

А. Е. НЕМИРОВСКИЙ, И. Ю. СЕРГИЕВСКАЯ,  
Л. Ю. КРЕПЫШЕВА

# ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ



**УДК 621.311(075.8)**  
**ББК 31.277.1я73**  
**Н 50**

ФЗ №436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11
---------------	---

***Рецензенты:***

главный инженер Производственного отделения  
«Вологодские электрические сети» филиала ПАО «МРСК Северо-Запада»  
«Вологдаэнерго» *Ю. П. Циберный*,  
Заведующий кафедрой электрооборудования  
Липецкого государственного технического университета,  
доктор технических наук, профессор *А. Н. Шпиганович*

**Немировский А. Е.**

**Н 50** Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций:  
учебное пособие / А. Е. Немировский, И. Ю. Сергиевская,  
Л. Ю. Крепышева. – 2-е изд. доп., – М.: Инфра-Инженерия, 2018. – 148с.  
ISBN 978-5-9729-0207-1

Рассмотрены основные вопросы электрических сетей, станций и подстанций. Дается характеристика воздушных и кабельных линий, электропроводок и токопроводов; силовых трансформаторов и автотрансформаторов, условия их выбора; электрических аппаратов станций и подстанций напряжением до и выше 1 кВ; распределительных и трансформаторных подстанций; схемы электрических соединений в системе электроснабжения, а также схемы электрических соединений станций и подстанций.

Учебное пособие предназначается для студентов, обучающихся по направлениям 13.03.02, 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» и других направлений.

**УДК 621.311(075.8)**  
**ББК 31.277.1я73**

© Немировский А. Е., Сергиевская И. Ю., Крепышева Л. Ю., авторы, 2018  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2018

ISBN 978-5-9729-0207-1

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>1. КАНАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ</b> .....	6
1.1. Воздушные линии электропередач .....	6
1.2. Кабельные линии электропередач .....	12
1.3. Выбор сечения воздушных и кабельных линий .....	19
1.4. Электропроводки .....	19
1.5. Токопроводы .....	21
<b>2. СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ И АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ</b> .....	24
2.1. Типы трансформаторов и их параметры .....	24
2.2. Схемы и группы соединений обмоток трансформаторов .....	27
2.3. Системы охлаждения силовых трансформаторов .....	28
2.4. Особенности конструкции и режимы работы автотрансформаторов .....	30
2.5. Регулирование напряжения в трансформаторах и автотрансформаторах .....	32
2.6. Выбор силовых трансформаторов .....	33
<b>3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ</b> .....	35
3.1. Коммутационные аппараты напряжением до 1 кВ .....	35
3.1.1. Неавтоматические выключатели .....	35
3.1.2. Предохранители .....	36
3.1.3. Автоматические выключатели .....	37
3.1.4. Контактры и магнитные пускатели .....	40
3.2. Коммутационные аппараты напряжением выше 1 кВ .....	42
3.2.1. Разъединители, короткозамыкатели, отделители .....	42
3.2.2. Плавкие предохранители .....	45
3.2.3. Высоковольтные выключатели .....	46
3.2.4. Выбор высоковольтных выключателей .....	56
3.2.5. Разрядники .....	57
3.2.6. Ограничители перенапряжений .....	57
3.3. Измерительные трансформаторы тока .....	60
3.4. Измерительные трансформаторы напряжения .....	63
3.5. Выбор измерительных трансформаторов .....	66
3.5.1. Условия выбора трансформаторов тока .....	66
3.5.2. Условия выбора трансформаторов напряжения .....	68
3.6. Контрольно-измерительные приборы на станциях и подстанциях .....	68
<b>4. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ И ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ</b> .....	69
4.1. Комплектные распределительные устройства наружной и внутренней установки .....	69
4.1.1. Комплектные распределительные устройства наружной установки... ..	73
4.1.2. Комплектные распределительные устройства элегазовые (КРУЭ) .....	74

4.1.3. Комплектные распределительные устройства внутренней установки .....	76
4.2. Низковольтные комплектные устройства .....	77
4.2.1. Распределительные щиты .....	79
4.2.2. Распределительные шкафы и пункты .....	80
4.2.3. Выбор распределительных пунктов и шкафов .....	82
4.2.4. Щиты станций управления .....	83
4.3. Открытые распределительные устройства .....	83
4.4. Закрытые распределительные устройства .....	85
4.5. Комплектные трансформаторные подстанции .....	86
4.5.1. Классификация КТП .....	89
4.5.2. Конструкция КТП .....	89
4.5.3. КТП наружной установки. Столбовые КТП.....	90
4.5.4. КТП наружной установки. Мачтовые КТП .....	91
4.5.5. Мачтовые железнодорожные трансформаторные подстанции .....	93
4.5.6. КТП промышленных предприятий .....	95
4.5.7. КТП напряжением 35 – 110/ 6 – 10 кВ .....	97
4.5.8. КТП специального назначения .....	98
4.5.9. КТП проходного типа .....	100
<b>5. СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.....</b>	<b>102</b>
5.1. Схемы электрических соединений в системе электроснабжения .....	102
5.1.1. Схемы электрических сетей на стороне 6 – 10 кВ .....	102
5.1.2. Схемы городских распределительных сетей 6 – 10 кВ .....	104
5.2. Схемы электрических соединений станций и подстанций .....	105
5.2.1. Схемы электрических соединений на стороне 6 – 10 кВ .....	105
5.2.2. Схемы электрических соединений на стороне 35 кВ и выше .....	107
5.2.3. Схемы распределительных подстанций напряжением до и выше 1 кВ .....	111
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>113</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	<b>114</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А .....</b>	<b>115</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....</b>	<b>134</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В .....</b>	<b>137</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Раздел «Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций» является неотъемлемой составляющей, без которой невозможно полноценное изучение многих специальных дисциплин направлений 13.03.02 и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Основным назначением электрического оборудования является обеспечение надежной и безопасной работы всей энергосистемы. Условия выбора зависят от основных параметров электрооборудования, окружающей среды, температуры воздуха и т.д.

При разработке и эксплуатации электрических сетей выбирают параметры линий электропередач, оборудование и характеристики устройств релейной защиты и автоматики. Экономичность работы сетей характеризуют значения потерь активной и реактивной мощности в рассматриваемых режимах работы, а также значения потерь электроэнергии. В свою очередь, минимизация потерь мощности и электроэнергии зависит от рационального выбора трансформаторов, воздушных и кабельных линий и прочих элементов электрооборудования подстанций и сетей.

На всех стадиях проектирования станций и подстанций важно правильно выбрать не только электрооборудование, но и схемы электрических соединений. Для этого необходимо учесть следующие факторы: назначение подстанции, температуру среды, скорость ветра, диапазон напряжений, вид распределительного устройства и другие параметры.

Знание вышеупомянутых вопросов позволяет перейти к изучению специальных дисциплин по электроснабжению, релейной защите, монтажу и эксплуатации электроустановок, технике высоких напряжений и т.д. Именно этим руководствовались авторы при написании данного учебного пособия.

Учебное пособие предназначено для дисциплин Б1.В.ОД.9 «Электрооборудование источников энергии, электрических сетей и промышленных предприятий», Б1.Б5 «Электрооборудование подстанций» согласно Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования для направлений подготовки бакалавров и магистров 13.03.02, 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника, а также при изучении других дисциплин студентами указанных направлений.

Учебное пособие состоит из пяти разделов: канализация электрической энергии, силовые трансформаторы и автотрансформаторы, электрические аппараты станций и подстанций, распределительные и трансформаторные подстанции, схемы электрических соединений.

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам рукописи главному инженеру Производственного отделения «Вологодские электрические сети» филиала ПАО «МРСК Северо-Запада» «Вологдаэнерго» Циберному Ю.П. и заведующему кафедрой электрооборудования Липецкого государственного технического университета, доктору технических наук, профессору Шпигановичу А.Н.

*Отзывы и предложения просим направлять по адресу:  
160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15, ВоГУ, кафедра электрооборудования.*

# 1. КАНАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Электрической сетью называется совокупность электроустановок для передачи и распределения электроэнергии на определенной территории, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, аппаратуры защиты и управления.

Канализация электроэнергии в системах электроснабжения осуществляется: воздушными линиями, кабельными линиями, токопроводами, электропроводками.

## 1.1. Воздушные линии

Воздушные линии – устройства для передачи и распределения электроэнергии по проводам, расположенные на открытом воздухе и прикрепленные при помощи изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам, стойкам на зданиях и инженерных сооружениях (мостах, путепроводах, эстакадах и т.п.).

Основными элементами воздушных линий напряжением до и выше 1 кВ являются провода, изоляторы, линейная арматура, опоры и фундаменты.

По количеству цепей ВЛ делят на одно-, двух- и многоцепные. Количество цепей определяется схемой электроснабжения и необходимостью ее резервирования. Если по схеме электроснабжения требуются две цепи, то эти цепи могут быть подвешены на двух отдельных одноцепных ВЛ с одноцепными опорами или на одной двухцепной ВЛ с двухцепными опорами. Расстояние между соседними опорами называется пролетом.

Для воздушных линий напряжением до 1 кВ могут применяться следующие виды опор:

1. Промежуточные опоры, устанавливаемые на прямых участках трассы ВЛ.
2. Анкерные опоры, устанавливаемые на пересечениях с различными сооружениями, а также в местах изменения количества, марок и сечений проводов.
3. Угловые опоры, устанавливаемые в местах изменения направления трассы ВЛ.
4. Концевые опоры, устанавливаемые в начале и конце ВЛ, а также в местах, ограничивающих кабельные вставки.
5. Ответвительные опоры, на которых выполняются ответвления от ВЛ.
6. Перекрестные опоры, на которых выполняется пересечение ВЛ двух направлений.

Опоры ВЛ напряжением выше 1 кВ разделяются на два основных типа: анкерные опоры и промежуточные.

По роду материала различают деревянные, стальные и железобетонные опоры.

Деревянные опоры применяются в странах, располагающих лесными запасами. Достоинствами дерева как материала для опор являются: небольшой удельный вес, высокая механическая прочность, хорошие электроизоляционные свойства, природный круглый сортамент, обеспечивающий простые конструкции. Недостатком древесины является ее гниение, для уменьшения которого применяют антисептики.

Для ВЛ напряжением 20 и 35 кВ целесообразно применять одноствоечные «свечеобразные» опоры с треугольным расположением проводов. Стойку опоры выполняют составной: верхнюю часть (собственно стойку) – из бревен, а нижнюю часть (так называемый "пасынок") – из железобетона сечением 20 × 20 см. Составные опоры с железобетонным пасынком сочетают в себе преимущества железобетонных и деревянных опор: грозоустойчивость и сопротивляемость гниению в месте касания с грунтом.

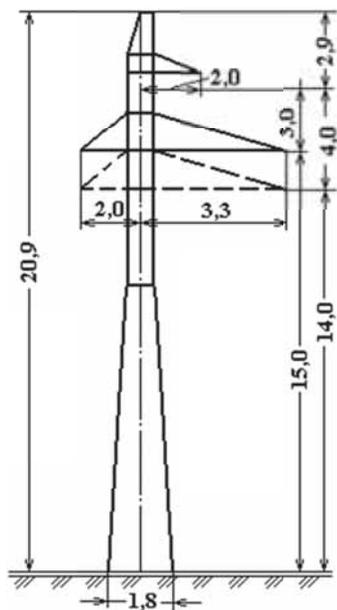


Рис. 1.1 – Конструкция стальной одноцепной промежуточной опоры напряжением 35 кВ

Железобетонные опоры по сравнению с металлическими более долговечны и экономичны в эксплуатации, так как требуют меньше ухода и ремонта. Основное преимущество – уменьшение расхода стали на 40 – 75%, недостаток – большая масса.

По способу изготовления железобетонные опоры делят на: а) бетонированные на месте установки (большая часть таких опор применяют за рубежом); б) заводского изготовления.

Стальные опоры широко применяют на ВЛ напряжением 35 кВ и выше. По конструктивному исполнению стальные опоры могут быть двух видов: а) башенные или одноствоечные; б) порталные.

Достоинством стальных опор является их высокая прочность, недостатком – подверженность коррозии, что требует при эксплуатации проведения периодической окраски или нанесения антикоррозийного покрытия.

Конструкция стальной одноцепной промежуточной опоры напряжением 35 кВ представлена на рис. 1.1 (размеры приведены в метрах).

Провода воздушных линий выполняют неизолированными, состоящими из одной или нескольких свитых проволок. Провода из одной проволоки, называемые однопроволочными, имеют меньшую прочность и применяют только на ВЛ напряжением до 1 кВ.

Многопроволочные провода, свитые из нескольких проволок, применяют на ВЛ всех напряжений.

Материалы проводов и тросов должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- 1) иметь высокую электрическую проводимость (наибольшую имеет медь, затем бронза и алюминий, сталь имеет более низкую электрическую проводимость);
- 2) обладать достаточной прочностью; стальная проволока имеет предел прочности 65–70 (до 120), медная – 39, алюминиевая – 15–16 кг/мм<sup>2</sup>;
- 3) выдерживать атмосферные воздействия (в этом отношении наибольшей стойкостью обладают медные и бронзовые провода; провода из алюминия подвержены коррозии, особенно на морских побережьях, где в воздухе содержатся соли; стальные провода разрушаются даже в нормальных атмосферных условиях, поэтому их оцинковывают).

Медь как материал для проводов ВЛ является дорогим и дефицитным материалом, поэтому основными материалами, используемыми для изготовления проводов, можно считать алюминий, сталь и их сплавы.

Желание повысить механическую прочность привело к изготовлению алюминиевых проводов со стальным сердечником, называемых сталеалюминиевыми. Сердечник провода выполняется из одной или нескольких свитых стальных оцинкованных проволок. Алюминиевые проволоки, покрывающие стальной сердечник одним, двумя или тремя повивами, являются токоведущей частью провода. Электропроводность стального сердечника мала и поэтому не учитывается.

Для ВЛ напряжением до 1 кВ применяют однопроволочные стальные провода диаметром не менее 4 и не более 5 мм. Ограничение нижнего предела обусловлено тем, что провода меньшего диаметра имеют недостаточную механическую прочность. Верхний предел ограничен из-за того, что изгибы однопроволочного провода большего диаметра могут вызвать в его внешних слоях такие остаточные деформации, которые снижают его механическую прочность.

Многопроволочные провода, скрученные из нескольких проволок, обладают большой гибкостью, такие провода могут выполняться любым сечением. Диаметры отдельных проволок и их количество подбирают так, чтобы сумма поперечных сечений отдельных проволок дала требуемое общее сечение провода. Как правило, многопроволочные провода изготавливают из круглых проволок, причем в центре помещаются одна или несколько проволок одинакового диаметра.

Провода и тросы изготавливают следующих марок: **А** – из алюминиевых проволок марки **АТ** (твердой неотожженной) или **АМ** (отожженной мягкой) сплавов **АН**, **АЖ**; **АС**, **АСКС** – из стального сердечника и алюминиевых проволок; **ПС** – из стальных проволок; **ПСТ** – из стальной оцинкованной проволоки.

Сталеалюминевые провода изготавливаются следующих марок: АС; АСО (облегченной конструкции); АСУ (усиленной конструкции). Наиболее целесообразно применение проводов АСО.

Например, А-50 обозначает: алюминиевый провод, сечение которого равно 50 мм<sup>2</sup>.

Номинальным сечением называется округленная величина фактического сечения провода.

Принята следующая шкала номинальных сечений неизолированных проводов: 4, 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 185, 240, 300, 400, 500, 600, 700 мм<sup>2</sup>.

Для ЛЭП напряжением 110 кВ и выше минимальное сечение проводов по механической прочности – 70 мм<sup>2</sup>.

Изоляторы изготавливаются из фарфора или закаленного стекла, т.е. из материалов высокой механической прочности и стойкости к атмосферным воздействиям. Изоляторы бывают двух типов: штыревые – для линий до 1 кВ и 6 – 35 кВ (на линиях 35 кВ они применяются редко – только для малых сечений: ШС-6, ШС-10, Ш-20, ШД-35); подвесные – для линий 35 кВ и выше (ПФ, ПС).

Число изоляторов в гирлянде зависит от напряжения ЛЭП, материала опор и типа изоляторов (табл.1.1). На деревянных и железобетонных опорах при напряжении 35 кВ берутся два подвесных изолятора в гирлянде, при напряжении 110 кВ – шесть изоляторов, при напряжении 220 кВ – двенадцать изоляторов. На металлических опорах берется на один – два изолятора больше.

Т а б л и ц а 1.1

**Число изоляторов в поддерживающих гирляндах на металлических и железобетонных опорах**

Тип изолятора	При напряжении, U, кВ				
	35	110	220	330	500
ПФК-Б	3	7	14	20	-
ПФ16-А	-	6	11	17	23
ПФ20-А	-	-	10	14	20
ПС 6-А	3	8	14	21	-
ПС 12-А	-	7	12	17	25
ПС 22-А	-	-	10	15	21

К линейной арматуре относятся все приспособления и детали, служащие для монтажа проводов электрической сети на изоляторах. В зависимости от назначения линейная арматура делится на: поддерживающую, натяжную, сцепную, соединительную.

Поддерживающая арматура служит для крепления проводов и защитных тросов на промежуточных опорах.

На линиях напряжением 6–10 кВ провода закрепляются на штыревых изоляторах (рис. 1.2, 1.4) при помощи вязальной проволоки.

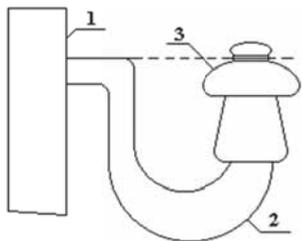


Рис. 1.2 – Конструкция штыревого изолятора на крюке для линии напряжением 10 кВ

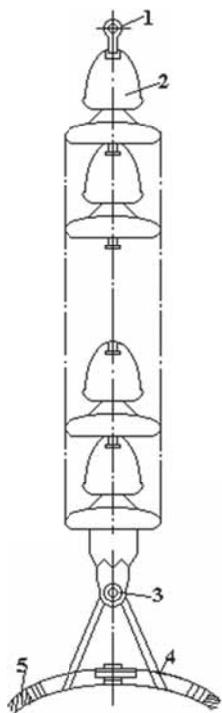


Рис. 1.3 – Конструкция поддерживающей гирлянды изоляторов:  
1 – серьга; 2 – изолятор;  
3 – ушко;  
4 – поддерживающий зажим; 5 – провод

Изоляторы 3 крепятся к опоре 1 посредством крюков 2, изготавливаемых из угловой стали. В связи с малой механической прочностью крюков они используются для монтажа проводов небольшого сечения. При монтаже линий из проводов больших сечений штыревые изоляторы крепятся на штырях, которые устанавливаются на траверсах.

Крепление проводов на промежуточных опорах линий с напряжением 35 кВ и выше осуществляется при помощи гирлянд, собранных из подвесных изоляторов (рис.1.3). Провод 5 в этом случае закрепляется в поддерживающем зажиме 4, который соединяется с нижним изолятором гирлянды. Для крепления проводов применяются три типа поддерживающих зажимов: глухие, выпускающие и скользящие. В глухом зажиме провод закрепляется достаточно прочно, т.к. его проскальзывание исключается.

Натяжные гирлянды находятся в более тяжелых условиях, чем поддерживающие. Поэтому на линиях до 110 кВ (при относительно небольшом числе изоляторов) число изоляторов в натяжных гирляндах применяют на один больше.

В условиях эксплуатации на линии могут возникнуть односторонние тяжения проводов. Такие тяжения, в частности, возникают при обрыве проводов в одном из пролетов линии. В случае применения глухих поддерживавших зажимов при этом возникают значительные усилия, которые действуют на промежуточные опоры линии. Для уменьшения этих усилий применяются выпускающие зажимы. При отклонении гирлянды изоляторов под действием одностороннего тяжения на угол около  $40^\circ$  выпускающий зажим освобождает провод. Благодаря этому усилие, возникающее при одностороннем тяжении резко уменьшается. При обрыве проводов крупных сечений, в случае применения выпускающих зажимов, провод на большой длине линии падает на землю, это может привести к повреждению провода и затрудняет восстановление линии. Этот недостаток исключается в случае применения скользящих зажимов. В таком зажиме провод не закрепляется и при одностороннем тяжении свободно проскальзывает, не падая на землю.



*Рис. 1.4 – Штыревой изолятор напряжением до 1 кВ*

Сцепная арматура (серьги, ушки, скобы, коромысла, промежуточные звенья) применяется для соединения подвесных изоляторов в гирлянды и для крепления защитных тросов к траверсам опор.

Серьги предназначены для непосредственного сопряжения шапки подвесного изолятора с деталью крепления гирлянды изоляторов.

Ушки предназначены для сопряжения стержня подвесного изолятора с последующей деталью гирлянды изоляторов.

Скобы предназначены для сопряжения различных видов арматуры между собой с целью изменения типа сопряжения или разворота сопрягаемых деталей на  $90^\circ$ .

Промежуточные звенья предназначены для комплектования гирлянд изоляторов с целью изменения типа сопряжения, перехода от одного типа арматуры к другому, разворота сопрягаемых деталей на  $90^\circ$ , а также удлинения и регулирования длины гирлянд изоляторов.

Коромысла предназначены для равномерного распределения нагрузки между параллельными цепями двухцепных или многоцепных гирлянд изоляторов.

Натяжная арматура применяется для крепления проводов к натяжным гирляндам изоляторов на анкерных опорах. Натяжные зажимы выпускаются клиновые, болтовые, прессуемые.

Соединительная арматура служит для соединения концов и защитных тросов. Для проводов небольших сечений применяются соединительные зажимы с обжатием.

На линиях с деревянными опорами и повышенной грозоупорностью число изоляторов применяется на один меньше.

Гололед, ветер, гроза, «пляска», вибрация, загнивание, возгорание деревянных опор и др. причины могут вызвать аварию воздушных линий и прекращение подачи энергии потребителю. Для предотвращения этих нежелательных явлений применяют специальные средства: гасители вибраций, грозозащитные заземляемые тросы и др. Тросы защищают линию от прямых ударов молнии. Если удар молнии произошел вблизи линии, то напряжение на линии может повыситься и пробить изоляцию. Одновременно трос снижает влияние линии на провода связи. Магнитное поле линии наводит ЭДС в тросах и линиях связи. Эта ЭДС создает ток в тросах, который ослабляет магнитное поле, а следовательно, ослабляет влияние на линии связи. Трос является как бы экраном.

## 1.2. Кабельные линии

Кабельные линии – устройства для передачи электроэнергии, состоящие из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями (рис. 1.5).



*Рис. 1.5 – Кабельные линии*

Кабели по признакам материала проводящих жил передаваемой энергии или информации делят на две группы:

- электрические кабели с металлическими жилами;
- кабели с оптическими волокнами.

Кабели с оптическими волокнами могут иметь и дополнительные металлические токопроводящие жилы.

Электрические кабели с металлическими жилами классифицируются по порядку передаваемой через кабели мощности, величине напряжения, типу изоляции, назначению и т.п. В соответствии с этим различают:

- силовые кабели низкого, среднего и высокого напряжения;
- силовые гибкие кабели;
- кабели управления;
- контрольные кабели;
- низковольтные провода и шнуры;
- кабели и провода связи;
- радиочастотные кабели;
- специальные кабели и др.

Кабели, предназначенные для передачи электрической энергии, используемой для питания силовых и осветительных установок, называются **силовыми**. Кабели, предназначенные для присоединения к приборам и аппаратам распределительных устройств, называются **контрольными**.

По типу изоляции силовых кабелей различают:

- силовые кабели с бумажной изоляцией, в том числе пропитанные и маслонаполненные;
- силовые кабели с резиной или поливинилхлоридной изоляцией;
- силовые кабели с пластмассовой изоляцией.

По величине линейного рабочего напряжения силовые кабели подразделяются на:

- кабели на напряжение 1 ... 10 кВ;
- кабели на напряжение 20 ... 35 кВ;
- кабели на напряжение 110 кВ и выше.

Силовые кабели состоят из одной, трех или четырех одно- или многопроволочных медных или алюминиевых жил, изолированных друг от друга и окружающей среды бумажно-пропитанной, резиновой или пластмассовой изоляцией, герметизированных свинцовыми, алюминиевыми, пластмассовыми или резиновыми оболочками и защищенных, как правило, броней из стальных лент или оцинкованной стальной проволоки, а также защитными антикоррозийными покровами.

Системы изоляции жил кабелей изготавливаются из бумажных лент, пропитанных маслоканифольным составом, из поливинилхлоридного пластика, полиэтилена, резины.

Силовые кабели с алюминиевыми или медными жилами с бумажной изоляцией, пропитанной маслоканифольными составами, в алюминиевой или свинцовой оболочке с защитными покровами или без них предназначены для передачи и распределения электроэнергии в стационарных электрических сетях на переменные напряжения 1, 3, 6 и 10 кВ, а также в сетях постоянного тока. Такие кабели называют кабелями с поясной изоляцией (рис. 1.6).

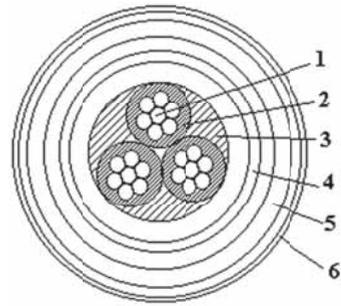
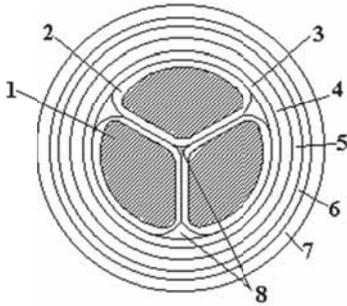


Рис. 1.6 – Кабель с бумажной пропитанной изоляцией напряжением 1 – 10 кВ:

- 1 – медная или алюминиевая токопроводящая жила; 2 – изоляция жил (фазная изоляция);
- 3- поясная изоляция; 4 – свинцовая или алюминиевая оболочка;
- 5 – подушка под броней; 6 – броня;
- 7 – защитные покровы; 8 – заполнение

Рис. 1.7 – Конструкция трехжильного силового кабеля с резиновой изоляцией на напряжение 0,66 кВ:

- 1 – токопроводящие жилы;
- 2 – резиновая изоляция жил;
- 3- заполнение резиновыми жгутами;
- 4 – поливинилхлоридная оболочка;
- 5 – броня; 6 – защитные покровы

Силовые кабели с резиновой изоляцией токопроводящих жил (рис.1.7) предназначены для передачи и распределения электроэнергии на переменном и постоянном напряжении. Кабели с резиновой изоляцией жил используются для прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней. Оболочки кабелей изготавливают из маслостойкой, не распространяющей горение резины, поливинилхлоридного (ПВХ) пластика или свинца. Некоторые марки кабелей выполняют бронированными. Кабели эксплуатируются при температуре окружающей среды от  $-40$  до  $+50$  °С.

Кабели силовые, с изоляцией из сшитого полиэтилена (рис. 1.8), предназначены для передачи и распределения электроэнергии в стационарных установках на номинальное переменное напряжение 1,0 кВ частотой 50 Гц в сетях с изолированной или заземленной нейтралью (марки АПвББШв, АПвББШп, АПвВГ, ПвВГ, ПвББШв).

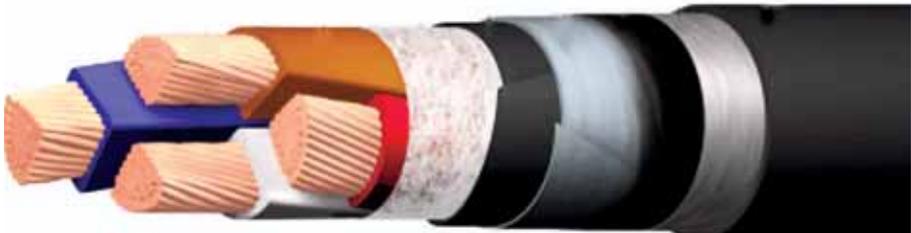


Рис. 1.8 – Силовой кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена

Силовые кабели с пластмассовой изоляцией предназначены для передачи и распределения электроэнергии в стационарных кабельных ЛЭП на номинальном переменном напряжении 0,66; 1; 3; 6; 10 и 110 кВ. Кабели используются и для устройства сетей постоянного напряжения, которое может превышать номинальное переменное напряжение кабеля не более чем в 2,5 раза. Диапазон температур окружающей среды при номинальной нагрузке кабелей от -50 до +50°С. Кабели выпускаются с алюминиевыми или медными жилами с пластмассовой изоляцией жил, в пластмассовой оболочке, с защитными волокнистыми покровами, броней, в стальной гофрированной оболочке, а также без защитных покровов и без брони.

Четырех- и пятижильные силовые кабели производят с жилами одинакового сечения или одна из жил может иметь уменьшенное сечение и использоваться как нулевая или заземляющая. Эти жилы имеют одинаковое с фазными жилами сечение для кабелей сечением до 120 мм<sup>2</sup> включительно.

Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией должны испытываться постоянным и переменным напряжением (с пластмассовой изоляцией только переменным), значения которого приведены в табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1.2

**Значения испытательных напряжений**

Номинальное напряжение кабеля, кВ	Кабели с резиновой изоляцией		Испытательное напряжение кабелей с пластмассовой изоляцией, кВ
	испытательное переменное напряжение, кВ	испытательное постоянное напряжение, кВ	
0,66	2,5	-	3
3	4	6	3,5
6	7	12	9,5
10	10	20	15

Буквенное обозначение определяет конструкцию кабелей, их брони, защитных оболочек и покрова (табл. 1.3). Кабели с алюминиевыми жилами обозначают буквой А. Наличие медных жил в маркировке кабеля не выделяется.

Т а б л и ц а 1.3

**Буквенные обозначения кабелей**

Буква, сочетание букв	Значение буквы или сочетания букв
1	2
А	Алюминиевая жила
АС	Алюминиевая жила и свинцовая оболочка
АА	Алюминиевая жила и алюминиевая оболочка
Б	Броня из двух стальных лент с антикоррозийным защитным покровом
Бн	То же, но с негорючим защитным покровом (не поддерживающим горение)
Г	Отсутствие защитных покровов поверх брони или оболочки