

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет среднего профессионального образования

Филин Ю.И.

# **Монтаж воздушных линий электропередач и трансформаторных подстанций**

Лабораторный практикум

для студентов специальности  
35.02.08 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»

Брянская область  
2018

УДК 621.311.42:621.315.1 (076.5)

ББК 40.7:31.279

Ф 53

**Филин, Ю.И. Монтаж воздушных линий передач и трансформаторных подстанций:** лабораторный практикум / Ю.И. Филин. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 87 с.

Лабораторный практикум по МДК 02.01 «Монтаж воздушных линий электропередач и трансформаторных подстанций» разработан в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования 35.02.08 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства».

Предназначен для изучения МДК 02.01 «Монтаж воздушных линий электропередач и трансформаторных подстанций». Предназначен для студентов среднего профессионального образования по специальности подготовки 35.02.08 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства».

Рецензент: к.т.н., доцент Безик В.А. (Брянский государственный аграрный университет)

*Рекомендовано к изданию решением Методической цикловой комиссии общепрофессиональных дисциплин, протокол № 4 от 1 февраля 2018 г.*

© Брянский ГАУ, 2018

© Филин Ю.И., 2018

## Содержание

Введение	4
Лабораторная работа № 1. Изучение правил и освоение приемов разделки и оконцевания кабеля	8
Лабораторная работа № 2. Конструктивное исполнение воздушных линий электропередач	16
Лабораторная работа № 3. Вязка проводов к изоляторам опор ВЛ, монтаж повторного заземления нулевого провода и устройства защиты от перенапряжений на ВЛ - 0,4 кВ	32
Лабораторная работа № 4. Трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ	42
Лабораторная работа № 5. Монтаж электрооборудования комплектной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ	55
Лабораторная работа № 6. Изучение устройства защитных искровых промежутков, разрядников и ограничителей перенапряжений	65
Лабораторная работа № 7. Защита электроустановок от грозových перенапряжений	75
Литература	85

## Введение

Лабораторный практикум разработан в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования 35.02.08 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»

Цель данного издания состоит в изучении технологий монтажа воздушных линий электропередач и трансформаторных подстанций при подготовке студентов по МДК 02.01 «Монтаж воздушных линий электропередач и трансформаторных подстанций».

Представленные в издании теоретические сведения позволят студенту ознакомиться с видами опор ВЛЭП, трансформаторных подстанций, их конструкцией. Так же в процессе выполнения работ учащиеся изучат основные технологии монтажа воздушных линий электропередач, познакомятся с принципиальными электрическими схемами КТП, режимами их работы и способами защиты.

Данный практикум содержит 7 лабораторных работ и предназначен как для проведения учебного процесса, так и для самостоятельной подготовки студентов.

С целью овладения указанным видом профессиональной деятельности и соответствующими профессиональными компетенциями обучающийся в ходе освоения профессионального модуля должен:

**иметь практический опыт:**

участия в монтаже воздушных линий электропередач и трансформаторных подстанций;

технического обслуживания систем электроснабжения сельскохозяйственных

**уметь:**

рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

безопасно выполнять монтажные работы, в том числе на высоте;

**знать:**

сведения о производстве, передаче и распределении электрической энергии;

технические характеристики проводов, кабелей и методику их выбора для внутренних проводок и кабельных линий;

методику выбора схем типовых районных и потребительских трансформаторных подстанций, схем защиты высоковольтных и низковольтных линий;

правила утилизации и ликвидации отходов электрического хозяйства.

Результатом освоения профессионального модуля, в состав которого входит МДК 02.01, является овладение обучающимися видом профессиональной деятельности (ВПД) **Обеспечение электроснабжения сельскохозяйственных предприятий**, в том числе профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями:

<b>Код</b>	<b>Наименование результата обучения</b>
ПК 2.1	Выполнять мероприятия по бесперебойному электроснабжению сельскохозяйственных предприятий.
ПК 2.2	Выполнять монтаж воздушных линий электропередач и трансформаторных подстанций.
ПК 2.3	Обеспечивать электробезопасность
ОК 1	Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.
ОК 2	Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3	Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.
ОК 4	Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.
ОК 5	Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.
ОК 6	Работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.
ОК 7	Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий.
ОК 8	Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.
ОК 9	Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности

### **Правила проведения лабораторных работ**

1. Студент должен явиться на лабораторные занятия подготовленным теоретически.
2. Перед началом проведения лабораторных работ получить инструктаж по технике безопасности, сделать соответствующие отметки в журнале проведения инструктажа. При необходимости преподаватель может проверить усвоение правил техники безопасности.
3. Прежде чем приступить к работе, необходимо внимательно ознакомиться с заданием, оборудованием и измерительными приборами.

4. По результатам выполнения работ сдается и защищается отчет, оформляемый согласно требований стандартов. Основные расчеты, построения производятся самостоятельно студентом после окончания занятий.

5. Графическая часть выполняется карандашом с применением чертежных принадлежностей.

6. Каждый отчет завершается выводами по работе.

7. К выполнению следующей работы допускается студент успешно сдавший отчет по предыдущей работе.

### **Общие правила техники безопасности**

1. Без разрешения преподавателя или лаборанта лабораторные установки не включать.

2. При обнаружении неисправностей немедленно сообщать преподавателю или лаборанту. Нельзя оставлять включенной неисправную установку.

3. Не допускается загромождать рабочее место посторонними предметами, оборудованием и др. материалами, не относящимися к лабораторной установке.

4. Выполнять лабораторные работы только звеном в составе двух или более человек.

5. Лабораторную установку включать только после проверки и разрешения преподавателя.

6. Все изменения в электрической схеме проводить только при отключенной установке, после проверки на отсутствие напряжения измерительными приборами.

7. Не оставляйте схему под напряжением без наблюдения. По окончании измерений сразу отключайте установку.

8. По окончании выполнения лабораторных работ приведите в порядок рабочее место.

## **Лабораторная работа № 1**

### **Изучение правил и освоение приемов разделки и оконцевания кабеля**

#### **Цель работы:**

Изучить устройство, маркировку, требования и технологии разделки и оконцевания кабеля.

#### **Методические указания**

1. Подготовить титульный лист отчёта и разделы основной части, включающие теоретическое обоснование, обозначения и термины, средства обеспечения и материалы.
2. Изучить требования ПУЭ и МПОТ к разделке и оконцеванию кабеля.

#### **Теоретические сведения**

Силовые кабели, применяемые для передачи и распределения электроэнергии, состоят из следующих элементов (рисунки 1):

- защитного покрова 1, состоящего из пропитанной битумной мастикой льняной пряжи, такой покров называется джут. Также защитный покров может состоять из резиновой или полимерной оболочки;

брони 2 из стальной ленты или проволоки, защищающей кабель от механических повреждений;

оболочки 3, служащей для защиты изоляции от влаги, воздуха, химических веществ и изготовляемой из свинца, алюминия, резины или пластмассы;

изоляция, обеспечивающей электрическую прочность жил и кабеля и изготовляемой из кабельной бумаги, пропитанной специальным составом, резины или пластмассы. Изоляция, наложенная поверх жилы, называется жильной или фазной 5, а поверх скрученных и изолированных жил - поясной 4;



токоведущих жил 6 (однопроволочных или многопроволочных), изготавливаемых из алюминия или меди. Число жил в кабеле может быть от одной до четырех, площадь сечения жил от 2,5 до 240 мм для трех и четырех-жильных и до 800 мм для одножильных кабелей.

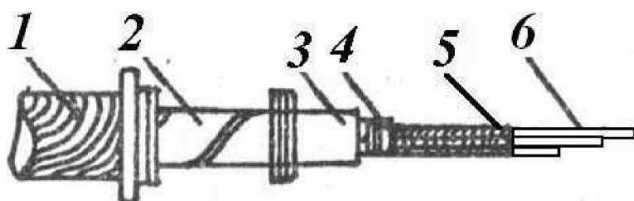


Рисунок 1 - Конструкция силового кабеля:

1 - защитный покров, 2 - броня, 3 - оболочка, 4 - поясная изоляция, 5 - фазная изоляция, 6 - токоведущая жила

Для улучшения электрических характеристик изоляции некоторые кабели имеют экраны, которые выравнивают напряженность электрического поля в изоляции и уменьшают размеры газовых включений. Экраны изготавливают из металлизированной бумаги (фольги, наклеенной на бумагу), полупроводящего полиэтилена и других материалов. Находятся экраны вокруг фазной изоляции.

#### *Маркировка кабелей*

Кабели маркируют по материалу, из которого изготовлены жилы; материалу оболочки и типу защитного покрова. Например, в марке кабеля АСБ буквами обозначено: кабель с алюминиевыми жилами (А), бумажной изоляцией, в свинцовой оболочке (С), с наружным покровом из стальной ленточной брони (Б). Изоляция обозначается в середине маркировки кабелей буквами: В - поливинилхлоридная, П -полиэтиленовая, Р -резиновая, Н -найритовая. Бумажная изоляция не обозначается. Если в марке дано сочетание этих букв, первая из них обозначает

материал жильной изоляции, вторая - поясной. Например, АВРБ, АВВБ, АПВБ, АВПБ, АНРБ.

Следующими за буквами цифрами обозначают номинальное рабочее напряжение ( $kB$ ), на которое предназначен кабель; число жил и площадь поперечного сечения каждой жилы ( $mm$ ). Например, кабель АСБ-6 3x120 предназначен для работы на напряжение 6 кВ и имеет три жилы сечением по 120 мм<sup>2</sup>, кабель АНРБ-1 3x50 + 1x25 - для прокладки в сетях напряжением до 1 кВ, имеет три жилы сечением по 50 мм<sup>2</sup> и одну 25 мм<sup>2</sup>,

Правила устройства электроустановок предусматривают глубину траншеи под кабели 0,8 м (рисунок 2).

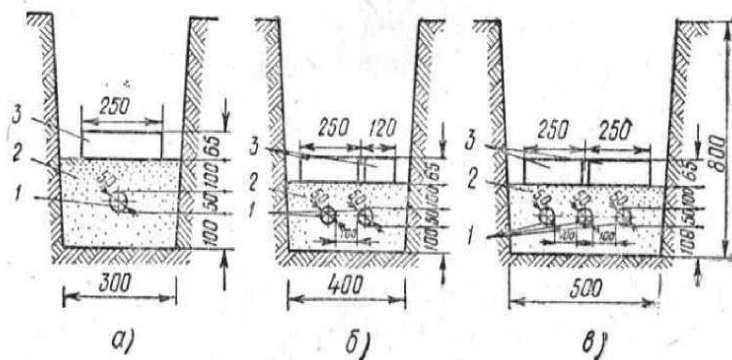


Рисунок 2 - Прокладка кабелей в траншеях с покрытием кирпичом: а - одного, б - двух, в - трех; 1 - кабель, 2 - слой мелкого песка, 3 - кирпич

Кабель укладывают в траншею на подушку из мелкой земли толщиной 10 см и присыпают сверху таким же слоем земли. Для предохранения кабеля от механических повреждений поверх присыпки при напряжении 6 - 10 кВ укладывают красный кирпич или бетонную плитку, а при напряжении 20 - 35 кВ - железобетонные плиты. Кабели до

1000 В защищают только в местах частых раскопок. Кирпичи или плиты укладывают сплошь по длине траншеи с напуском над крайними кабелями не менее 50 мм. Допускается прокладывать без защиты от механических повреждений на глубине 1 - 1,2 м кабели напряжением до 20 кВ.

Переходы через автомобильные дороги выполняют в асбестоцементных трубах.

При повреждении кабеля электротехническая лаборатория определяет место повреждения кабеля, оперативно-ремонтная бригада кабельного участка предприятия разрывает траншею. Затем следует разрезать поврежденный кабель, если их несколько, то сначала делают прокол специальным указателем напряжения, если указатель дает сигнал, то кабель под напряжением. Определив поврежденный кабель, разрезают его при помощи ножовки, при этом ножовка заземляется и используются средства защиты (рисунок 3).

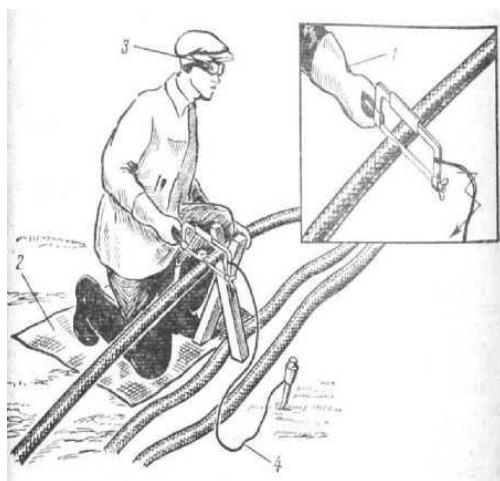


Рисунок 3 - Резка кабеля в месте повреждения:

- 1 - диэлектрические перчатки, 2 - диэлектрический коврик,
- 3 - защитные очки, 4 - заземление ножовки

После разрезки, отрезается кусок кабеля около 20 см, снимается бумага с жил и проверяется на влагу в кипящем парафине, если на бумаге возникнут пузырьки, то влага есть. Отрезку кабеля производят, пока при проверке не будут возникать пузырьки.

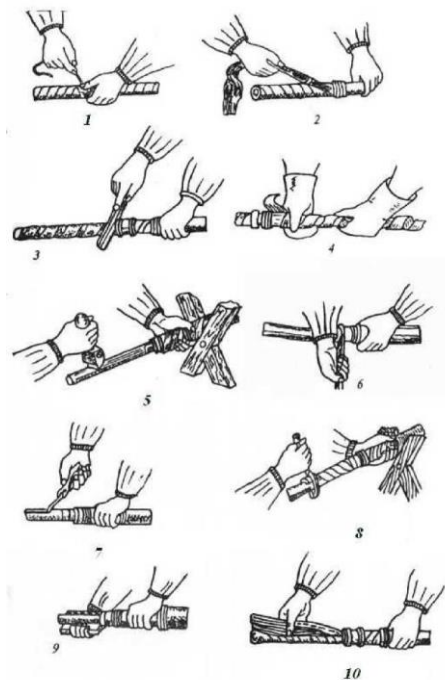


Рисунок 4 - Разделка кабеля ААБ:

- 1 - наложение бандаж, 2 - снятие джутового покрова,
- 3 - надрезка брони, 4 - удаление брони, 5 – удаление прослойки, 6,7 - кольцевые и продольные надрезы оболочки, 8 - раздвижка оболочки, 9 - удаление оболочки, 10 - удаление поясной изоляции

Разделка кабеля марки ААБ показана на рисунке 4. Сначала на расстоянии 25 см от отреза фиксируют джутовое покрытие изолентой (1). Затем снимают джутовый покров

(2). Напильником или ножовкой вкруговую обрезают броню (3), а затем удаляют (4). Счищают защитный покров (прослойку) (5). Производят надрезы оболочки кольцевой (6) и продольный (7). Раздвигают продольный разрез (8) и удаляют оболочку (9). Затем удаляют поясную изоляцию (10).

Разводят жилы в стороны и удаляют фазную изоляцию на длину, равную наконечнику, предварительно наложив бандаж на изоляционную бумагу, чтобы она не распуталась больше требуемой длины.

Затем кабель муфтят или оконцовывают. Устройство муфт показано на рисунке 5.

При оконцевании кабелей применяются следующие устройства, которые показаны на рисунке 6. Наконечники кабелей сечением 16 - 240 мм<sup>2</sup> крепятся тремя способами пайкой, опрессовкой или болтами со срывной головкой, а сечением 300 - 800 мм<sup>2</sup> - термитной сваркой.

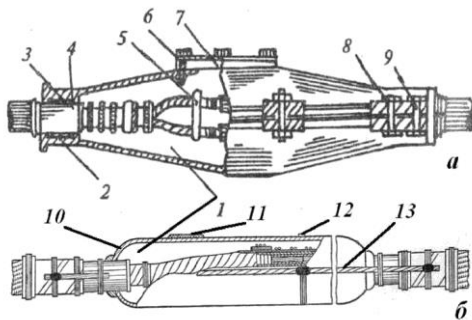


Рисунок 5 - Кабельные муфты:

- а - разборная чугунная муфта для кабелей до 1000 В,  
 б - свинцовая заливная муфта для кабелей выше 1000В  
 (1 - кабельная масса, 2 - нижняя полумуфта, 3 - верхняя полумуфта, 4 - уплотнители, 5 - фарфоровая распорка, 6 - болт крышки, 7 - крышка, 8 - гайка стягивающего болта, 9 - стягивающий болт, 10 - свинцовая муфта, 11 - заливное отверстие, 12 - выпускное отверстие, 13 - жгут заземления брони)

После монтажа муфт или оконцевания фазную и поясную изоляцию кабелей испытывают повышенным напряжением постоянного тока, проверяют целостность жил кабеля, а также измеряют величины сопротивления заземления концевых заделок. Величина испытательного напряжения зависит от рабочего напряжения кабеля и типа изоляции.

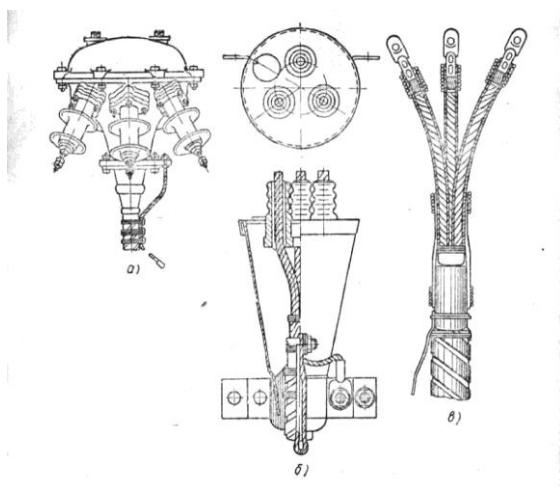


Рисунок 6 - Оконцевание кабелей:

- а - в мачтовой муфте КМ с заливкой кабельной массой;
- б - в стальной воронке 6 - 10 кВ с заливкой кабельной массой;
- в - сухой заделкой КВВ

### *Порядок выполнения работы*

Используя вышеизложенный материал, произведите разделку кабеля и оконцевание кабеля сухой заделкой КВВ, используя метод опрессовки наконечников. Жилы заизолировать, первых два слоя ХБ изоляцией, а затем два слоя ПВХ изоляцией. Заземляющий жгутик припаять к оболочке.

Выполненную работу предъявить преподавателю.

### **Содержание отчёта**

1. Тема, порядок выполнения работы и цель занятия
2. В отчёт занести краткие сведения о маркировке, конструкции и последовательности разделки кабеля, устройство и крепёж оконцевания и разделения кабеля и инструменты (рисунки 1, 5)

### **Вопросы для самопроверки**

1. Требования к закладке кабелей в грунт.
2. Маркировка кабелей.
3. Какие типы кабельных муфт вы знаете?
4. Какие способы оконцевания кабелей вы знаете?
5. Как подготавливается кабель к разделке?
6. Как по маркировке различить провод и кабель?
7. Какие методы определения сечения жил вы знаете?
8. К чему ведет неправильное определение необходимого сечения жил провода и кабеля?
9. В чем заключается рациональный выбор проводов и кабелей

## **Лабораторная работа № 2**

### **Конструктивное исполнение воздушных линий электропередач**

#### **Цель работы:**

Изучить конструкцию воздушных линий электропередачи.

#### **Методические указания**

1. Изучить теоретические сведения по конструкции воздушных линий.
2. Познакомиться с элементами конструкции линий электропередачи в лаборатории.

#### **Теоретические сведения**

*Воздушной линией электропередачи (ВЛЭП)* называется устройство для передачи электрической энергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным при помощи изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам инженерных сооружений.

Воздушные линии (ВЛ) в населенной местности устанавливаются как правило вдоль дорог и в ненаселенной местности на просеках.

Расстояние между двумя соседними опорами называют длиной пролёта или пролётом  $l$  линии (рисунок 1). Расстояние от точки подвеса провода до его нижней точки называют стрелой провеса  $f$  провода. Наименьшее расстояние от нижней точки провода до земли  $h$  называют габаритом линии.



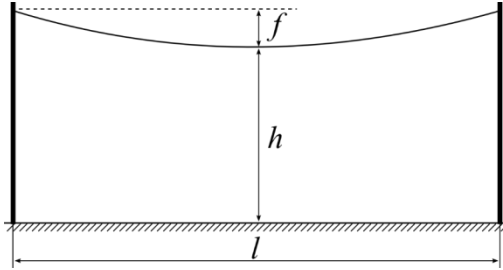


Рисунок 1- Конструктивные параметры ВЛЭП

Главными элементами воздушной линии являются (рисунок 2):

1. провода, служащие для передачи электрической энергии;
2. защитные тросы, монтируемые в верхней части опор для защиты проводов от атмосферных (грозовых перенапряжений);
3. опоры, поддерживающие провода на определённой высоте над уровнем земли или воды;
4. изоляторы, изолирующие провода от тела опоры;
5. арматура, при помощи которой провода закрепляются на изоляторах, а изоляторы на опоре.

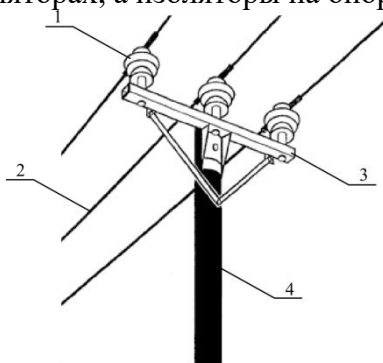


Рисунок 2 - Конструкция ЛЭП 10 кВ: 1 - изолятор;  
2 - провод; 3 - арматура; 4 – опора

По конструкции воздушные линии можно разделить на одноцепные и двухцепные, когда на одной опоре ЛЭП крепятся две независимые ВЛ.

В зависимости от вида проводников воздушные линии подразделяют на:

ВЛ -воздушные линии выполненные неизолированным (голым) проводом;

ВЛИ, термин используется в сетях до 1000В - воздушные линии изолированные, выполненные самонесущим изолированным проводом;

ВЛЗ, термин используется в сетях выше 1000В - воздушные линии защищённые, выполненные проводом с защитной изолирующей оболочкой (СИП и MultiWiksi).

#### *Опоры воздушных линий электропередачи*

Опоры классифицируют по материалу и по назначению. По материалу опоры разделяют на деревянные, железобетонные и металлические.

**Деревянные опоры.** Для изготовления деревянных опор применяют сосну, лиственницу и реже - ель. Древесина сосны и лиственницы содержит много смолы и поэтому хорошо противостоит действию влаги. Стойки опор изготавливают из стволов деревьев. Нижняя часть ствола называется комлем, а верхняя, более тонкая, -отрубом. Естественную конусность ствола от отруба к комлю называют сбегом.

Средний срок службы непропитанной древесины составляет примерно 5 лет. Пропитка столбов маслянистыми антисептиками увеличивает этот срок до 15-25 лет. Поэтому для опор ВЛ разрешается применять только пропитанные заводским способом сосновые и еловые брёвна, а в исключительных случаях -непропитанную лиственницу воздушной сушки, имеющую влажность не более 25%.

Железобетонные опоры. Стойки вибрированные

предварительно напряженные разработаны для опор воздушных ЛЭП напряжением 0,38 кВ, предназначены для применения:

1. при расчетной температуре наружного воздуха (наиболее холодной пятидневки района строительства согласно СНиП 23-01-99) до  $-55^{\circ}\text{C}$  включительно;
2. в I-V районах по давлению ветра;
3. и в I-IV районах по толщине стенок гололеда (согласно СНиП 2.01.07-85) при сейсмичности площадки строительства 9 баллов.
4. в грунтах и грунтовых водах со слабо-, средне- и сильно агрессивной степенью воздействия для строительства линий электропередач напряжением 0,38 кВ.

Обозначение:

СНВ-2,7-11; СВ-3-12;

СВ -стойка вибрированная

12 -длина стойки, м

3 -нагрузка стойки, тс·м.

**Металлические опоры.** Стальные многогранные ВЛИ 0,38 кВ разработаны в соответствии с требованиями ПУЭ 7 с целью увеличения надёжности и долговечности ВЛ, снижения вероятности отказа ВЛ при гололёдно-ветровых перегрузках и значительного снижения эксплуатационных расходов. В первую очередь стальные многогранные опоры рекомендуются в городах и поселках с целью улучшить эстетические показатели населенного пункта.

Закрепление опор в грунте предусматривается в сверленных котлованах диаметром 350мм глубиной 1,8м - для промежуточных опор на базе стоек длиной 8,5м и глубиной 2,8м -для опор анкерного типа на базе стоек длиной 9,5м и переходных опор.

По назначению опоры делят на промежуточные (П), анкерные (А), угловые (У), концевые (К) и специальные (С).

*Промежуточные опоры*, устанавливаемые на прямых участках трассы ВЛ, предназначены только для поддержания проводов и не рассчитываются на нагрузки от тяжения проводов вдоль линии. В нормальном режиме работы промежуточные опоры воспринимают вертикальные и горизонтальные нагрузки от массы проводов, изоляторов, арматуры и давления ветра на провода и стойки опор. В аварийном режиме (при обрыве одного или нескольких проводов) промежуточные опоры воспринимают нагрузку от тяжения оставшихся проводов, подвергаются кручению и изгибу. Поэтому их рассчитывают с определенным запасом прочности. Промежуточные опоры на линиях составляют 80-90%.

*Анкерные опоры*, устанавливаемые на прямых участках трассы для перехода ВЛ через инженерные сооружения (автодороги, линии связи) или естественные преграды (овраги, реки), воспринимают продольную нагрузку от разности тяжения проводов и тросов в смежных анкерных пролетах. При монтаже линии анкерные опоры воспринимают продольную нагрузку от тяжения подвешенных с одной стороны проводов. Конструкция анкерных опор должна быть жесткой и прочной.

Анкерные опоры в сетях до 35 кВ выполняют с укосиной или с оттяжкой, в сетях выше 110 кВ анкерные опоры имеют различную усиленную конструкцию (рисунок 3).

Стрелкой на рисунке указано направление тяжения провода ВЛ.

Анкерная опора в сети 0,38 кВ собранная из стоек СНВ-1,5-9,5 или СНВ-2,0-9,5 заглубляется в грунт на глубину 1,8 м, высота стойки над поверхностью земли 7,7 м.

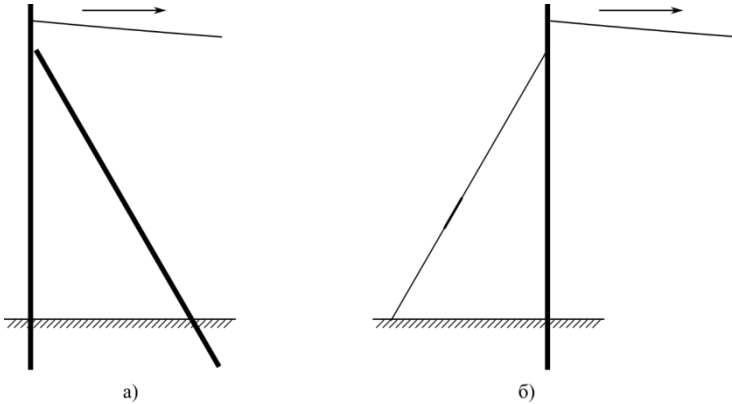


Рисунок 3 - Анкерная опора: а - с укосиной; б - с оттяжкой

*Угловые опоры*, рассчитаны на эксплуатацию в местах изменения направления трассы ВЛ, воспринимают результирующую нагрузку от тяжения проводов и тросов смежных межопорных пролётов. При небольших углах поворота ( $15 \dots 30^\circ$ ), где нагрузки невелики, применяют угловые промежуточные опоры. При углах поворота более  $30^\circ$  используют угловые анкерные опоры, которые имеют более прочную конструкцию и анкерное крепление проводов.

*Концевые опоры* являются разновидностью анкерных и устанавливаются в конце или начале линии. При нормальных условиях работы линии они воспринимают нагрузку от одностороннего тяжения проводов.

Помимо рассмотренных так называемых нормальных опор на линиях электропередачи устанавливают также специальные опоры:

1. транспозиционные - для изменения порядка расположения проводов на опорах;
2. ответвительные - для устройства ответвлений от магистральной линии;
3. перекрестные - для пересечения ВЛ двух направлений;

4. противовеетровые -для усиления механической прочности ВЛ;
5. переходные -для переходов ВЛ через естественные препятствия и искусственные сооружения и др.

В проектах обычно используется следующее обозначения опор:

- П – промежуточная;
- ПП – переходная промежуточная;
- УП – угловая промежуточная;
- А – анкерная (концевая);
- ПА – переходная анкерная;
- АК – анкерная концевая;
- К – концевая;
- УА – угловая анкерная;
- ПУА – переходная угловая анкерная;
- АО – анкерная ответвительная;
- ПОА – переходная анкерная ответвительная;
- О – ответвительная.

#### *Провода воздушных линий электропередачи*

ВЛ выполняются на напряжения от 0,38 до 500 кВ неизолированными и изолированными проводами. Провода характеризуются площадью поперечного сечения в мм<sup>2</sup>. Сечение провода на участке ВЛ определяется механической прочностью и величиной тока нагрузки. Выбор сечения проводов осуществляется по допустимому току (по нагреву), по допустимой потере напряжения, по экономическим показателям.

В сетях до 1000 В используют неизолированные проводники марки А. например А25 означает что материал жилы алюминий, сечение 25мм<sup>2</sup>. Провода располагаются в пространстве по углам квадрата на изоляторах на расстоянии 400 мм.

Промышленность выпускает провода кусками определенной длины, размещаемых на барабане. На ВЛ отрезки проводов соединяют друг с другом с помощью соединителей, подразделяемых на овальные и прессуемые. Овальные соединители применяют для проводов сечением до 185 мм<sup>2</sup>. Прессуемые соединители используются для соединения проводов сечением 240 мм<sup>2</sup> и более и стальных тросов всех сечений.

В настоящее время в соответствии с ПУЭ в сетях до 1000 В должны применяться проводники марки **СИП - самонесущие изолированные провода**.

Внешне СИП представляет собой скрученные токопроводящие жилы, покрытые изоляцией из светостабилизированного сшитого полиэтилена. Каждая жила имеет круглую форму и скручена из проволок алюминиевого сплава (их количество зависит от сечения самого СИПа), уплотнённая.

Изоляция СИП, благодаря применению светостабилизированного сшитого полиэтилена способна длительное время выдерживать губительное действие солнечного света - ультрафиолета. Срок службы СИП составляет не менее 25 лет. Толщина изоляции светостабилизированного слоя составляет несколько микрон, соответственно провод нельзя тянуть по земле, иначе защитный слой обдерётся и срок службы СИП резко снизится.

Различают СИП разных конструкций применяемых в сети до 1000 В: СИП-1 - нулевая несущая выполнена из алюминиевого сплава, неизолированная; СИП-2 нулевая несущая выполнена из алюминиевого сплава изолированная. СИП-4 - все провода являются несущими (рисунок 4).

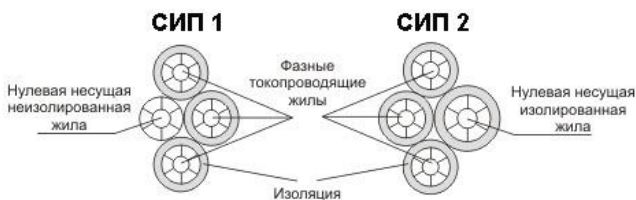


Рисунок 4 - Конструкция СИП 1и СИП 2

Провода марки СИП применяемые в сети 0,38 кВ имеют маркировку, например СИП 2А 3х50+54,6+2х16 - провод марки СИП2 сечением фазных проводников 50 мм<sup>2</sup>, нулевого провода 54,6 мм<sup>2</sup>, с двумя дополнительными изолированными жилами для выполнения сети наружного освещения сечением 16 мм<sup>2</sup>. Поскольку провода СИП в сети 0,38 кВ располагаются близко друг к другу то ВЛ имеет гораздо меньше реактивное сопротивление чем ВЛ выполненная проводом марки А.

В сетях 6-35 кВ применяют провода марки:

АС -алюминиевый провод со стальной жилой несущей механическую нагрузку;

СИПЗ -самонесущий изолированный провод, представляет из себя фактически провод марки АС покрытый светостабилизированной изоляцией;

**Кабель Multi-Wiski -три изолированных кабеля скручены вокруг несущего изолированного троса из стальных оцинкованных проволок. Данный провод похож на провод СИП2.**

Провода ВЛ выполненной проводом марки АС или СИПЗ при напряжении 10, 35 кВ располагаются на расстоянии 1 м и 3 м. **Кабель Multi-Wiski, в отличие от проводов марки АС и СИПЗ, имеет малое расстояние между фазными проводами и подвешивается на опорах аналогично СИП2 (рисунок 5).**

Кабель **Мульти-Виски (Multi-Wiski)** выпускается



на напряжение 6-10-20-35 кВ с продольной и поперечной герметизацией от проникновения влаги Для наружной прокладки, на воздухе, в земле, в том числе в почве с высокой коррозионной активностью грунтов. Наибольшая температура нагрева токопроводящих жил: -длительно допустимая температура 90 °С -стойкость к токам КЗ: 250 °С  
 Наименьшая температура при монтаже кабеля: -20 °С.

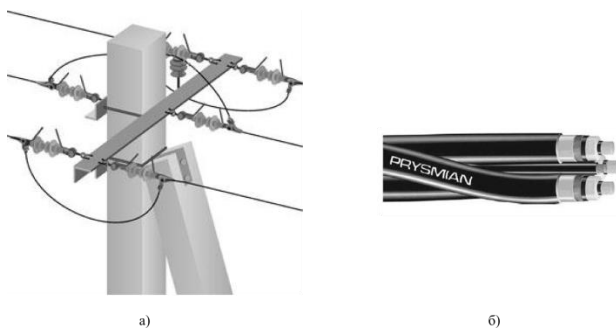


Рисунок 5 - Провода марки: а - АС (на анкерной опоре);  
 б - **Multi-Wiski**

**Конструкция универсальный кабель Мульти-Виски:**

*Токопроводящая жила:* Алюминиевая многопроводочная токопроводящая жила с водонабухающим порошком.

*Экран по токопроводящей жиле:* Электропроводящая композиция из сшитого полиэтилена

*Изоляция:* Изоляция из сшитого полиэтилена (XLPE) толщиной 3,4 мм.

*Экран по изоляции:* Электропроводящая композиция из сшитого полиэтилена

*Обмотка:* Водонабухающая электропроводящая лента медная герметизации экрана

*Экран:* Алюминиевая фольга приклеенная к наружной оболочке. Номинальная толщина фольги 0.2 мм

*Оболочка:* Из полиэтилена высокой плотности

*Скрутка:* Три кабеля скручены вокруг несущего изолированного троса из стальных оцинкованных проволок.

**Маркировка универсального кабеля Мульти-Виски: производитель, наименование кабеля АНХАМК-W, дата изготовления, маркировка метража кабеля.**

В результате эксплуатации линий с СИП отмечают-ся их следующие преимущества по сравнению с линиями, выполненными неизолированными проводами:

1. Снижение потери напряжения благодаря значительно меньшему реактивному сопротивлению (в среднем 0,1 Ом/км вместо 0,35 Ом/км ), что увеличивает нагрузку в кВт при аналогичной линии и такой же потере напряжения с соответственно повышает качество переданной энергии при той же нагрузке.

2. Улучшение рабочих условий за счет устранения возможности контакта с посторонними предметами.

3. Уменьшение необходимой ширины вырубki в лесистой местности.

4. Снижение риска возникновения пожаров в лесистой или покрытой кустарником местности при падении провода на землю.

5. Уменьшение допустимого расстояния до строений и других воздушных (например, телефонных) линий, что обеспечивает большую гибкость при прокладке.

6. Возможность использования более коротких опор- допустимое расстояние до поверхности земли для изолированных проводов составляет 4 м, для неизолированных - 6 м.

7. Возможность установки дополнительных СИП параллельно существующим для увеличения пропускной способности сети (что недопустимо при использовании неизолированных проводов).

8. Возможность совместной прокладки на одних и тех же опорах одновременно СИП 0,38 кВ и высоковольт-

ных воздушных линий 6-20 кВ с неизолированными или защищенными проводами.

9. Упрощение процесса прокладки новой линии, относительная простота переоборудования существующих линии с неизолированными проводами на линии ВЛИ с самонесущими изолированными проводами.

10. Возможность одновременного монтажа на одних и тех же опорах телефонных линий (на 0,5 м ниже линии с СИП).

11. Снижение вероятности разрыва фазных проводов посторонними механизмами. Обеспечение бесперебойного электроснабжения в случае срыва СИП с опор.

12. Полное устранение опасности контакта с проводом, в том числе для птиц.

13. Безопасность и экономичность подключения потребителей (разводки), которое можно проводить под напряжением.

14. Полная защищенность от воздействия влаги и коррозионная устойчивость благодаря изоляции проводов и наличию современных нержавеющей и водозащищенных монтажных изделий и разъемов.

15. Устранение опасности замыкания фазы на землю из-за поломки изолятора или контакта провода с ветками деревьев.

16. Полностью исключается возможность схлёстывания проводов из-за ветра или атмосферной неустойчивости, что является причиной 40 % аварий в сетях с применением неизолированных воздушных проводов.

17. Мелкие повреждения изоляционного материала не требуют немедленного ремонта.

18. Уменьшение числа аварий более чем в 5 раз.

### *Изоляторы воздушных линий электропередачи*

Провода закрепляют на изоляторах. Принципиально изоляторы делятся на штырьевые и подвесные. Штырье-

вые изоляторы изготавливают из фарфора, закаленного стекла (рисунок 6) и специальных полимеров, закрепляемые на штырях и крюках, их используют на ВЛ до 35 кВ.

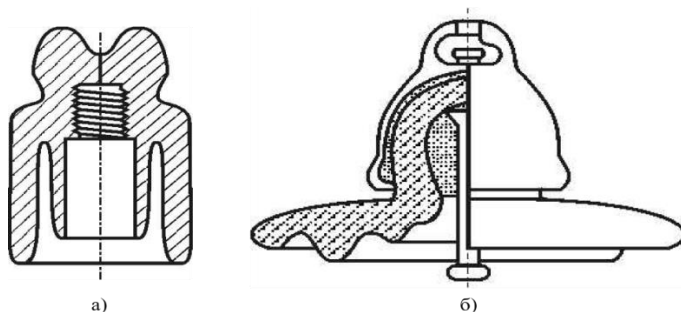


Рисунок 6 – Изоляторы: а - штыревого типа;  
б - подвесного типа

Изолятор штыревого типа наворачивается на крюк опоры с помощью полиэтиленового колпачка или кабалки. Во избежание перекрытия изоляторов во время дождя предусматривается развитая поверхность в нижней части изолятора (юбки).

Из подвесных изоляторов (рисунок 6) собирают гирлянды. Количество изоляторов в гирлянде зависит от уровня напряжения линии. Один подвесной изолятор используют на линиях напряжением 6 и 10 кВ, 3-4 изолятора – на напряжении 35 кВ; 7...10 изоляторов - на напряжении 110 кВ и т.д.

Подвесной изолятор типа ПФ-70-В выдерживает одномоментное напряжение в сухом состоянии 60 кВ, под дождем 32 кВ, разрушающая электромеханическая нагрузка не менее 70 кН, масса - 5 кг.

В последнее время вместо подвесных изоляторов тарельчатого типа применяют изоляторы выполненные из полимера или кремнийорганической резины. Данные изолято-

ры обладают значительно меньшими размером и весом. Например изолирующая подвеска ВЛ 6-10 кВ на базе стеклянных изоляторов ПС-70Е имеет длину 607,5 мм и массу 9,38 кг, а подвеска на базе полимерного изолятора ЛК-70/10-И-ЗСС имеет длину 539 мм и массу 3,2 кг (рисунок 7).

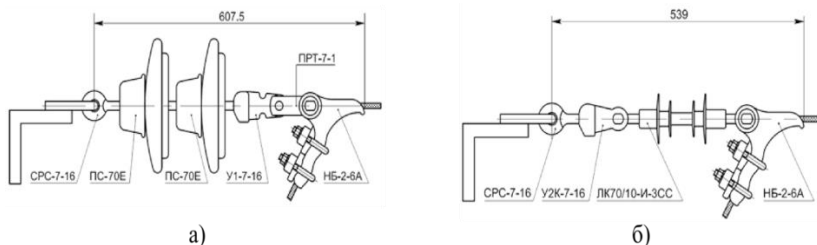


Рисунок 7 - Изолирующая подвеска на базе разных изоляторов: а - ПС-70Е; б - ЛК-70/10-И-ЗСС

Провода марки СИП в сетях 0,38 кВ крепятся при помощи специальной линейной арматуры (рисунок 8).

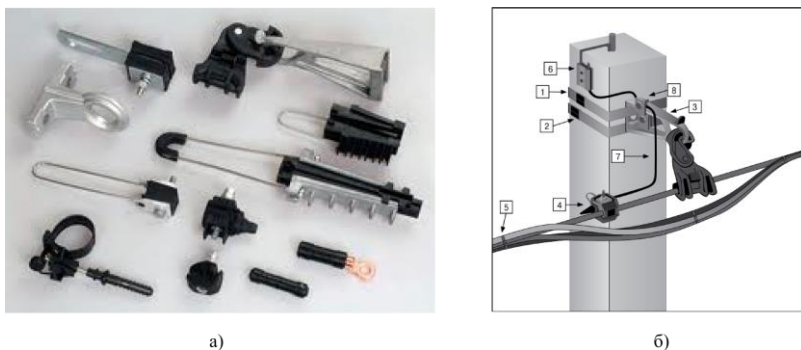


Рисунок 8 - Крепление СИП: а - арматура; б - крепление СИП2 на промежуточной опоре ВЛ 0,38 кВ

Линейная арматура применяется для крепления проводов к изоляторам и изоляторов к опорам и делится на

следующие основные виды: штыри, крюки, зажимы, сцепная арматура, соединители.

Штыри и крюки предназначены для крепления фарфоровых и стеклянных штыревых изоляторов на деревянных опорах ВЛ. Во избежание поворота крюка его ось должна совпадать с осью провода.

Зажимы применяют для закрепления проводов в гирляндах подвесных изоляторов. Сцепная арматура включает скобы, серьги и ушки и служит для присоединения гирлянды к траверсе.

На работу ВЛ оказывают влияние механические нагрузки от собственного веса проводов или тросов, от гололедных образований, от давления ветра на провода и опоры, а также из-за изменений температуры воздуха. Габарит линии ВЛ- 0,38 кВ не должен быть меньше 6 м. Величина пролета зависит от напряжения сети, для линий 0,38 кВ – 25-40 м, для линий 10 кВ 50-70 м. Под воздействием ветра возникает вибрация проводов - колебания с высокой частотой и незначительной амплитудой. Чтобы исключить перелом жил проводов при вибрации, вблизи точек крепления проводов к гирлянде изоляторов устанавливают виброгасители. Виброгасители представляют собой два чугунных груза, соединенных стальным коротким тросом. Закрепляется виброгаситель на проводе болтовым зажимом. Собственная частота гасителей во много раз меньше, чем провода, поэтому точка крепления провода к изоляторам не колеблется и провод не переламывается в месте крепления. Для алюминиевых и сталеалюминиевых проводов малых сечений для гашения вибраций устанавливают на промежуточных опорах демпфирующие петли - фистоны - отрезки проводов, шунтирующие точку крепления. Под действием ветра возможна также пляска проводов (колебания с малой частотой и большой амплитудой). Указанные механические нагрузки, вибрации и пляска проводов могут приводить к обрыву проводов, поломке

опор, склестыванию проводов либо сокращению изоляционных промежутков, что при применении неизолированных проводов приводит к пробоям и перекрытию изоляции.

### **Содержание отчёта**

1. Тема, порядок выполнения работы и цель занятия
2. Определение воздушной линии электропередачи и её основные конструктивные параметры, обозначение.
3. Конструкция воздушной линии электропередачи.
4. Классификация опор и их назначение.
5. Типы проводов применяемых в сетях до и выше 1000 В.
6. Типы применяемых изоляторов и их назначение.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что такое габарит, стрела провеса, длина пролета ВЛ?
2. Какие типы опор применяют и каково их назначение?
3. Для чего заземляются опоры?
4. Что такой анкерный пролет?
5. Как выбирается сечение проводов линии электропередачи?
6. В чём отличие ВЛИ от ВЛЗ?
7. Какие типы изоляторов применяются в сетях до и выше 1000 В?
8. Для чего применяют специальную арматуру?
9. Как соединяются провода воздушной линии?
10. Как расшифровывается марка провода, А-35, АС-70?
11. Приведите пример марки провода СИП2 и расшифруйте его?
12. Почему снижаются потери напряжения и мощности при применении провода марки СИП в сетях 0,38 кВ?
13. В чём преимущества самонесущих изолированных проводов?
14. В чём отличие проводов СИП1, СИП2, СИП3, СИП4?
15. В чём отличие провода марки АС от кабеля Multi-Wiski?

### **Лабораторная работа № 3**

#### **Вязка проводов к изоляторам опор ВЛ, монтаж повторного заземления нулевого провода и устройства защиты от перенапряжений на ВЛ - 0,4 кВ**

#### **Цель работы:**

Изучить требования к монтажу ВЛ. Научиться монтировать провода ВЛ, повторное заземление нулевого провода и устройства защиты от перенапряжений.

#### **Методические указания**

1. Изучить требования к монтажу ВЛ.
2. Произвести вязку проводов, смонтировать повторное заземление нулевого провода и устройство защиты от перенапряжений.

#### **Теоретические сведения**

По правилам устройства электроустановок ВЛ делятся на две группы ВЛ до 1000 В (низковольтные) и ВЛ выше 1000 В (высоковольтные). Номинальное линейное напряжение линий трехфазного тока регламентировано ГОСТ 721 - 62 и имеет следующий размерный ряд: 1500, 750, 500, 330, 220, 150, 110, 35, 20, 10, 6, и 3 кВ, а также 660, 380 и 220 В.

По электрическому режиму работы подразделяются на линии с изолированной нейтралью, когда общая точка обмоток (нейтраль) не присоединена к заземляющему контуру или присоединена через аппараты с очень большим сопротивлением, и с глухозаземленной нейтралью, когда нейтраль генератора или трансформатора наглухо соединена с заземляющим контуром.

В РАО «ЕЭС России» сети с глухозаземленной нейтралью применяют в системах напряжением до 1000 В и от 110 кВ и выше. Системы 3, 6, 10, 20 и 35 кВ имеют изолированную нейтраль.



На рисунке 1 показана схема ВЛ. Как видно из рисунка, ВЛ. состоит из следующих частей: анкерного пролета, переходного анкерного пролета и межопорного пролета.

Для линий ВЛ - 6/10 кВ в населенных пунктах межопорный пролет должен быть не более 35 м, а вне населенных пунктов не более 50. Для линий ВЛ - 0,4 кВ не более 25 м. Если на одной опоре проходят две линии классами напряжения 10 и 0,4 кВ, то межопорный пролет выполняется для линии ВЛ - 0,4 кВ.

Анкерный пролет не должен превышать 200 метров, а переходной анкерный пролет равен ширине проезжей части плюс охранный зона автодороги.

Тип опор на схемах обозначается буквами: К - конечная; П - промежуточная; УП - угловая промежуточная; УА - угловая анкерная; А - анкерная.

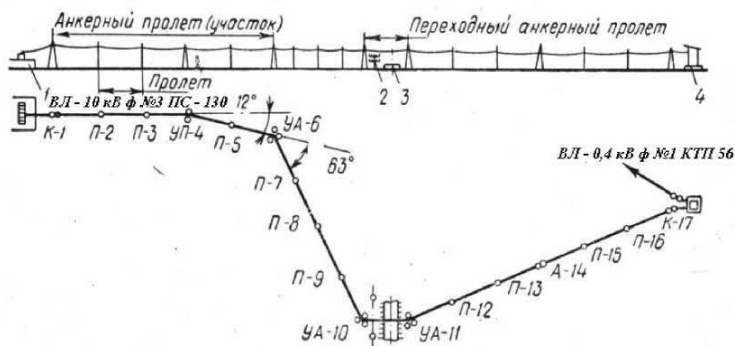


Рисунок 1 - Схема ВЛ - 10кВ фидер №3 от ПС - 130:  
 1 - комплексное распределительное устройство (КРУ) -  
 10кВ районной подстанции 110/10кВ,  
 2 - линия высоковольтной связи (ВЛС), 3 - автодорога,  
 4 - комплексная трансформаторная подстанция (КТП)  
 животноводческого комплекса

Опоры могут быть из пропитанной древесины или железобетонные, на рисунках 2 и 3 показаны деревянные и железобетонные опоры.

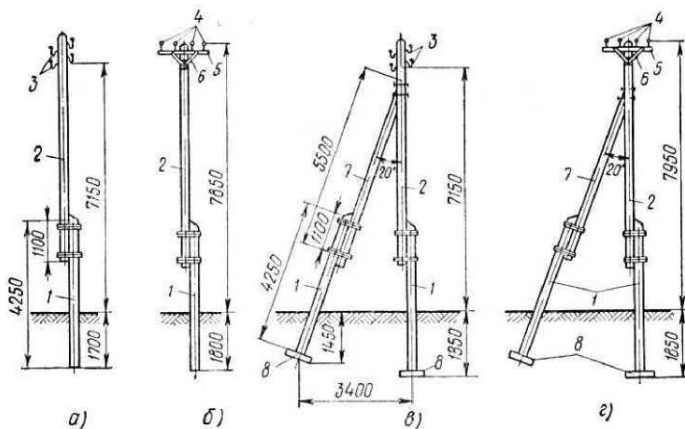


Рисунок 2 - Деревянные опоры ВЛ напряжением до 1000 вольт:  
*а* - промежуточная с креплением проводов на крюках,  
*б* - промежуточная с креплением проводов на траверсе,  
*в* - анкерная (угловая) опора с креплением проводов на крюках,  
*г* - анкерная (угловая) с креплением проводов на траверсе (1 - железобетонный пасынок, 2 - деревянная стойка, 3 - крюки с изоляторами, 4 - штыри с изоляторами, 5 - траверса, 6 - подкос траверсы, 7 - подкос опоры, 8 - ригель)

Для изготовления деревянных опор применяют сосну, лиственницу и реже ель. Древесина сосны и лиственницы содержит много смолы и поэтому хорошо противостоит влаге. Определенные требования имеются к стволу древесины: комель (нижняя часть) должен быть диаметром не менее 25 см; отруб (верхняя часть) не менее 18 см, а длина ствола зависит от длины пасынка и количества подвешиваемых проводов. Так, железобетонные пасынки ПТО

выпускаются длиной 3,25 и 4,25 м; длина ствола стойки опоры 6,5 и 7,5 м для подвеса 5 проводов и соответственно 7,5 и 8,5 м для подвеса 8 проводов.

Стволы стоек деревянных опор сушат (40 - 50) дней, а затем пропитывают антисептиками (креозотом или доналитом).

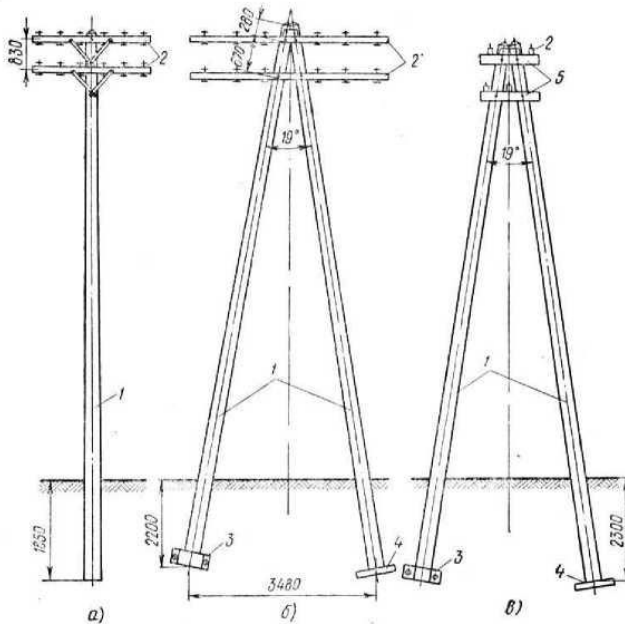


Рисунок 3 - Железобетонные опоры ВЛ до 1000 вольт:  
 а - промежуточная, б - угловая, в - анкерная и конечная  
 опора (1 - железобетонная стойка, 2 - траверса  
 с изоляторами, 3 - анкерная плита, 4 - опорная плита,  
 5 – подтраверсник)

Железобетонные опоры монтируют из виброустойчивых или консольных железобетонных стоек марок СВ и СКУ. Стойки марок СВ имеют трапециевидальное сечение и длину 9, 10 и 11 метров и обозначаются как СВ - 10 - 1,0 -

(10), что означает стойка виброустойчивая длиной 10 метров, массой 1 тонна, для линий напряжением 10 кВ. Стойки СКУ пустотелы и имеют круглое сечение маркировка аналогична стойкам СВ, например, СКУ - 15 - 1,5 - (35), что означает стойка консольная унифицированная длиной 15 метров, массой 1,5 тонны для линий напряжением 35 кВ.

Опоры линий электропередач устанавливаются спецтехникой, (рисунок 4).

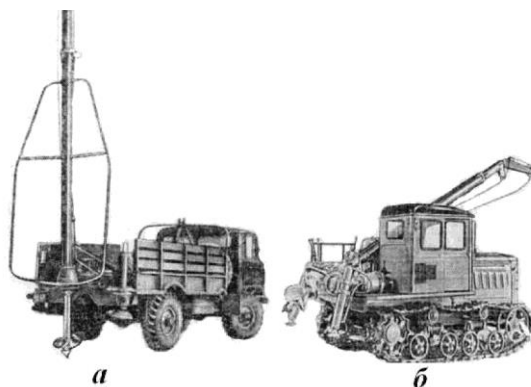


Рисунок 4 - Бурильно-крановые машины для установки опор ВЛ. а - бурильно-крановая машина БМ - 303 М на базе ГАЗ - 66, б - бурильно-крановая машина БКГО - 67 на базе ДТ - 75М

На крюках опор или штырях траверс устанавливаются изоляторы, которые показаны на рисунке 5. Изоляторы изготавливаются из электротехнического фарфора, который покрывают слоем глазури и обжигают в специальных печах, а также из специального закаленного стекла. Механическая прочность стеклянных изоляторов выше, чем фарфоровых, кроме того, стеклянные изоляторы медленнее подвергаются старению, но электрическая прочность стеклянных изоляторов меньше, чем у фарфоровых.

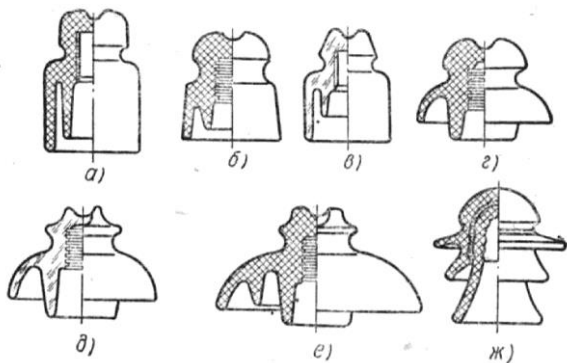


Рисунок 5 - Штыревые изоляторы: а) - ТФ, б) - ШЛН, в) - ТСБ, г) - ШС, д) - ШСС, е) - ШЖБ (ШФ), ж) - ШД

Изоляторы маркируют буквами, обозначающими конструкцию и назначение изолятора, и числами, указывающими рабочее напряжение. Для ВЛ - 0,4 кВ применяют штыревые изоляторы ТФ, ШЛН и ТСБ. Для ВЛ - 6/10 кВ используются изоляторы ШС, ШСС и ШЖБ (ШФ). По конструкции они не отличаются от низковольтных изоляторов, но имеют более высокие электрические характеристики и механическую прочность. Штыревые изоляторы ШД для ВЛ - 20/35 кВ имеют сложную конструкцию и состоят из двух частей, соединяемых цементной связкой.

Для монтажа провода на ВЛ 0,4/10 кВ применяется два типа вязки провода: одинарная и двойная (рисунке 6).

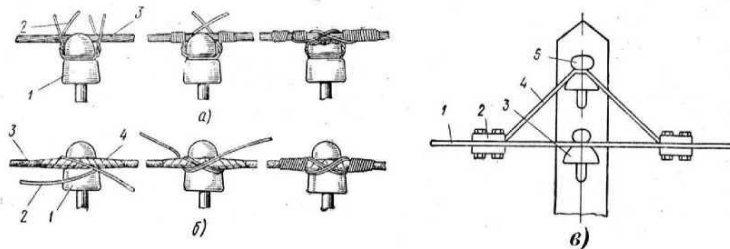


Рисунок 6 - Типы вязки проводов к штыревым изоляторам: а - головная вязка: 1 - изолятор; 2 - вязальная проволока;

3 - провод б - боковая вязка: 1 - изолятор; 2 - вязальная проволока; 3 - провод; 4 - прокладка; в - двойная вязка: 1 - провод; 2 - планшетный зажим; 3 - изолятор; 4 - дополнительный провод; 5 - дополнительный изолятор

Одинарная вязка применяется вне населенных пунктов, а двойная вязка в населенных пунктах и на переходных анкерных пролетах через автострады и железные дороги, а также на угловых промежуточных опорах.

Типы проводов показаны на рисунке 7.

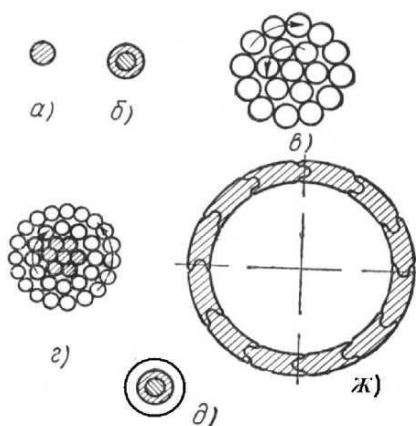


Рисунок 7 - Типы проводов:

- а - однопроволочный до  $25 \text{ мм}^2$  б - биметаллический до  $25 \text{ мм}^2$  в - многопроволочный до  $120 \text{ мм}^2$
- г - многопроволочный комбинированный до  $600 \text{ мм}^2$
- д - самонесущий изолированный биметаллический провод до  $25 \text{ мм}^2$  ж - полый провод до  $600 \text{ мм}^2$

Провода изготавливаются из меди марка (М), алюминия (А), стали (ПС) и алюминиевых проволок, намотанных на несущие стальные проволоки (АС). Согласно ГОСТ 839 - 59 провода для воздушных линий электропередачи имеют

следующие шаги сечений: марки (М) от 4 до 400, марки (А) от 16 до 600, марки (АС) от 10 до 400 мм<sup>2</sup>. Провод марки (ПС) по ГОСТ 5800 - 51 от 35 до 95 мм .

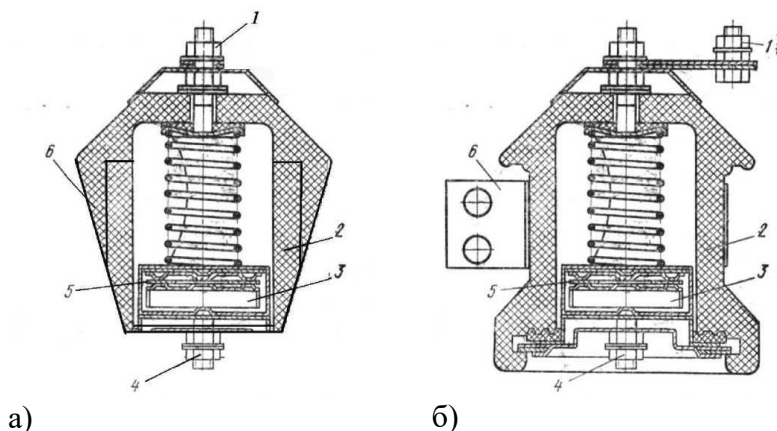


Рисунок 8 - Устройства защиты от перенапряжений:

а - вентильный разрядник РВН - 0,5: 1 - болт для присоединения фазного провода, 2 - фарфоровый корпус, 3 - рабочее сопротивление, 4 - болт для присоединения к заземлителю, 5 - искровой зазор, 6 - хомут крепежный  
 б - ограничитель перенапряжений ОПН - 0,38 УХЛЗ:

1 - болт для присоединения фазного провода,  
 2 - текстолитовая нижняя часть корпуса, 3 - рабочее сопротивление, 4 - болт для присоединения к заземлителю, 5 - искровой зазор, 6 - текстолитовая верхняя часть корпуса

Для защиты линии ВЛ - 0,4 кВ от атмосферных перенапряжений применяются устройства типа РВН (разъединитель высоковольтный наружной установки) - 0,5 и ОПН (ограничитель перенапряжения) - 0,38 УХЛЗ, которые при ударе молнии в линию отводят излишнее напряжение в землю. Устройство РВН - 0,5 и ОПН - 0,38 УХЛЗ показано на рисунке 8.

Вид смонтированного устройства защиты от перенапряжений показан на рисунке 9.

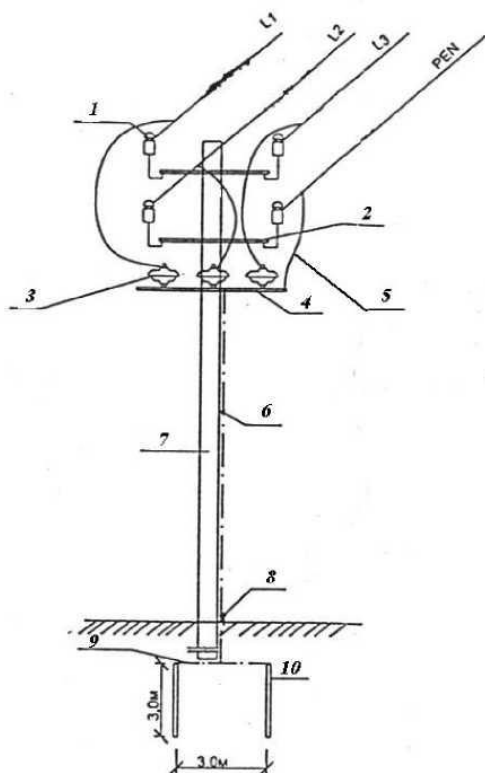


Рисунок 9 - Вид смонтированного устройства защиты от перенапряжений и повторного заземления нулевого провода на ВЛ - 0,4 кВ: 1 - изолятор, 2 - траверса, 3 - ОПН -0,38 УХЛЗ, 4 - заземленная траверса, 5 - повторное заземление нулевого провода, 6 - спуск к заземляющему контуру, 7 - опора ВЛ -0,4 кВ, 8 - болтовое соединение, 9 - обвязка контура заземления, 10 - электрод контура заземления

Электроды контура заземления выполняются из стального проката, обычно из толстостенных труб диамет-



ром 75 мм или уголка 50x50x5 мм. Электроды изготавливаются длиной 2,5 - 3 метра и забиваются в землю на расстоянии одной или двух длин электрода в предварительно выкопанную траншею глубиной 0,5 м. Обвязка и спуск выполняются из стальной полосы 4x40 или прута диаметром 16 мм, а перемычка повторного заземления нулевого провода из катанки диаметром 10 мм. Сопротивление контура повторного заземления ВЛ не должно превышать 30 Ом, а в связке с нулевым проводом 4 Ом

#### *Порядок работы*

Используя вышеизложенный материал произведите монтаж провода на опоре ВЛ двойной вязкой, смонтируйте устройство защиты от перенапряжений и заземлите нулевой провод ВЛ.

#### **Содержание отчёта**

1. Тема, порядок выполнения работы и цель занятия
2. В отчёт занести последовательность произведённого монтажа и устройство перенапряжений (рисунок 9)

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие типы и марки опор ВЛ вы знаете?
2. Как производится установка опор ВЛ?
3. Какие типы изоляторов вы знаете и каково их назначение?
4. Какие методы вязки проводов вы знаете, назначение вязок?
5. Для чего нужно устройство защиты от перенапряжений, и как оно действует?
6. С какой целью и каким образом производится повторное заземление нулевого провода?

## **Лабораторная работа № 4**

### **Трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ**

#### **Цель работы:**

Изучить устройство трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ и работу её элементов в рабочих и аварийных режимах.

#### **Методические указания**

1. Изучить принципиальную схему комплектной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ (КТП).
2. Найти все элементы принципиальной схемы на макете.
3. Разобраться с работой устройства регулирования напряжения.
4. Разобраться с работой схемы автоматического управления наружным освещением.
5. По схемам и на макете разобрать работу элементов схемы в различных режимах работы.

#### **Теоретические сведения**

Для питания сельскохозяйственных потребителей проектируют и монтируют потребительские подстанции. На них устанавливают один или два трёхфазных трансформатора 10/0,4 кВ и реже однофазные трансформаторами с напряжением 10/2×0,22 кВ. Однофазные трансформаторы предназначены для питания однофазных потребителей мощностью до 10 кВА. Вторичная обмотка однофазного трансформатора разделена на две секции по 0,22 кВ со средней точкой.

На ТП 10/0,4 кВ устанавливают трансформаторы со схемой соединения «звезда - звезда с нулем» - 12 группа. При необходимости симметрирования напряжений в ТП до 160 кВА могут применяться трансформаторы со схемой соединения обмоток «звезда – зигзаг с нулем»- 11 группа.

К сетям 6 кВ подключают КТП с трансформаторами 6/0,4 кВ – 11 группа соединений обмоток.

Потребительские подстанции выполняются столбовыми, мачтовыми, комплектными или закрытыми и называются трансформаторными пунктами (ТП). Столбовая трансформаторная ПС (СТП) - открытая трансформаторная ПС, все оборудование которой установлено на одностоечной опоре ВЛ на высоте, не требующей ограждения ПС. На мачтовых ТП электрооборудование 10 кВ размещается в верхней части на опоре, на втором уровне монтируется силовой трансформатор, а щит низкого напряжения размещен на первом уровне с площадкой обслуживания на высоте, не требующей ограждения ПС.

Подстанции 10/0,4 кВ имеют распределительные устройства (РУ) 10 кВ и 0,4 кВ и один или два силовых трансформатора. Наиболее сложными являются ТП **проходного** типа с трансформаторами мощностью 250...630 кВА. К этим ТП заходят транзитом чаще всего две линии 10 кВ через выключатели нагрузки. В качестве секционирующих аппаратов на 10 кВ используют также два выключателя нагрузки (рисунок 1). Использование двух секционирующих выключателей позволяет производить их очередной ремонт без перерыва питания потребителей от двухтрансформаторной подстанции. Выключатели нагрузки позволяют оперировать линиями и трансформаторами под нагрузкой.

Наибольшее распространение получили тупиковые комплектные ТП.

КТП (комплектная трансформаторная подстанция) называется такая подстанция, которая состоит из трансформатора и блоков, поставляемых в собранном или подготовленном для монтажа виде. КТП мощностью 25...250 кВА для наружной установки поставляются в виде трех блоков:

- силового трансформатора типа ТМ25/10...ТМ160/10;
- шкафа высокого напряжения (ВН);
- шкафа низкого напряжения (НН).

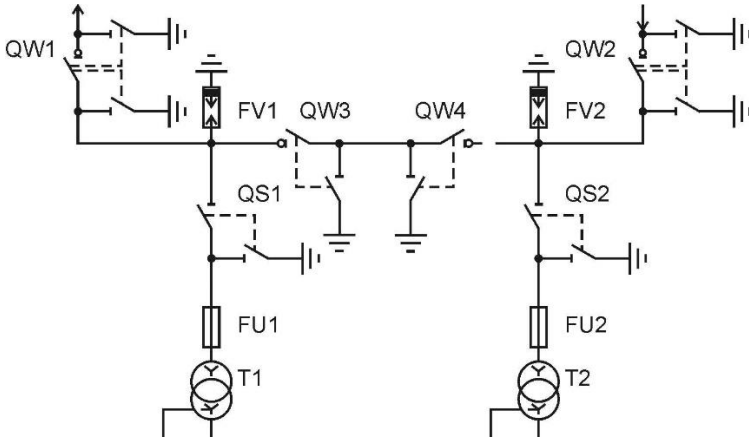


Рисунок 1 - Схема распреустройства 10 кВ на ТП проходного типа

В дополнение к этим блокам необходимо установить и подключить разъединитель и заземляющее устройство.

Шкафы ВН и НН жестко соединены между собой. Для питания такой КТП используют одну линию ВЛ-10 кВ.

КТП мощностью до 250 кВА монтируется на двух железобетонных фундаментах - стойках, устанавливаемых в сверлёные котлованы (рисунок 2).

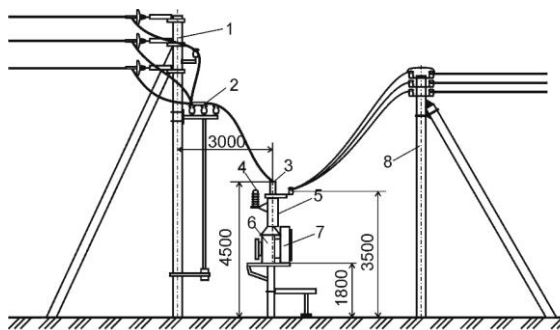


Рисунок 2 - Установка КТП 10/0,4 кВ мощностью 25...250 кВА:

- 1 - конечная опора 10 кВ; 2 - разъединитель 10 кВ;
- 3 - проходной изолятор; 4 - вентильный разрядник 10 кВ;
- 5 - вводное распределительное устройство 10 кВ;
- 6 - силовой трансформатор; 7 – распредел. устройство 0,4 кВ;
- 8 - конечная опора 0,38 кВ

## Конструктивное исполнение элементов КТП

### *Силовой трансформатор*

Трансформатор имеет шихтованный магнитопровод с расположением стержней в одной плоскости. На крышке бака располагаются три проходных изолятора высокого напряжения и четыре - низкого.

Трансформаторы 10/0,4 кВ марки ТМ имеют устройство регулирования напряжения - переключение без возбуждения (ПВВ), рукоятка переключателя выведена на верхнюю крышку трансформатора управляется. Регулирование напряжения осуществляется изменением числа витков обмотки высокого напряжения, при этом изменяется коэффициент трансформации. Такую операцию можно выполнять на отключенном трансформаторе только после выполнения всех организационных и технических мероприятий, обеспечивающих безопасное выполнение работ.

Наблюдение за уровнем масла в баке расширителе осуществляется по масломерному стеклу без отключения

трансформатора. Периодический отбор масла из трансформатора осуществляется из крана специальной конструкции, установленном в нижней части бака. В этой части бака собирается самое увлажненное масло, так как влага тяжелее масла.

Для контроля за температурой верхних слоев масла предусмотрена установка термометров в специальное гнездо.

В некоторых КТП устанавливают трансформаторы со схемой соединения обмоток «звезда - зигзаг» с 11 группой соединений. Это соединение обмоток симметрирует напряжения при несимметричной нагрузке, но такой трансформатор стоит дороже обычного со схемой соединения обмоток «звезда - звезда с нулем».

В последнее время чаще используют герметичные трансформаторы с масляным охлаждением типа ТМГ мощностью до 250 кВА. Такие трансформаторы не имеют устройства ПБВ, бака расширителя и контроля уровня масла. Расширение масла компенсируется гофрированной поверхностью бака трансформатора.

#### *Разъединитель*

На подстанции тупикового типа для включения и отключения трансформатора на холостом ходу на концевой опоре линии электропередачи 10 кВ устанавливают разъединитель для наружной установки типа РЛНДА1-10 с приводом ПРНЗ-10. Привод расположен на уровне, доступном для ручного управления. Этот разъединитель создает видимый разрыв в цепи высокого напряжения, когда необходимо выполнять ремонтные работы. Он позволяет управлять токами холостого хода трансформаторов мощностью до 400 кВА. Чтобы исключить оперирование разъединителем под нагрузкой, устанавливается блокировка между рубильником в шкафу 0,4 кВ и разъединителем 10 кВ. Только в отключенном положении рубильника можно снять ключ блокировочного замка, которым открывается

привод разъединителя. А рубильник отключается после отключения автоматов в цепях линий 0,38 кВ.

На ТП с трансформаторами мощностью 630 кВА и выше для управления со стороны 10 кВ используют выключатели нагрузки, а не разъединители.

#### *Шкаф высокого напряжения*

В шкафу ВН располагаются предохранители с заполнением кварцевым песком. Предохранители FU1...FU3 (рисунок 3) защищают обмотку трансформатора от токов перегрузки, превышающих двухкратное значение, а также срабатывают при коротких замыканиях внутри корпуса трансформатора. В верхней части шкафа ВН закреплены траверсы для подключения проводов воздушных линий 0,38 кВ. Количество отходящих от ТП линий определяется мощностью трансформатора. В КТП мощностью до 160 кВА предусмотрено до трех отходящих линий 0,38 кВ. На шкафу ВН закреплены также разрядники, защищающие ТП от набегающих волн перенапряжений со стороны линии 10 кВ.

Дверца шкафа ВН заблокирована с заземляющими ножами разъединителя. После отключения разъединителя секторная блокировка приводов позволяет оперировать приводом заземляющих ножей. При включении заземляющих ножей можно повернуть ключ второго блокировочного замка, снять этот ключ и открыть шкаф ВН. Таким образом плавкие вставки предохранителей можно заменить только после включения заземляющих ножей.

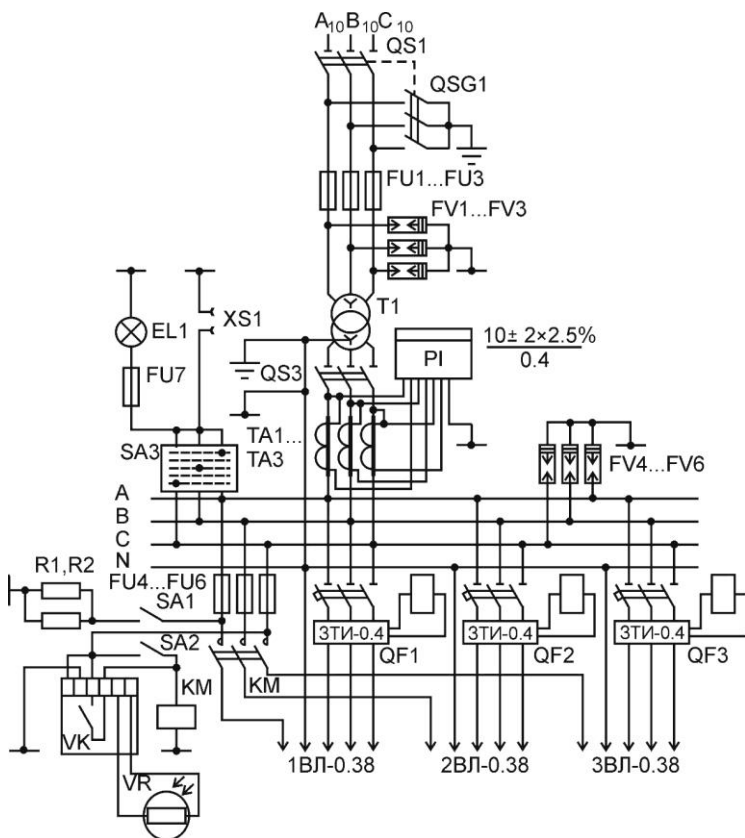


Рисунок 3 - Принципиальная схема КТП до 160 кВА

### *Шкаф низкого напряжения*

В шкафу НН расположены (рисунок 3):

- приборы учёта переданной электроэнергии;
- устройство контроля исправности линии 10 кВ;
- управление отходящими линиями 0,38 кВ;
- управление уличным освещением.

С наружной верхней части шкафа НН размещены разрядники низкого напряжения.



## Приборы учёта переданной энергии

Учёт всей переданной потребителям со вторичной обмотки трансформатора электроэнергии осуществляется по трехфазному счетчику активной энергии РІ, который подключается к силовым цепям через трансформаторы тока ТА1...ТА3. Следует обратить внимание, что первичная и вторичная обмотки трансформаторов тока объединены, что исключает пробой изоляции между обмотками, так как обмотки оказываются под одним потенциалом. Такое объединение также уменьшает количество проводов между счетчиком и силовыми цепями.

Учет количества электроэнергии осуществляется по разности показаний счетчика с учетом коэффициента трансформации трансформаторов тока

$$A_{\text{ПОТР}} = (A_{\text{КОН}} - A_{\text{НАЧ}})K_{\text{ТА}},$$

где  $A_{\text{ПОТР}}$  — количество электроэнергии, переданной потребителям;

$A_{\text{НАЧ}}$ ,  $A_{\text{КОН}}$  — показания счетчика на начало и на конец периода измерения, например, месяца;

$K_{\text{ТА}}$  — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

По счетчику активной энергии можно определить активную мощность, передаваемую через силовой трансформатор потребителям. Для этого следует зафиксировать количество оборотов диска за определенное время.

Во время эксплуатации необходимо следить за целостью вторичных цепей трансформаторов тока. Нарушение их целостности приводит к нагреванию железа магнитопровода и обугливанию изоляции обмоток трансформаторов тока. В холодное время года, при температуре окружающего воздуха  $0^{\circ}\text{C}$  и ниже выключателем SA1 необходимо

вручную включать подогрев счетчика с помощью резисторов R1 и R2, расположенных вблизи поверхности счетчика

### **Устройство контроля исправности линии 10 кВ**

В процессе эксплуатации, особенно при возникновении неполнофазных режимов потребителей, на ТП проверяют наличие трёх фазных напряжений. Для этого в щите НН установлен переключатель SA3 на три положения. На выходе этого переключателя установлена лампа EL1 через предохранитель FU7 и розетка XS1. Лампа EL1 используется для освещения шкафа НН в темное время суток, но одновременно по её накалу судят о симметрии поступающих фазных напряжений. При необходимости для контроля симметрии напряжений можно использовать вольтметр, подключаемый к розетке XS1.

### **Управление отходящими линиями 0,38 кВ**

Шины 0,4 кВ запитываются от силового трансформатора через разъединитель QS3 и трансформаторы тока. От шин 0,4 кВ отходят три линии 380/220 В 1ВЛ-0,38, 2ВЛ-0,38, 3ВЛ-0,38 к потребителям. Для оперативного управления на каждой ВЛ установлены автоматические выключатели QF1, QF2, QF3. Номинальные токи автоматов выбираются в зависимости от мощности ТП. Автоматы электромагнитными расцепителями без выдержки времени отключают близкие к ТП короткие замыкания. Удаленные к.з. и токи перегрузки линий отключаются полупроводниковой защитой ЗТИ-0,4. Эта защита воздействует на отключающую катушку автомата через выдержку времени после появления повреждения. Токи срабатывания ЗТИ-0,4 можно изменять ступенчато. При междуфазных к.з. токи срабатывания могут быть установлены 100, 160 и 250 А, а при однофазных КЗ 40, 80 и 120 А. Предельное время отключения автомата при междуфазных и однофазных к.з. не превышает 15 с. В случае падения фазного провода ВЛ на влажную почву, когда через место повреждения будет про-

текать ток 3...8 А отключение произойдет через 0,1...0,2 с.

В связи с введением новых ГОСТов по электробезопасности линии 0,38 кВ выполняют из 6-ти проводов: три фазных провода, один нулевой рабочий, один нулевой защитный и провод наружного освещения. В такой сети однофазные приемники подключаются между фазными и нулевым рабочим проводом, а все корпуса электрооборудования соединяются с нулевым защитным проводом.

#### *Управление уличным освещением*

В щите НН смонтирована схема автоматического управления уличным освещением (рисунок 4). Схема включает: - пробочные предохранители FU4...FU6; - магнитный пускатель КМ; - фотосопротивление VR, установленное в боковой стенке шкафа НН; - полупроводниковый усилитель VK; - выключатель ручного и автоматического управления SA2.

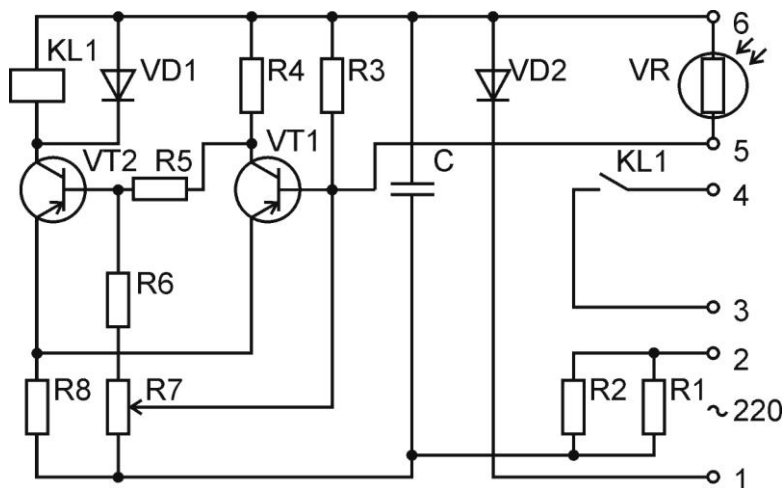


Рисунок 4 - Принципиальная схема управления уличным освещением

От силовых контактов магнитного пускателя КМ отходят три провода, по одному на каждую линию. Эти провода являются пятыми в пятипроводной уличной сети. К пятому проводу и к нулевому проводу линии подключаются лампы уличного освещения. Питание на усилитель ВК и КМ подается через предохранитель FU6. Во включенном положении SA2 питание непосредственно подается на катушку магнитного пускателя, от которого загораются лампы уличного освещения. Это используют при замене перегоревших ламп в дневное время суток. В отключенном положении выключателя SA2 катушка КМ управляется от фотореле. Между клеммами 1-2 подводится фазное напряжение, одна полуволна которого обрывается однополупериодным выпрямителем - диодом VD2 и сглаживается конденсатором С. Выпрямленное напряжение подается на усилитель с эмиттерной обратной связью.

Изменение освещенности фотодатчика VR, при котором усилитель срабатывает, осуществляется резистором R7. Эти резистором устанавливается исходный потенциал базы VT1.

#### *Заземляющее устройство*

Любая подстанция имеет заземляющее устройство, представляющее собой заземлитель и заземляющие проводники. Заземлитель погружается в землю и представляет собой обычно четыре вертикальных электрода, выполненных из уголковой или круглой стали, длиной 3...5 м и горизонтальных электродов, соединяющих вертикальные электроды. Горизонтальные электроды располагают на глубине 0,7 м. Такое исполнение заземлителя обеспечивает выравнивание потенциала на поверхности грунта под ТП.

Заземляющими проводниками соединяется заземлитель с баком трансформатора и с корпусом шкафов НН и ВН и с нулевой точкой обмотки низкого напряжения трансформатора. Заземление нулевой точки трансформато-

ра необходимо для снижения напряжения прикосновения к корпусам электрооборудования в случае обрыва и падения фазного провода на землю, а также для обеспечения сигнализации в случае повреждения изоляции между обмотками высокого и низкого напряжения трансформатора.

Кроме заземляющего устройства ТП на каждой отходящей линии устанавливают повторные заземления нулевого провода для снижения напряжения прикосновения.

### **Содержание отчета**

1. Тема, порядок выполнения работы и цель занятия
2. Классификация трансформаторных подстанций.
3. Схема комплектной трансформаторной подстанции.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Для чего используется разъединитель на ТП со стороны 10 кВ?
2. Какие блокировки предусмотрены на КТП?
3. Какое соотношение напряжений и токов на выводах обмоток низкого и высокого напряжения?
4. Каким образом регулируется напряжение у потребителей?
5. Когда устанавливают выключатели нагрузки со стороны 10 кВ?
6. Как вычислить количество электроэнергии, переданной потребителям?
7. Как вычислить мощность, потребляемую от трансформатора?
8. Как работает усилитель в схеме уличного освещения?
9. Как осуществляется управление уличным освещением?

10. Как формируется пятипроводная воздушная линия 380 В?
11. Как формируется шестипроводная воздушная линия 380 В?
12. Для чего используется переключатель SA3?
13. Как защищается ТП от перенапряжений?
14. Какие условия необходимо выполнить для включения трансформаторов на параллельную работу?
15. Как выполняется заземляющее устройство ТП и для чего оно предназначено?
16. Что сработает на ТП при КЗ на отходящей линии 0,38 кВ?
17. Что сработает на ТП при замыкании в лампе уличного освещения?
18. Каким образом можно определить загрузку ТП?
19. Как осуществляется блокировка между низковольтным щитом и разъединителем?
20. Как изменить коэффициент трансформации силового трансформатора на ТП?

## **Лабораторная работа № 5**

### **Монтаж электрооборудования комплектной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ**

#### **Цель работы:**

Изучить устройство комплектной трансформаторной подстанции, требования МПОТ (межотраслевые правила по охране труда) к монтажу КТП и научиться производить монтаж основного электрооборудования КТП.

#### **Методические указания**

1. Изучить теоретический материал по теме «Трансформаторные подстанции».
2. Ознакомиться с требованиями МПОТ и ПУЭ (правила устройства электроустановок) к монтажу КТП. Ознакомиться с устройством основного оборудования КТП.
3. Ознакомиться с особенностями монтажа комплектной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ

#### **Теоретические сведения**

Трансформаторной подстанцией называется электрическая установка, в которой электроэнергия преобразуется из высшего напряжения в низшее и наоборот. Если подстанция служит для повышения напряжения, то она называется повышающей, если для понижения - понижающей. Повышающие трансформаторные подстанции предназначены для отдачи электрической энергии в сеть и применяются, во-первых, когда генераторы вырабатывают низкое напряжение (в небольших электростанциях  $U < 525$  В), а распределение электроэнергии осуществляется на повышенном напряжении (обычно 6—10 кВ), во-вторых, в более крупных электростанциях с генераторами напряжением 6 кВ, когда повышающие трансформаторы необходимы для электроснабжения большого числа удаленных потребителей с целью снижения потерь электро-

энергии в линиях электропередач.

Понижающие трансформаторные подстанции предназначены для преобразования энергии первичного высокого напряжения, получаемого из сети, в энергию вторичного низкого напряжения, при котором происходит ее дальнейшее распределение между потребителями.

По конструктивному исполнению различают мачтовые, встроенные и закрытые подстанции. Мачтовые подстанции смонтированы на А-образных, П-образных или АП-образных опорах. В сельских сетях широко применяют мачтовые понижающие подстанции напряжением 10/0,4 кВ. Встроенные подстанции монтируются из отдельных блоков, в каждом из которых размещается высоковольтное и низковольтное оборудование, поступающее в готовом виде и устанавливаемое внутри подстанции.

Закрытые подстанции сооружают из кирпича или другого строительного материала, кроме дерева; фундаменты делают из сборных бетонных блоков, а перекрытия из железобетонных плит с последующим перекрытием их водоизоляционным ковром.

В настоящее время весьма широкое распространение получили в сельских сетях трансформаторные подстанции, монтируемые с применением металлических оболочек, так называемые комплектные трансформаторные подстанции (КТП). КТП напряжением 10/0,4 кВ имеют обычно по несколько отходящих линий 380/220 В.

В мачтовых подстанциях опоры выполняются либо деревянными, либо железобетонными. Электрооборудование подстанций размещается на специальных настилах. При этом трансформатор устанавливают на высоте не менее 3,2 м, а все высоковольтное оборудование - выше трансформатора. Линии напряжением 380/220 В, прокладываемые от низковольтного распределительного шкафа до изолятора, защищены стальными трубами. Низковольт-



ный распределительный шкаф разделен на две части. В первом отделении, находящемся в ведении электроснабжающей организации, расположены общий рубильник и предохранители подстанции, измерительные трансформаторы тока и счетчик энергии. Во втором отделении шкафа, находящемся в ведении потребителя электроэнергии, размещены рубильники и предохранители отходящих линий 380/220 В.

Монтаж трансформаторных подстанций включает монтаж оборудования распределительных устройств, трансформаторов, ошиновки, контура заземления, силовой и осветительной сети и т. д. В настоящее время монтаж электрооборудования подстанций осуществляется с использованием унифицированных шинопроводов, зажимов, клемм, компенсаторов. Оборудование предварительно комплектуется в крупные блоки и узлы.

При монтаже подстанций необходимо тщательно следить за надежностью крепления аппаратуры и шин на своих основаниях, чтобы эти крепления смогли противостоять электродинамическим силам, возникающим при коротких замыканиях. Важно также принимать меры против утечки масла из маслонаполненных аппаратов. Так как утечка масла может привести к аварии, необходимо обеспечить надежность сварных швов, фланцевых соединений и других мест, через которые может вытекать масло.

На рисунке 1 показан вид поселковой комплектной трансформаторной подстанции типа КТП -100 - 10/0,4 кВ мощностью 100 кВА.

Электромонтажные работы на трансформаторной подстанции выполняются в две стадии. На первой стадии устанавливают строительные конструкции, в мачтовых подстанциях производится сборка и установка опорных конструкций, ведется подготовка трасс проводок, монтируется контур заземления, шины заземления, крепежные детали.

На второй стадии производятся монтажные и установочные работы: установка комплектных распределительных устройств, монтаж комплектных узлов и блоков, трансформаторов, прокладка проводов и кабелей, присоединение кабелей и проводов к электрооборудованию и т.д.

Одной из наиболее ответственных операций при монтаже подстанций является монтаж силовых трансформаторов, которые достигают на мощных подстанциях весьма больших размеров. Перед монтажом трансформаторов производят их ревизию, в состав которой включают осмотр, взятие пробы масла и замер сопротивлений изоляции обмоток. Трансформаторы с увлажненными обмотками подвергаются сушке. Трансформаторы сушат, пропуская через обмотки низшего напряжения ток определенной величины.

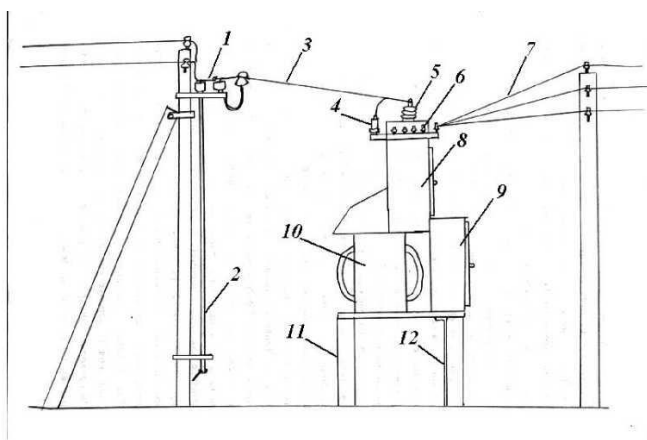


Рисунок 1 - Поселковая КТП 10/0,4 кВ:

- 1 - подстанционный разъединитель, 2 - привод подстанционного разъединителя, 3 - шлейф ВЛ - 10 кВ, 4 - вентилярный разрядник, 5 - проходной высоковольтный изолятор, 6 - низковольтный изолятор, 7 - шлейф ВЛ - 0,4 кВ, 8 - РУ - 10 кВ, 9 РУ - 0,4 кВ и ЩУ, 10 - трансформатор ТСМА, 11 - опорная стойка КТП, 12 - спуск заземления

Небольшие трансформаторы сушат горячим воздухом от калорифера. В закрытых помещениях монтаж трансформаторов производится в отдельных изолированных ячейках, что обеспечивает безопасный осмотр и ремонт трансформаторов, а также предупреждает возможность повреждений в соседних ячейках при взрыве и пожаре.

Масляные трансформаторы обычно устанавливают в камерах, расположенных на первом этаже, или в помещениях с огнестойкими полами. Монтаж и сборка силовых трансформаторов для закрытых и открытых установок состоит из нескольких основных операций и начинается с установки радиаторов, маслonaполняемых вводов, переключающих устройств, расширителя, газового реле, реле уровня масла, воздухоосушителя, термометров. Радиаторы до установки их на трансформатор испытывают повышенным давлением масла или сжатым воздухом на герметичность сварных швов. Замеченные дефекты устраняют газосваркой.

Монтаж высоковольтных масляных ВМП или вакуумных ВВП выключателей начинается с внешнего осмотра и проверки комплектности. Затем устанавливают раму выключателя и на нее монтируют полюса, проверяют свободное проворачивание вала выключателя при отсоединенных отключающих пружинах.

По окончании монтажа выключателя типа ВМП его полости заливают трансформаторным маслом.

Выключатели многообъемные типа ВМБ-10 монтируют обычно на опорных металлоконструкциях. Такие выключатели поступают на монтаж в собранном и отрегулированном виде. Крепления выключателей к опорной конструкции производят после выверки по уровню и отвесу и центровки по осям распределительного устройства.

Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) не требуют постоянного обслуживания, их нормальная ра-

бота обеспечивается при температуре окружающего воздуха от  $-20^{\circ}$  до  $+400\text{C}$ . КТП устанавливаются в помещениях или же снаружи с сетчатым ограждением.

Подстанции выпускаются в одно- и двухтрансформаторном исполнении и состоят из отдельных блоков, поставляемых на место монтажа в подготовленном виде. Блоки комплектуются всеми деталями для механических и электрических соединений. КТП состоит из трех основных элементов: высоковольтного блока, силового трансформатора и распределительного шкафа.

Блоки КТП устанавливают на подготовленные фундаменты и жестко закрепляют болтами. После установки всех элементов КТП производят сборку и соединение токоведущих частей между собой. Соединив все элементы, устанавливают автоматы и шкафы. Устранение неисправностей, регулировка и настройка КТП производятся в соответствии с инструкциями завода-изготовителя.

Комплектная трансформаторная подстанция (КТП) предназначена для понижения напряжения, распределения и учета электрической энергии.

КТП 10/0,4 кВ состоит из:

1. подстанционный разъединитель;
2. разрядников грозозащиты типа РВО, РВП или РТП;
3. РУ - 10 кВ с высоковольтными предохранителями типа ПК;
4. трансформаторного отсека ТР;
5. РУ - 0,4 кВ с коммутационными аппаратами и предохранителями;
6. ЩУ - щита учета с трансформаторами тока ТТ.

На монтаж КТП распространяются следующие требования ПУЭ:

1. при использовании ВЛ в качестве питающих и отходящих линий трансформаторные подстанции должны быть обеспечены защитой от атмосферных перенапряжений;

2. трансформаторные подстанции и трансформаторы открытой установки должны окрашиваться в светлые тона;

3. трансформаторная подстанция должна иметь подсыпку гравия толщиной 15 см и противопожарную борозду по периметру охранной зоны глубиной 0,5 м и шириной 0,5 м;

4. при начале монтажа КТП плодородный слой должен быть удален и вывезен на сельскохозяйственные поля;

5. сопротивление растеканию тока заземляющего контура должно быть не более 4 Ом;

6. подстанции устанавливают на расстоянии не менее 3 м от невозгораемых сооружений и 5 м от возгораемых.

На рисунке 2 показан высоковольтный отсек КТП. Такой отсек имеет оперативное наименование РУ-6 или 10 кВ

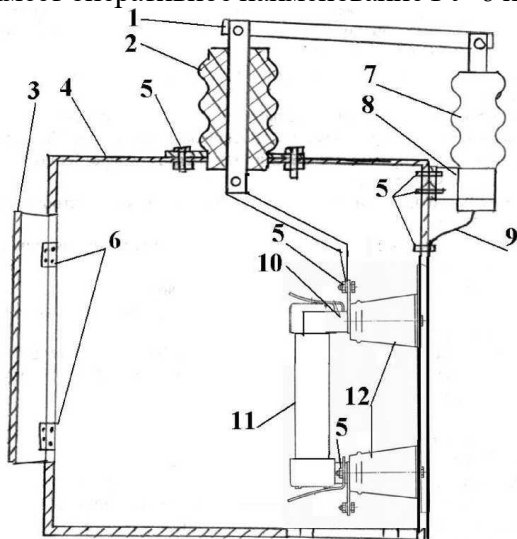


Рисунок 2 - Высоковольтный отсек КТП:

- 1 - шинопровод, 2 - проходной изолятор, 3 - дверца РУ,
- 4 - корпус РУ, 5 - болтовое соединение, 6 - петли дверцы,
- 7 - вентильный разрядник РВО - 10, 8 - хомут разрядника,
- 9 - заземляющий тросик, 10 - держатель предохранителя,
- 11 - предохранитель ПК, 12 - опорный изолятор

При монтаже высоковольтного отсека КТП следует учитывать то, что расстояние между краями фазных токоведущих частей должно быть не менее 200 мм, а между краями фазных токоведущих частей и корпусом отсека 120 мм. Контактные соединения должны быть надежны.

РУ - 10 кВ шинопроводом соединяется с трансформатором, вид трансформатора типа ТСМА показан на рисунке 3.

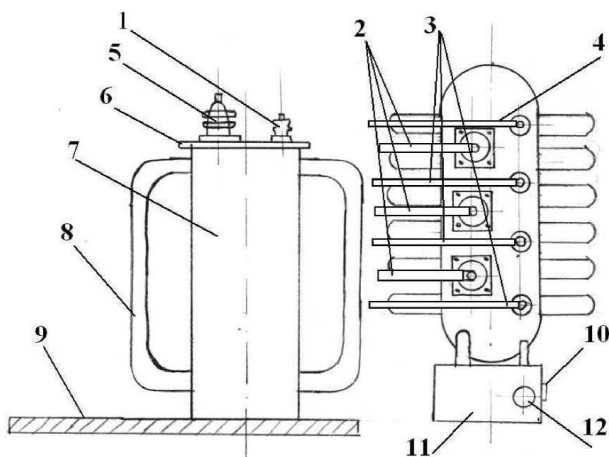


Рисунок 3 - Вид трансформатора ТСМА:

- 1 - низковольтный проходной изолятор ФПИ - 1;
- 2 - высоковольтные шины от РУ-10 кВ; 3 - низковольтные шины к РУ-0,4 кВ; 4 - шина N или нулевая;
- 5 - высоковольтный проходной изолятор ФПИ - 10;
- 6 - крышка ярма трансформатора;
- 7 - корпус трансформатора; 8 - радиатор охлаждения;
- 9 - несущая конструкция; 10 - указатель уровня масла;
- 11 - расширительный бачок; 12 - крышка горловины расширительного бачка

От низковольтных шпилек трансформатора шинопроводом или кабелем монтируется линия на РУ-0,4 кВ. В

РУ-0,4 кВ обычно устанавливается главный низковольтный рубильник, а за ним ряд рубильников с предохранителями или автоматические выключатели по числу отходящих линий. В КТП в РУ-0,4 кВ монтируется щит учета. Вид РУ-0,4 кВ с ЩУ, главным и фидерными рубильниками и сборкой групповых предохранителей показан на рисунке 4.

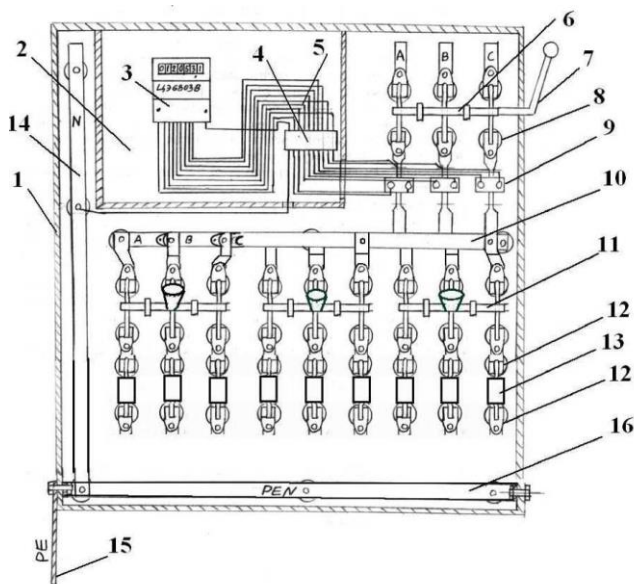


Рисунок 4 - Низковольтный отсек КТП:

- 1 - корпус РУ-0,4 кВ; 2 - щит учета ЩУ; 3 - электросчетчик;
- 4 - испытательный блок; 5 - десятипроводная учетная проводка; 6 - главный рубильник; 7 - привод рубильника;
- 8 - опорный изолятор; 9 – трансформатор тока;
- 10 - фазный шинопровод; 11 - фидерные рубильники;
- 12 - держатель предохранителя; 13 - плавкий предохранитель;
- 14 - шина N; 15 - шина PE; 16 - совмещенная шина PEN

При монтаже низковольтного отсека следует соблюдать нормированное расстояние между краями токоведущих частей.

дущих частей, которое равно согласно ПУЭ 25 мм. Следует обеспечить плавность включения и отключения рубильников и надежность контактных соединений.

#### *Порядок выполнения работы*

Используя вышеизложенный материал, изучить на макете КТП - 100 - 10/0,4 кВ схему соединения электроустановочных изделий и их назначение. В том числе замерить габаритные и присоединительные размеры основных узлов КТП. Начертить эскизы РУ-10 кВ, РУ-0,4 кВ и трансформатора.

#### **Содержание отчёта**

1. Тема, порядок выполнения работы и цель занятия.
2. В отчёт занести рисунок 1, устройство и назначение основных узлов КТП.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Назначение комплектной трансформаторной подстанции.
2. Требования к монтажу трансформаторной подстанции.
3. Назначение и устройство РУ-10 кВ.
4. Назначение и устройство трансформатора типа ТСМА.
5. Назначение и устройство РУ-0,4 кВ.



## **Лабораторная работа № 6**

### **Изучение устройства защитных искровых промежутков, разрядников и ограничителей перенапряжений**

#### **Цель работы:**

Изучить конструкции, принцип действия и назначение искровых промежутков, разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжений

#### **Методические указания**

1. Изучить теоретический материал по теме «Устройство защиты от перенапряжений».
2. Ознакомится с особенностями монтажа ВРУ-0,4 кВ.

#### **Теоретические сведения**

Защитные искровые промежутки, трубчатые и вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН) предназначены для защиты электроустановок от перенапряжений. Принцип действия их состоит в том, что они предотвращают появление на электроустановке импульсов перенапряжений, опасных для ее изоляции, не препятствуют работе электроустановки при рабочем напряжении.

Простейшим защитным устройством является искровой промежуток, включенный параллельно изоляционной конструкции. Для предупреждения пробоя изоляции вольт-секундная характеристика защитного искрового промежутка должна лежать ниже вольт-секундной характеристики защищаемой изоляции.

Конструктивно защитные промежутки выполняются в виде строжневых электродов (рогов). Один из электродов промежутка присоединяют к фазному проводу, а другой заземляют. При набегании импульса напряжения происходит пробой защитного промежутка. Вслед за импульсным

током через защитный промежуток по ионизированному пути течет ток, обусловленный напряжением промышленной частоты, – сопровождающий ток. При работе электроустановки в сети с заземленной нейтралью или, если пробой промежутка произошел в двух или трех фазах, дуга сопровождающего тока может не погаснуть и пробой переходит в устойчивое короткое замыкание. Поэтому для повышения надежности электроснабжения защитные искровые промежутки применяют в сочетании с автоматическим повторным включением (АПВ) линий.

В установках до 35 кВ защитные промежутки имеют небольшую длину для избежания случайного их замыкания например, птицами в заземляющих спусках защитных промежутков создаются дополнительные искровые промежутки.

На рисунке 1 а показана установка рогообразных искровых промежутков на опорах воздушных линий напряжением 10 кВ. Основной промежуток 1 имеет расстояние 30-60 мм, а дополнительный промежуток 2, выполнен на спуске 10-15 мм. Искровой промежуток, показанный на рисунке 1,б, устанавливают на траверсе железобетонных и одностоечных деревянных опор воздушных линий, а также на подстанциях. Он монтируется на шейках штыревых опорных изоляторов.

Защитный промежуток не обеспечивает надежную работу грозозащиты, так как он не гасит электрической дуги сопровождающего тока. Защитные аппараты, обеспечивающие не только защиту изоляции от перенапряжений, но и гашение дуги сопровождающего тока в течение времени меньшего, чем время действия релейной защиты, получили название защитных разрядников. Имеются два различных способа гашения дуги: в трубчатых разрядниках гашение происходит в результате интенсивного продольного дутья, в вентильных разрядниках – благодаря снижению значения

сопровождающего тока с помощью сопротивления, включенного последовательно с искровым промежутком.

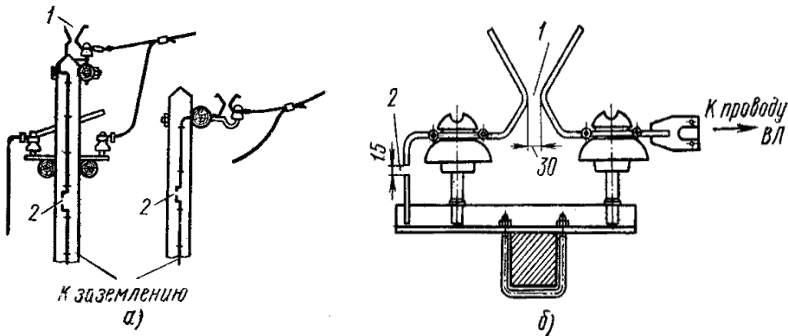


Рисунок 1 - Установка роговых искровых промежутков:  
 а) на штыках и крюках опор воздушных линий;  
 б) на траверсах железобетонных и деревянных опор  
 (1 – основной искровой промежуток; 2 – дополнительный)

Основу трубчатого разрядника составляет трубка из газогенерирующего материала 1 (рисунок 2). Один конец трубки закрывается металлической крышкой, на которой укреплен внутренний электрод 2. На открытом конце трубки расположен другой электрод в виде кольца 3. Промежуток ИП1 между стержневым и кольцевым электродами называется внутренним или дугогасящим промежутком. Трубка отделяется от провода фазы внешним искровым промежутком ИП2, иначе газогенерирующий материал трубки постоянно разлагался бы под действием токов утечки.

При пробое наружного и внутреннего промежутков трубчатого разрядника фазный провод соединяется через разрядник с заземлением, и таким образом волна перенапряжения отводится в землю. Электрическая дуга сопровождающего тока разлагает стенки трубки, обеспечивая интенсивное газообразование, создающее в трубке высокое

давление. Под действием этого давления горячие газы устремляются к выхлопному отверстию, создают продольное дутье, в результате чего дуга гасится при первом же прохождении тока через нулевое значение. Срабатывание разрядника сопровождается выхлопом раскаленных газов и звуком, напоминающим выстрел.

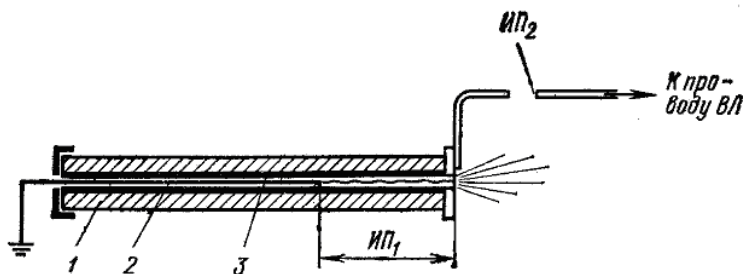


Рисунок 2 - Устройство трубчатого разрядника

В качестве газогенерирующего материала в трубчатых разрядниках используют фибробакелит или винипласт.

В зависимости от этого выпускают разрядники серии РТФ или РТВ. В маркировке трубчатых разрядников указывают номинальные напряжения и пределы отключаемых токов. Например, марка РТВ 10/0,5-4 означает, разрядник трубчатый винипластовый на напряжение 10 кВ с пределами отключаемых токов 0,5-4 кА.

Так как работа трубчатых разрядников сопровождается выхлопом сильно ионизированных газов, расположение их на опоре должно быть таким, чтобы выхлопные газы не вызывали междуфазных перекрытий или перекрытий на землю. Для этого в зону выхлопа не должны попадать токоведущие части других фаз.

Наличие зоны выхлопа не позволяет использовать трубчатые разрядники для защиты оборудования на подстанциях. Основное их применение – это защита линейных

подходов к подстанциям, электрооборудования маломощных подстанций 6-10 кВ и участков пересечения линий разного номинального напряжения.

При изучении конструкции фибровых разрядников следует обратить внимание на выполнение трубки разрядника. Для создания необходимой механической прочности дугогасительной трубки сверху ее обматывают слоем бакелизированной бумаги и затем подвергают термической обработке.

Разрядники сверху покрывают слоем изолирующего лака, чтобы увеличить электрическую прочность по поверхности трубки. Трубки виниловых разрядников сверху не обрабатывают.

Вентильные разрядники до недавнего времени являлись основным средством защиты от перенапряжений станций и подстанций. Основными элементами вентильных разрядников являются многократные искровые промежутки и номинальные рабочие сопротивления, выполненные в виде дисков или столбиков из вилита. Основу вилита составляют зерна карборунда SiC. На поверхности карборунда имеется запорный слой толщиной порядка 100 мкм из окиси кремния SiO<sub>2</sub>, сопротивление которого нелинейно зависит от напряженности электрического поля. При малых напряженностях поля (при небольших напряжениях на резисторе) удельное сопротивление слоя составляет 10<sup>4</sup>-10<sup>6</sup> Ом·м, и практически все напряжение ложится на него, так как удельное сопротивление самого карборунда значительно меньше – около 10-2 Ом·м. При повышении напряженности поля сопротивление запорного слоя резко падает, и значение сопротивления нелинейного резистора начинает определяться собственно карборундом. Поэтому вилит обладает свойством резко менять свое сопротивление в зависимости от напряжения, обеспечивая пропускание очень больших токов при высоких напряже-

ниях и очень малых при пониженном, это свойство материала называют «вентильным». Отсюда и название аппарата: вентильный разрядник.

Волна перенапряжения в вентильных разрядниках гасится совместным действием искровых промежутков и вилитовых дисков: искровые промежутки пробиваются, сопротивление дисков уменьшается, и ток разряда отводится в землю.

Наибольшее напряжение промышленной частоты на разряднике, при котором надежно обрывается сопровождающий ток, называется напряжением гашения.

Комплект искровых промежутков и вилитовых дисков помещается в герметизированный фарфоровый чехол. Герметизация необходима для предохранения вилита от действия влаги и для обеспечения стабильности разрядных характеристик искровых промежутков.

Наша промышленность выпускает вентильные разрядники типов: РВС – стационарные, РВМ – для защиты вращающихся машин, РВМГ – с магнитным гашением дуги, РВО – облегченной конструкции, РС – для защиты электроустановок сельскохозяйственного назначения.

Для сельских станций и подстанций применяют разрядники типов РВО на токи до 10 А и РС на токи до 30 А, РН – низкого напряжения для защиты от атмосферных перенапряжений изоляции электрооборудования напряжением 0,4 кВ.

Основной недостаток вентильных разрядников связан с тем, что резисторы на основе карборунда обладают сравнительно невысокой нелинейностью.

Выпускаемые в настоящее время нашей промышленностью и за рубежом резисторы на основе окиси цинка обладают значительно большей нелинейностью, чем резисторы на основе карборунда. Это позволило создать новый тип защитного аппарата – нелинейный ограничитель пере-

напряжений (ОПН). Преимуществами ОПН являются возможность глубокого ограничения перенапряжений, в том числе междуфазных, малые габариты, позволяющие использовать их в качестве опорных изоляционных колонн.

Ограничители комплектуются в виде параллельно соединенных колонок из дисков. Торцы дисков металлизированы и обеспечивают контакт между дисками. В соответствии с пропускной способностью число параллельных колонок резисторов в ОПН варьируется в зависимости от напряжения. Под рабочим напряжением через ОПН протекает ток величиной доли миллиампер, ток носит емкостный характер. Повышение напряжения, при появлении импульса перенапряжения, вызывает снижения активного сопротивления резисторов ОПН. Ток через ОПН возрастает до сотен ампер при появлении коммутационных перенапряжений и до нескольких килоампер при воздействии грозовых перенапряжений. После прохождения волны перенапряжения к ОПН вновь прикладывается рабочее напряжение, и он переходит в непроводящее состояние. Полупроводниковый характер проводимости ОПН обеспечивает практически мгновенный ( $<1\text{нс}$ ) переход из «закрытого» состояния в «открытое», что выгодно отличает их от вентильных разрядников с искровым промежутком, обладающих временем действия до нескольких микросекунд. Коэффициент нелинейности резисторов ОПН в области ограничения коммутационных перенапряжений имеет значение 0,03-0,05. При ограничении грозовых перенапряжений, коэффициент нелинейности возрастает до 0,07-0,1. Такая высокая нелинейность позволяет исключить искровой промежуток и подключать резистор ОПН непосредственно к сети. Однако при постоянном подключении ОПН под напряжение возникает необходимость в обеспечении тепловой устойчивости его резистора при рабочих напряжениях, при сравнительно длительных повышениях

напряжения частотой 50 Гц и при установившихся перенапряжениях.

Применительно к ОПН отсутствует понятие напряжения гашения. Однако длительное воздействие резонансных перенапряжений, связанных с прохождением через ОПН больших токов, может нарушить тепловую устойчивость аппарата и привести к аварии. В связи с этим для ОПН установлены допустимые длительности приложения повышенных напряжений, которые должны быть скоординированы с действием релейных защит.

Применение ОПН позволяет глубоко ограничивать также и междуфазные перенапряжения. В настоящее время нашей промышленностью выпускаются ОПН практически на все классы напряжения, начиная с напряжения 0,5 кВ, для установки со стороны обмотки низкого напряжения на трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ.

У ОПН нормируются следующие параметры:

1. Длительно допустимое наибольшее рабочее напряжение  $U_{длит}$ , которое неограниченно долго может быть приложено между выводами ОПН. Ток, протекающий через ОПН при воздействии этого напряжения, не более 1 мА.

2. Наибольшее допустимое напряжение  $U_{доп.наиб}$ , промышленной частоты, которое ОПН должен выдержать в течение определенного времени. По стандарту МЭК ОПН должен выдерживать это напряжение в течение 10 с после предварительного нагрева до 60 °С и воздействия энергетическим импульсом, соответствующим удельной энергоемкости данного типа ограничителя.

3. Временно допустимое повышение напряжения  $U_t$  промышленной частоты. Значение этого напряжения зависит от времени воздействия и, как правило, приводится в паспортных данных ОПН.

4. Энергоемкость ОПН – его способность поглощать



энергию нормированных коммутационных перенапряжений, которая характеризуется удельной энергоемкостью.

Для нормальной работы ОПН необходимо, чтобы описанные выше параметры соответствовали параметрам сети, в которой предполагается его установка.

#### *Указания к выполнению работы*

Записать технические данные выключателя, помещенные на табличке.

Разобрать устройство и конструкцию искровых промежутков, выполненных в виде рогов. Ознакомиться с правилами их установки на опорах воздушных линий.

Разобрать конструкцию трубчатых разрядников на 10 кВ типов РТФ и РТВ. Ознакомиться с правилами подключения разрядников.

Рассмотреть конструкцию вентильного разрядника. Ознакомиться с принципом его работы и способом установки.

Рассмотреть конструкцию ОПН. Ознакомиться с принципом его работы и способом установки.

#### **Содержание отчёта**

1. Тема, порядок выполнения работы и цель занятия.
2. Схему включения искрового промежутка.
3. Эскиз трубчатого разрядника.
4. Эскиз единичного искрового промежутка, вентильного разрядника.
5. Паспортные данные всех разрядников и ОПН, установленных в лаборатории.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Каково назначение разрядников и защитных искровых промежутков?
2. Чем определяются защитные свойства защитных искровых промежутков и разрядников?

3. Каков принцип гашения дуги в трубчатых разрядниках?
4. Для чего необходим внешний искровой промежуток при установке трубчатых разрядников?
5. Принцип работы и устройства вентильных разрядников.
6. Какие марки разрядников применяются для защиты сельских электроустановок?
7. Каково назначение нелинейного сопротивления в вентильном разряднике?
8. Разрешается ли располагать в зоне выхлопа трубчатых разрядников какие-либо элементы электроустановок?
9. Каково основное преимущество ОПН перед вентильными разрядниками?
10. Почему при реконструкции и проектировании новых подстанций вентильные р

## **Лабораторная работа № 7** **Защита электроустановок** **от грозовых перенапряжений**

### **Цель работы:**

Изучить устройства, обеспечивающие работу электроустановок при грозовых перенапряжениях, принцип работы и места установки защиты электроустановок от атмосферных перенапряжений.

### **Методические указания:**

1. По методическим указаниям изучить принцип работы грозозащитных устройств.
2. Найти элементы грозозащитных устройств на макетных образцах.
3. Изучить конструкцию и принцип действия трубчатого разрядника, вентильного разрядника, ограничителя перенапряжений, длинноискрового разрядника.
4. Освоить средства грозозащиты сетей от прямых ударов молнии.
5. Изучить средства защиты сетей от наведенных перенапряжений.
6. Изучить молниезащиту сетей 0,38 кВ.

### **Теоретические сведения**

#### *Защита электроустановок от прямых ударов молнии*

От прямого попадания молнии все сооружения, в том числе и электроустановки защищают стержневыми молниеотводами; тросовыми молниеотводами; защитными сетками.

От прямых ударов молнии защищают линии электропередачи с помощью тросовых молниеотводов - грозозащитных тросов. Грозозащитные тросы на линиях 0,38 и 10 кВ, как правило не устанавливаются. Их устанавливают

на линиях 35 кВ на подходах к подстанциям. Тросовые молниеотводы на 35 кВ имеют соединение с заземляющим устройством на каждой опоре.

Защита от прямых ударов молнии с помощью тросовых молниеотводов, подвешенных на линиях напряжением 110 кВ и выше, осуществляется на металлических и железобетонных опорах. На линии с деревянными опорами тросы применяются только на подходах к подстанциям. Дело в том, что дерево обладает высокой импульсной электрической прочностью 300...500 кВ/м.

Применение тросов на линиях 35 кВ малоэффективно вследствие невысокой импульсной прочности изоляции и большой вероятности перекрытия с троса на провод при ударе молнии в трос. На линиях 6...10 кВ применение тросов бесполезно, на них, как и на линиях 380 В, поверхность изоляторов является своеобразным искровым промежутком. В случае перекрытия изолятора в результате грозового перенапряжения дуга сопровождающего тока погасает в результате растяжения

### *Защита электроустановок от набегающих волн перенапряжений*

Большую опасность для электрооборудования, к которому подключены ВЛ, представляют набегающие волны перенапряжений. От набегающих волн перенапряжений электроустановки защищают четырьмя типами защитных устройств: 1) роговыми разрядниками, 2) трубчатыми разрядниками, 3) вентильными разрядниками, 4) ограничителями перенапряжений, 5) длинноискровыми разрядниками. Наиболее совершенными являются ограничители перенапряжений, но они и самые дорогие.

Разрядники состоят из воздушных искровых промежутков, соединенных с землей непосредственно или через добавочное сопротивление. Задача разрядника заклю-

чается также в том, чтобы погасить дугу сопровождающего тока. Волна перенапряжения обычно движется по трем фазам и уходит в землю через искровые промежутки. Воздух промежутков ионизируется, становится проводящим, и уже через них протекает ток к.з. от рабочего напряжения, образующий электрическую дугу. Если дуга не будет погашена своевременно разрядником, то тогда релейная защита отключает линию, что приводит к перерыву электропитания потребителей.

**Роговой разрядник** представляет собой два стержня из круглой стали диаметром 10-...12 мм, изогнутых в виде рогов (рисунок 1.). Один электрод присоединен к проводу линии, а другой- к заземляющему спуску.

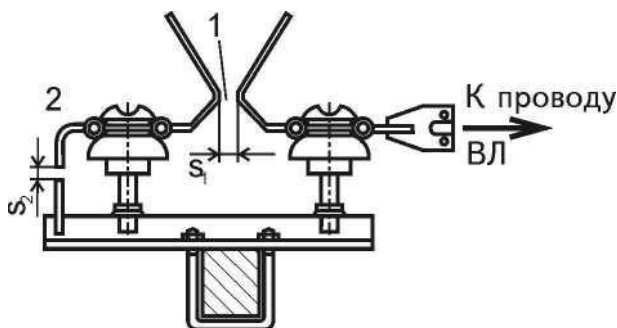


Рисунок 1 - Роговой разрядник:

- 1- Основной искровой промежуток  $s_1 = 60$  мм на 10 кВ;
- 2- Второй искровой промежуток,  $s_2 = 15$  мм на 10 кВ

Наряду с основным искровым промежутком предусматривается второй искровой промежуток, значительно меньше основного. Он исключает возможность замыкания на землю линии при перекрытии основного промежутка, например, птицами. Образующийся после прохождения импульса перенапряжения сопровождающий ток вызывает между рогами промежутка электрическую дугу. Эта дуга

под действием электродинамических сил и тепловых потоков воздуха движется вверх, растягивается и гаснет, если сила тока к.з. не превышает 300 А. Как правило в сетях 10 кВ токи к.з. превышают 300 А, поэтому роговые разрядники находят редкое применение.

Более совершенные грозозащитные аппараты - **трубчатые разрядники (ТР)**. ТР представляет собой трубку из материала, бурно выделяющего газы при воздействии на него электрической дуги (рисунок 2 а). В трубке помещены электроды: один в виде металлического стержня, второй - в виде шайбы. Расстояние между ними - внутренний искровой промежуток устанавливается в зависимости от напряжения сети. Нижний конец трубки открыт.

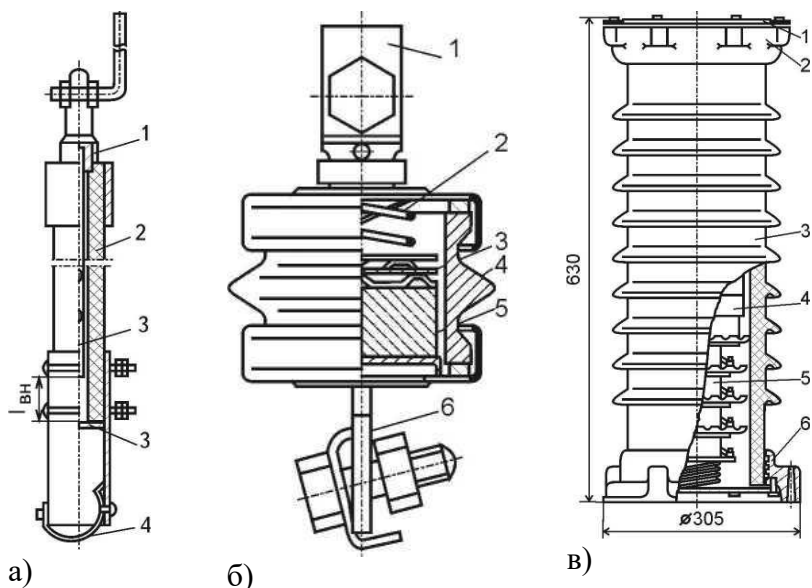


Рисунок 2 - Разрядники:

- а) трубчатый (1- металлический колпачок;  
 2 - трубка из газогенерирующего диэлектрика; 3 - электроды;  
 4 - металлический колпачок с выхлопным отверстием;  
 H - внутренний искровой промежуток); б) вентильный

для сетей напряжением 0,38 кВ (1 и 6 - зажимы; 2 - пружина; 3- искровой промежуток; 4- фарфоровый корпус; 5 - вилитовый диск); в) облегченный вентильный на 10 кВ (1 - верхняя кромка; 2 - верхний флянец; 3 - фарфоровый корпус; 4 - блок рабочих сопротивлений – вилитовых дисков; 5 - блок искровых промежутков; 6- нижний флянец)

Волна перенапряжения перекрывает наружный и внутренний промежуток и уходит в землю. Сопровождающий ток к.з. создает внутри трубки электрическую дугу, которая воздействует высокой температурой на газогенерирующий материал трубки. В трубке создается высокое давление газов до 7 Па, которое выдувает ионизированные газы и гасит дугу с хлопком, напоминающим выстрел. Дуга гасится в среднем за два периода промышленной частоты.

В маркировке трубчатых разрядников указывается рабочее напряжение сети, верхний и нижний пределы токов к.з., при которых они могут работать, например, РТ10 7- 0,5.

Верхний конец разрядника через внешний искровой промежуток присоединен к фазному проводу линии, а нижний электрод - к заземлению. Внешний искровой промежуток при напряжении 10 кВ составляет 15 мм, он необходим для того, чтобы трубка разрядника не находилась постоянно под напряжением линии и не разрушалась токами утечки. После многократных срабатываний при увеличении диаметра трубки на 20...25% разрядник следует заменять на новый.

Широко используют в электрических сетях различных напряжений **вентильные разрядники**. В герметическом фарфоровом корпусе помещается один (рисунок 2 б) или несколько искровых промежутков и дисковых рабочих сопротивлений.

Для сетей 0,38 кВ вентильный разрядник содержит

один искровой промежуток и один диск, помещенных в фарфоровый корпус и сжатых для лучшего контакта спиральной пружиной. Один вывод его присоединяется в фазному проводу сети, а другой - к заземлению.

С повышением напряжения сети количество искровых промежутков и длина рабочих сопротивлений - вилтовых дисков -увеличивается (рисунок 2 в).

Искровой промежуток образуется между двумя латунными электродами диаметром 5 и 7,5 см, разделенными кольцом из слюды - миканита толщиной 0,5... 1 мм. Внутренняя часть кольца образует искровой промежуток. Наличие миканита - материала с высокой диэлектрической проницаемостью - создает в зоне его соприкосновения с латуной высокую концентрацию силовых линий электрического поля, вследствие чего импульсное перенапряжение вызывает свечение, активизирующее межэлектродное пространство. Этим обеспечивается его пробой при пологой вольт - секундной характеристике.

Гашение искровым промежуток сопровождающего тока промышленной частоты 50 Гц происходит при первом прохождении током нулевого значения, за время, не превышающее 0,01 с. При этом величина тока через промежуток ограничивается рабочим сопротивлением до 100 А.

Рабочее сопротивление разрядника выполняют из вилита. Этот материал состоит из зерен карборунда, скрепленных жидким стеклом в диски с таким же диаметром, как и искровые промежутки. Вилитовые диски представляют собой активные сопротивления с большой степенью нелинейности. С повышением приложенного напряжения их сопротивление резко снижается. Следовательно при действии импульса перенапряжения сопротивление диска невелико и падение напряжения на нем незначительно. Для рабочего напряжения сети после прохождения импульса сопротивление диска возрастает, ограничивая ток



до 100 А. Этот ток гасится искровым промежутком. Гашение дуги происходит без звукового и силового эффектов, защищаемый объект остается неповрежденным.

Широкое распространение получают **ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН)**. ОПН подключается через искровой промежуток и особенно эффективно ограничивают индуктированные перенапряжения. При массовой установке главная проблема ОПН- их высокая цена, для сети 10 кВ примерно 100 долларов США. Однако их применяют в сетях 6...35 кВ вместо вентильных разрядников, но они не обеспечивают эффективную защиту вращающихся машин.

ОПН устанавливают параллельно контактам вакуумного выключателя для ограничения перенапряжений, возникающих при отключении электродвигателей и трансформаторов. Их применяют и в секционирующих пунктах с разъединителями.

В последнее время разработаны и начинают применяться **длинноискровые разрядники (ДИР)** для защиты сетей от грозных перенапряжений. ДИР представляет собой петлю из металлического прутка диаметром 7.9 мм, покрытого полиэтиленовой изоляцией толщиной 4 мм. На изгибе этой петли надевается металлическая трубка, которая удалена от токоведущего провода на величину искрового промежутка. ДИРы крепятся на опоре так, что каждый из них шунтирует свой изолятор, и соединяются с заземляющим устройством опоры (рисунок 3).

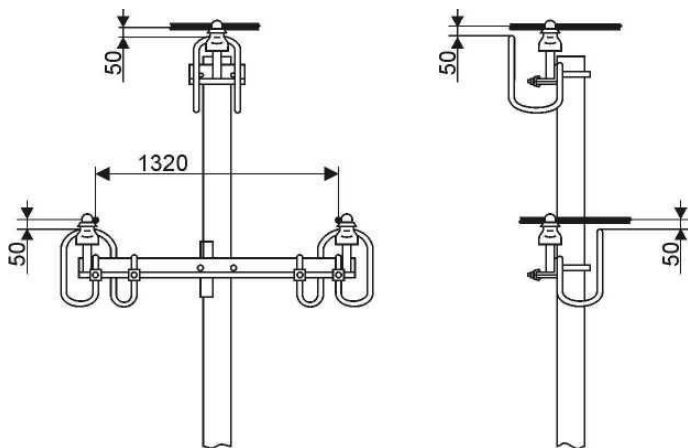


Рисунок 3 - Размещение ДИР на опоре

Наряду с рассмотренными техническими решениями для увеличения надежности работы ВЛ необходимо использовать следующие мероприятия.

1. Выполнение сопротивления заземления опор в соответствии с нормами. Снижение сопротивления заземления опор обеспечивает уменьшение вероятности обратного перекрытия с опоры на провод при прямых ударах молнии в опору.

2. Автоматическое повторное включение (АПВ), предотвращающее перерыв передачи электроэнергии при грозовом перекрытии линейной изоляции. Частое действие АПВ при большом числе грозовых отключений усложняет эксплуатацию и сокращает межремонтный период выключателей, поэтому АПВ целесообразно применять в комплексе с другими средствами молниезащиты.

3. Увеличение числа изоляторов в гирлянд часто повреждаемых опор, в частности очень высоких переходных опор, что повышает импульсную прочность изоляции.

4. Применение вентильных разрядников и ДИР для защиты ослабленной изоляции или отдельных опор.

5. Соблюдение нормированных расстояний по воздуху при пересечениях воздушных линий между собой и с линиями связи.

6. В сетях 0,38... 10 кВ с изолированной нейтралью крюки и штыри фазных проводов, устанавливаемых на железобетонных опорах, а также арматура этих опор должны быть заземлены. Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 50 Ом.

7. В сетях 380 В с заземленной нейтралью крюки и штыри фазных проводов, устанавливаемых на железобетонных опорах, а также арматура этих опор должны быть присоединены к нулевому проводу. В населенной местности с одно и двухэтажной застройкой заземляющие устройства от грозовых перенапряжений должны иметь сопротивление не более 30 Ом, а расстояние между ними не более 200 м с числом грозовых часов в году до 40; 100 м для районов с числом грозовых часов более 40.

Кроме этого заземляющие устройства должны быть выполнены:

1. На опорах с ответвлениями к вводам в помещения, в которых может быть сосредоточено большое количество людей (школы, ясли, больницы) или которые представляют большую хозяйственную ценность.

2. На конечных опорах линий, имеющих ответвления к вводам.

3. К этим заземляющим устройствам должны быть присоединены на деревянных опорах крюки и штыри, а на железобетонных опорах кроме того, арматура.

### *Защита трансформаторных пунктов от грозовых перенапряжений*

Самым дорогим и ответственным элементом трансформаторного пункта является силовой трансформатор. Обмотки трансформатора защищаются от набегающих волн перенапряжений со стороны воздушных линий 10 кВ, в том

числе с кабельными вставками, и со стороны линий 0,38 кВ.

Основными защитными средствами трансформатора являются вентильные разрядники. Вентильные разрядники устанавливаются на вводе для тупиковых подстанций и на шинах у трансформатора на проходных подстанциях. Трубчатые разрядники не обеспечивают защиты изоляции трансформатора от набегающих волн во всем диапазоне возможных перенапряжений, поэтому их на ТП не устанавливают.

### **Содержание отчета**

1. Представить эскиз верхней части деревянной опоры 0,38 кВ в сети с глухозаземленной нейтралью с защитой от перенапряжений.
2. Разрез вентильного разрядника в виде блоков.
3. Места установки разрядников в сети 10 и 0,38 кВ.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какими средствами защищают электроустановки от прямых ударов молнии?
2. Какими средствами защищают электроустановки от наведенных перенапряжений?
3. Как работает роговой разрядник. Для чего устанавливают второй искровой промежуток?
4. Как работает трубчатый разрядник. Для чего устанавливают внешний искровой промежуток?
5. Как работает вентильный разрядник?
6. Для чего искровой промежуток вентильного разрядника имеет такую сложную форму?
7. Каким свойством обладают вилитовые диски?
8. Где расположены и какую роль выполняют разрядники в трансформаторном пункте?
9. Для чего в РУ устанавливают разрядники?
10. Как работает длинноискровой разрядник?
11. В чем преимущества ДИР по сравнению с роговыми и трубчатыми разрядниками?

## Литература

1. Сибикин Ю.Д. Безопасность труда при монтаже, обслуживании и ремонте электрооборудования предприятий: справочник. М.:КНОРУС, 2016. 288 с.
2. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. для вузов / А.П. Коломиец, Н.П. Кондратьева, С.И. Юран, И.Р. Владыкин. М.: КолосС, 2007. 351 с.
3. Макарова Г.В., Ипатов А.Н. Лабораторный практикум по дисциплине «Монтаж электрооборудования и средств автоматизации». Великие Луки: Изд-во ФГОУ ВПО «Великолукская ГСХА», 2010.
4. Нестеренко В.М., Мысьянов А.М. Технология электромонтажных работ: учеб. для НПО. М.: Академия, 2007.
5. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Технология электромонтажных работ: учеб. пособие для НПО. М.: Высш. шк., 2007.
6. Акимова Н.А., Котеленец Н.Ф., Сентюрихин Н.И. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования: учеб. пособие. М.: Академия, 2011.
7. Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие для вузов. СПб.: Лань, 2012.
8. Илюхин В.В., Тамбовцев И.М., Бурлев М.Я. Монтаж, наладка, диагностика, ремонт и сервис оборудования предприятий молочной промышленности: учеб. пособие для вузов. М.: ГИОРД, 2006.
9. Технология электромонтажных работ: лабораторный практикум / А.Н. Баран [и др.]. Мн.: Дизайн ПРО, 2000. 208 с.

10. Ботян А.М. Монтаж электрооборудования в сельскохозяйственном производстве. Мн.: «Ураджай», 1980. 296 с.

11. Олин Д.М. Электроснабжение: лабораторный практикум для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение» очной и заочной форм обучения / сост. Д.М. Олин. Караваево: Костромская ГСХА, 2015. 76 с.

12. Олин Д.М., Кирилин А.А. Основы энергетики: лабораторный практикум для студентов направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной форм обучения. Караваево: Костромская ГСХА, 2015. 41 с.

Учебное издание

Филин Юрий Игоревич

**Монтаж воздушных  
линий электропередач  
и трансформаторных подстанций**

Лабораторный практикум

для студентов специальности  
35.02.08 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»

Редактор Лебедева Е.М.

---

Подписано к печати 19.02.2018 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 50,5. Тираж 25 экз. Изд. № 5515.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ