{\ln(4 \cdot l/d)} \quad (11)$$

Для большей точности измерения контрольный зонд погружают в землю в 3-4 местах исследуемой площадки.

Если в качестве контрольного электрода использовать заземлитель в виде стальной трубы диаметром 50 мм и длиной 2,5 м и погрузить его в грунт так, чтобы верхний конец был ниже уровня поверхности на 0,7 м, то удельное электрическое сопротивление можно определить из выражения:

$$\rho = \frac{R_{\text{ст.од}}}{0,00302} \text{ Ом}\cdot\text{м} \quad (12)$$

Для измерения методом четырех электродов (рис. 30) электроды устанавливаются на равных расстояниях a . Крайние электроды соединяют с токовыми зажимами измерителя заземления I_1 и I_2 , средние – с потенциальными E_1 и E_2 .

Удельное электрическое сопротивление грунта $\rho = \pi a R$, где R – показания прибора.

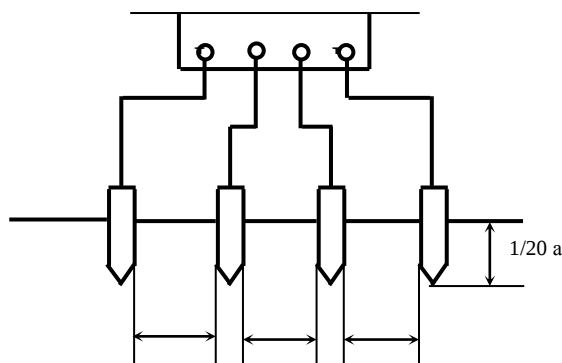


Рис. 30. Схема измерения удельного электрического сопротивления грунта, измеряемая заземлителем МС - 08

4.5 Проведение измерений

Измерения проводятся на площадке расположения одиночного заземлителя лаборатории электробезопасности с помощью двух зондов и прибора типа МС-08. Зонды забивают в землю на глубину не менее 0,5 м по схеме треугольника, $l = 20$ м (см. рис. 30). Перед замером следует

компенсировать сопротивление зонда. Скорость вращения рукоятки - до 150 об/мин.

Схема соединения при замере сопротивления заземления растеканию с помощью прибора МС-08 показана на рис. 31.

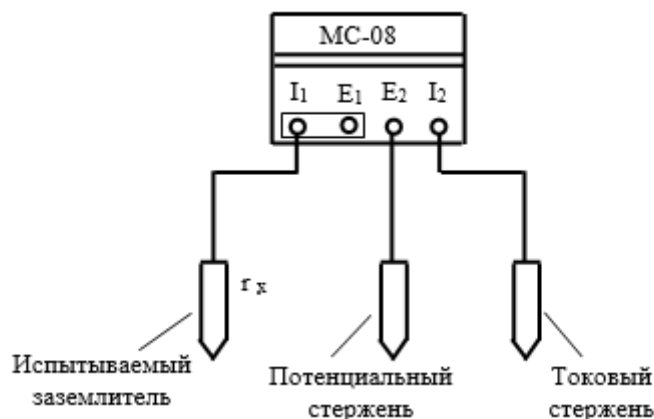


Рис. 31. Схема соединения при замере сопротивления заземления растеканию с помощью прибора МС-08

Результаты измерений получить при устойчивом положении стрелки прибора на шкале сопротивления.

Измерения удельного сопротивления грунта выполнить методом контрольного зонда и рассчитать по формуле из табл. П.1.

4.6. Обработка результатов измерений

Результаты измерений занести в протокол измерений сопротивления растеканию заземления и оформить протокол по форме (см. прил. П. 2–4).

Определение удельного сопротивления грунта выполнить в расчетном виде по ранее предложенной методике и представить в отчете.

По результатам измерений сделать выводы о соответствии сопротивления заземлителя требуемым нормам ПУЭ.

При защите работы ответить на контрольные вопросы.

4.7 Перечень контрольных вопросов

1. В каких сетях эффективно защищенное заземление и почему?
2. В каких сетях применяется защитное заземление?
3. В каком случае эффективность заземления резко снижается?
4. Что произойдет, если при двойном глухом замыкании уменьшить сопротивление любого заземлителя?
5. Что называется заземляющим устройством и какие виды заземляющих устройств существуют?
6. За счет чего защитное заземление защищает человека?

7. Чем принципиально контурное заземление отличается от выносного?

8. Почему при контурном заземлении коэффициенты напряжения прикосновения α_1 и шага β_1 намного меньше единицы?

9. Почему ток, проходящий через человека, касающегося корпуса, меньше, чем при выносном заземлении?

10. Для чего при выполнении контурного заземления внутри контура прокладывают горизонтальные полосы?

11. Как нормируется заземляющее устройство в установках напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью (6...35 кВ), если оно одновременно используется для установок напряжением до 1000 В?

12. Как нормируется заземляющее устройство, если оно используется только для установок выше 1000 В?

13. Как нормируется сопротивление заземляющего устройства в электроустановках напряжением выше 1000 В с глухозаземленной нейтралью (110 кВ и выше)?

5 Инструктивно-методические указания по проведению лабораторного занятия ЛЗ-5 на тему «ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА АБСОРБЦИИ»

Тема: Исследование сопротивления изоляции в электроустановках и определение коэффициента абсорбции.

Цель: изучение методов и приборов измерения сопротивления изоляции электрооборудования; установление влияния влажности на ее сопротивление, выработка навыков использования приборов и методов измерений.

В результате проведения лабораторного занятия студенты должны:
знать:

1. Теоретическое обоснование и сущность существующих методов измерения сопротивления изоляции электроустановок и их элементов.
2. Особенности приборов и методики их применения при измерениях сопротивления изоляции.
3. Методику определения коэффициента абсорбции и его использования для оценки состояния изоляции.
4. Правила применения мегомметров (электронного и с ручным приводом) при измерениях сопротивления изоляции;

уметь:

1. Провести измерения сопротивления изоляции трансформаторов, электрических машин и других элементов электроустановок (ЭУ).
2. Оценить состояние изоляции по результатам измерений и определить коэффициент абсорбции.

Литература

1. Охрана труда / Под. ред. Б.А. Князевского. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1982. - 311 с.
2. Техника высоких напряжений. Лабораторный практикум / Под ред. М.Е. Иерусалимова. – К.: Высшая школа. Головное изд-во, 1987. – 210 с.

5.1 Основные теоретические сведения

Наиболее простым способом испытания высоковольтной изоляции в процессе эксплуатации является измерение ее сопротивления и коэффициента абсорбции.

Сопротивление изоляции определяется как отношение постоянного напряжения, приложенного к изоляции, к току, протекающему через изоляцию:

$$R_{из} = U/I. \quad (13)$$

Снижение сопротивления изоляции указывает либо на ее увлажнение, либо на наличие сквозных дефектов. Обычно изоляция не однородна и состоит из нескольких слоев, отличающихся своими диэлектрическими характеристиками. Ток в двухслойном диэлектрике является суммой сквозного тока и тока абсорбции:

$$i(t) = \frac{U_0}{R_1 + R_2} + \frac{U_0(R_1 C_1 - R_2 C_2)^2 e^{\frac{t}{\tau}}}{R_1 R_2 (C_1 + C_2)^2 (R_1 + R_2)} \quad (14)$$

где C_1 и C_2 ; R_1 и R_2 – соответственно емкостные и активные сопротивления первого и второго слоя диэлектриков (у двухслойных диэлектриков).

Постоянная времени затухания тока абсорбции:

$$\tau = \frac{1}{p_1} = \frac{R_1 R_2 (C_1 + C_2)}{R_1 + R_2} \quad (15)$$

Из этого следует, что ток в изоляции спадает со временем, а сопротивление возрастает (рис. 32).

В связи с изменением сопротивления изоляции во времени принято измерять его через 60 с после приложения напряжения (R_{60}). Если считать, что к этому моменту $i_a \ll i_{ск}$, то $R_u = R_1 + R_2$. При увлажнении одного из слоев его сопротивление снижается и снижается общее сопротивление.

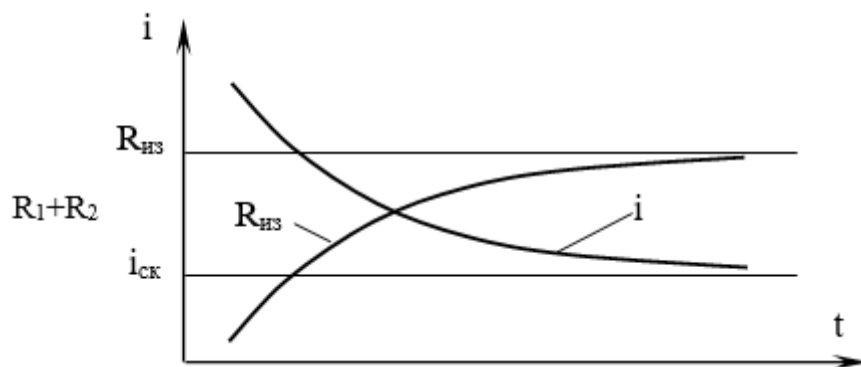


Рис. 32. Изменение во времени тока в изоляции

В то же время опасное поверхностное загрязнение и увлажнение изоляции вызывает резкое снижение ее сопротивления, что может привести к ошибочному заключению о необходимости сушки изоляции. Так как сопротивление изоляции зависит не только от ее состояния, но и от геометрических размеров - толщины площади, то устанавливать единые нормы для сопротивления изоляции многих единиц оборудования нецелесообразно. Измеренное сопротивление изоляции сравнивают с данными заводских или предыдущих измерений для испытываемого объекта.

Измерение сопротивления изоляции – это контрольный метод обнаружения сквозных дефектов, поверхностного или глубокого объемного увлажнения.

Коэффициентом абсорбции называется отношение сопротивления изоляции, измеряемое через 15 и 60 с после приложения испытательного напряжения:

$$K_a = R_{60} / R_{15}. \quad (16)$$

Чем больше увлажнена изоляция, тем больше сквозной ток и тем быстрее спадает ток абсорбции. Поэтому в интервале 15...60 с для увлажненной изоляции $i_a \ll i_{ск}$ и коэффициент K_a стремится к единице.

В неувлажненной изоляции сквозной ток мал, а ток абсорбции изменяется в течение длительного периода (десятки и сотни секунд). В неувлажненной изоляции при температуре 10 – 30 °С $K_{аб} = 1,3 - 2,0$, а для увлажненной обмотки коэффициент абсорбции близок к единице. Коэффициент абсорбции не зависит от геометрических размеров изоляции. Вместе с тем, K_a зависит от поверхностного загрязнения и увлажнения изоляции, при котором наблюдается возрастание сквозного тока.

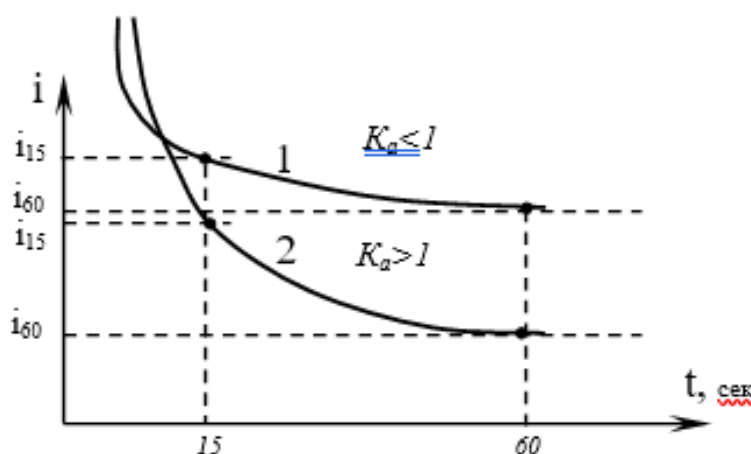


Рис. 33. Изменение тока в увлажненной (1) и сухой (2) изоляции

5.2 Ознакомление с методикой, приборами и схемами измерения

Для измерения сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции используют электронный мегомметр типа Ф–4100 или ручные мегомметры типа МС-05, М-1101.

Объекты испытаний – изоляция трансформатора, электрической машины, кабели электрические (контрольные и силовые).

Измерение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции для трехфазных объектов производится пофазно:

- фаза А относительно фаз В и С и корпуса;
- фаза В относительно фаз А и С и корпуса;
- фаза С относительно фаз В и А и корпуса;
- фаза А, В, С относительно корпуса.

При этом фазы должны быть разделены между собой. Начало и конец каждой фазы должны быть замкнуты накоротко. Перед повторным измерением изоляция должна быть закорочена в течение 5 мин.

Для измерения сопротивления изоляции может использоваться электронный мегомметр типа Ф-4100 или мегомметр с ручным приводом.

Электронный мегомметр, питающийся от сети 220 В, снабжен блоком стабилизированного выпрямленного напряжения на 2,5 кВ, ламповым вольтметром или вольтметром на транзисторах и эталонным сопротивлением (рис. 11). Ток, протекающий через изоляцию и эталонное сопротивление, зависит от сопротивления изоляции; падение напряжения на эталонном сопротивлении также определяется сопротивлением изоляции.

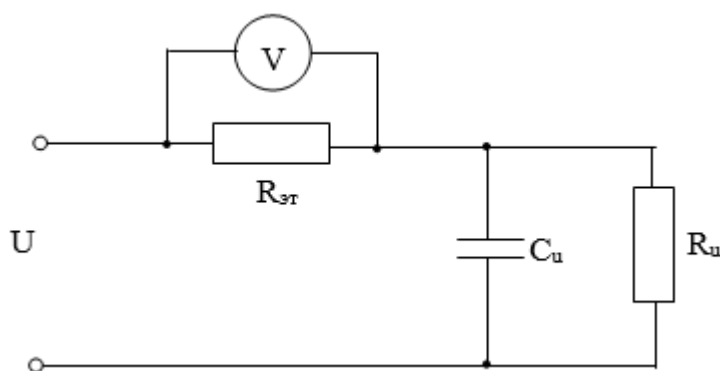


Рис. 34. Схема измерения сопротивления изоляции электронным мегомметром

Ламповый вольтметр, переградуированный в мегомы, измеряет падение напряжения на эталонном сопротивлении. Два реле времени сигнализируют моменты отсчета через 15 и 60 с после подачи напряжения.

Объекты испытаний - изоляция трансформатора, электрической машины и модели с сухой и увлажненной бумажно-масляной изоляцией, помещенные в термошкаф.

Исправность мегомметра проверяется следующим образом:

а – при замкнутых зажимах «земля» и «Л» ручкой «уст. ∞» стрелка устанавливается на отметке «∞»;

б – при замкнутых зажимах «земля» и «Л» и нажатой кнопке «высокое напряжение» ручкой «уст. 0» стрелка устанавливается на «0».

Отсчет показаний производится в моменты соответственно через 15 и 60 с после подачи высокого напряжения (для Ф-4100 после нажатия кнопки «высокое напряжение»).

5.3 Задание

1. Определить сопротивление изоляции и коэффициент абсорбции для изоляции трансформатора или электрической машины с качественной и увлажненной изоляцией. Результаты занести в таблицу.

2. Построить зависимости $R_{60}(t_p)$; $R_{15}(t_c)$ для сухой и увлажненной изоляции.

Таблица 5 – Результаты исследования

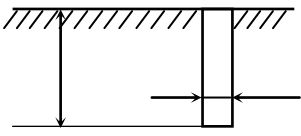
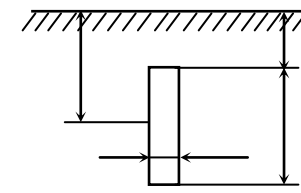
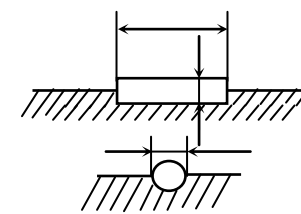
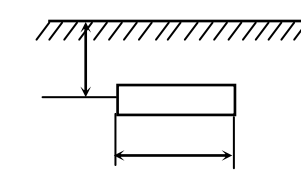
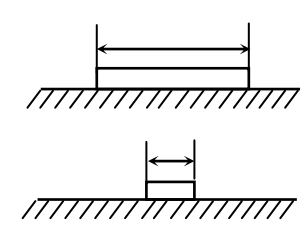
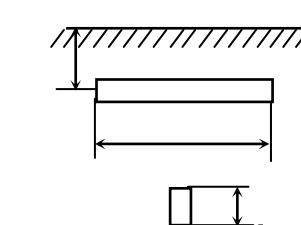
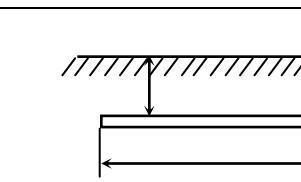
Объект испытаний и схем измерений	Что определить	Прибор	$R_{60},$ МОм	$R_{15},$ МОм	$K_a = \frac{R_{60}}{R_{15}}$	Состоян. изоляции
1. Эл. дв. 3 ^х фазный	- фаза А относительно фаз В и С и корпуса; - фаза В относительно фаз А и С и корпуса;					
2. Трансформатор силовой 3 ^х фазный	- фаза С относительно фаз В и А и корпуса; - фазы А, В, С относительно корпуса					
3. Кабель управления	Жилу, замкнутую на землю					
4. Кабель силовой с экраном	Жилу, замкнутую на экран					
5. Кабель силовой бронированный	Найти замыкание между жилами					
6. Кабель силовой	$R_{из}$ 1. Относительно земли. 2. Относительно земли с исключением поверхностных утечек. 3. Между фазами с исключением поверхностных утечек					
7. Кабель силовой	$R_{из}$ и K_a 1. Относительно экрана. 2. Между жилами					

5.4 Перечень контрольных вопросов

1. От каких факторов зависит сопротивление изоляции?
2. Почему сопротивление изоляции измеряется через 60 с после приложения напряжения?
3. Почему коэффициент абсорбции зависит от влажности изоляции?
4. Какие изменения состояния изоляции могут быть определены по значению ее сопротивления?
5. Как работает электронный мегомметр и мегомметр с ручным приводом?

Приложение 1

Формулы для вычисления сопротивлений одиночных заземлителей растеканию тока

Тип заземлителя	Схема	Формула	Дополнительные указания
Трубчатый или стержневой поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	$l \gg d$
Трубчатый или стержневой в грунте		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{4H+1} \ln \frac{4H+1}{5H-1} \right)$	$H_0 > 0,5 \text{ м}$
Протяженный круглого сечения – труба, кабель и др. – на поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$	-
Протяженный круглого сечения в грунте		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{dH}$	$\frac{l}{H} \geq 5$
Протяженный полосовой на поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	$l \gg d$
Протяженный полоса в грунте		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bH}$	$\frac{l}{H} \geq 5$
Круглая пластина в грунте		$R = \frac{\rho}{4\pi} \times \left(1 + \frac{2}{\pi} \times \frac{D}{\sqrt{16H^2 + D^2}} \times \arcsin \frac{D}{\sqrt{16H^2 + D^2}} \right)$	$D < 2H$

Приложение 2

(объект)

(присоединение)
“ _____ ” _____ 20 ____ г.

ПРОТОКОЛ измерения сопротивления растеканию заземлителей и проверки металлической связи электрооборудования с заземляющим контуром

1. Объект измерения _____
2. Характеристика грунта, погода _____
3. Схема измерительных электродов _____
 - 3.1. Сопротивление растеканию заземлителей, по приведенной в п. 3 схеме составляет _____ Ом.
 - 3.2. Металлическая связь оборудования с контуром заземления проверена.
4. Дополнительные испытания и проверки:

Заключение:

Испытания производили _____
(подпись) (фамилия)

Руководитель работ _____
(подпись) (фамилия)

Учебное издание

**Лавренчук Антон Анатольевич
Сперанский Максим Юрьевич
Губин Артур Владимирович
Губина Елена Дмитриева**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ»**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Изд. № 40/2026. Объем 3,5 п.л. Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,43.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»