

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий

С. К. Алешина, А. А. Веремеев

# **ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний по лабораторным работам для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Оренбург  
2015

УДК 621.31(076.5)

ББК 31.2 я7

А49

Рецензент – доцент, кандидат технических наук В.И. Кувайцев

А49

**Алешина, С.К.**

Общая энергетика : методические указания / С.К. Алешина, А.А. Веремеев ; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2015. – 61 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Общая энергетика» для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

УДК 621.31(076.5)

ББК 31.2 я7

© Алешина С.К.,  
Веремеев А.А., 2015  
© ОГУ, 2015

## Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа №1 Изучение устройства проводов и кабелей, их эксплуатация.....	5
2 Лабораторная работа №2 Изучение влияния гололедных и ветровых нагрузок на механическую прочность воздушных линий.....	24
3 Лабораторная работа №3 Высоковольтные изоляторы.....	35
4 Лабораторная работа №4 Предохранители.....	50
Список использованных источников.....	61

## Введение

Энергетика – базовая отрасль России, обеспечивающая потребности экономики и населения страны в электрической и тепловой энергии и во многом определяющая устойчивое развитие всех отраслей экономики страны.

Энергетика создает предпосылки для применения новых технологий, обеспечивает наряду с другими факторами современный уровень жизни населения страны. Вместе с тем она оказывает заметное влияние на окружающую среду, являясь одним из основных потребителей первичных энергоресурсов – органического и ядерного топлива, гидроресурсов, осуществляя при производстве электрической и тепловой энергии значительные выбросы теплоты, продуктов сгорания топлива, шумовые воздействия, которые вредно влияют на человека и окружающую природу.

Ключевым элементом электроэнергетики является электростанция – преобразователь какой-либо первичной энергии в электрическую. Электростанции принято классифицировать по виду используемой первичной энергии и виду применяемых преобразователей.

В данных методических указаниях, будут рассмотрены вопросы для освоения материала по данному курсу и его лучшего усвоения.

# **1 Лабораторная работа №1 Изучение устройства проводов и кабелей, их эксплуатация**

## **1.1 Цель работы:**

1. Изучить устройство и типы проводов, шнуров и кабелей.
2. Изучить маркировку проводов и кабелей.
3. Изучить правила прокладки, монтажа, эксплуатацию и ремонта кабельных линий.

## **1.2 Общие сведения:**

Провода предназначены для передачи электрической энергии от источника к потребителю.

По конструкции провода делятся на три класса:

- установочные;
- обмоточные;
- монтажные.

Установочные провода изготавливаются изолированными, они служат для распределения электроэнергии в силовых и осветительных установках при прокладках их внутри помещений, а также для прокладки на открытом воздухе, при устройстве вводов в здания, при прокладке проводов по наружным стенам зданий на изоляторах для питания переносных электроприёмников. Изолированные провода изготавливаются защищенными от механических воздействий (трубчатыми оболочками, отдельными оцинкованными проводами) и незащищенными.

Обмоточные провода предназначены для изготовления катушек электрически машин, дросселей и других электротехнических устройств. Монтажные провода кабели применяются для фиксированного

межприборного монтажа электрически устройств, работающих при переменном напряжении до 380 В.

Шнуры - это провода с особо гибкими изолированными жилами, каждая сечением не более  $1,5 \text{ мм}^2$ . Ассортимент шнуров гораздо уже, чем ассортимент проводов, так как они применяются для подключения переносных источников и потребителей электроэнергии напряжением до 220 В их жилы для лучшей гибкости изготавливают из медных тонких проводов.

Кабели подразделяются на:

- силовые;
- контрольные;
- монтажные.

Силовые кабели предназначены для передачи и распределения электроэнергии в земле, под водой, на открытом воздухе и внутри помещений. Основные части силового кабеля представлены на рисунке 1.1:

- 1) токоведущая жила (медь, алюминий);
- 2) фазная (жильная) изоляция (бумажно-масляная, резиновая, полихлорвиниловая);
- 3) поясная изоляция;
- 4) наполнитель (кабельная бумага, джут) для придания кабелю круглой формы;
- 5) гермооболочка (свинец, алюминий, полихлорвинил) для изоляции кабеля от воздействия окружающей среды, от проникновения влаги и кислот;
- 6) подушка под броней (битумный состав, пропитанная бумага или пряжа) для предохранения гермооболочки от коррозии и от повреждения броней;
- 7) броня (две стальные оцинкованные ленты, стальной оцинкованный провод круглого или прямоугольного сечения) для защиты кабеля от механических повреждений;

8) наружный покров (пропитанная пряжа, битумный состав) для защиты брони от коррозии;

Сверху меловое покрытие для предотвращения слипания витков кабеля на барабане.

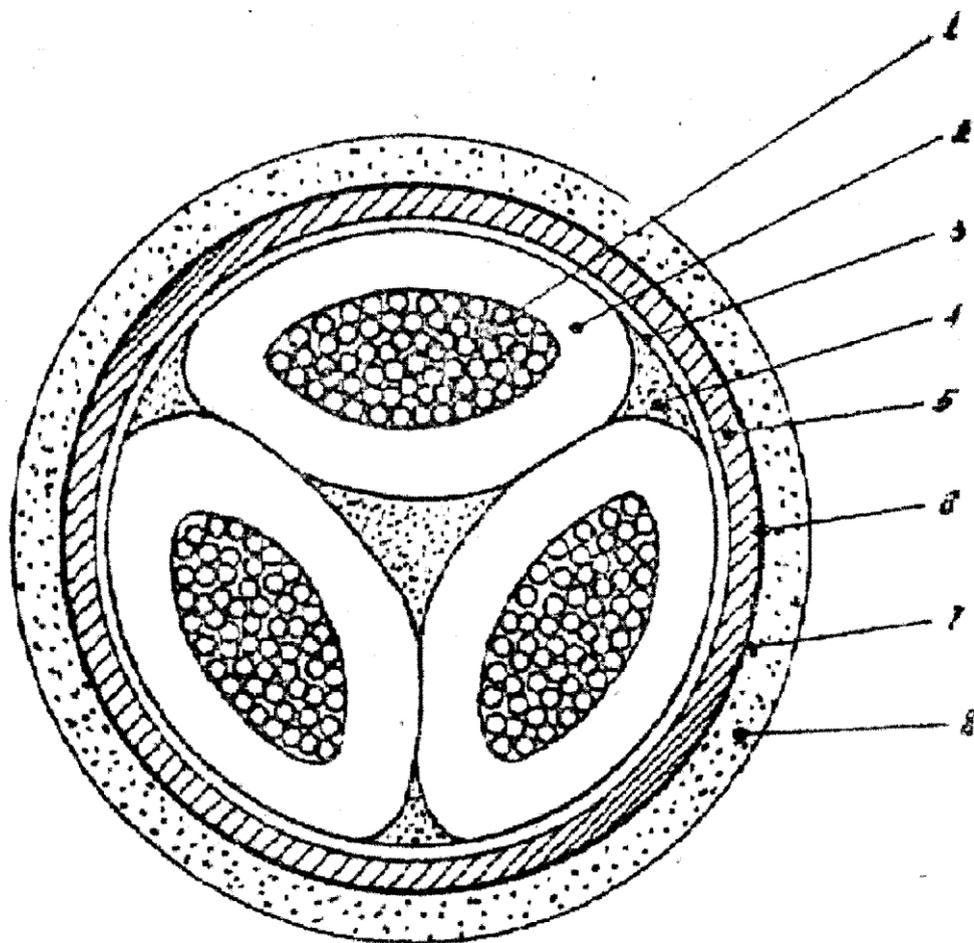


Рисунок 1.1 – Поперечное сечение силового кабеля с вязкой пропиткой, с поясной изоляцией, бронированного, с наружными покровами

Основные типы силовых кабелей приведены в таблице 1.1 материал жилы, тип изоляции, материал гермооболочки, тип брони и наружных покровов указывается в обозначении марки кабеля. Буквы маркировки располагаются, обязательно начиная от центра кабеля (жилы) к периферии. Значение букв расшифровки марки кабеля приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.1 – Типы кабелей

Тип кабеля	Группа кабелей	Способ прокладки	Напряжение, кВ	Краткая характеристика изоляции
1	2	3	4	5
Кабели с вязкой пропиткой и с обеднено пропитанной изоляцией	Освинцованные кабели с медными или алюминиевыми жилами. Кабели в алюминиевой оболочке с медными или алюминиевыми жилами	Под землёй, в воздухе, в воде и в блоках.	1-35	Изоляция из бумажных лент толщиной 0,12-0,17 мм, пропитанных маслокани-фольным составом

Продолжение таблицы 1.1

Тип кабеля	Группа кабелей	Способ	Напряжение, кВ	Краткая характеристика изоляции
1	2	3	4	5
	Кабели с обеднено-пропитанной изоляцией в свинцовой и алюминиевой оболочках	При вертикальных и крутых трассах	1-6	Та же изоляция, но подвергнутая до свинцевания дополнительному нагреву в вакууме до 120 – 130 °С. При этом удаляется более 70 % пропитывающей ленты и около 30 % из лент бумаги. Оставшийся в обеднено-пропитанной изоляции пропитывающий состав удерживается

Продолжение таблицы 1.1

Тип кабеля	Группа кабелей	Способ	Напряжение, кВ	Краткая характеристика изоляции
1	2	3	4	5
Кабели, пропитанные не стекающим составом	Освинцованные кабели с медными или алюминиевыми жилами	Под землёй и в воздухе при вертикальных и крутонаклонных трассах	6-35	Изоляция из бумажных лент толщиной 0,12-0,17 мм, пропитанных специальным составом, не стекающим при вертикальной прокладке кабеля

Продолжение таблицы 1.1

Тип кабеля	Группа кабелей	Способ	Напряжение, кВ	Краткая характеристика изоляции
1	2	3	4	5
Кабели с резиновой изоляцией	Одно-, двух-, трёх- и четырех-ые кабели с медными и алюминиевыми жилами в свинцовой оболочке или в оболочке из винила	В земле и в воздухе	1-10	Резиновая изоляция
Кабели с пластмассовой изоляцией в пластмассовой оболочке	Одно-, двух-, трёхжильные кабели с медными и алюминиевыми жилами	В земле и в воздухе	1-35	Изоляция из полиэтилена или винила, оболочка из винила

Продолжение таблицы 1.1

Тип кабеля	Группа кабелей	Способ	Напряжение, кВ	Краткая характеристика изоляции
1	2	3	4	5
Маслонаполненные кабели	Одножильные освинцованные маслонаполненные кабели среднего давления с центральным маслопроводящим каналом с медными токопроводящими жилами	Под землёй, под водой и в воздухе	110-220	Изоляция из бумажных лент и толщиной 0,08-0,17 мм, Пропитанная специальным масловязким маслом (-45°С)
Кабели в стальных трубах с маслом под давлением	Одножильные кабели во временной свинцовой оболочке, снимаемой с кабеля при затягивании его в стальной трубопровод	Под землёй, в воздухе и в воде, по трассам с большой разницей в уровне и малыми изгибами	110,220,330, 500	Бумажная изоляция та же, что и в маслонаполненных кабелях, но пропитанная маслом с температурой застывания - 35°С

Таблица 1.2 – Расшифровка марок кабелей

Буква или сочетание букв	Элемент конструкции кабеля
1	2
А	Алюминиевая жила
АА	Алюминиевая жила и алюминиевая оболочка
Б	Броня из стальных лент, поверх которых наложен наружный антикоррозийный покров
К	Броня из круглых оцинкованных стальных проволок, поверх которых наложен антикоррозийный состав
Бн	Броня из стальных лент, поверх которых наложен покров из стеклопряжи и негорючего состава (состав не распространяющий горения)
В (в конце обозначения)	Обедненная - пропитанная бумажная изоляция
Г	Отсутствие наружных покровов поверх брони или металлической оболочки
л (2л)	В подушке под броней имеется слой (два слоя) из пластмассовых лент
В(П)	В подушке под броней имеется выпрессованный шланг из поливинилхлорида (полиэтилена)
Шв (Шл)	Выпрессованный наружный шланг из Поливинилхлорида (полиэтилена)
н	Негорючий покров из стеклопряжи и негорючего состава
О	Отдельные металлические (экранирующая) оболочки поверх каждой фазы (например, отдельноосвинцованные жилы)

Продолжение таблицы 1.2

Буква или сочетание букв	Элемент конструкции кабеля
1	2
С	Свинцовая оболочка
Ц	Бумажная изоляция, пропитанная нестекающим составом, содержащим церезин (буква ставится в начале обозначения)
(ож)	Кабель с однопроволочными жилами
В	Изоляция (фазная или поясная) из поливинилхлоридного пластика
Н	Изоляция (фазная или поясная) резиновая маслостойкая, не распространяющая горение
П	Полиэтиленовая изоляция
В	Изоляция из поливинилхлоридного пластика
ВВ	Фазная и поясная изоляция из поливинилхлоридного пластика
Р	Резиновая изоляция
К	Контрольный кабель (в начале маркировки)
Э	Контрольный кабель с резиновой или пластмассовой изоляцией с общим экраном под
(Г)	Кабель в гофрированной алюминиевой
0	Гермооболочка с повышенной защитой от коррозии

Цифры после букв обозначают:

- номинальное напряжение, кВ;
- количество жил;
- сечение каждой жилы.

Например, СБ-6-3х95 - трехжильный кабель с медными жилами сечением 95 мм<sup>2</sup>, с бумажно-масляной изоляцией в свинцовой

гермооболочке, бронированный двумя стальными лентами, с защитным наружным слоем, рассчитанный на номинальное напряжение 6 кВ.

ААБ2ЛГ- 1-3x50+1x35 - четырехжильный силовой кабель с алюминиевыми жилами с бумажно-масляной изоляцией в алюминиевой гермооболочке, покрытой для защиты от коррозии двумя пластмассовыми лентами с броней из двух стальных лент без наружных покровов тремя жилами по 50 мм и одной (нулевой) сечением 35 мм<sup>2</sup>, рассчитанный на напряжение до 1 кВ.

ААГ-6-3x70 - трехжильный кабель с алюминиевыми жилами сечением по 70 мм<sup>2</sup> каждая с бумажно-масляной изоляцией в гладкой алюминиевой оболочке, небронированный, рассчитанный на номинальное напряжение 6 кВ.

ААБГ- 10-3x70 - трехжильный кабель с алюминиевыми жилами сечением 70 мм<sup>2</sup> с бумажно - масляной изоляцией в гофрированной алюминиевой оболочке, бронированный стальными лентами без наружного покрова, рассчитанный на номинальное напряжение 10 кВ.

Каждый тип кабеля выполняется на определенное сечение (таблица 1.3).

Контрольные кабели предназначены для сборки схем вторичной коммутации. Они применяются для неподвижного присоединения к электрическим приборам, аппаратам и сборкам распределительных устройств с номинальным напряжением до 660 В частотой до 100 Гц и постоянным напряжением до 1000 В.

Таблица 1.3 – Диапазон сечений основных марок трехжильных кабелей с вязкой пропиткой, с обеднено - пропитанной изоляцией и с нестекающей массой

Тип кабеля	Обозначение марок кабелей	Напряжение, кВ				
		1	6	10	20	35
		Сечение жилы, мм				
Трех- жильные кабели	ААГ, ААШв, ААВл	6-240	10-240	16-240	-	-
	ААБ2л, ААБ2лШв	6-120	16-120	25-185		
	АСГ, СГ, АСБ, СБ		25-185			
	СБл. АСБн. АСБлн					
	СБл. АСБГ.СБГ					
	ААП2л. ААПлг. АСП					
	СП. АСПл, СПн	25-240	16-240	16-240	-	-
	АСПлн, АСПн	25-150	16-120	25-185		
	СПлн, АСлж, СКд					
	СПШв					
	АОАБ. ОАБ. АОБ2л				25-180	120-150
	АОАБ2лг, ОСБ					120-150
	АОСБ, ОСБл, ОСБн				25-185	120
	АОСБв, ОСБГ					
	АОШвБ, ОАШвБ					
АОСК.ОСК						

Продолжение таблицы 1.3

Тип кабеля	Обозначение марок кабелей	Напряжение, кВ				
		1	6	10	20	35
		Сечение жилы, мм				
Четырех жильные кабели	ААГ, ЛАБ, АЛБ2л					
	ДАШВ, ААШл, АСГ, СГ	10-185				
	АСБ, СБ, АСБл, СБ АСБл, СБл					
	АСБн, СБн	20-120				
	АСБн, СБли					
	ААПл, ААП2л	16-185				
	ААПлг, АСП, СП	16-120				
	АСПл, СПл	25-185				
	АСПлн, СПлн					
	АСКл, СКл					

В процессе эксплуатации контрольные кабели должны выдерживать испытание переменным напряжением 1500 В частотой 50 Гц. Контрольные кабели имеют от 4 до 61 жил сечением каждой от 0,75 до 10 мм (таблица 1.4). В маркировке это указывается после букв, например, КРСГ 27х2,5 - контрольный кабель с 27 медными жилами сечением 2,5 мм<sup>2</sup>, в резиновой изоляции, в свинцовой гермооболочке, небронированный, без защитного наружного покрова.

Изучаемые требования распространяются на силовые кабельные линии напряжением до 10 кВ включительно.

Над подземными кабельными линиями напряжением 6,10 кВ должны быть отведены земельные участки по 1 м в обе стороны от крайнего кабеля,

в пределах которых запрещается:

- производство земляных работ и укладки других коммутаций без согласования с войсковой частью, эксплуатирующей кабельные линии;
- устройство различных свалок (шлака, снега, мусора и т.д.).

Таблица 1.4 – Диапазон сечений и число жил основных марок контрольных кабелей

Марки кабеля	Номинальное сечение жил мм		
	0.75 1.0 1,5	2.5 4.0 6.0	
	Число жил в кабеле		
КРСТ, КРСБ,1СРСБГ	-4;5;7;10; 19; 27; 37	4; 7; 10;	
КРВГ, КРВГЭ, КВВБ, КВВБГ, КПВГ, КПВБГ	27; 37; 52; 61	14; 19 27; 37	
АКРВГ, АКРВГЭ, АКРВБ, АКРВБГ, АКРНГ, АКРНБ, АКРНБГ, АКВВГ, АКВВГЭ, АКВВБ, АКВВБГ, АКПВГ, АКПВБ. АКПВБГ.		4;5;7 10;14 19;27 37	4;7;10

Вдоль трассы кабельных линии должны быть установлены и содержаться в исправном состоянии пикетные столбики или нанесены на стенах сооружений опознавательные знаки (надписи).

Пикетные столбики должны быть установлены по обочине траншеи (но не над кабелем или муфтой) с правой стороны, по ходу линии на расстоянии 1 м от продольной оси траншеи:

- на прямых участках через каждые 100 м на закрытой местности и в

пределах видимости на открытой местности;

- на всех углах и поворотах трассы;

- у вводов в сооружения;

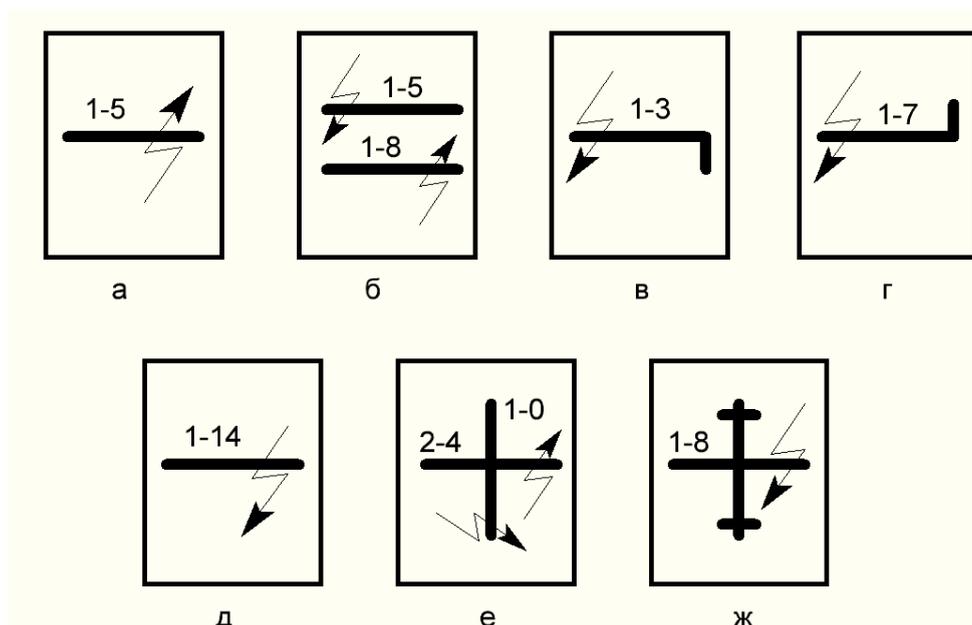
- в местах установки соединительных муфт;

- по обеим сторонам пересечения кабельных линий с железнодорожными путями и другими дорогами и коммуникациями.

Места открытой прокладки в стенах должны быть обозначали красными стрелками и двумя черными продольными полосками, ограничивающими место прокладки.

Каждая линия должна иметь номер, состоящий из двух чисел, которые соответствуют номерам подстанций (РП, РУ), соединяемых данной кабельной линией. Первое число (цифра) номера линии соответствует номеру питающей подстанции (питающей стороны); для закольцованных сетей первое число соответствует номеру подстанции питающей стороны в разомкнутом состоянии сети. Если кабельная линия состоит из нескольких параллельных кабелей, то каждый из них должен иметь тот же номер с добавлением букв А, В и т.д. На рисунке 2 приведён пример обозначения кабельных линий на схеме электроснабжения объекта.

Таблички с опознавательными знаками размером 120х 120 мм устанавливаются параллельно трассе (траншее) на стенах или пикетных столбиках. Условные знаки, и цифры наносятся на табличку опознавательного знака красной краской на белом фоне.



а – траншея кабельной линии 1-5;

б – две параллельно идущие траншеи кабельных линий 1-5, 1-8;

в – поворот траншеи вправо;

г – поворот траншеи влево;

д – кабельная муфта;

е – пересечение двух траншей;

ж – пересечение траншеи с коммуникациями.

Рисунок 2 – Условное обозначение кабельных линий

Для каждой кабельной линии предусмотрены максимальные токовые нагрузки в соответствии с допустимыми температурами токоведущих жил, превышение которых в процессе эксплуатации не допускается. Кабельные линии должны быть изготовлены таким образом, чтобы в процессе эксплуатации исключалось возникновение в них механических напряжений:

-кабели должны быть уложены с запасом (от 1 до 3% по длине «змейкой»), достаточный для компенсации возможных смещений почвы и температурных деформаций как самих кабелей, так и конструкций, по

который они проложены;

-кабели, проложенные горизонтально по конструкциям, стенам и т.п., должны быть жестко закреплены в конечных точках, в местах изгибов, у соединительных муфт и на прямых участках с интервалами не более 2 м;

-кабели, проложенные по вертикальным конструкциям и стенам, должны быть закреплены с интервалами 1-2 м с таким расчетом, чтобы была предотвращена деформация оболочек и не нарушались соединения жил в муфтах под действием собственного веса кабелей;

-конструкции, на которые укладываются кабели, должны быть выполнены таким образом, чтобы была исключена возможность механического повреждения оболочек кабелей; оболочки кабелей в местах крепления должны быть предохранены от механических и коррозионных повреждений с помощью эластичных прокладок;

-кабели, в том числе бронированные, расположенные в местах, где возможны их механические повреждения (передвижения транспорта, механизмов и грузов, доступность для посторонних лиц), должны быть защищены по высоте на 2 м от уровня пола или земли;

-при переходах из траншеи в здания, туннели и т.п., а также через перекрытия и внутренние стены кабели должны прокладываться в трубах или проемах. После прокладки кабелей зазоры в трубах и проемах должны быть заделаны легко пробиваемым материалом, а также предусмотрены меры, исключающие проникновение через трубы или проемы воды и мелких животных.

При открытой прокладке кабельных линий кабели должны быть защищены (щитами, трубами и т.п.) от непосредственного воздействия солнечных лучей; а также от теплоизлучения различного рода источников тепла. Отношение радиуса внутренней кривой изгиба кабеля к его наружному диаметру должно быть не менее:

-многожильного кабеля с обедненно-пропитанной изоляцией, в свинцовой оболочке, бронированного - 25;

-многожильного кабеля с бумажно-пропитанной изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке, бронированного и небронированного - 15;

-кабеля с резиновой изоляцией, в свинцовой или полихлорвиниловой оболочке: бронированного-10, небронированного - 6.

Соединения и заделки на кабельных линиях должны быть выполнены таким образом, чтобы кабели были защищены от проникновения в них влаги и других, вредно действующих веществ из окружающей среды и чтобы соединения и заделки выдерживали испытательные напряжения. Изготовление кабельных муфт и заделок, а также монтаж соединений и оконцеваний в них кабелей должны соответствовать действующей документации.

При обозначении кабельных линий на схемах электроснабжения, нужно учесть, что надпись в левом верхнем углу обозначает номер пикета, надпись в правом нижнем углу - номер муфты. Условное обозначение траншеи - прямоугольник черного цвета (ширина 5 мм, длина 75 мм) помещается в центре таблички. Ломаная стрела красного цвета, перечеркивающая знак траншеи, обозначает высокое напряжение. Над прямоугольником черным цветом указывается номер линии.

На рисунке 1.3 представлены формы исполнения опознавательных знаков на пикетах.

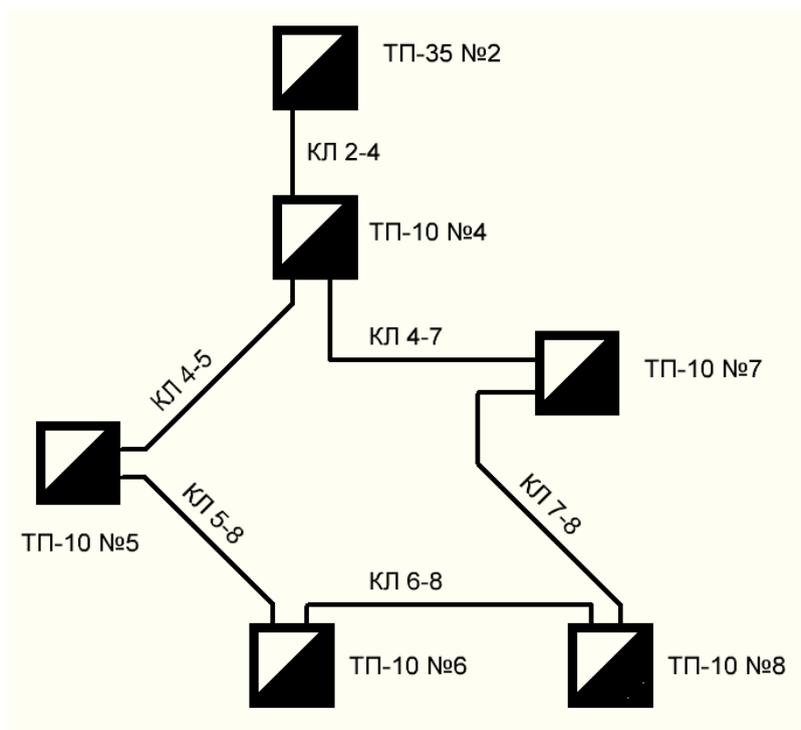


Рисунок 1.3 – Обозначение кабельных линий на схеме электроснабжения

Открыто проложенные кабели, а также все кабельные муфты должны иметь бирки.

На бирках кабелей и концевых муфт обозначаются марки кабелей, напряжения, сечения жил, номера линий (например: надпись ААБГ-10, 3 х 50, 4-5 означает, что проложен кабель с алюминиевой оболочкой, бронированный, без наружных покровов, напряжением 10 кВ, сечением жил 50 мм каждая, номер линии 4-5).

На бирках соединительных муфт обозначаются номера муфт, даты монтажа (например, 18-10.09.15).

Бирки должны быть стойкими к воздействиям окружающей среды, располагаться у каждой концевой и соединительной муфты, и непосредственно на кабелях, проложенных в кабельных сооружениях через каждые 25-50 м а также местах перехода кабеля сквозь капитальные стены (с обеих сторон стены).

## **2 Лабораторная работа № 2 Изучение влияния гололедных и ветровых нагрузок на механическую прочность воздушных линий**

### **2.1 Цель работы**

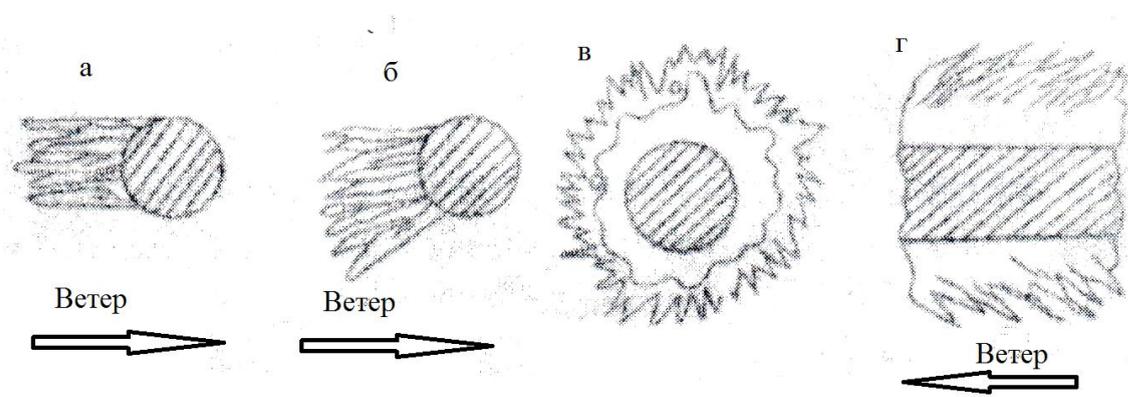
Изучить влияние гололедных и ветровых нагрузок на механическую прочность воздушных линий и способы борьбы с гололедом и вибрациями проводов.

### **2.2 Общие сведения**

Провода и тросы воздушных линий подвергаются воздействию ветра, гололеда, химических реагентов, находящихся в воздухе, изменениям температуры. Эти воздействия приводят к появлению больших механических напряжений в проводах и тросах, а иногда и к разрушению.

При определенных атмосферных условиях (обычно при температуре воздуха и провода около  $-5^{\circ}\text{C}$ ) на проводах воздушных линий образуется изморозь или гололед. Кроме того, провода, покрытые изморозью или гололедом, еще облепляются снегом. Все это приводит к появлению добавочных вертикальных нагрузок, а увеличение поверхности провода приводит к увеличению давления ветра. Изморозь представляет собой белый рыхлый непрозрачный кристаллический осадок. Объемный вес изморози обычно составляет  $0,05 - 0,6 \text{ г/см}^3$ . Образование изморози происходит чаще всего при температуре воздуха около  $-5^{\circ}\text{C}$ , когда кристаллизуются мельчайшие частицы переохлажденной воды (туман), при соприкосновении с проводами, имеющими температуру ниже  $0^{\circ}\text{C}$ . Чем больше влажность при наличии ветра, тем более значительное количество изморози осаждается на проводах. Изморозь откладывается на проводах равномерно по всей поверхности, если ветер направлен вдоль линии, или на наветренной

(подветренной) части провода при ветре, направленном перпендикулярно линии. В последнем случае за счет проворачивания провода под действием ветра и веса изморози происходит более интенсивное ее отложение на проводах. На рисунке.2.1 представлены схемы образования изморози и гололеда на проводах.



а,б – изморось;

в,г – гололед.

Рисунок 2.1 – Образование изморози и гололеда на проводах

Гололед - более плотное, образование льда с объемным весом 0,6 – 0,9 г/см. Образование гололеда также чаще всего происходит при температуре воздуха около  $-5^{\circ}\text{C}$  и выпадении более крупных капель переохлажденной воды. Капли воды не могут мгновенно кристаллизоваться, поэтому, растекаясь по проводу, замерзают и образуют гололедные отложения.

На проводах может откладываться и длительно удерживаться гололед, изморозь и мокрый снег. Обычно на проводах воздушных линий откладывается не чистый гололед, а смесь гололеда с изморозью и снегом. Например, на гололед нарастает изморозь, а свободные пространства между иглами изморози заполняются снегом.

Наиболее благоприятными условиями образования гололедно-изморозевых отложений является смешение двух масс воздуха с разными температурами (встреча теплого фронта с холодным). В этой зоне смешения двух фронтов воздуха с разными температурами происходит интенсивная конденсация водяного пара, находящегося в более теплом воздухе.

Интенсивность и частота повторяемости изморозей и гололедов зависят от высоты данной местности над уровнем моря, от расположенности местности вблизи больших водных поверхностей, от местных климатических условий.

Согласно Правилам устройства электроустановок (пункт 11-5-25) гололедные нагрузки на провода и тросы определяются, исходя из толщины гололеда, приведенного к цилиндрической форме с удельным весом 0,9 г/см (нормативная толщина стенки гололеда).

Величины нормативной толщины стенки гололеда определяются в соответствии ПУЭ.

При превышении допустимого значения напряжения ( $a_y$ ) происходит обрыв проводов. Иногда после интенсивного гололедообразования на проводах происходят и более тяжелые аварии: разрушаются траверсы опор или даже сами опоры воздушных линий.

Гололед на воздушных линиях удаляется или путем сбивания (скалывания) штангами и другими предметами или путем плавления электрическим током. При удалении гололеда любым методом требуется как правило, отключение линий с двух сторон с установкой "закороток" и заземлений.

Механическое удаление чаще всего используются в том случае, если, гололедом покрыты провода на небольших участках или когда гололед в данной местности образуется редко.

В местностях, где гололедообразование наблюдается систематически и к тому же приводит к вибрациям или "пляске" проводов, для удаления гололеда предусматривается целая система мер, включая' плавление гололеда электрическим током.

На рисунке 2.2 представлен график зависимости тока плавления гололеда на алюминиевых и сталеалюминевых проводах с учетом времени плавления  $t_{\text{плавл}}$  (в минутах). Нижняя кривая соответствует току, препятствующему образованию гололеда на проводах. Как видно из графика,  $I$  – токи плавления, велики от 100 до 600-700 А, поэтому сложность плавления гололеда заключается в выборе источника тока. Другая сложность заключается в осуществлении сборки схемы плавления, обеспечивающей заданный ток при данном напряжении, и мощности источника, а также длине линии и сечении ее проводов. Следует также учитывать, что выбор источника и сборка схемы единая комплексная задача для данного конкретного участка схемы сети. В качестве источников тока плавления гололеда используются силовые трансформаторы, сварочные трансформаторы или генераторы, или передвижные электростанции.

Силовые трансформаторы могут быть использованы для плавления гололеда, если их мощность обеспечивает заданную величину тока в режиме их короткого замыкания.

Удобными источниками тока плавления являются сварочные агрегаты, так как их внешняя характеристика (рисунок 2.3) наиболее полно отвечает требованию плавления и использования мощности источника.

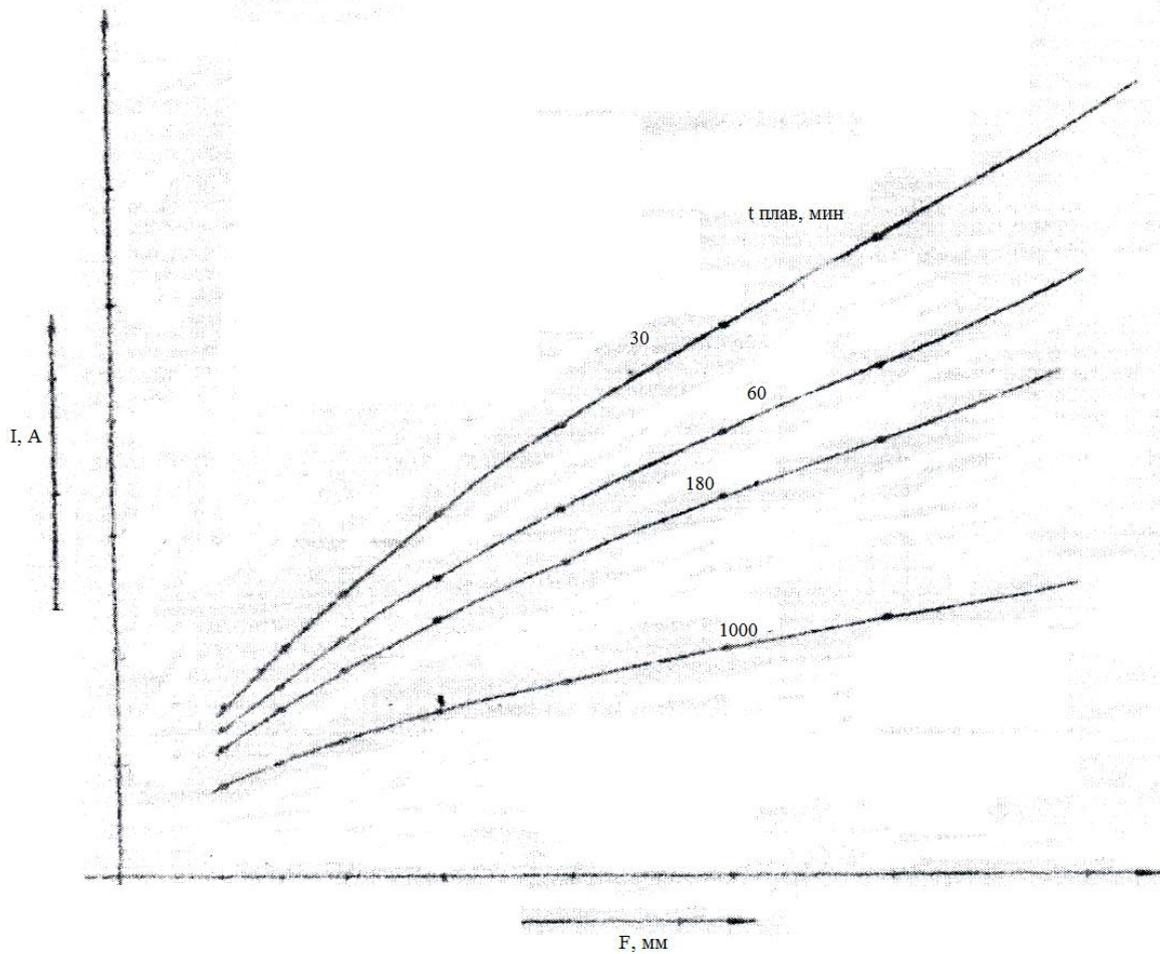


Рисунок 2.2 – Зависимость величины тока плавления гололеда на алюминиевых и сталеалюминевых проводах от их сечения и времени плавления

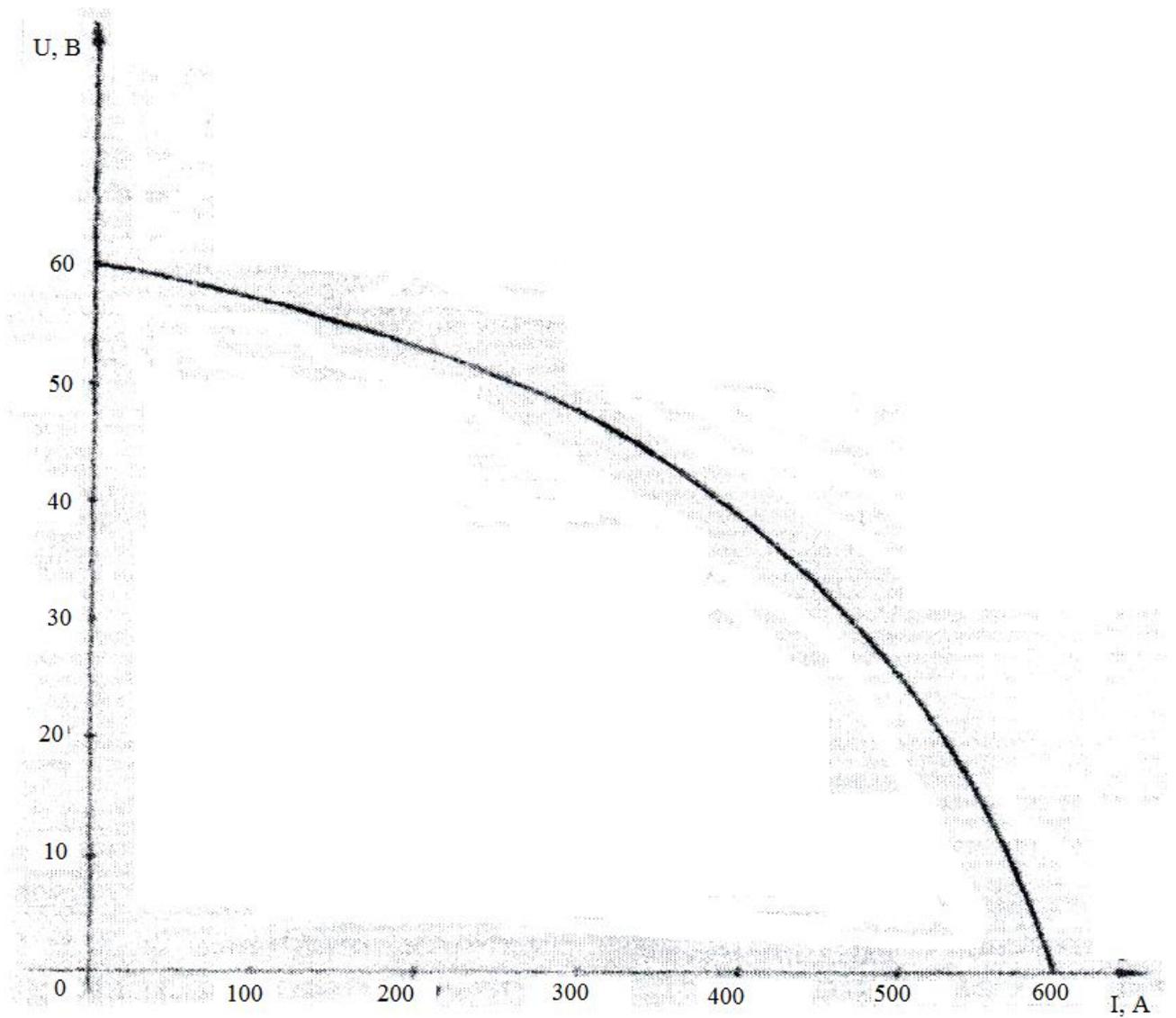
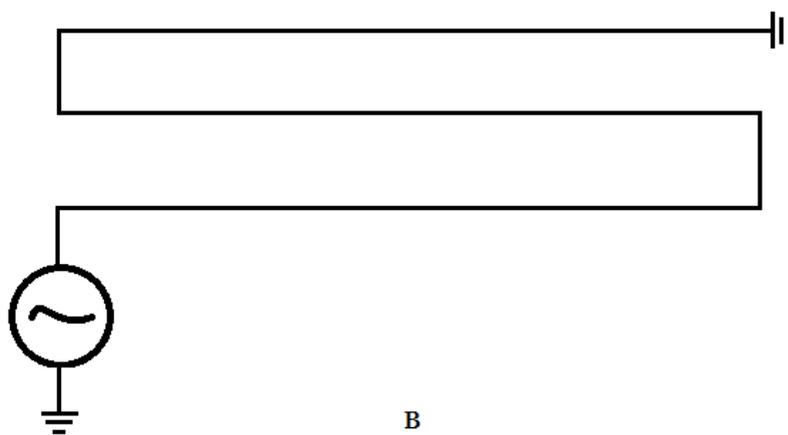
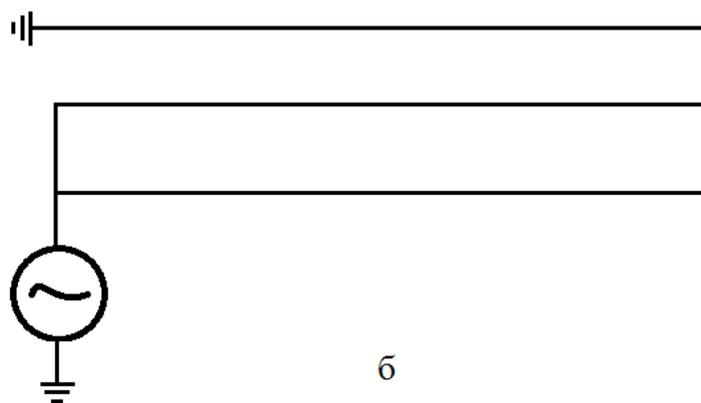
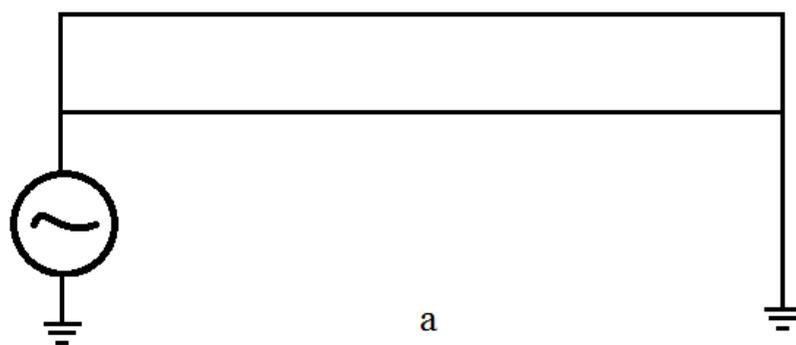


Рисунок 2.3 – Внешняя характеристика сварочного агрегата

Иногда для плавления гололеда используются и другие схемы, например, схема (рисунок 2.4) и т.п.



а – параллельная схема;

б – смешанная схема;

в – последовательная схема.

Рисунок 2.4 – Схемы соединения проводов при плавке гололеда

Дополнительную нагрузку на провода, тросы и опоры создает давление ветра, которое примерно пропорционально квадрату скорости ветра. При этом увеличивается натяжение по проводам, появляются значительные силы, действующие на опоры.

Согласно ПУЭ нормативное ветровая нагрузка  $P$  ветра на провода и тросы определяется по формуле:

$$P = a \cdot K_c \cdot K_w \cdot C \cdot W \cdot F \cdot \sin^2 \varphi,$$

где  $W = V^2 / 16$  - нормативный скоростной напор ветра;

$V$  - скорость ветра;

$a$  - коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролету ВЛ;

$K_c, K_w$  - коэффициент, учитывающий влияние длины пролета на ветровую нагрузку и коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности, соответственно

$F$  - площадь диаметрального сечения;

$C$  - коэффициент лобового сопротивления;

$a$  - коэффициент, учитывающий неравномерность скорости ветра по пролету;

$\varphi$  - угол между направлением ветра и осью воздушной линии.

Величины наибольших нормативных скоростных напоров ветра на высоте 10 м от земли указаны в ПУЭ.

Дополнительная нагрузка на опоры, провода и тросы, создаваемая давлением ветра, учитывается при проектировании в соответствии с расчетными климатическими условиями. Кроме давления, ветер опасен тем, что под действием ветра возможны колебания проводов, приводящие к их разрушению. Колебания проводов разделяют на вибрации - высокочастотные колебания порядка десятков герц и "пляску" - низкочастотные колебания в 0,5 - 2 Гц с большими амплитудами.

Вибрация проводов - это стоячие продольные волны, в вертикальной плоскости с частотой колебания от 5 до 50 Гц и длиной волны от 0,3 до десятков метров. При этом амплитуда колебаний доходит до нескольких сантиметров. Наиболее интенсивная вибрация наблюдается при небольших скоростях ветра от 0,5-0,8 до 8-10 м/с. С увеличением диаметра провода и длины пролета интенсивность вибрации возрастает. Вибрация возникает при равномерном движении воздуха по всей длине пролета. Равномерность движения воздуха обуславливает симметричное периодическое чередование вихрей за проводом, что приводит к попеременному действию сил на провод то вниз, то вверх. Наоборот, при больших скоростях ветра вибрация проводов не наблюдается. Это объясняется тем, что поток воздуха при большой его скорости имеет турбулентное строение, что приводит к нарушению образования симметричных вихрей за проводом. Схема образования вихрей за проводом, приводящих к вибрациям, приведена на рисунке 2.5.

Вибрация проводов приводит к их разрушению. Особенно быстро происходит излом проволок провода у зажимов, которыми провод крепится к изоляторам. Разрушение проволок проводов вызывается усталостью металла после многократных и резких изгибов, кроме того, во время вибрации материал проводов получает дополнительные напряжения (от) изгиба и растяжения.

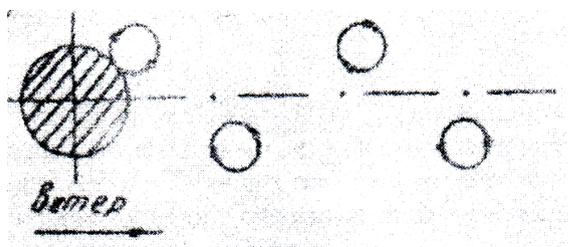


Рисунок 2.5- Схема образования вихрей за проводом

Против вибрации проводов и тросов применяется усиление провода в месте его закрепления и подвеска к проводам виброгасителей.

Усиление провода в месте закрепления производится специальными армировочными прутками (проволока, имеющий на концах конусную конфигурацию ) или обычными проволочными прутками из того же металла, что и провод. Провод, усиленный армировочными прутками в месте закрепления, получает менее резкие изгибы. При этом уменьшаются добавочные напряжения материала проволок, увеличивается продолжительность работы проводов без излома проволок.

Почти полное устранение вибрации проводов, достигается подвеской на них виброгасителей (рисунок 2.6) специальной конструкции. Виброгаситель состоит из двух грузов, соединенных стальным тросом. Колебания провода гасятся за счет поглощения энергии между отдельными проволоками соединительного троса.

Применение виброгасителей должно обосновываться среднеэксплуатационными механическими напряжениями провода при среднегодовой температуре воздуха (О).

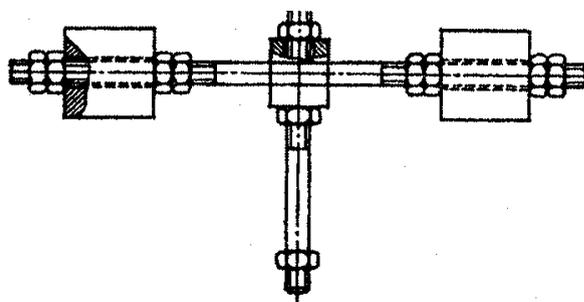


Рисунок 2.6 — Гаситель вибрации

Если средние Эксплуатационные напряжения превышают допустимые значения напряжения материала провода, указанные в таблице 1, то, согласно требованиям ПУЭ, следует устанавливать виброгасители.

Таблица 1 — Допустимые значения напряжения материала провода

Тип провода	Превышение нагрузки в n раз
Сталеалюминевые	4.5
Медные	10
Алюминиевые	3
Тросы стальные	18

Вес виброгасителей составляет от 3 до 10 кг и более. Несмотря на увеличение стоимости при применении виброгасителей значительно увеличивается срок работы проводов линиях.

Колебание проводов с большой амплитудой «Пляска» - явление более сложное. Обычно «пляска» проводов и тросов наблюдается при отложении на проводах гололеда, как правило, явно выраженного одностороннего отложения гололеда и ветра 5-20 м/с под углом 30-90° к оси линии.

«Пляска» проводов вызывается аэродинамическими силами, возникающие при обтекании воздушным потоком обледенелых проводов, имеющих неправильную форму сечения. Таким образом, «пляска» проводов – это самовозбуждающиеся колебания (автоколебания), когда система сама управляет поступлением энергии извне.

«Пляска» проводов может быть различной даже в одном пролете. Так, например, наблюдалась «пляска» - одного провода о одной полуволной в пролете (провод опускается и поднимается - в середине пролета со стрелкой провеса около четырех метров) и двух других проводов о двумя и четырьмя полуволнами и двойной амплитудой соответственно 5-6 и 2-3 метра.

Наблюдались случаи "пляски" не только в вертикальной, но и в горизонтальной плоскости. "Пляска" проводов приводит к схлестыванию проводов, а также к быстрому их разрушению из-за циклических перегрузок.

Проблема борьбы с "пляской" проводов и ее последствиями еще не разрешена, но в литературе уже имеется ряд рекомендаций. Борьба с "пляской"

проводов может вестись путем ее предотвращения или снижения вероятности повреждений (схлестывания проводов и их замыкания) в результате "пляски" проводов.

К мерам борьбы против "пляски" проводов относится демпфирование колебаний и плавка гололеда, применение проводов с улучшенными аэродинамическими характеристиками.

К мерам снижения вероятности повреждения относится выбор габаритов опор, предотвращающих схлестывание проводов с тросами и проводов между собой.

Наиболее эффективным средством является плавка гололеда, так как в результате плавки гололедного отложения восстанавливается аэродинамически устойчивая круглая форма провода. Деформирование колебаний путем изменения механических характеристик провода в пролете (изменение стрелы провеса, веса провода или длины пролета) в настоящее время считается мало эффективным.

### **3 Лабораторная работа №3 Высоковольтные изоляторы**

#### **3.1 Цель работы:**

1 Изучить назначение и конструкцию высоковольтных изоляторов

#### **3.2 Общие сведения:**

Классификация всех изоляторов и их назначение.

Электрический изолятор — электротехническое устройство, предназначенное для электрической изоляции и механического крепления электроустановок или их отдельных частей, проводов, шин, воздушных линий связи и проводного вещания, находящихся под разными электрическими

потенциалами.

Электрические изоляторы классифицируются по назначению, конструктивному исполнению, материалу изготовления, техническим характеристикам и условиям эксплуатации.

По назначению:

Линейные изоляторы — устройства для подвешивания и изоляции проводов и кабелей на опорах воздушной линии электропередачи — штыревой, тарельчатый, стержневой.

Станционные изоляторы – для монтажа токоведущих частей в распределительных устройствах.

Аппаратные изоляторы – для разделения и крепления деталей в электрических машинах, аппаратах, приборах и т. д.

Станционные и аппаратные изоляторы в свою очередь, подразделяются на опорные и проходные.

1) Опорный изолятор предназначен для крепления токоведущих частей в электрических аппаратах, распределительных устройствах электрических станций и подстанций, комплектных распределительных устройствах. Опорные изоляторы можно разделить на опорно-стержневые и опорно-штыревые. Опорные стержневые изоляторы имеют сплошной или полный фарфоровый стержень с выступающими ребрами.

2) Проходной предназначен для обеспечения прохода токоведущих частей сквозь различные перегородки электрического устройства и их изоляции от земли. Изоляторы также применяются при сооружении распределительных устройств подстанций, изготовлении трансформаторных вводов

Для работы в помещениях — с токоведущими шинами (токопроводами), без токоведущих шин.

Для работы на открытом воздухе — с нормальной и усиленной изоляцией.

По материалу изготовления изоляторы подразделяются на фарфоровые, стеклянные и полимерные.

1) Фарфоровые изоляторы – первая изоляция линий электропередач. Применение фарфоровых изоляторов началось с 19 века. Тогда стекольное производство было на стадии становления, а о полимерных изоляторах даже не думали, фарфоровые изоляторы успешно применялись и выполняли свою задачу. Фарфоровые изоляторы изготавливают из электротехнического фарфора, покрывают слоем глазури и обжигают в печах.

Достоинства:

- Изоляторы, изготавливаемые из фарфора, обладают высокой электрической и механической прочностью, а также стойкостью к атмосферным воздействиям и химически агрессивным средам.

- Внешняя поверхность фарфоровых изоляторов защищается глазурью, что уменьшает загрязняемость поверхности, облегчает ее самоочистку и повышает электрические и механические характеристики фарфора..

Минусы:

- Большая масса  
- Хрупкость, возможность боя изоляторов посторонними предметами, в том числе и при транспортировании изоляторов

- Низкая ударная вязкость

2) Стекланные изоляторы.

Достоинства

- Изоляторы из щелочного стекла также имеют высокие электрические и механические характеристики, хорошую стойкость к перепадам температуры и к воздействию химически агрессивных сред.

- в процессе изготовления изоляторов детали из стекла для них подвергают закалке, т.е. нагреву в печах и последующему охлаждению поверхности холодным воздухом. В результате такой термообработки внешний слой стекла сжимается, а внутренние слои остаются растянутыми - в стекле возникает равновесие напряжений сжатия и растяжения. Напряжение сжатия достаточно велико. Чтобы разрушить изолятор из закаленного стекла, необходимо прежде преодолеть силы этого напряжения. Именно этим и

объясняются повышенные механические свойства и термостойкость изоляторов из стекла.

#### Недостатки

- при сильных концентрированных ударах (например, камнем) механическая прочность стеклянных изоляторов оказывается ниже, чем фарфоровых: закаленное стекло рассыпается на мелкие кусочки.

Разрушенные стеклянные изоляторы выявляются визуально при осмотрах. Они подлежат замене, так как электрическая прочность остатков резко снижается, хотя механическая прочность их сохраняется некоторое время на достаточно высоком уровне.

### 3) Полимерные изоляторы

#### Достоинства

- Наибольшей механической прочностью обладают полимерные изоляторы, что делает их применение, особенно при ультравысоких напряжениях, используемых в электроэнергетике, весьма перспективными.

- гидрофобность

- простота и удобство монтажа,

- высокая стойкость к перенапряжениям,

- высокая вандалоустойчивость

- полимерные изоляторы обладают сниженным весом (более чем на 90%)

по сравнению со стеклянными и фарфоровыми изоляторами.

#### Недостатки полимерных изоляторов.

- Солнечная радиация и ультрафиолетовое излучение увеличивает скорость старения полимера

-Материал водопроницаем при разгерметизации;

- Пожароопасный материал

- Разряды приводят к появлению треков на поверхности изолятора и, как следствие, к эрозии

- Электрическая прочность неизменно уменьшается из-за старения полимерных материалов

- При разгерметизации изолятора возможен пробой, как по внутренней поверхности трубы изолятора, так и по воздушному промежутку полости трубы

### Конструкция изоляторов

Рассмотрим конструкцию и область применения некоторых видов электрических изоляторов.

Линейный изолятор — устройство для подвешивания и изоляции проводов и на опорах воздушной линии электропередач.

Линейные изоляторы предназначены для изоляции и крепления проводов на воздушных линиях и в распределительных устройствах электрических станций и подстанций.

### Обозначения изоляторов.

В обозначение изоляторов входят:

-буквы, которые указывают на их конструкцию: Ш — штыревой, П — подвесной

-материал: Ф — фарфор, С — стекло, П — полимер

-назначение: Т — телеграфный, Н — низковольтный, Г — грязестойкий (для подвесных), Д — двухъюбочный

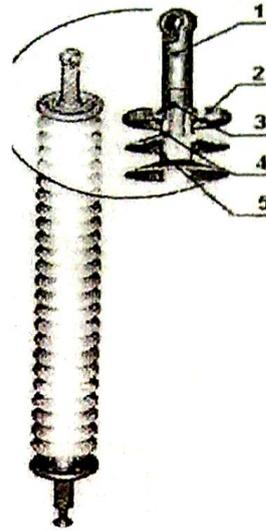
-типоразмер: А, Б, В, Г (для штыревых)

-цифры, которые у штыревых изоляторов указывают на номинальное напряжение (10, 20, 35) или диаметр внутренней резьбы (для низковольтных), а у подвесных — на гарантированную механическую прочность в килоньютонах.

По способу крепления на опоре изоляторы подразделяются на штыревые и подвесные:

Штыревые изоляторы (крепятся на крюках или штырях) применяются на воздушных линиях до 35 кВ

Подвесные изоляторы (собираются в гирлянду и крепятся специальной арматурой) применяются на ВЛ 35 кВ и выше. Подвесные изоляторы в свою очередь бывают тарельчатые и стержневые. Конструкция подвесных изоляторов.

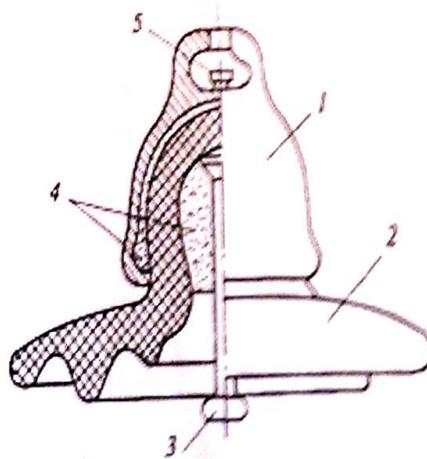


- 1 – стальной оконцеватель;
- 2 – защитный экран;
- 3 – несущий элемент;
- 4 – подслой;
- 5 – полимерная оболочка.

Рисунок 3.2 – Линейный подвесной стержневой изолятор ЛК70/10-ГУ

Защиту от коррозии стального оконцевателя (1) обеспечивает метод горячего цинкования. Защитный экран (2) изготовлен из алюминиевого сплава. Он предназначен для выравнивания напряженности электрического поля вдоль изолятора, защиты несущего элемента при перекрытиях, снижения уровня радиопомех. Несущий элемент (3) представляет собой стержень из однонаправленного стеклопластика, обладающий высокой электрической прочностью вдоль волокон. Подслой (4), обеспечивает высокую адгезию между несущим стержнем и защитной оболочкой. Полимерная защитная оболочка (5) выполнена из высокомолекулярного каучука, который обладает высокой трекинговостойкостью и гидрофобностью.

Марки линейных подвесных изоляторов: ЛК 70/10-4 УХЛ1



- 1 – шапка;  
 2 – изолирующая деталь (тарелка);  
 3 – стержень;  
 4 – цементная заделка;  
 5 – замок изолятора.

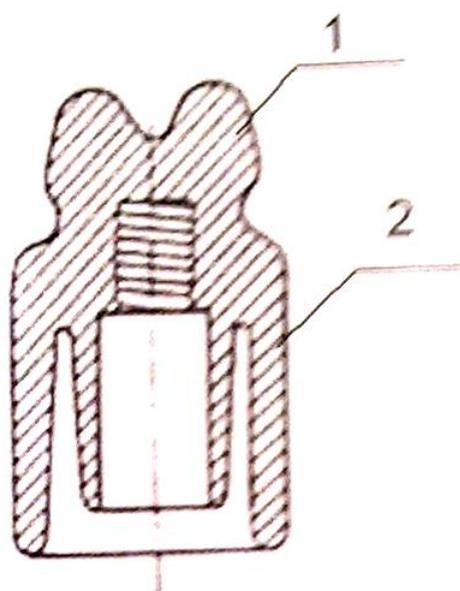
Рисунок 3.3 – Подвесной тарельчатый изолятор

Тарельчатый изолятор имеет фарфоровый или стеклянный корпус в виде диска (тарелки) (2) с шарообразной головкой (1). Нижняя поверхность диска выполнена ребристой для увеличения разрядного напряжения под дождем, верхняя поверхность диска – гладкая, с небольшим уклоном для стекания дождя. Краю диска придана форма капельницы, чтобы обеспечить стекание воды без смачивания нижней поверхности. Внутри фарфоровой головки введен стальной стержень (3), укрепленный на цементе. Сверху фарфоровую головку охватывает колпак из ковкого чугуна с гнездом для введения в него стержня другого изолятора или ушка для крепления гирлянды к опоре. Все соединения выполнены шарнирными.

Шапка и стержень скрепляются с изолирующей деталью портландцементом марки не ниже 500. Конструкция гнезда шапки и головки стержня обеспечивает сферическое шарнирное соединение изоляторов при формировании гирлянд. Число изоляторов в гирлянде обусловлено

напряжением ЛЭП, материалом опор и типом изоляторов. В состав гирлянды входит одна или несколько цепочек подвесных изоляторов.

Линейные изоляторы испытывают механические нагрузки, которые создаются натяжением проводов, и зависят от сечения проводов, а также длин пролетов между опорами, от температуры проводов, силы ветра и других факторов. Для штыревых линейных изоляторов эти нагрузки являются главным образом изгибающими. Подвесные изоляторы благодаря шарнирному креплению подвергаются только растягивающим усилиям.



- 1 – шапка;
- 2 – юбка.

Рисунок 3.4 – Штыревой изолятор

Штыревые изоляторы (рисунок 3.4) применяются на воздушных линиях напряжением до 1 кВ и на ВЛ 6-35 кВ (35 кВ - редко и только для проводов малых сечений). На номинальное напряжение 6-10 кВ и ниже изоляторы изготавливают одноэлементными, а на 20-35 кВ - двухэлементными.

Основные части штыревого изолятора:

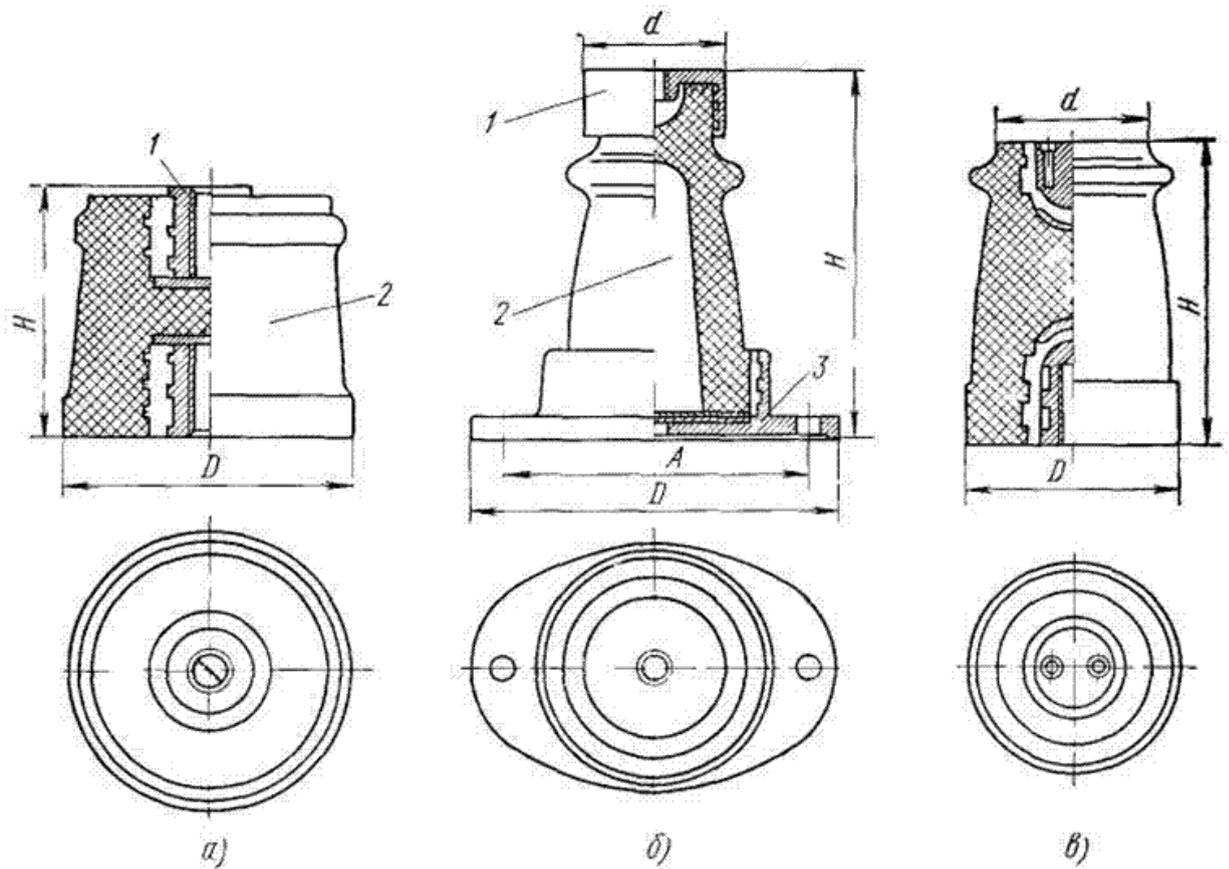
- шапка из изоляционного материала (керамика, отоженное стекло);
- крюк (штырь) с помощью которого штыревой изолятор крепится к опоре или траверсе, а вязка провода осуществляется либо на верхней части шапки изолятора, либо на самой шапке.

Провод крепится на верхней или боковой бороздке изолятора с помощью проволочной вязки или специальных зажимов. Сам изолятор наворачивается на металлический штырь или крюк, закрепленный на опоре. Чтобы крюк не поворачивался в опоре при натяжении провода, ему придается такая форма, что ось провода и ось ввертываемой в опору части крюка лежат в одной плоскости. При этом натяжение провода не создает вращающего момента относительно оси крюка.

Гнездо с резьбой для ввертывания штыря или крюка углублено в тело изолятора настолько, что верхняя часть штыря или крюка оказывается на уровне шейки изолятора. Этим достигается уменьшение изгибающего момента, действующего на тело изолятора. Механическая прочность штыревых изоляторов характеризуется минимальной разрушающей нагрузкой на изгиб.

При дожде внешняя часть поверхности изолятора оказывается полностью смоченной водой, а сухой остается лишь его нижняя поверхность.

Опорные изоляторы (рисунок 3.4, 3.5, 3.6) предназначены для крепления шин и отдельных частей аппаратов и состоят из фарфорового полого корпуса 2, покрытого с внешней стороны глазурью, верхней арматуры (колпачка) 1 для крепления к нему шин и фланца 3 для крепления самого изолятора. В распределительных устройствах опорные изоляторы монтируют на стальных конструкциях и стенах.



а — ОФ-1-375,

б — ОФ-10,

в — ОФ-10-375,

1 — верхняя арматура (колпачок),

2 — фарфоровый полый корпус,

3 — фланец.

Рисунок 3.4 – Опорные изоляторы

Опорные изоляторы бывают следующих видов:

- Стержневой опорный изолятор - опорный изолятор со сплошным телом в форме цилиндра или усеченного конуса, неподвижно соединенным с арматурой .

- Штыревой опорный изолятор - опорный изолятор, состоящий из одной или нескольких изоляционных частей с ребрами, постоянно соединенными

между собой и арматурой в виде колпака и штыря.

- Опорный изолятор для работы в помещении - опорный изолятор, предназначенный для работы в помещении или под навесом в соответствии с заданными условиями.

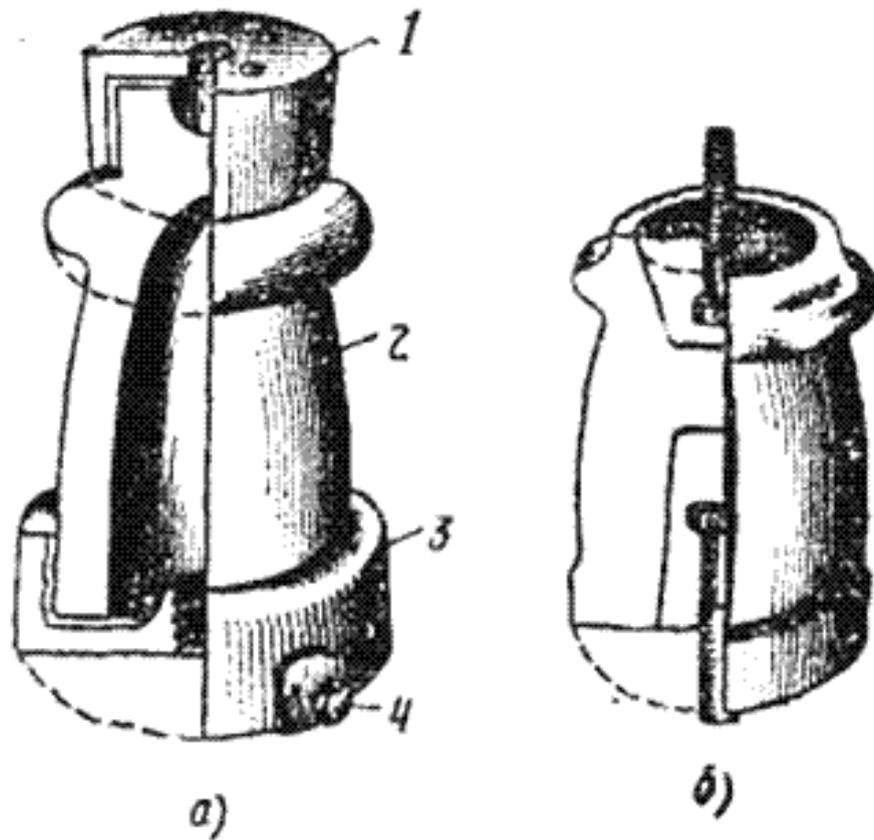
- Опорный изолятор для работы на открытом воздухе - опорный изолятор, предназначенный для работы на открытом воздухе в соответствии с заданными условиями .

Маркировка изоляторов должна быть нанесена на видном месте изоляционной детали и содержать: обозначение типа изолятора; товарный знак предприятия-изготовителя; год изготовления (две последние цифры).

Тип изолятора характеризуется его конструктивным исполнением (опорный штыревой), значениями нормированной механической разрушающей силы при изгибе и нормированного выдерживаемого напряжения грозового импульса и обозначением модификации.

В условном обозначении типа изолятора буквы и цифры означают:

- О — опорный;
- Ш — штыревой или - С - стержневой
- Н или В — наружную или внутреннюю установку;
- 3,75; 4; 6; 10; 20 и т. д. — нормированную механическую разрушающую силу при изгибе в килоньютонах;
- 60; 80; 125; 195 и т. д. — нормированное выдерживаемое напряжение грозового импульса в киловольтах;
- А, Б, В и т. д. — модификацию изолятора согласно нормативному документу на изолятор конкретного типа;
- УХЛ, Т — климатическое исполнение. Допускается исполнение УХЛ не указывать;
- ТУ ... — обозначение технических условий на изолятор конкретного типа.



а — ОФ-10-375кр,

б — ОМА-10:

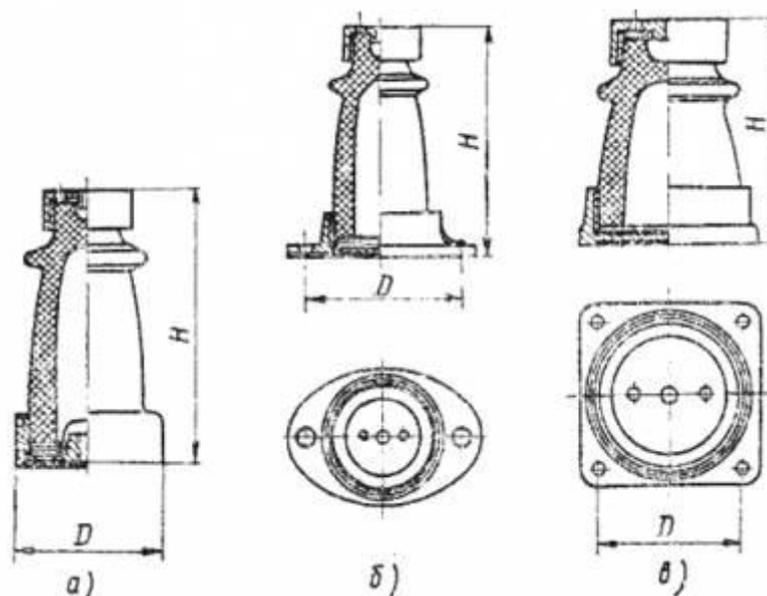
1 — колпачок,

2 — фарфоровый корпус,

3 — фланец,

4 — болт

Рисунок 3.5 – Опорные изоляторы для внутренней установки



- а — с круглым фланцем,  
 б — с овальным фланцем,  
 в — с квадратным фланцем.

Рисунок 3.6 – Размеры различных типов опорных изоляторов

В обозначении типов изоляторов принято: О — опорный, Ф — фарфоровый; 6—10 — номинальные напряжения; 375, 7S0, 1250, 2000 — механические разрушающие нагрузки на изгиб, кг; кр — круглый; ов — овальный; кв — квадратные фланцы.

Проходные изоляторы применяются для изоляции токоведущих частей при прохождении их через стены, потолки и другие элементы конструкций РУ и аппаратов. Проходные изоляторы, предназначенные для наружной установки, имеют более развитую поверхность той части изолятора, которая располагается вне помещения.

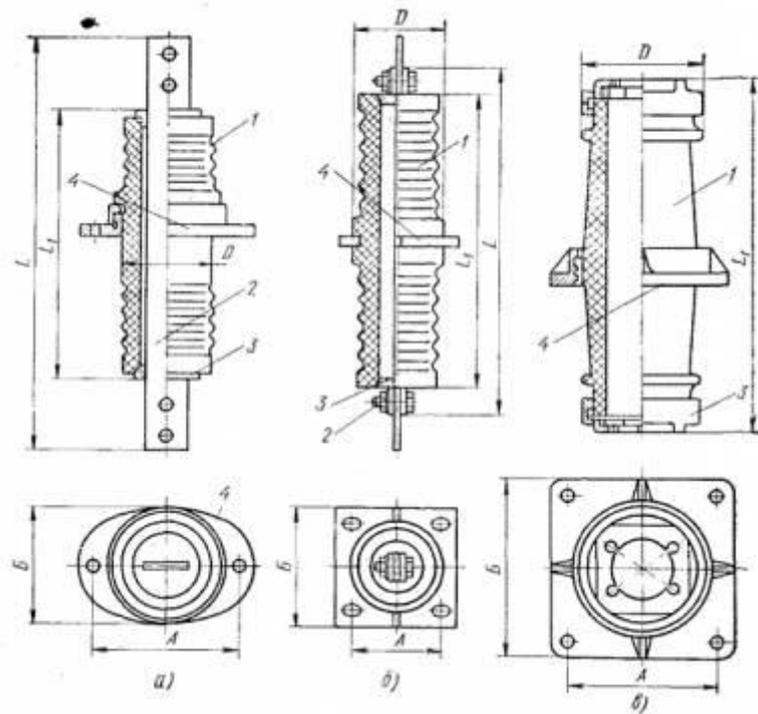
Обозначение проходного изолятора содержит значение номинального тока, например ПНШ-35/3000-2000 означает: проходной, наружной установки, шинный на напряжение 35 кВ и номинальный ток 3 кА с механической прочностью 20 кН.

Конструкция проходного изолятора состоит из: 1 — шина; 2 — изолятор; 3 — проходная часть; 4, 5 — колпачки

Проходные изоляторы применяют для наружной (типов ПН, ПНМ-10, 20, 35 кВ) и внутренней (типа П-6, 10 кВ) установок.

Проходные изоляторы (рисунок 3.7) предназначены для провода токоведущих частей через поверхности, имеющие другой потенциал. На токи до 2000 А они выпускаются с токопроводящей шиной из алюминия или меди, которая имеет на концах отверстия, позволяющие соединять ее с токопроводом. Шины, рассчитанные на напряжение 35 кВ и более, а также провода линии укрепляют на подвесных изоляторах. Фарфор, чугунный колпачок и пестик склеивают мастикой. Провод специальным соединителем прикрепляют к пестику. Из таких изоляторов собирают гирлянду из 3... 15 элементов и более — в зависимости от номинального напряжения линии. Для соединения изоляторов пестик вставляют в отверстие колпачка следующего элемента гирлянды.

Проходные изоляторы состоят из фарфорового корпуса 1 с цилиндрическим отверстием, через которое проходит токопроводящая шина 2. Торцы корпуса закрыты армированными колпачками-держателями 3. Почти посередине корпуса армирован фланец 4.



а — П-10/400-750,

б — ПК-Ю/1600—750,

в — П-10/2000-2000;

1 — фарфоровый корпус,

2 — токопроводящие шины,

3 — колпачки- держатели,

4 — фланец.

Рисунок 3.7 – Проходные изоляторы

## 4 Лабораторная работа №4 Предохранители

### 4.1 Цель работы:

- изучить конструкцию, область применения характеристики, требования предъявленные к предохранителям до и выше 1000 В;
- освоить выбор и проверку предохранителей промышленной частоты.

### 4.2 Общие сведения

Предохранителем называют аппарат, предназначенный для автоматического однократного отключения электрической цепи, при коротком замыкании или перегрузке.

Отключение цепи предохранителем осуществляется путем расплавления плавкой вставки, которая нагревается протекающим через неё током защищаемой цепи. После отключения цепи плавкая вставка должна быть заменена вручную.

Основными частями плавкого предохранителя являются: металлическая плавкая вставка, контактное устройство, корпус, выполненный из стекла или фарфора (рисунок 4.1).

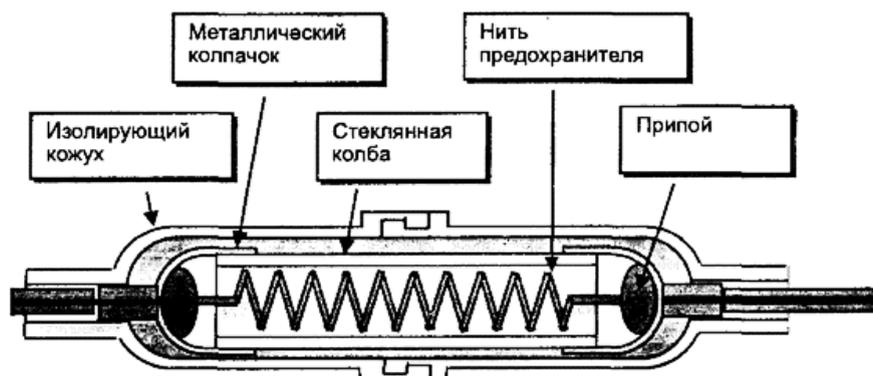


Рисунок 4.1 – Конструкция предохранителя

Многие предохранители имеют специальные устройства для гашения дуги, образующейся при расплавлении плавкой вставки. При увеличении тока в цепи до определенного значения плавкая вставка предохранителя нагревается до температуры плавления металла и расплавляется, отключая поврежденную цепь.

Полное время отключения цепи плавким предохранителем определяется продолжительность расплавления его плавкой вставки и продолжительностью гашения дуги.

Различают номинальный ток предохранителя и номинальный ток плавкой вставки.

Под номинальным током предохранителя понимают ток, на который рассчитан его токоведущие и контактные части.

Под номинальным током плавкой вставки понимают ток, на который рассчитана сама плавкая вставка. В один и тот же предохранитель обычно можно вставлять плавкие вставки на различные номинальные токи, но не выше номинального тока предохранителя. При сколько угодно длительном протекании номинального тока плавкая вставка предохранителя не должна перегореть.

Плавкие вставки – основной элемент предохранителя – изготавливаются из меди, цинка, свинца, серебра и константана.

Цинк и свинец имеют низкую температуру плавления (соответственно 419 °С и 327 °С). Цинк устойчив к коррозии, поэтому сечение плавких вставок не меняются во время эксплуатации, характеристика остается постоянной.

Цинк и свинец имеют большие удельные сопротивления, поэтому изготовленные из них плавкие вставки имеют большое сечение.

Медь и серебро имеют малое удельное сопротивление, сечение вставки невелико, что обеспечивает их быстрое срабатывание. Такие вставки применяются в предохранителях с наполнителем, где очень важно уменьшить объем плавящегося металла. Для уменьшения окисления в процессе эксплуатации обычно применяют медные вставки.

Серебряные вставки не окисляются и их характеристики стабильны, но в виду большой стоимости такие вставки применяются лишь в особо ответственных случаях. Так как температура плавления меди 1080 °С, при пограничных токах температура всех элементов предохранителя становится очень большой. Чтобы обеспечить быстрое срабатывание предохранителя, не допуская высоких температур, используют так называемый металлургический эффект (растворение тугоплавких металлов в жидких, менее тугоплавких). Если на медную проволоку диаметром 0,26 мм напаять шарик из оловянно-свинцового сплава с температурой плавления 182 °С, то при температуре проволоки 650 °С она расплавится в течении 4 минут, а при температуре 350 °С в течение 40 минут.

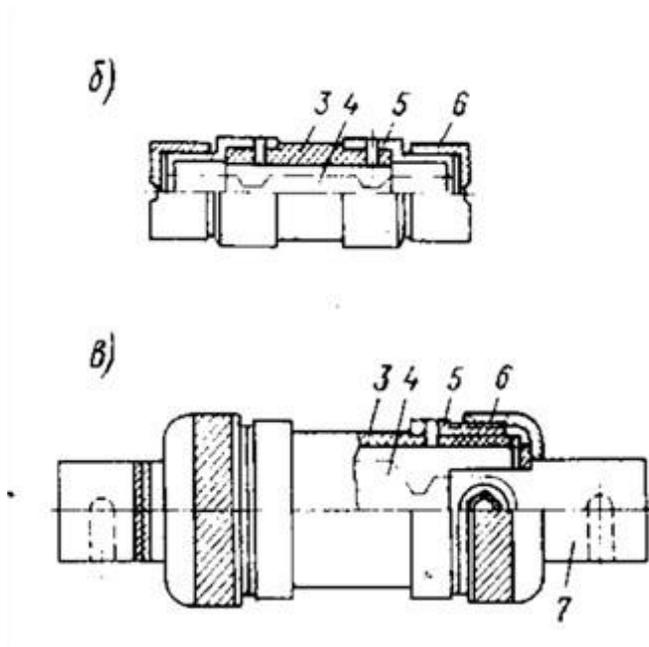
Обычно для создания металлургического эффекта на медных и серебряных вставках применяют чистое олово, обладающее более стабильными свойствами. В нормальном режиме работы оловянный шарик не влияет на работу предохранителя.

По конструкции предохранители разделяются на предохранители, работающие в установках до 1000 В и выше 1000В.

Достоинством плавких предохранителей является сравнительно небольшая стоимость, простота устройства и обслуживания, небольшие размеры.

Конструкция предохранителей до 1000 В. Предохранители с закрытыми разборными патронами без наполнителя типа ПР - 2.

Эти предохранители изготавливаются на 220 и 500 В и токи патронов 15 - 1000 А. Предельный ток отключения лежит в пределах 1200 - 2000 А (рисунок 4.2).



- б — патроны на номинальные токи 15—63 А ;  
 в — патроны на номинальные токи 100—1000 А;  
 1 - неподвижные контактные стойки;  
 2 - патрон;  
 3 - фибровая (газогенерирующая) трубка;  
 4 - плавкая вставка;  
 5 - латунная втулка;  
 б - латунные колпачки (подвижный контакт);  
 7 - контактный нож.

Рисунок 4.2 – Предохранители серии ПР-2

Патроны предохранителя ПР - 2 на токи 100 А и выше состоит из толстостенной фибровой трубки 1, на которой плотно насажены наружные втулки 3, предотвращающие разрыв трубки.

На втулке навинчиваются колпачки 4, которые закрепляют плавкую вставку 2, привинченную к ножам 6, до установки ее в патрон. Для предотвращения поворота ножей предусмотрена шайба 5, имеющая паз для ножа.

Патрон вставляется в неподвижные контактные стойки, укрепленные на изоляционной плите. Необходимое контактное нажатие обеспечивается кольцевой или пластинчатой пружиной.

Плавкие вставки изготавливаются из цинка в виде пластин с вырезами. На суженных участках выделяется больше тепла, чем на широких. При номинальном токе избыточное тепло благодаря теплопроводности цинка передается широким частям, поэтому вся вставка имеет примерно одинаковую температуру. После перегорания вставки возникает дуга, которая вызывает образование газов (50 % -  $\text{CO}_2$  , 40% -  $\text{H}_2$  , 10% паров  $\text{H}_2\text{O}$ ). Давление в зависимости от отключаемого тока может достигать 1000 Н/м<sup>2</sup> и более. Высокое давление способствует охлаждению, деионизации и гашению дуги.

При коротких замыканиях суженный участок вставки начинает плавиться прежде, ток к.з. достигает своего установившегося значения в цепи постоянного тока или ударного тока в цепи переменного тока. Величина к.з. в цепи при этом ограничивается в несколько раз. Такие предохранители называют токоограничивающими. Цепи, защищенные токоограничивающими предохранителями, не проверяются на термическое и динамическое действие токов к.з.

Когда суженные участки перегорают, широкие части вставки падают вниз, не плавясь и не засоряя объем трубки парами металла. Это улучшает условие гашения дуги.

Достоинством предохранителей ПР – 2 является простота их перезарядки. Недостаток - большие размеры, чем у насыпных предохранителей.

Насыпные предохранители типа ПН - 2 применяются для защиты силовых цепей до 500 В переменного и 440 В постоянного тока и выполняются на номинальные токи 100 – 600 А (рисунок 4. 3).

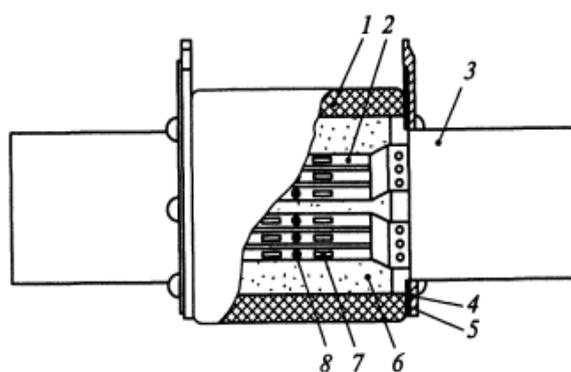


Рисунок 4.3 – Предохранитель типа ПН-2

Фарфоровая, квадратная снаружи и круглая внутри трубка 1 имеет четыре резьбовых отверстия для винтов с помощью которых крепится крышка 4 с уплотняющей прокладкой 5. Плавкая вставка 2 приварена электромагнитной точечной сваркой к шайбам врубных контактных ножей 3. Крышки с асбестовыми прокладками герметически закрывают трубку. Трубка заполнена сухим кварцевым песком 6.

Плавкая вставка выполнена из одной или нескольких медных ленточек толщиной 0.15 – 0.35 мм и шириной до 4 мм. На вставке сделаны прорези 7, уменьшающие сечение вставки в 2 раза. Для снижения температуры плавления вставки используется металлургический эффект. На полоски меди напаяны шарики олова 8. Температура плавления в этом случае не превышает 475 °С. дуга возникает в нескольких параллельных каналах (в соответствии с числом вставок), это обеспечивает наименьшее количество паров металла в канале между зернами кварца и наилучшие условия гашения дуги в узкой щели. Насыпные предохранители относятся к токоограничивающим.

Наполнителем в предохранителях ПН является чистый кварцевый песок (99 %  $\text{SiO}_2$  ). Размер зерен кварца должен быть 0.1-0.5 мм.

Вместо кварца может применяться мел ( $\text{CaCO}_3$ ), иногда его смешивают с асбестовым волокном. При гашении дуги мел разлагается с выделением углекислого газа  $\text{CO}_2$  и  $\text{CaO}$  – тугоплавкого материала.

Предохранители НПН подобны ПН, но имеют неразборный патрон без

контактных ножей и рассчитываются на токи 60 А.

Предохранители ПД и ПДС применяются в цепях переменного тока до 380 В и постоянного тока до 350 В и рассчитываются на токи до 600 А (рисунок 4. 4).

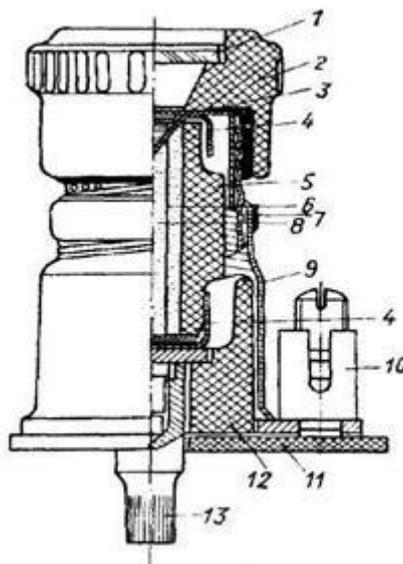


Рисунок 4.4 – Предохранитель типа ПД и ПДС

Это резьбовые предохранители предназначенные для защиты двигателей. Они имеют сменную вставку, укрепленную в фарфоровом цилиндре с наполнителем. Замена вставки возможна после отвинчивания фарфоровой головки. Предохранитель имеет указатель срабатывания, наблюдения за которым можно вести через застекленное отверстие в головке.

Предохранители выше 1000 в.

Предохранителями с мелкозернистым (кварцевым) наполнителем выпускаются и на напряжение 3, 6, 10, 35 кВ и номинальные токи 400, 300, 200 А. Они обладают токоограничивающим эффектом, полное время отключения при токах короткого замыкания 0,005 – 0,007 с.

Для установок высокого напряжения изготавливаются кварцевые предохранители типов ПК и ПКТ. Предохранители типа ПК предназначены для

защиты силовых цепей напряжением до 35 кВ. Предельная мощность отключения их 300000 кВА. Предохранители типа ПКТ предназначены для защиты трансформаторов напряжения ниже 35 кВ. Предельная мощность отключения порядка 1млн кВА (рисунок 4.5)

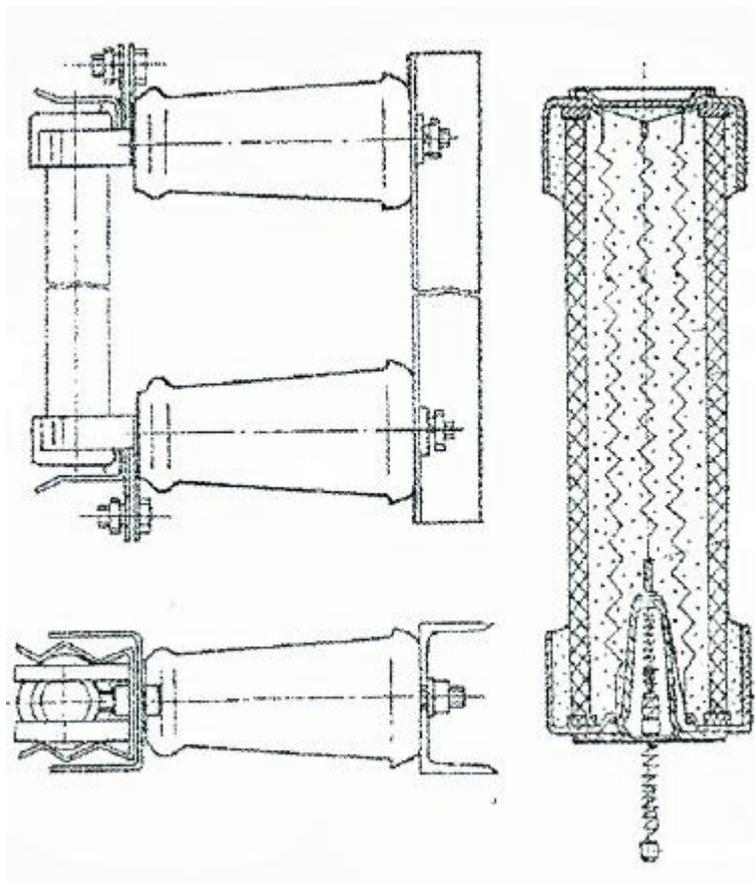


Рисунок 4.5 – Предохранитель типа ПКТ

Патрон предохранителя ПК представляет собой фарфоровую трубку армированную по концам латунными колпачками. Внутри патрона размещены медные или серебряные плавкие вставки.

В предохранителях на токи до 7.5 А проволоки намотаны на ребристый керамический сердечник, при больших токах они располагаются в виде свободных спиралей. Патрон с плавкой вставкой засыпан кварцевым песком, закрыт с торцов крышками и запаян.

Предохранители типа ПК имеют на нижней крышке патрона указатели

срабатывания.

Предохранители типа ПКТ применяются в цепях с трансформаторами напряжения. Плавкие вставки выполняются из одной константановой проволоки, намотанной на керамический сердечник.

Проволока вставки имеет три различных сечения по длине, что позволяет ограничивать перенапряжения при перегорании предохранителя.

Благодаря малому сечению плавкой вставки предохранители ПКТ создают значительный токоограничивающий эффект. Они устанавливаются в сети, где мощность короткого замыкания достигает 1000 МВ А, а для некоторых типов ПКТУ (усиленный) отключающая мощность не ограничивается. Предохранители типа ПКТ не имеют указатель срабатывания, о перегорании судят по показаниям приборов, включенных во вторичную цепь трансформаторов напряжения.

Предохранители с автогазовым гашением дуги выполняются на напряжение 10 кВ и выше (рисунок 4.5).

Для открытых распределительных устройств применяются стреляющие предохранители типа ПСН (рисунок 4.6).

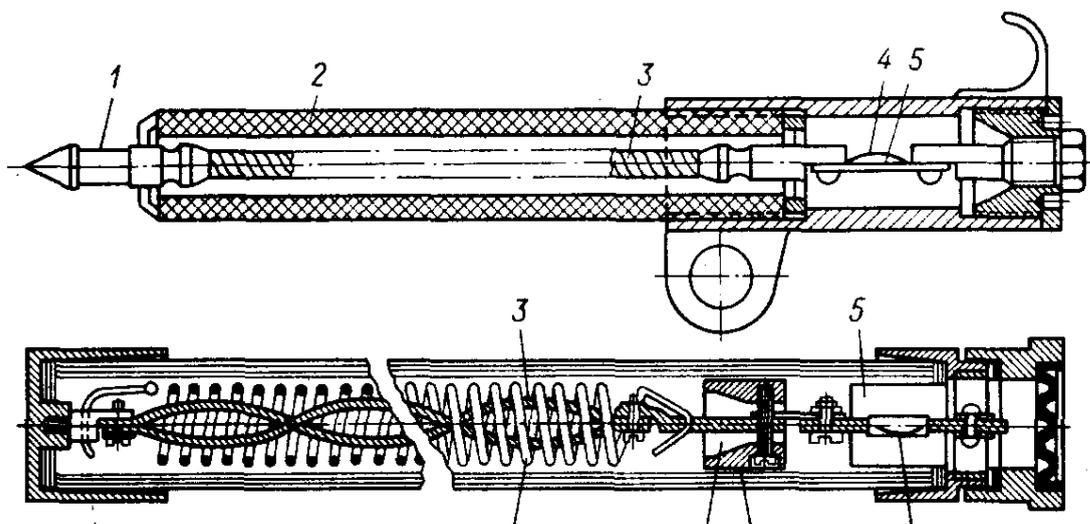


Рисунок 4.6 – Предохранитель типа ПСН

Основной частью предохранителя является газогенерирующая трубка 2

внутри которой расположен гибкий проводник 3, соединенный с плавкой вставкой 4 и контактными наконечником 1.

Параллельно медной плавкой вставке расположена стальная 5, воспринимающая усилие пружины, стремящейся вытащить гибкий проводник. Головка патрона предохранителя зажата специальным держателем на изоляторе 2. На нижнем изоляторе на оси 4 укреплен контактный нож 5 со спиральной пружиной, которая стремится вернуть нож в положение 5. Нож охватывает шейку контактного наконечника 6.

При коротком замыкании сначала расплавляется медная, а затем стальная вставка. Под действием пружины нож 5 поворачивается и выбрасывает гибкий проводник.

Дуга, образовавшаяся после расплавления вставок, затягивается в трубку. Давление в трубке достигает  $1000 - 2000 \text{ Н/м}^2$ , создается продольное автодутие.

Гашение сопровождается выбросом раскаленных газов и мощным звуковым эффектом выстрелом.

Ограничители ударного тока.

Ограничители ударного тока - это сверхбыстродействующие - коммутационные аппараты взрывного действия на большие номинальные токи (рисунок 4.7).

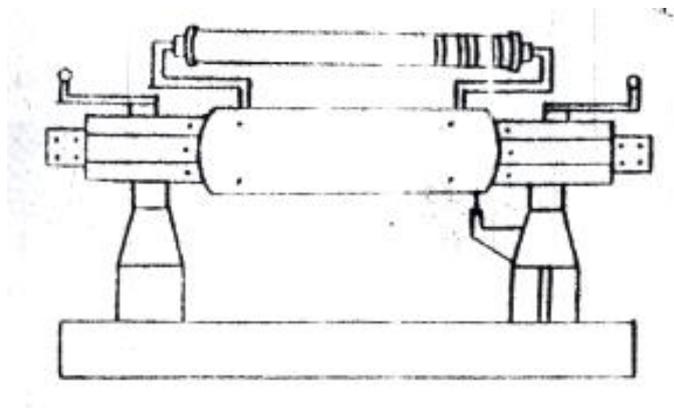


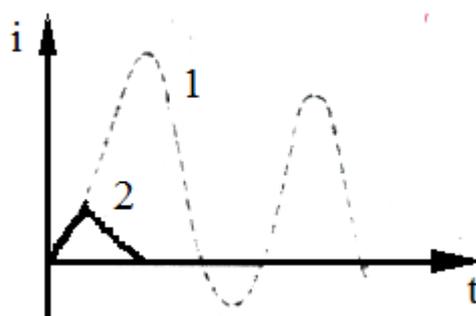
Рисунок 4.7 – Конструкция ОУТ

Ограничитель состоит из основания, изоляторов, коммутационного

элемента и шунтирующего его предохранителя специальной конструкции. Коммутационный элемент в свою очередь состоит из патрона, внутри которого помещается токонесущий проводник большого сечения с вмонтированным в него пиропатроном. Поджиг пиропатрона осуществляется от разрядного устройства, находящегося вне коммутационного элемента и связанного с пиропатроном через разделительный импульсный трансформатор, смонтированный в теле изолятора. Управление разрядным устройства осуществляется от блока управления, реагирующего на производную изменения тока в защищаемой цепи.

Датчиком тока служат трансформатор тока специальной конструкции.

Полное время отключения цепи ограничителем не превышает 5 мс. Изменение тока в цепи с ограничителем показано на (рисунок 4.8).



1 – без ограничителя,  
2 – с ограничителем

Рисунок 4.8 – Изменение тока в цепи с ограничителем

## Список использованных источников

1 Трухний, А. Д. Основы современной энергетики : курс лекций для менеджеров энергет. компаний: в 2 ч. / под ред. Е. В. Аметистова . - М. : МЭИ, 2002-2003.. - ISBN 5-7046-0889-2

2 Правила устройства электроустановок / М-во энергетики Рос. Федерации.- Утв. приказом Минэнерго России от 09.03.03. №150.- 7-е изд. - М. : ЭНАС, 2003-2004

3 Правила устройства электроустановок : Разд. 1. Общие правила. Гл. 1.8 Нормы приемо-сдаточных испытаний / М-во энергетики Рос. Федерации . - 7-е изд. - М. : ЭНАС. - 2004. - 88 с. - ISBN 5-93196-417-7.

4 Неклепаев, Б. Н., Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учебное пособие для вузов по специальности "Электрические станции" / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков.- 4-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергоатомиздат, 1989. - 608 с. : ил. - Библиогр. : с. 604-605. - ISBN 5-283-01086-4.

5 Крючков, И. П., Электрическая часть электростанций и подстанций: справ. материалы для курсового и диплом. проектирования: учеб. пособие для вузов / И. П. Крючков, Н. Н. Кувшинский, Б. Н. Неклепаев.- 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергия, 1978. - 456 с. : ил. - Библиогр.: с. 454-455.

6 Рожкова, Л. Д., Электрооборудование электрических станций и подстанций: учеб. для сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова.- 5-е изд., стер. - М. : Академия, 2008. - 448 с. - (Среднее профессиональное образование). - Прил.: с. 439-441. - Библиогр.: с. 442-445. - ISBN 978-5-7695-5063-8.

7 Быстрицкий, Г. Ф., Основы энергетики: учеб. для вузов / Г. Ф. Быстрицкий. - М. : ИНФРА-М, 2006. - 278 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 272-273. - ISBN 5-16-002223-6.