

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Казанский государственный
энергетический университет

Г.Ф.Быстрицкий
Н.В.Роженцова

**ВОЗДУШНЫЕ И КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Казань 2008

УДК

ББК

Быстрицкий Г.Ф., Роженцова Н.В.

Воздушные и кабельные линии электропередачи: Учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2008 г.

В пособии приведены классификация, конструкции и характеристики основных элементов воздушных и кабельных линий электропередачи на различные напряжения: провода, опоры, линейная арматура. Даны различные способы прокладки кабельных линий и другие сведения.

Для широкого круга инженеров и техников, занимающихся монтажом и эксплуатацией электрических сетей и для студентов энергетических и электротехнических специальностей.

Предисловие

Известно, что развитие промышленности, транспорта и других отраслей хозяйственной деятельности требует непрерывного роста производства электроэнергии и совершенствования ее передачи и распределения.

Можно сказать, что *электроэнергетическая (электрическая) система* – это совокупность электрических частей электростанций, электрических сетей и потребителей электроэнергии, связанных общностью режима и непрерывностью процесса производства, распределения и потребления электроэнергии.

Электрическая сеть – это совокупность электроустановок для распределения электрической энергии, состоящей из подстанций, распределительных устройств, воздушных и кабельных линий электропередачи. По электрической сети осуществляется распределение электроэнергии от электростанций к потребителям. *Линия электропередачи* – (воздушная и кабельная) – электроустановка, предназначенная для передачи электроэнергии.

Воздушные линии электропередачи (ВЛ) предназначены для передачи электроэнергии на расстояние по проводам. Основными конструктивными элементами ВЛ являются провода, опоры, изоляторы и линейная арматура.

Провода служат для передачи электроэнергии.

Опоры поддерживают провода и грозозащитные тросы на определенной высоте над уровнем земли или воды.

Изоляторы изолируют провода от опор.

С помощью *линейной арматуры* провода закрепляются на изоляторах, а изоляторы на опорах.

Силовые кабели состоят из одной или нескольких токопроводящих жил, отделенных друг от друга и от земли изоляцией. Поверх изоляции для ее предохранения от влаги, кислот и механических повреждений накладывают защитную оболочку и стальную ленточную броню с защитными покровами. Токопроводящие жилы, как правило, изготавливают из алюминия и меди, как однопроволочными, так и многопроволочными.

На переменном токе до 1 кВ применяют четырехжильные кабели; кабели в сетях переменного тока до 35 кВ как правило - трехжильные, кабели 110 кВ и выше – одножильные. На постоянном токе применяют одножильные и двухжильные кабели.

Представленный материал в пособии предназначен для для студентов электротехнических специальностей, инженеров и техников, занимающихся эксплуатацией и монтажом воздушных и кабельных линий электропередачи.

1. Воздушные линии

1.1. Общие сведения и определения

В общем случае можно считать, что линия электропередачи (ЛЭП) это – электрическая линия, выходящая за пределы электростанции или подстанции и предназначенная для передачи электрической энергии на расстояние; она состоит из проводов и кабелей, изолирующих элементов и несущих конструкций.

Современная классификация ЛЭП по ряду признаков представлена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Классификация линий электропередачи

Признак	Тип линии	Разновидность
Род тока	Постоянного тока	-
	Трехфазного переменного тока	-
	Многофазного переменного тока	Шестифазная Двенадцатифазная
Номинальное напряжение	Низковольтная (до 1 кВ)	-
	Высоковольтная (свыше 1 кВ)	СН (3 – 35 кВ)
		ВН (110 – 220 кВ)
		СВН (330 – 750 кВ) УВН (свыше 1000 кВ)
Конструктивное выполнение	Воздушная	-
	Кабельная	-
Число цепей	Одноцепная	-
	Двухцепная	-
	Многоцепная	-
Топологические характеристики	Радиальная	-
	Магистральная	-
	Ответвление	-
Функциональное назначение	Распределительная	-
	Питающая	-
	Межсистемная связь	-

В классификации на первом месте стоит **род тока**. В соответствии с этим признаком различаются линии постоянного тока, а также трехфазного и многофазного переменного тока. Линии *постоянного тока* конкурируют с остальными лишь при достаточно большой протяженности и передаваемой мощности, поскольку в общей стоимости электропередачи значительную долю составляют затраты на сооружение конечных преобразовательных подстанций.

Наибольшее распространение в мире получили линии *трехфазного переменного тока*, причем по протяженности среди них лидируют именно воз-

душные линии. Линии *многофазного переменного тока* (шести- и двенадцатифазные) в настоящее время относятся к категории нетрадиционных.

Наиболее важным признаком, определяющим различие конструктивных и электрических характеристик ЛЭП, является **номинальное напряжение** $U_{\text{ном}}$. К категории *низковольтных* относятся линии с номинальным напряжением менее 1 кВ. Линии с $U_{\text{ном}} > 1$ кВ принадлежат к разряду *высоковольтных*, и среди них выделяются линии *среднего напряжения* (СН) с $U_{\text{ном}} = 3 - 35$ кВ, *высокого напряжения* (ВН) с $U_{\text{ном}} = 110 - 220$ кВ, *сверхвысокого напряжения* (СВН) $U_{\text{ном}} = 330 - 750$ кВ и *ультравысокого* напряжения (УВН) с $U_{\text{ном}} > 1000$ кВ.

По **конструктивному исполнению** различают воздушные и кабельные линии. По определению *воздушная линия* – это линия электропередачи, провода которой поддерживаются над землей с помощью опор, изоляторов и арматуры. В свою очередь, *кабельная линия* определяется как линия электропередачи, выполненная одним или несколькими кабелями, уложенными непосредственно в землю или проложенными в кабельных сооружениях (коллекторах, туннелях, каналах, блоках и т.п.).

По **количеству параллельных цепей** ($n_{\text{ц}}$), прокладываемых по общей трассе, различают *одноцепные* ($n_{\text{ц}} = 1$), *двухцепные* ($n_{\text{ц}} = 2$) и *многоцепные* ($n_{\text{ц}} > 2$) линии. По ГОСТ 24291-90 одноцепная воздушная линия переменного тока определяется как линия, имеющая один комплект фазных проводов, а двухцепная ВЛ – два комплекта. Соответственно многоцепной ВЛ называется линия, имеющая более двух комплектов фазных проводов. Эти комплекты могут иметь одинаковые или различные номинальные напряжения. В последнем случае линия называется *комбинированной*.

Одноцепные воздушные линии сооружаются на одноцепных опорах, тогда как двухцепные могут сооружаться либо с подвеской каждой цепи на отдельных опорах, либо с их подвеской на общей (двухцепной) опоре. В последнем случае, очевидно, сокращается полоса отчуждения территории под трассу линии, но возрастают вертикальные габариты и масса опоры. Первое обстоятельство, как правило, является решающим, если линия проходит в густонаселенных районах, где обычно стоимость земли достаточно высока. По этой же причине в ряде стран мира используются и многоцепные опоры с подвеской цепей одного номинального напряжения (обычно с $n_{\text{ц}} = 4$) либо разных напряжения ($n_{\text{ц}} \leq 6$).

По **топологическим (схемным) характеристикам** различают радиальные и магистральные линии. *Радиальной* считается линия, в которую мощность поступает только с одной стороны, т.е. от единственного источника питания. *Магистральная* линия определяется ГОСТ как линия, от которой отходит несколько ответвлений. Под *ответвлением* понимается линия, присоединенная одним концом к другой ЛЭП в ее промежуточной точке.

Последний признак классификации – *функциональное назначение*. Здесь выделяются *распределительные* и *питающие* линии, а также линии межсис-

темной связи. Деление линий на распределительные и питающие достаточно условно, ибо и те, и другие служат для обеспечения электрической энергией пунктов потребления. Обычно к распределительным относят линии местных электрических сетей, а к питающим – линии сетей районного значения, которые осуществляют электроснабжение центров питания распределительных сетей. Линии межсистемной связи непосредственно соединяют разные энергосистемы и предназначены для взаимного обмена мощностью как в нормальных режимах, так и при авариях.

Процесс электрификации, создания и объединения энергосистем в Единую энергосистему сопровождался постепенным увеличением номинального напряжения ЛЭП с целью повышения их пропускной способности. В этом процессе на территории бывшего СССР исторически сложились две системы номинальных напряжений. Первая, наиболее распространенная, включает в себя следующий ряд значений $U_{\text{ном}}$: 35 – 110 – 200 – 500 – 1150 кВ, а вторая – 35 – 150 – 330 – 750 кВ. К моменту распада СССР на территории России находилось в эксплуатации более 600 тыс. км ВЛ 35 – 1150 кВ. В последующий период рост протяженности продолжался, хотя и менее интенсивно. Соответствующие данные представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Динамика изменения протяженности ВЛ за 1990 – 1999 гг.

$U_{\text{ном}}$, кВ	Протяженность ВЛ, тыс. км					
	1990 г.	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.	1999 г.
35	194,9	219,4	225,0	228,0	230,0	233,0
110	278,0	289,9	290,8	290,8	292,6	292,1
150	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
220	96,1	99,8	100,8	101,3	102,1	102,1
330	9,5	9,9	9,9	9,5	9,6	9,7
500	33,5	37,3	36,7	36,5	36,4	36,8
750	2,2	2,7	2,8	2,8	2,8	2,6
1150	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0
Всего	617,3	662,1	669,1	672,0	677,1	679,9

1.2. Основные характеристики и элементы воздушных линий электропередачи (ВЛ)

В «Правилах устройства электроустановок» (ПУЭ) говорится, что «воздушная линия – это устройство для передачи электрической энергии по проводам, расположенных на открытом воздухе и прикрепленных при помощи изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам инженерных сооружений».

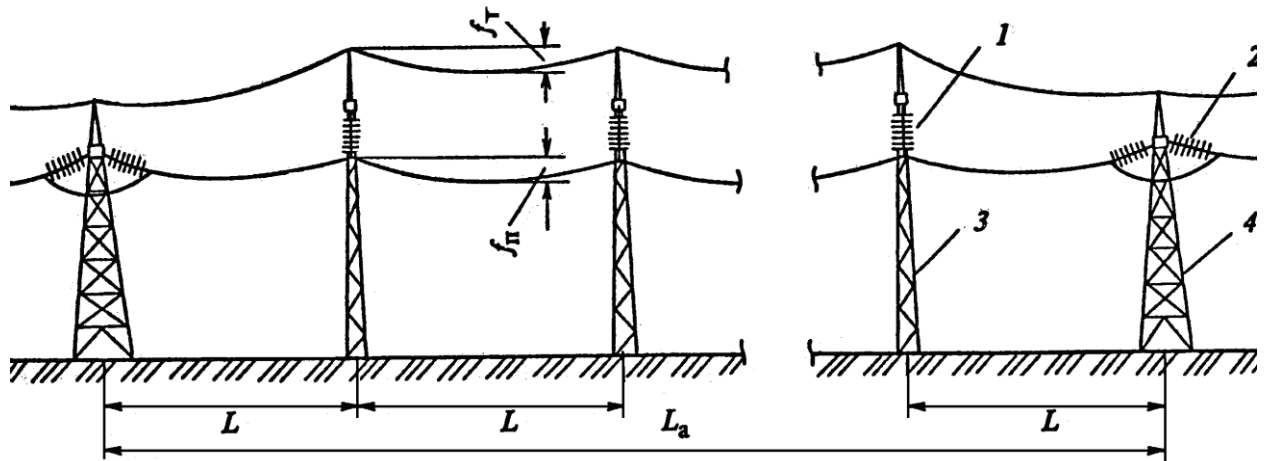


Рис. 1.1. Эскиз анкерного пролета ВЛ:

1 – поддерживающая гирлянда; 2 – натяжная гирлянда; 3 – промежуточная опора; 4 – анкерная опора

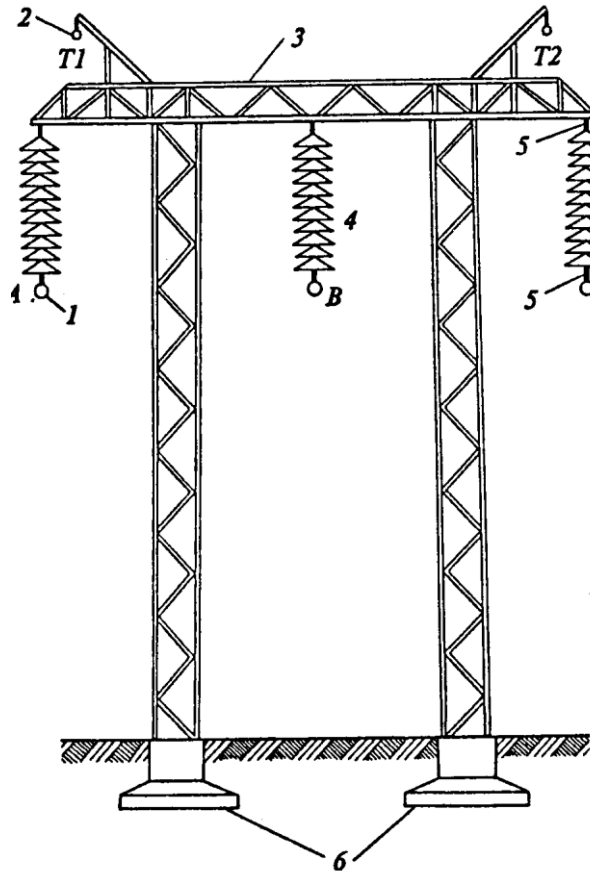


Рис. 1.2. Конструктивные элементы ВЛ:

1 – провода фаз линии (A, B, C); 2 – защитные тросы (T1, T2); 3 – опора;
4 – гирлянда изоляторов; 5 – элементы арматуры; 6 – фундаменты

На рис. 1.1 показан участок одноцепной воздушной линии между анкерными опорами с элементами ВЛ, а на рис. 1.2 – конструктивные элементы.

Естественно, главными элементами являются **провода** фаз линии А, В, С, непосредственно осуществляющие передачу электроэнергии. Для защиты проводов от прямых ударов молнии служат **тросы**, монтируемые в верхней части опор на тросостойках. **Опоры** предназначены для надежного поддержания проводов и тросов на определенной высоте над поверхностью земли как при нормальной эксплуатации линии, так и в различных аварийных ситуациях. Спектр конструкций опор из различных материалов достаточно разнообразен. **Изоляторы** должны обеспечить необходимый промежуток между находящимся под напряжением проводом и заземленным телом опоры. **Линейная арматура** – это комплекс устройств, с помощью которых провода соединяются, закрепляются на изоляторах, а изоляторы – на опорах. Наконец, **фундаменты** служат для обеспечения устойчивого положения опор в пространстве.

Крайние опоры (на рис. 1.1) называются *анкерными*, а расстояние L_a между ними по трассе – *анкерным пролетом*. Такие опоры, в отличие от расположенных между ними *промежуточных опор*, рассчитаны на противодействие значительным силам одностороннего тяжения по проводам, возникающим при их обрыве в примыкающем к анкерной опоре промежуточном пролете длиной L , а также при монтаже проводов и тросов. Провода на анкерных опорах жестко закрепляются на *натяжных гирляндах* изоляторов, а на промежуточных опорах – *поддерживающих гирляндах*, имеющих длину ℓ_r . Длина гирлянды тем больше, чем выше номинальное напряжение линии.

В промежуточном пролете провода и тросы провисают. Расстояние по вертикали между точкой подвеса на опоре и низшей точкой в пролете называется *стрелой провеса*. На рис. 1.1 стрела провеса провода обозначена f_p , а троса – f_t . Расстояние от низшей точки провода до земли, воды или пересекаемых объектов h_r , называется *габаритом* линии. Оно определяется в ПУЭ в зависимости от $U_{ном}$, характера местности и типа пересекаемого линией сооружения и для ВЛ с $U_{ном} \leq 500$ кВ, сооружаемых в ненаселенной местности, составляет 6 – 8 м.

Элементы ВЛ работают в сложных и разнообразных географических и климатических условиях, различающихся сезонными изменениями температуры и влажности воздуха, наличием в нем природных и промышленных загрязнений. Кроме того, они должны противостоять воздействию сил, основными из которых являются:

- вес всех элементов линии;
- вес гололедоизморозевых отложений на проводах, тросах и опорах;
- давление ветра на провода, тросы и опоры;
- тяжения по проводам и тросам.

Обусловленные массой конструктивных элементов линии силы, действующие на одну опору, могут достигать сотен тысяч ньютонов ($1 \text{ Н} = 0,102 \text{ кгс}$), и провода, тросы и опоры должны быть рассчитаны на такие нагрузки.

При определенных погодных условиях (обычно при температуре воздуха от -3 до -5°C и скорости ветра до 10 м/с) происходит образование ледяного покрова на проводах, тросах и опорах ВЛ с массой 900 кг/м³. Вес такого покрова, приходящийся на одну опору, может достигать тысяч ньютонов. Интенсивность гололедообразования неодинакова в различных регионах страны. Вся территория России делится на пять районов, различающихся возможной максимальной толщиной стенки гололеда. Карты районирования страны по гололедным условиям приводятся в ПУЭ. Данные табл. 1.3 характеризуют принцип такого районирования.

Аналогичным образом территория России делится на семь районов с различной максимальной скоростью ветра. Ветровые нагрузки (скоростной напор ветра) также должны восприниматься всеми конструктивными элементами ВЛ. Обычно считается, что давление ветра направлено параллельно поверхности земли и перпендикулярно продольной оси линии. Силы, обусловленные действием ветра, в расчете на одну опору могут достигать сотен тысяч ньютонов и обязательно учитываются при проектировании механической части ВЛ. В табл. 1.3 приведены характеристики указанных семи районов.

Из таблицы видно, что максимальная расчетная скорость ветра равна 45 м/с (VII район), что соответствует давлению 1250 Па (1 Па = $0,102$ кгс/м²). Отложения гололеда увеличивают площади поверхностей проводов и тросов, на которые оказывает давление ветер, что приводит к возрастанию горизонтальных нагрузок. Территория европейской части России в основном относится к II – III районам по гололеду и к I – II районам по ветру, территория Московской области – ко II району по гололеду и к I району по ветру.

Действие ветра обуславливает и два нежелательных явления, отрицательно влияющих на конструктивную часть ВЛ. Во-первых, это *вибрация* проводов и тросов, возникающая при равномерном движении воздуха со скоростью $4 - 8$ м/с. Она характеризуется частотой колебаний в десятки герц и амплитудами до десятков миллиметров. Вибрация вызывает многократные перегибы проволок и тросов, что в конечном счете приводит к их излому, ослаблению прочности провода или троса и к возможности их обрыва, т.е. к аварийной ситуации.

Во-вторых, при скоростях ветра $15 - 30$ м/с может возникать так называемая *пляска* проводов и тросов. Обычно это явление наблюдается в период, когда провода и тросы покрыты гололедом. Эти колебания характеризуются частотой в единицах герц, однако их амплитуда может достигать величины, равной стреле провеса провода или троса. Возникающие при этом динамические воздействия на узлы крепления проводов к гирляндам изоляторов и последних к опорам настолько значительны, что могут приводить к поломкам арматуры и деталей опор. Кроме того, при пляске возможны касания и схлестывания проводов между собой и с тросами, что вызывает короткие замыкания и аварийное отключение линии.

Таблица 1.3

Районирование по толщине стенки гололеда

Район по гололеду	Нормативная толщина стенки гололеда, мм, для высоты 10 м над поверхностью земли с повторяемостью		
	1 раз в 5 лет*	1 раз в 10 лет**	1 раз в 15 лет***
I	5	5	На основании данных наблюдений, но не менее 10 мм
II	5	10	
III	10	15	
IV	15	20	
Особый	20 и более	Более 22	

* Для ВЛ до 3 кВ.

** Для ВЛ 6 – 330 кВ.

*** Для ВЛ 500 кВ.

Таблица 1.4

Районирование по скоростным напорам ветра

Район по ветру	Нормативный напор, Па на высоте до 15 м от земли (скорость ветра, м/с) с повторяемостью		
	1 раз в 5 лет*	1 раз в 10 лет**	1 раз в 15 лет***
I	270 (21)	400 (25)	550 (30)
II	350 (24)	400 (25)	550 (30)
III	450 (27)	500 (29)	550 (30)
IV	550 (30)	650 (32)	800 (36)
V	700 (33)	800 (36)	800 (36)
VI	850 (37)	1000 (40)	1000 (40)
VII	1000 (40)	1250 (45)	1250 (45)

* Для ВЛ до 3 кВ.

** Для ВЛ 6 – 330 кВ.

*** Для ВЛ 500 кВ.

Для борьбы с вибрацией воздушные линии оснащаются *виброгасителями*. Единственным средством демпфирования колебаний при пляске является *плавка гололеда*, осуществляемая с помощью специального оборудования, обеспечивающего прохождение по линии больших токов и такой нагрев проводов, при котором происходит таяние и сброс ледяной корки.

1.3. Провода и грозозащитные тросы ВЛ

Проводниковые материалы, из которых изготавливаются провода воздушных линий электропередачи, т.е. их главные элементы, должны удовлетворять ряду технических и экономических требований. Прежде всего они должны обладать невысоким *удельным электрическим сопротивлением* ρ ,

чтобы потери активной мощности на нагрев проводов и потери напряжения в линии при прочих равных условиях были по возможности минимальны.

Плотность этих материалов γ также не должна быть высокой, поскольку при заданном поперечном сечении проводника F она определяет удельную нагрузку от собственного веса провода. Еще одним требованием является высокая механическая прочность, оцениваемая по пределу прочности на разрыв $\sigma_{\text{разр}}$. Одновременно проводниковый материал должен обладать стойкостью к атмосферным воздействиям и химическим реагентам, находящимся в воздухе. Наконец, этот материал не должен быть дефицитным и дорогим, чтобы стоимость воздушных линий была бы приемлемой при их массовом строительстве.

Различные материалы в разной степени удовлетворяют этому набору требований, и среди них не существует такого, который был бы вне конкуренции по всем показателям. На сегодня в практике сооружения ВЛ используются такие материалы, как медь, алюминий и его сплавы, а также сталь. В табл. 1.5 представлены их характеристики, упомянутые выше.

Таблица 1.5

Свойства материалов, используемых для изготовления проводов ВЛ

Материал	ρ , Ом·мм ² /км	γ , кг/м ³	$\sigma_{\text{разр}}$, Н/мм ²
Медь	17,8 – 18,5	8700	390
Алюминий	30,0 – 32,5	2750	160
Сплав АВ-Е	То же	2790	300
Сталь	-	7850	1200
Стеклопластик	-	2000	1200

На воздушных линиях преимущественно применяются *неизолированные* провода и тросы. Вместе с тем в последние три десятилетия за рубежом и в 90-е годы XX в. в России на линиях 0,4 и 6 – 20 кВ стали довольно широко применяться *самонесущие изолированные провода* (СИП), а на ВЛ 35 кВ – *изолированные*.

Разновидности конструкций неизолированных проводов представлены на рис. 1.3. Они включают как *монометаллические* (из меди, алюминия, стали), так и *биметаллические* (сталеалюминиевые) провода. *Однопроволочные* провода допускаются к применению лишь на ВЛ напряжением до 1 кВ. При более высоких номинальных напряжениях используются исключительно *многопроволочные* конструкции. Из монометаллических в России ограничено применяются алюминиевые провода – главным образом в местных электрических сетях 0,4 и 6 – 10 кВ, где длины пролетов не превышают 100 – 150 м. За рубежом монометаллические провода из сплавов алюминия («алдрей», «альменик») используются на линиях всех классов номинальных напряжений.

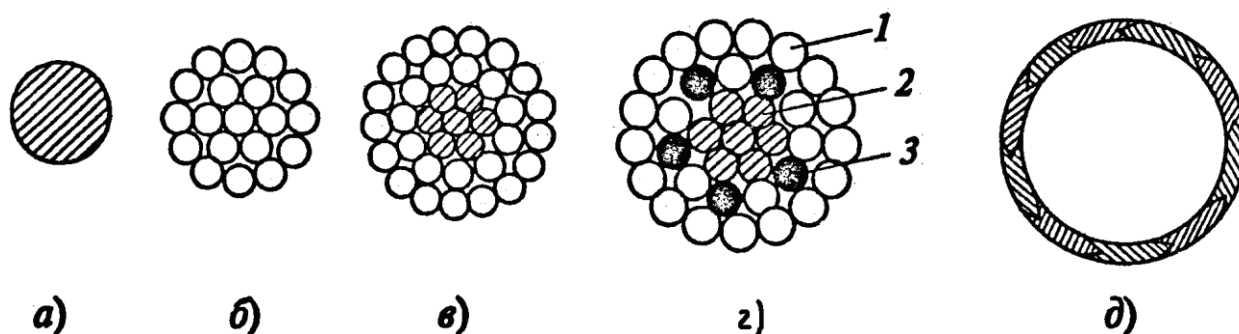


Рис. 1.3. Конструкция неизолированных проводов:

а – однопроволочный; *б* – многопроволочный из одного металла (сплава); *в* – многопроволочный из двух металлов (сталеалюминиевый); *г* – расширенный; *д* – пустотелый (полый); 1 – алюминий; 2 – сталь; 3 – наполнитель

Расширенные и *полые* провода разрабатывались для применения на ВЛ напряжением 220 кВ и выше с целью уменьшения отрицательных последствий явления *коронного разряда* на проводах (потерь электроэнергии, акустического шума и помех радио- и телевизионному приему). Это явление возникает при определенной напряженности электрического поля на поверхности провода (около 30 кВ/см), которая обратно пропорциональна внешнему диаметру провода.

Применение проводов обычной многопроволочной конструкции с увеличенным по этой причине диаметром неэкономично, поскольку сечение такого провода из-за явления поверхностного эффекта при протекании по нему переменного тока используется не полностью, т.е. какое-то количество материала не работает и является как бы лишним. Пустотелая конструкция позволяет избежать перерасхода цветного металла и удорожания ВЛ.

Альтернативой применения таких достаточно сложных в изготовлении конструкций является так называемое *расщепление фазы* на несколько составляющих N , широко применяемое во всем мире для ВЛ СВН и УВН. Так, на отечественных линиях 330 кВ используется расщепление фазы на два провода, фиксируемых на расстоянии $a = 40$ см друг от друга металлическими распорками. На ВЛ 500 кВ – на три провода, для ВЛ 750 кВ $N = 4 - 5$, а для ВЛ 1150 $N = 8 - 10$ при $a = 40 \div 60$ см.

В России основным используемым типом проводов для ВЛ 35 – 1150 кВ являются *сталеалюминиевые*. Они имеют стальной сердечник из 1, 7, 19, 37 или 61 проволоки. На этот сердечник накладываются от 1 до 4 повивов алюминиевых проволок. В соответствии с ГОСТ 839-80 алюминиевые провода выпускаются в четырех модификациях (марок АС, АСК, АСКС и АСКП).

Наличие в марке буквы «К» символизирует *коррозионную устойчивость* провода. Такие провода применяются в районах с «загрязненной атмосферой» (на побережьях морей, соленых озер, в промышленных районах и т.п.).

Стойкость против коррозии обеспечивается, во-первых, изоляцией стального сердечника двумя лентами из синтетической пленки и, во-вторых, нанесением на его поверхность нейтральной смазки повышенной термостойкости (марка АСК) или заполнением ею сердечника (марка АСКС) или всего провода (марка АСКСП).

Грозозащитные тросы выполняют из стальных оцинкованных многопроволочных канатов марки ТК сечением 35, 50 и 70 мм². Если грозозащитные тросы используются для организации *высокочастотных каналов связи*, то они должны выполняться из материала с высокой электропроводностью. Поэтому применяют провода марок АС 70/75 и АС 95/141. Наилучшими характеристиками с точки зрения прохождения высокочастотного сигнала обладают тросы и сталеалюминиевые проволоки типа «алюмовелд», когда каждая проволока имеет тонкий стальной сердечник, покрытый алюминиевой оболочкой.

Самонесущие изолированные провода (СИП) применяются для воздушных распределительных сетей низкого и среднего напряжения взамен неизолированных алюминиевых и сталеалюминиевых проводов. Базовая конструкция провода на низкое напряжение: пучок скрученных изолированных проводников с несущим нулевым проводом (см. рис. 1.4) и часто еще проводом меньшего сечения для уличного освещения. Несущий нулевой выполняется из алюминиевого сплава на базе $Al - Mg - Si$ с разрывной прочностью не менее 295 МПа (для сравнения – разрывная прочность алюминия около 165 МПа).

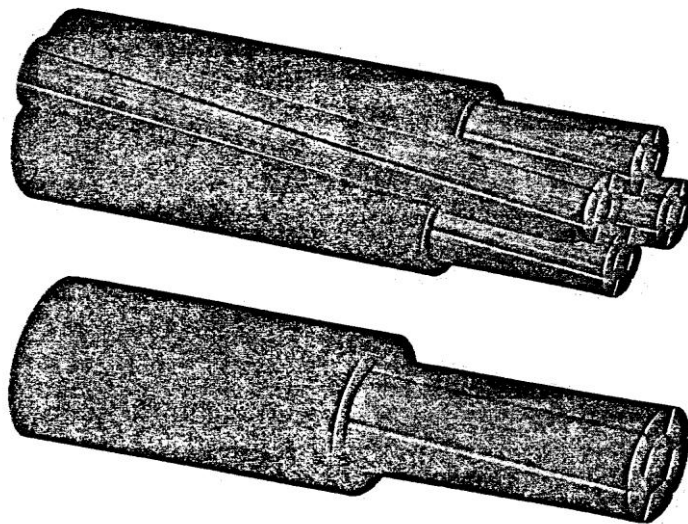


Рис. 1.4. Общий вид СИП

Преимущества СИП по сравнению с неизолированными:

- повышенная надежность в эксплуатации за счет значительно меньшей вероятности короткого замыкания (проводники фаз изолированы);
- стойкость к атмосферным воздействиям (гололед, ветровые нагрузки);

- снижение индуктивного сопротивления в 3,5 раза, что позволяет сократить потери электроэнергии и увеличивает токи нагрузки;
- защита зеленых насаждений (не требуется вырубки деревьев и кустарников по трассе прокладки).

В настоящее время российскими производителями освоены и выпускаются три системы СИП, обладающие определенными преимуществами (см. рис. 1.5).

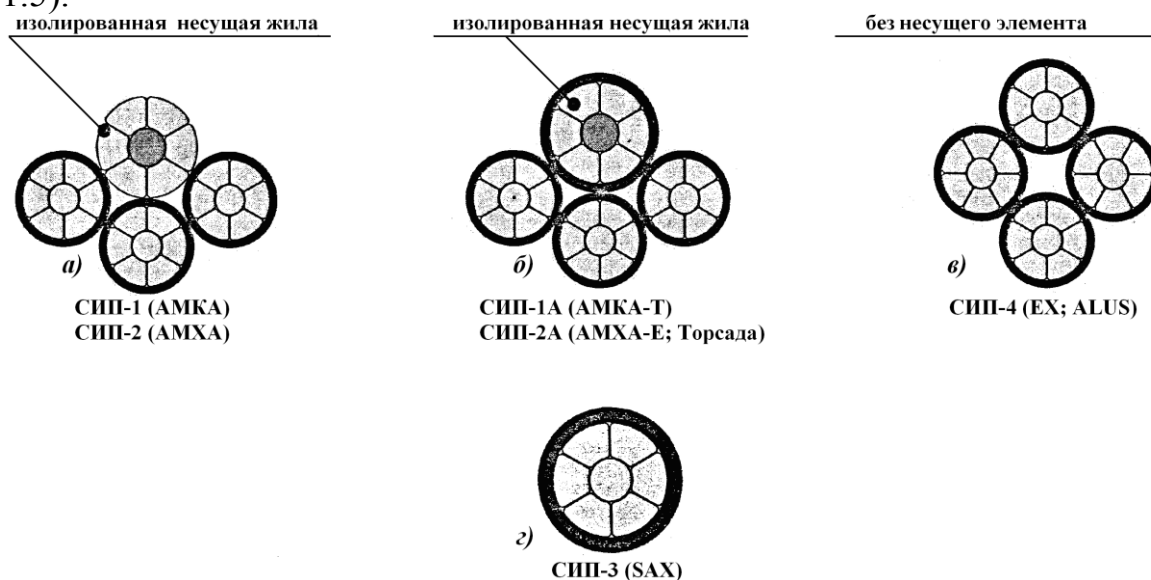


Рис. 1.5. Конструкции СИП на 0,4 кВ и 20 кВ:

а – «финская система»; *б* – «французская система»; *в* – «шведская система»; *г* – СИП на 20 кВ

1. Система AMKA («финская система», марка в России – СИП-1); вокруг неизолированного («голого») несущего нулевого провода скручены изолированные фазные провода. Несущий трос выполнен из алюминиевого сплава высокой прочности, все фазные жилы имеют изоляционный покров из термопластичного светостабилизированного полиэтилена.

2. Система Torsada («французская система», марка в России СИП-2); вокруг изолированного несущего нулевого провода скручены изолированные фазные провода. Несущий трос выполнен из алюминиевого сплава высокой прочности, изоляционный покров из сшитого светостабилизированного полиэтилена.

3. Система ALUS, EX («шведская система», марка в России СИП-4); несущий провод отсутствует, а подвеска системы осуществляется за все четыре проводника одновременно, т.е. механическая нагрузка равномерно распределена между нулевым и фазными проводниками; все проводники равного сечения из алюминия; изоляционный покров всех жил из термопластичного светостабилизированного полиэтилена.

Преимущества «шведской» системы очевидны. При уменьшении общего веса и стоимости (благодаря отсутствию дорогостоящего троса из термоупрочненного алюминиевого сплава) эти СИП имеют более высокую механиче-

скую прочность за счет того, что крепление при монтаже осуществляется за все 4 жилы одновременно, а суммарная разрывная прочность четырех алюминиевых жил в 1,5 – 2 раза выше, чем разрывная прочность несущего троса из алюминиевого сплава.

1.4. Опоры воздушных линий

Различные опоры ВЛ, которые применяются в электросетевом строительстве, классифицируются по целому ряду признаков и приведены в табл. 1.6.

Различают опоры по **количеству трехфазных цепей**:

- *одноцепные*, которые применяются при сооружении ВЛ любых номинальных напряжений;
- *двухцепные*, которые в России применяются для ВЛ 35 – 330 кВ, а за рубежом и на линиях 380 – 500 кВ;
- *многоцепные*, которые применяются за рубежом в густонаселенных районах с высокой стоимостью земли для экономии территории, отчуждаемой под трассу ВЛ.

Таблица 1.6

Классификация опор воздушных линий

Признак	Тип опоры	Примечание
Количество трехфазных цепей	Одноцепная	Всех напряжений
	Двухцепная	35 – 330 кВ
	Многоцепная	–
Способ крепления проводов	Промежуточная	Зажимы поддерживающие
	Анкерная	Зажимы натяжные
Положение на трассе	Угловая	В точках поворота трассы
Конструктивное выполнение	Свободностоящая	–
	На оттяжках	–
Материал	Деревянная	До 220 кВ включительно
	Железобетонная	До 500 кВ включительно
	Металлическая	Всех напряжений

Продолжение табл. 1.6

Специальное назначение	Транспозиционная	По концам участка цикла
	Ответвительная	Ответвления от магистрали
	Переходная	Переходы через реки и т.п.

Основанием второго признака служит **способ крепления проводов**. Здесь в первую очередь выделяются *промежуточные* опоры, на которых провода закрепляются в *поддерживающих зажимах*. Это основной тип опор, составляющий около 90 % их общего числа. Кроме них выделяются *анкерные* опоры, на которых провода закрепляются в *натяжных зажимах*. Эти

опоры расположены по концам анкерного пролета (анкерowanego участка), эскиз которого был показан на рис. 1.1.

По положению на трассе различают опоры, расположенные на прямых ее участках, и *угловые* (или анкерные угловые), расположенные в точках изменения направления (поворота) трассы линии. В этих точках на опору действует сила тяжения проводов и тросов, направленная по биссектрисе внутреннего угла. Поэтому в отличие от обычной промежуточной опоры угловая должна иметь раскосы, противодействующие опрокидывающему моменту в направлении действия этой силы. При углах поворота, превышающих 20° устанавливаются анкерные угловые опоры.

По конструктивному выполнению опоры делятся на *свободстоящие* и на *оттяжках*. Применение металлических тросовых оттяжек, которые крепятся с одной стороны к верхним частям опоры, а с другой стороны к анкерным плитам, заглубленным в грунт на 2 – 3 м, обеспечивает устойчивость опоры и по сравнению со свободстоящими опорами позволяет значительно сократить расход материала, из которого изготавливаются элементы опоры, а следовательно, и ее стоимость.

В качестве **материала** для изготовления опор используются древесина, железобетон и сталь. *Деревянные опоры* в России применяют на ВЛ с номинальным напряжением до 220 кВ включительно. В качестве примера на рис. 1.6 показана одноцепная свободстоящая промежуточная деревянная опора ВЛ 110 кВ.

Нижние части опоры (*пасынки*) заглублены в землю на 2,5 м. Для повышения прочности заделки опор в грунте к пасынкам крепятся поперечные *ригели*. В настоящее время применяются опоры с железобетонными пасынками, что способствует увеличению срока службы опор. Последний определяется стойкостью древесины к гниению. Поэтому все остальные элементы – *стойки, траверсы и раскосы* (или перекрестные ветровые связи) пропитываются антисептиком. Для их изготовления используется древесина лиственницы или сосны. Стойки соединяются с пасынками проволочными *бандажами*.

Унифицированные *железобетонные опоры* в России применяются для сооружения ВЛ с номинальным напряжением до 500 кВ включительно. Они имеют металлические траверсы и тросостойки. Стойки изготавливают из вибрированного или центрифугированного железобетона. В первом случае они имеют двутавровое, квадратное или прямоугольное сечение. Стойки из центрифугированного железобетона имеют кольцевое сечение и цилиндрическую либо коническую форму. Двухцепные одностоечные железобетонные опоры применяют при напряжениях 110 – 220 кВ, одноцепные (одно- и двухстоечные) на линиях 35 – 500 кВ. В качестве примера на рис. 1.7 показана промежуточная одноцепная свободстоящая железобетонная опора ВЛ 220 кВ с треугольным расположением проводов (на рисунке не показаны). Ее стойка имеет длину 26 м и заглубляется в грунт на 3,3 м.

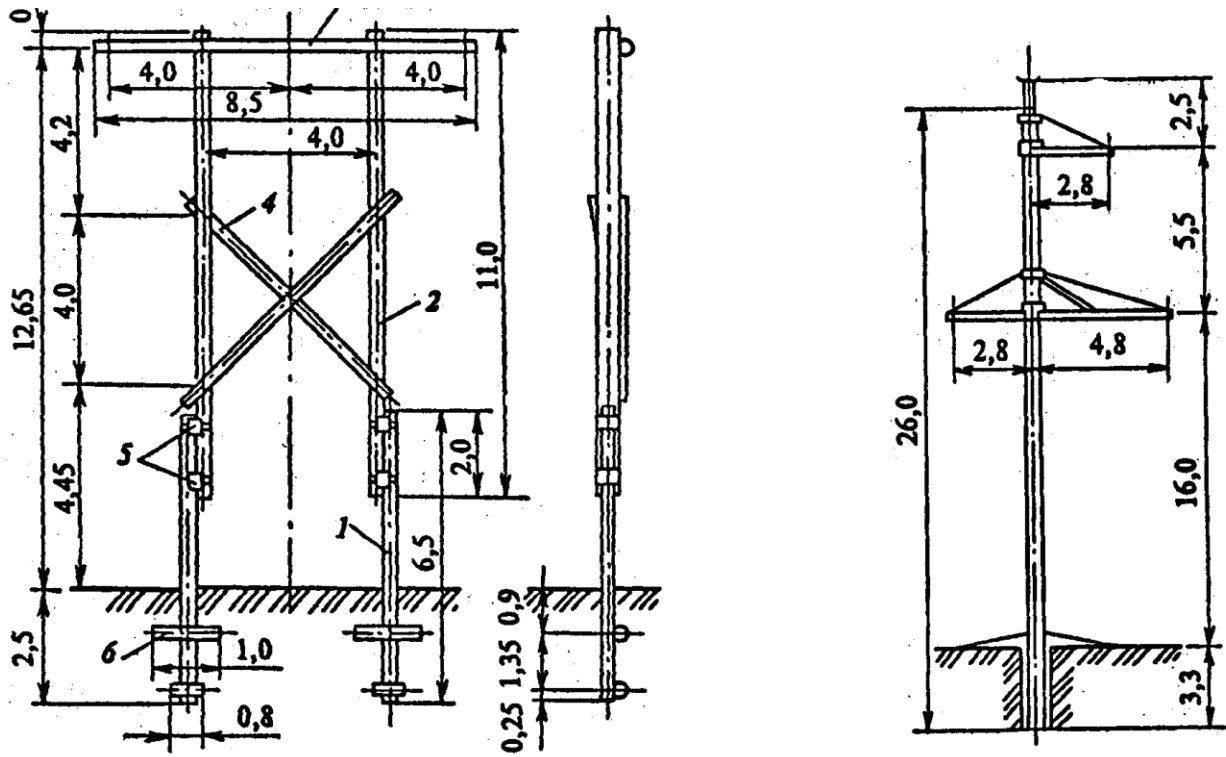


Рис. 1.6. Деревянная промежуточная опора ВЛ 110 кВ:

1 – пасынок; 2 – стойка; 3 – траверса; 4 – раскос; 5 – бандаж; 6 – ригель

Металлические опоры применяются во всем диапазоне номинальных напряжений (35 – 1150 кВ). Их основными элементами являются *ствол* (у свободностоящих опор башенного типа) или *стойки* (у порталных и V-образных опор), *траверсы* в форме пространственных ферм, *тросостойки* и *оттяжки*, если они предусмотрены конструкцией. На рис. 1.8 представлены примеры промежуточных металлических опор перечисленных выше типов (башенного, порталного и V-образного).

Ствол башенной опоры состоит из четырех вертикальных *поясов* из стальных угольников, связывающих соседние пояса *раскосов*, образующих *решетку*, и *диафрагм* (горизонтальных крестообразных связей поясов), придающих опоре жесткость и устойчивость. По способу сборки металлические опоры могут быть *сварными* и *болтовыми*. Сварные опоры изготавливаются на заводе секциями, размеры которых лимитируются условиями транспортировки на трассу, где эти секции сочленяются с помощью болтов. Болтовые опоры полностью собираются на трассе. Их преимуществами являются большее удобство транспортировки составных элементов и упрощение технологии защиты от коррозии (горячей оцинковки) этих элементов в заводских условиях.

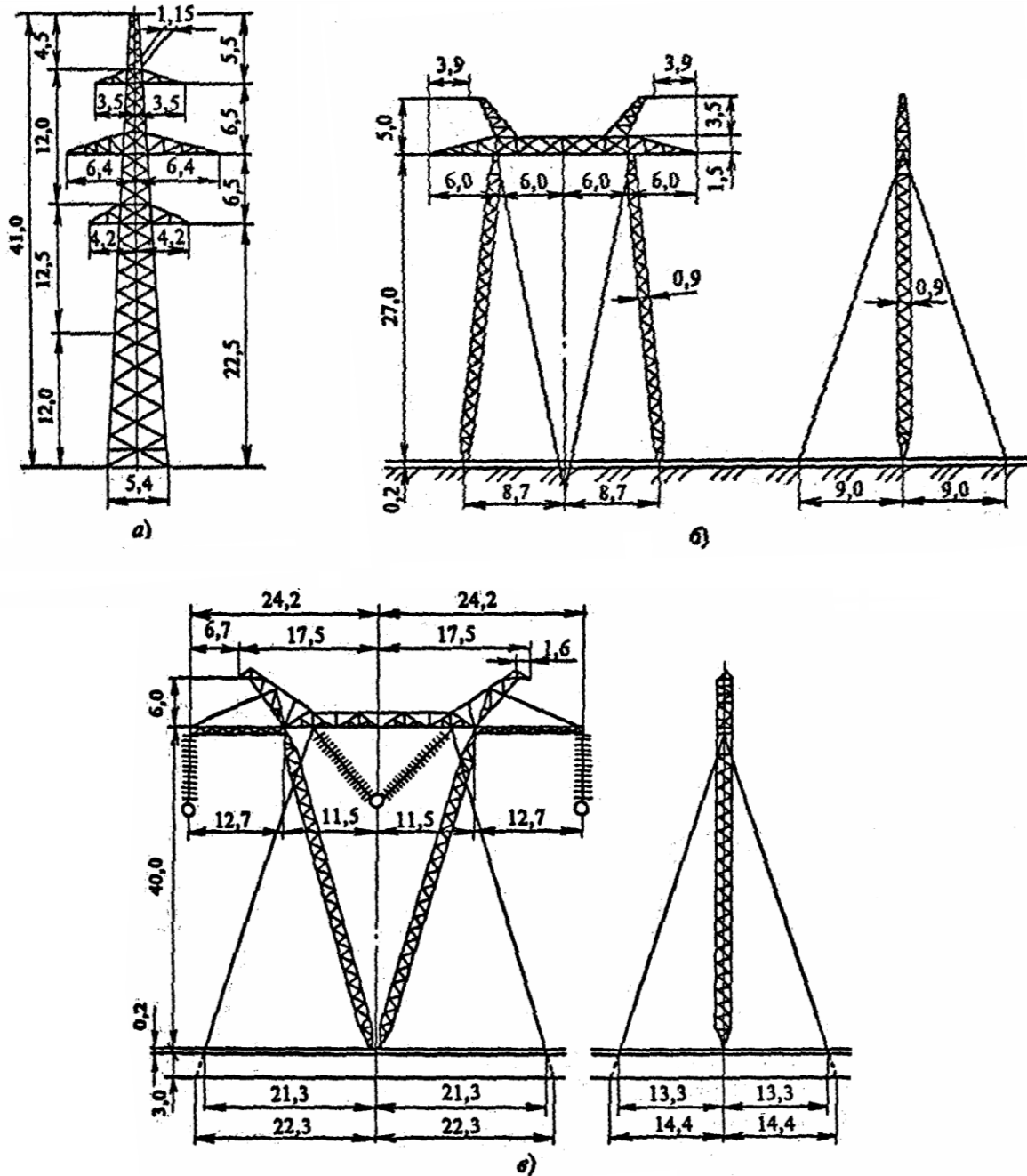


Рис. 1.8. Типы промежуточных металлических опор:

а – двухцепная свободностоящая башенная 220 кВ; б – одноцепная порталная 500 кВ на оттяжках; в – одноцепная V-образная 1150 кВ на оттяжках

Помимо перечисленных выше выделяется группа опор **специального назначения**. К ним относятся транспозиционные, ответвительные и переходные опоры. *Транспозиционные* опоры устанавливаются по концам участков *цикла транспозиции* (рис. 1.9). Под транспозицией понимается циклическая перестановка фаз с целью снижения *несимметрии* систем векторов токов и напряжений в конце линии (при симметричных системах этих векторов в ее начале), вызываемой различием реактивных параметров фаз (индуктивностей и емкостей) вследствие несимметричного расположения проводов

на опорах. На линиях длиной до 100 км обычно осуществляется один цикл транспозиции, если это допустимо по условиям влияния на проводные линии связи, прокладываемые параллельно ВЛ. *Ответвительные* опоры служат для выполнения ответвлений от основной линии, а *переходные* – для осуществления переходов через реки и другие водные пространства. Высота последних в ряде случаев достигает 100 м.

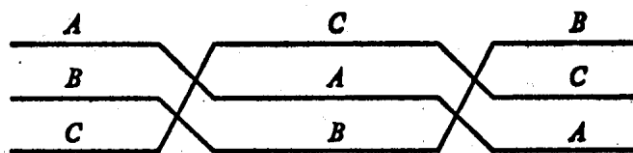


Рис. 1.9. Схема цикла транспозиции фаз *A*, *B*, *C* воздушной линии

На одноцепных опорах в настоящее время применяют два расположения проводов – *по вершинам треугольника* (на ВЛ 35 – 330 кВ с железобетонными и стальными опорами) и *горизонтальное* (на всех ВЛ напряжением 220 кВ и выше и на ВЛ 35 – 110 кВ с деревянными опорами). На двухцепных опорах рекомендуется расположение проводов *по вершинам шестиугольника* (типа «бочка»).

1.5. Изоляторы и линейная арматура

Изоляторы ВЛ изготавливают в основном из фарфора или закаленного стекла. Вместе с тем, в последние два десятилетия все шире начинают применяться и полимерные изоляторы. Фарфор и стекло обладают высокой стойкостью к атмосферным воздействиям, достаточно высокой механической и электрической прочностью. Стекланные изоляторы легче фарфоровых, лучше противостоят ударным нагрузкам и не растрескиваются, а рассыпаются при пробое, что облегчает визуальное нахождение места повреждения при осмотрах линии.

Конструктивно различаются два вида стекланных и фарфоровых изоляторов – *штыревые* и *подвесные*. **Штыревые** (рис. 1.10, а) применяются на ВЛ до 35 кВ включительно. Корпус изолятора имеет внутреннюю резьбу и навинчивается на металлический штырь или крюк. Провод укладывается в углубление на головке изолятора и закрепляется провололочной вязкой. В марке изолятора присутствует обозначение типа (Ш), материала (С или Ф), номинального напряжения (в киловольтах) и исполнения (А, Г и др.). Так, например, изолятор ШС10-Г (грязестойкого исполнения, т.е. для районов с загрязненной атмосферой) имеет высоту 145 мм, диаметр корпуса 160 мм и массу 2,1 кг.

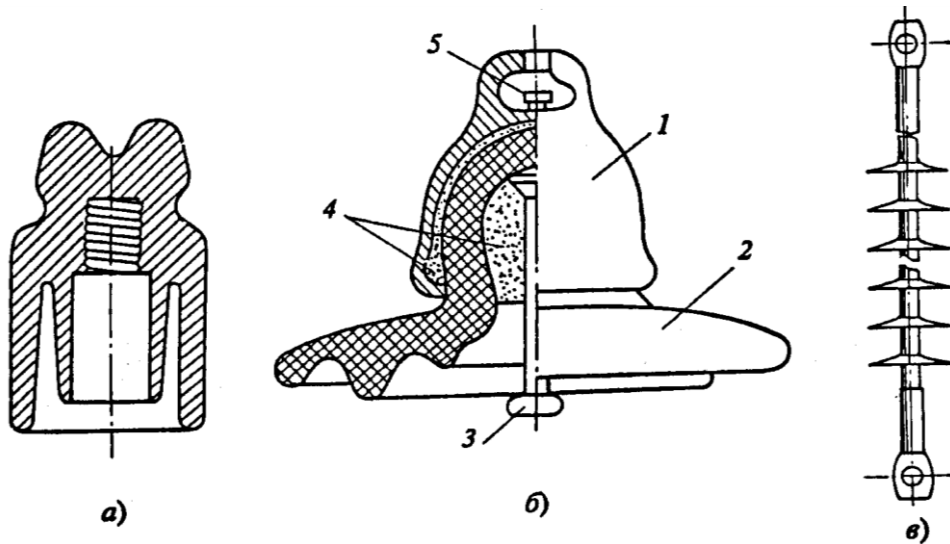


Рис. 1.10. Виды линейных изоляторов:

а – штыревой; *б* – подвесной тарельчатого типа; *в* – полимерный; *1* – шапка; *2* – изолирующая деталь (тарелка); *3* – стержень; *4* – цементная заделка; *5* – замок изолятора

Подвесные изоляторы (рис. 1.10,б) применяются на ВЛ напряжением 35 кВ и выше. Марка изолятора содержит буквы П (подвесной), С (стеклянный) или Ф (фарфоровый), Г (грязестойкий) и А, Б, В, Д (обозначение модификации). Цифрой обозначается максимальная (разрушающая) механическая нагрузка в килоньютонах (кН), например ПФ70-В, ПСГ120-А, ПС400-А и т.п.

Конструкция подвесного тарельчатого изолятора состоит из трех основных элементов:

стеклянной или фарфоровой *изолирующей детали* в виде тела вращения с ребрами на нижней поверхности и с внутренней полостью конической или цилиндрической формы;

шапки из ковкого чугуна, в верхней части которой имеется сферическая полость (гнездо), предназначенная для шарнирного сопряжения с другим изолятором;

стержня, нижняя головка которого имеет сферическую поверхность, сопрягаемую с соответствующей поверхностью в гнезде шапки.

Прочное соединение металлических деталей подвесного изолятора с изолирующей деталью достигается за счет конической формы сопрягаемых частей шапки, изолирующей детали и верхней головки стержня, пространство между которыми заполняется цементным раствором (позиция 4 на рис. 1.10,б), обеспечивающим их прочное соединение.

Подвесные изоляторы собираются в *гирлянды* путем введения в сферическое гнездо шапки головки стержня смежного изолятора. Для предотвращения расцепления сферический шарнир изоляторов запирается замком М-образной или шплинтообразной формы.

Количество изоляторов в поддерживающей гирлянде $n_{из}$ определяется в основном значением номинального напряжения линии, а также степенью загрязненности атмосферы, материалом опоры и типом изолятора. При использовании изоляторов марок ПС70-Б и ПФ70-В их число в поддерживающей гирлянде, ее длина с арматурой от траверсы до провода λ_T и масса гирлянды с арматурой m_T для ВЛ 35 – 330 кВ, сооружаемых на металлических и железобетонных опорах в районах с нормальными атмосферными условиями, приведены в табл. 1.7.

Стержневые **полимерные изоляторы** (ПИ) представляют собой относительно новое поколение изоляции ВЛ. Их разработка и внедрение в практику сооружения ВЛ начались в СССР в 70-е годы XX в. В настоящее время в России в эксплуатации находятся более 400 тыс. ПИ. Основой их конструкции (рис. 1.10, в) является *стеклопластиковый стержень*, воспринимающий всю механическую нагрузку. На концах стержня имеются металлические *оконцеватели* или *фланцы* для крепления к траверсе опоры и соединения с зажимом провода. Электрическую прочность изолятора и необходимую длину пути утечки тока обеспечивает ребристая *оболочка* из кремнийорганической эластомерной композиции (резины) или силикона, защищающая стержень от атмосферных воздействий и закрепленная на нем с помощью клеевого герметика (герменила).

Таблица 1.7

Характеристика поддерживающих гирлянд изоляторов ВЛ 35 – 330 кВ

Параметр	Марка изолятора	Значение параметра при $U_{ном}$, кВ				
		35	110	150	220	330
$N_{из}$	ПФ70-В	3	7	9	13	19
	ПС70-Б	3	8	10	14	21
λ_T , м	ПФ70-В	0,69	1,25	1,5	2,2	3,0
	ПС70-Б	0,68	1,35	1,6	2,3	3,2
m_T , кг	ПФ70-В	19	38	47	72	118
	ПС70-Б	16	36	45	67	111

Основными достоинствами ПИ являются прежде всего их высокая эксплуатационная надежность, малая масса, устойчивость к ударным механическим нагрузкам и актам вандализма (в том числе к расстрелам), удобство транспортировки и простота монтажа, а также эстетичный внешний вид. Отечественные ПИ маркируются буквами ЛК, после которых указывается разрушающая нагрузка при растяжении (от 70 до 300 кН) и через дробь – значение $U_{ном}$. Так, например, изолятор ЛК 70/110 имеет габаритный размер 1278 мм, длину изоляционной части 1020 мм, диаметр ребер оболочки 85 мм и массу 3,3 кг, т.е. на порядок меньшую по сравнению с гирляндой стеклянных или фарфоровых изоляторов таких же напряжения и прочности (см. табл. 1.7).

Классификация линейной арматуры

Категория	Тип	Разновидности
Фиксирующая	Зажим поддерживающий	Глухой С проскальзыванием
	Зажим натяжной	Клиновой Болтовой Прессуемый
Сцепная	Элемент сопряжения	Скоба (гирлянда-опора) Серьга (скоба-изолятор) Ушко (изолятор-зажим) Коромысло (n гирлянд) Промежуточное звено Узел крепления к опоре
Защитная	Элемент защиты	Защитное кольцо Защитный овал Разрядные рога
Соединительная	Соединитель	Овальный Прессуемый
Дистанцирующая	Распорка	Металлическая Изолирующая

Линейная арматура, применяемая для крепления проводов к изоляторам и изоляторов к опорам, делится на следующие основные виды: зажимы, применяемые для закрепления проводов в гирляндах подвесных изоляторов; сцепную арматуру для подвески гирлянд на опорах и соединения многоцепных гирлянд друг с другом, а также соединители для соединения проводов и тросов пролете.

Сцепная арматура включает скобы, серьги и ушки. Скоба предназначена для присоединения гирлянды к траверсе опоры или к закрепляемым на траверсе деталям. Поддерживающая гирлянда изоляторов (рис. 1.11, а) закрепляется на траверсе промежуточной опоры при помощи серьги 1. Серьга 1 с одной стороны соединяется со скобой или с деталью на траверсе, а с другой стороны вставляется в шапку верхнего изолятора 2. К нижнему изолятору гирлянды за ушко 3 прикреплен поддерживающий зажим 4, в котором помещен провод 5.

Зажимы для закрепления проводов и тросов в гирляндах подвесных изоляторов подразделяются на *поддерживающие*, подвешиваемые на промежуточных опорах, и *натяжные*, применяемые на опорах анкерного типа. По прочности закрепления провода поддерживающие зажимы подразделяются на *глухие* и *с заделкой ограниченной прочности*. Глухой зажим показан на рис. 1.11, в. Нажимные болты 1 через плашку 2 прижимают провод к корпусу зажима («лодочке») 3 и удерживают его на месте при одностороннем тяжении.

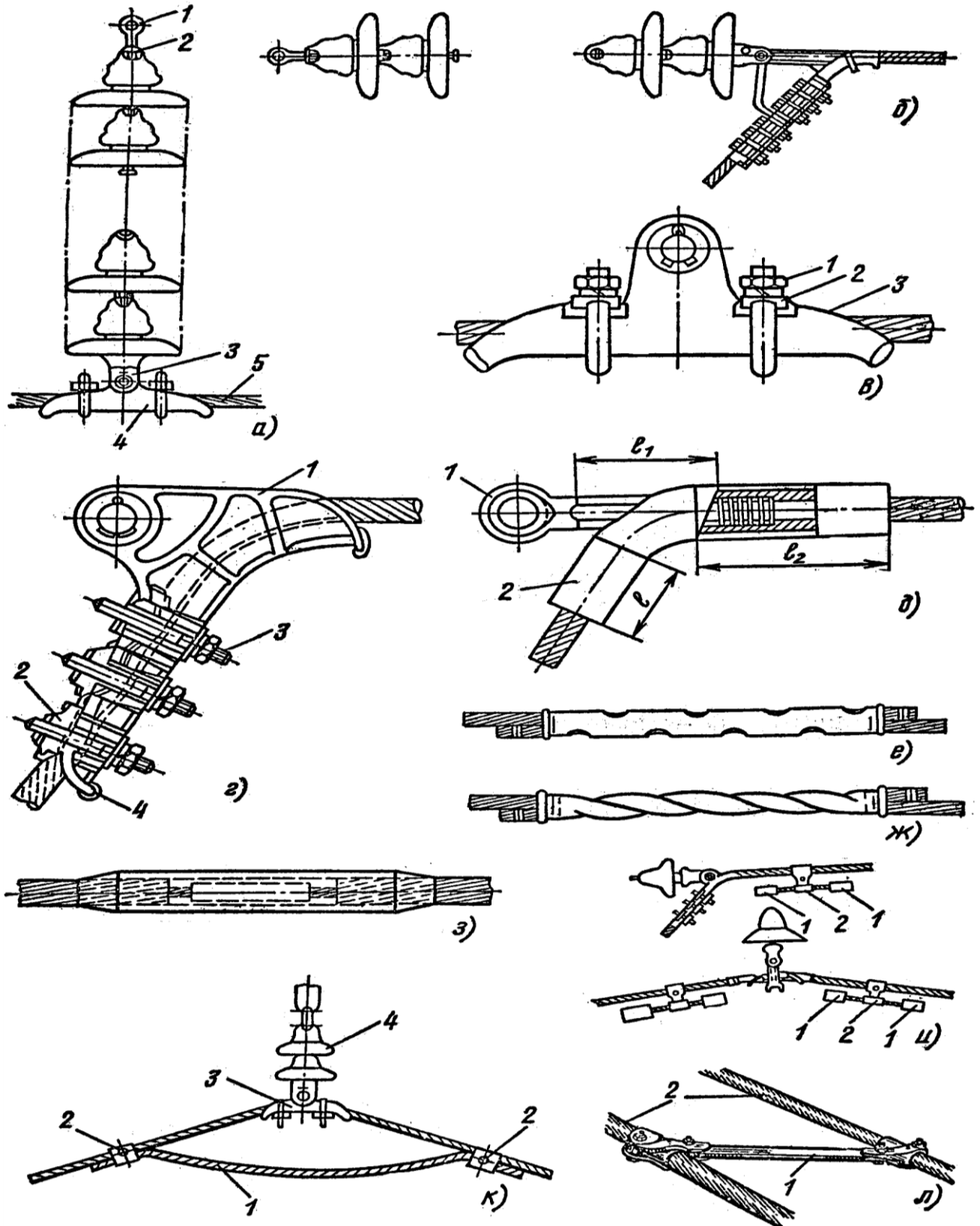


Рис. 1.11. Поддерживающие и натяжные гирлянды изоляторов и линейная арматура:

a – поддерживающая гирлянда изоляторов с глухим зажимом; *б* – натяжная гирлянда изоляторов с болтовым зажимом; *в* – глухой поддерживающий зажим; *г* – болтовой натяжной зажим; *д* – прессуемый натяжной за-

жим; *e*, *ж* – соединители стальные с обжатием и с закручиванием; *з* – соединитель прессуемый; *и* – подвеска гасителей вибрации у натяжных и поддерживающих зажимов; *к* – демпфирующая петля; *л* – распорки

Провод и трос в случае обрыва в одном из пролетов, как правило, не вытягиваются из зажима, и тяжение провода или троса, оставшегося необорванным, передается на промежуточную опору. Глухие зажимы – основной тип зажимов, применяемых в настоящее время на ВЛ 35 – 500 кВ.

Зажимы с ограниченной прочностью заделки применяются на ВЛ 500 кВ. При обрыве провод протягивается (проскальзывает) в зажиме, что уменьшает продольную нагрузку на промежуточную опору. Однако опыт эксплуатации линий 500 кВ с зажимами ограниченной прочности заделки не вполне удовлетворителен.

На анкерных опорах провода закрепляют наглухо при помощи натяжных зажимов. Провода одной фазы электрически соединены друг с другом отрезком провода в виде петли или шлейфа, свободно висящего под гирляндами. Существует несколько типов натяжных зажимов: болтовые – для проводов сечением 35 – 500 мм²; прессуемые – для сталеалюминиевых проводов сечением 300 мм² и более; клиновые – для подвески стальных тросов. Соответственно закрепление проводов и тросов в натяжных зажимах осуществляется с помощью нажимных плашек и болтов, опрессовыванием частей зажима на проводе, а также заклиниванием троса между телом зажима и клином под действием тяжения по тросу. Болтовые зажимы (рис. 1.11, г) состоят из корпуса 1, плашек 2, натяжных болтов с гайками 3 и прокладок 4 из алюминия. Прессуемые зажимы (рис. 1.11, д) состоят из стального анкера 1, в котором на длине ℓ_1 опрессовывается стальной сердечник провода, и алюминиевого корпуса 2, в котором на длине ℓ_2 опрессовывается алюминиевая часть провода со стороны пролета, а на длине ℓ – шлейф.

Промышленность выпускает провода кусками определенной длины. На ВЛ эти куски проводов соединяют друг с другом с помощью *соединителей*, подразделяемых на овальные и прессуемые.

Овальные соединители (рис. 1.11, е, ж) применяются для проводов сечением до 185 мм² включительно. В них провода укладываются внахлест, после чего производится обжатие соединителя с помощью специальных клещей (рис. 1.11, е). Сталеалюминиевые провода сечением до 95 мм² включительно закрепляются в соединителях методом скручивания (рис. 1.11, ж).

Прессуемые соединители используются для соединения проводов сечением 240 мм² и более и стальных тросов всех сечений. Для сталеалюминиевых проводов эти зажимы состоят из двух трубок: одной – стальной, предназначенной для соединения внутренних стальных жил, и другой – алюминиевой, накладываемой поверх первой и служащей для соединения наружных алюминиевых жил, (рис. 1.11, з).

К проводам ВЛ вблизи от зажимов подвешиваются *гасители вибрации* с грузами или *демпфирующие петли*, применение которых уменьшает вибра-

цию и позволяет предотвратить излом проволок провода. Гаситель состоит из двух чугунных грузов 1, соединенных стальным тросом 2 (рис. 1.11, и). Частота собственных колебаний гасителей во много раз меньше, чем провода, и вибрация последнего в результате уменьшается. Для алюминиевых и сталеалюминиевых проводов малых сечений защита от вибраций осуществляется с помощью демпфирующей петли 1 из провода той же марки. Петля прикрепляется к проводу болтовыми зажимами 2 по обе стороны поддерживающего зажима 3 у подвесной гирлянды изоляторов 4 (рис. 1.11, к).

На проводах ВЛ 330 – 750 кВ применяются распорки 1 (рис. 1.11, л) для фиксации проводов расщепленной фазы 2 относительно друг друга. Эти распорки обеспечивают требуемое расстояние между отдельными проводами фазы и предохраняют их от схлестывания, соударения и закручивания.

2. Кабельные линии

2.1. Классификация кабельных линий

Силовые кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии и являются одним из важнейших видов кабельных изделий. Классификацию силовых кабелей принято проводить по значению напряжения электрических сетей, в которых они используются.

Силовые кабели низкого напряжения (до 1 кВ). Преимущественно эти кабели применяются в трехфазных системах с заземленной нейтралью при напряжении 220/380 В и изготавливаются в основном в четырехжильном исполнении (три фазных проводника и один нулевой для соединения с заземленной нейтралью – рис. 2.1), хотя выпускаются и трехжильные кабели. В качестве электрической изоляции жил и защитных оболочек кабелей применяются пластмассы преимущественно на основе поливинилхлоридных (ПВХ) пластиков. Форма токопроводящих жил чаще всего секторная, так как она позволяет получить компактную и соответственно экономичную конструкцию кабеля. Однако силовые кабели такого типа выпускаются и с круглыми жилами. Материал жил – медь.

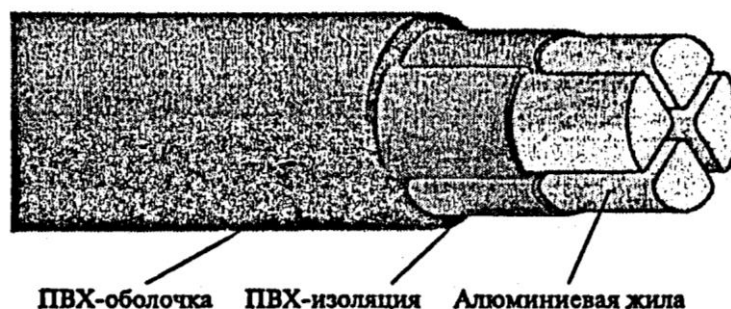


Рис. 2.1. Типовая конструкция силового кабеля на напряжение до 1 кВ

По условиям эксплуатации кабели разделяются на две группы:

- а) для подземной прокладки;
- б) для прокладки в кабельных сооружениях (каналах, туннелях, эстакадах), производственных помещениях, в том числе на ТЭЦ, АЭС и других объектах (прокладка в воздухе).

Кабели для подземной прокладки в городских условиях применяются для подвода питания к жилым и производственным зданиям от квартальных подстанций 10/0,4 кВ, для уличного освещения. Из-за высокой насыщенности грунтов растворами хлоридов в ряде регионов России в последние годы ориентируются на применение кабелей с медными токопроводящими жилами, так как алюминиевые жилы кабелей (особенно для уличного освещения) разрушаются за счет диффузии хлоридов через ПВХ-оболочку и изоляцию, а для подвода питания к жилым домам преимущественно используются кабели с пропитанной бумажной изоляцией в свинцовой коррозионно-стойкой оболочке.

Перспективными являются конструкции кабелей низкого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена (ПЭ) с повышенной нагрузочной способностью по сравнению с ПВХ-изоляцией (примерно на 17 %), в том числе коррозионно защищенные кабели для подземной прокладки в агрессивных грунтах. Коррозионная защита кабелей обеспечивается применением полиэтиленовой изоляции и оболочки, имеющих пониженные коэффициенты диффузии водных растворов в 8 – 10 раз меньшие по сравнению с ПВХ-изоляцией.

Условия эксплуатации кабелей, прокладываемых в кабельных сооружениях, накладывают требования по пожаробезопасности к конструкциям кабелей и применяемым материалам. По условиям пожаробезопасности кабели классифицируются по пяти группам в соответствии со схемой, показанной на рис. 2.2.

Силовые кабели среднего напряжения. Эти кабели применяются в распределительных сетях с изолированной нейтралью на напряжения 6, 10, 20 и 35 кВ. Основным напряжением распределительных сетей энергосистем России и стран СНГ является напряжение 10 кВ. В качестве электрической изоляции кабелей среднего напряжения применяется бумажная пропитанная и пластмассовая изоляция.

Силовые кабели с пропитанной бумажной изоляцией на напряжение 6 и 10 кВ изготавливаются трехжильными. В качестве фазной и поясной изоляции применяется бумага, пропитанная маслоканифольным составом. Такие кабели выпускаются с медными и алюминиевыми жилами секторной формы. Для защиты гигроскопичной изоляции в конструкции кабеля предусмотрена металлическая оболочка из свинца или алюминия. Поверх металлических оболочек накладываются защитные покровы для механической и коррозионной

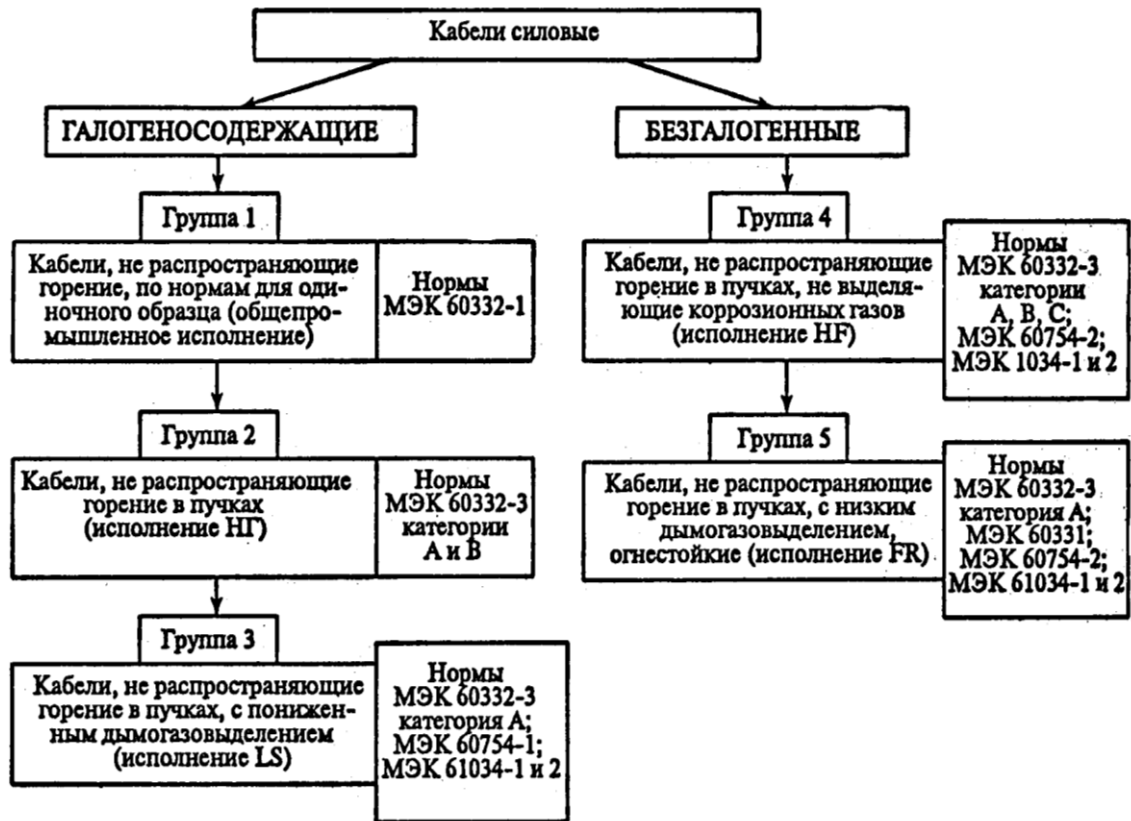


Рис. 2.2. Классификация пожаробезопасных кабелей

защиты. Конструкция трехжильного кабеля с поясной изоляцией показана на рис. 2.3.: 1 – медная или алюминиевая токопроводящая жила; 2 – фазная изоляция; 3 – общая поясная изоляция; 4 – свинцовая или алюминиевая оболочка; 5 – подушка под броней; 6 – стальная броня; 7 защитные покровы; 8 – заполнение.

Производство силовых кабелей с пропитанной бумажной изоляцией в России было начато в начале XX в. Поэтому в крупных энергосистемах находится значительная доля кабелей подземной прокладки, практически выработавших ресурс. Соответственно, удельная повреждаемость таких кабелей (число отказов на 100 км в год) имеет повышенные значения. Наибольшие показатели по удельной повреждаемости приходятся на кабели в алюминиевых оболочках из-за их коррозионного разрушения (доля кабелей в алюминиевых оболочках составляет около 50%).

Поэтому в последние годы принято генеральное направление на применение для распределительных сетей среднего напряжения современных кабелей с изоляцией из сшитого ПЭ, допускающего повышенные температуры эксплуатации (табл. 2.1).

За счет повышения рабочих температур изоляции из сшитого ПЭ длительно допустимые токи нагрузки кабелей увеличиваются на 17% при прокладке в земле и на 20% при прокладке в воздухе по сравнению с кабелями с пропитанной бумажной изоляцией.

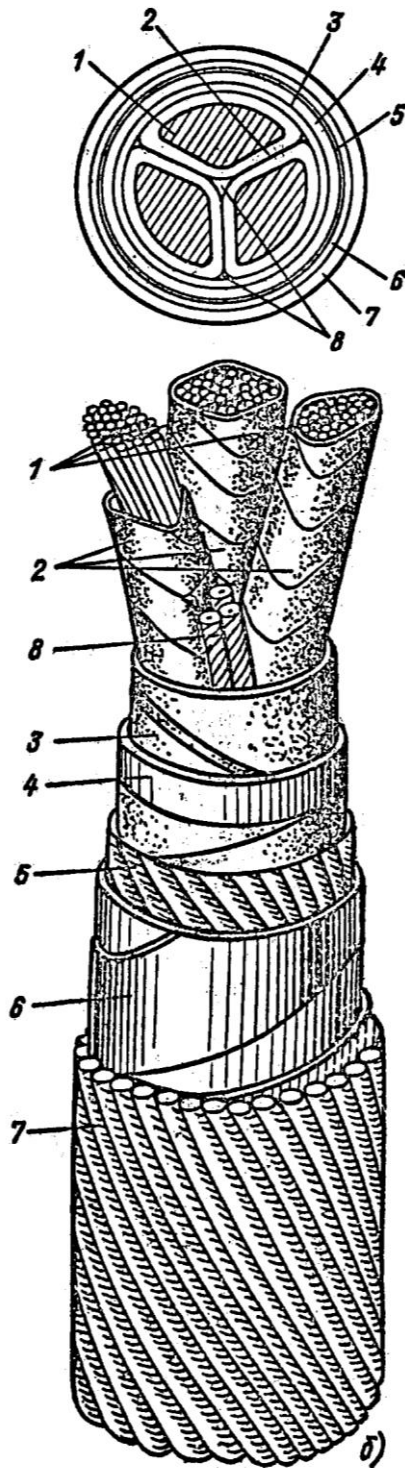


Рис. 2.3. Силовой кабель с бумажной пропитанной изоляцией

Повышение теплостойкости сшитого ПЭ достигается за счет поперечной сшивки линейных молекул ПЭ через атомы углерода или цепочки кремний - кислород.

Кабели среднего напряжения с изоляцией из сшитого ПЭ получили широкое распространение с 80-х годов XX в. в промышленно развитых странах (США, Япония, Франция, Германия и др.), где они полностью вытеснили кабели с пропитанной бумажной изоляцией в свинцовых оболочках.

Однако следует учитывать, что к технологии изготовления и конструкции таких кабелей предъявляются высокие требования. Это необходимо, чтобы исключить возникновение и развитие в полиэтиленовой изоляции так называемых «водных триингов» - древовидных образований или образований других форм, способных привести при эксплуатации к пробое кабеля.

Таблица 2.1

Основные термические параметры силовых кабелей среднего напряжения с пропитанной бумажной изоляцией и изоляцией из сшитого ПЭ

Параметр	Изоляция	
	Пропитанная бумажная	сшитый ПЭ
Длительно допустимая рабочая температура, °С	70	90
Максимально допустимая температура при перегрузках, °С	75	130
Максимально допустимая температура к КЗ, °С	200	250

Изоляция из сшитого ПЭ не должна содержать воздушных, газовых и других инородных включений (допускаются включения только на микронном уровне). Способ изготовления и конструкция кабеля должны обеспечивать отсутствие влаги в изоляции для предотвращения роста водных триингов. Макро- и микроструктура экструдированной ПЭ-изоляции не должна содержать слабых в электрическом отношении участков, в изоляции не должны возникать значительные механические напряжения. Уровень технологической культуры и контроль качества при изготовлении кабелей должны удовлетворять строгим нормам и обеспечиваться соответствующими техническими средствами: системой контроля и регулирования геометрии кабеля, системой контроля чистоты ПЭ и т.п.

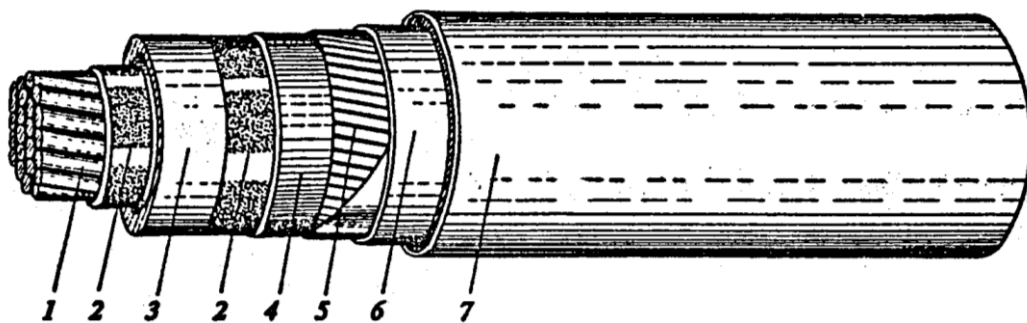


Рис. 2.4. Типовая конструкция кабеля с ПЭ-изоляцией на напряжение 10 кВ: 1 – алюминиевая токопроводящая жила; 2 – электропроводящие экструдированные экраны; 3 – изоляция из сшитого ПЭ; 4 – электропроводящие

влагонабухающие ленты; 5 – экран из медных проволок; 6 – разделительная обмотка лентой; 7 – оболочки из ПЭ

На рис. 2.4 показана типовая конструкция одножильного кабеля с ПЭ-изоляцией на напряжение 10 кВ.

Силовые кабели высокого напряжения. К этому классу относятся кабели на напряжение 110, (150), 220, (380) и 500 кВ применительно к номинальным напряжениям систем электропередачи, принятых в России и странах СНГ. Напряжения 150 и 380 кВ используются в отдельных случаях.

Кабели предназначены для передачи крупных мощностей электроэнергии (60 – 620 МВ·А) на указанных напряжениях. Области применения кабелей следующие:

- глубокие вводы к центрам потребления электроэнергии в условиях крупных городов (применяются кабели на напряжение 110 – 220 кВ для питания районных городских подстанций);
- выводы мощности с крупных гидро- и тепловых электростанций преимущественно при напряжениях 220 и 500 кВ;
- питание энергоемких производственных комплексов (автозаводы, металлургические и химические предприятия).

К электрической изоляции кабелей высокого напряжения предъявляются высокие требования в части электрической прочности, высокой надежности в течение длительных сроков службы (35 и более лет). Напряженности электрического поля в изоляции таких кабелей составляют от 7 до 15 кВ/мм, т.е. являются наиболее высокими по сравнению с напряженностями поля в любых электротехнических аппаратах и устройствах. Напряженность электрического поля является одним из главных параметров, обеспечивающих приемлемые конструктивные размеры (диаметры) кабелей. Высокие рабочие напряженности электрического поля ставят серьезные научно-технические проблемы с точки зрения обеспечения высокого ресурса работы кабелей. Эти проблемы успешно решены для двух видов электрической изоляции кабелей: бумажно-пропитанной, работающей под избыточным давлением масла (маслонаполненные кабели – МНК) и из сшитого ПЭ с применением соответствующих технологий, обеспечивающих чистоту и требуемое качество изоляции.

В конструкциях и технологии изготовления МНК приняты меры для обеспечения надежной работы изоляции при высоких напряженностях электрического поля:

- изоляция кабеля в процессе эксплуатации находится под постоянным избыточным давлением изоляционного масла для предотвращения частичных разрядов в структуре изоляции;
- технология изготовления кабеля предусматривает тщательную термовакуумную обработку изоляции и масла для обеспечения минимальных диэлектрических потерь в изоляции, которые определяют высокий ресурс работы кабеля.

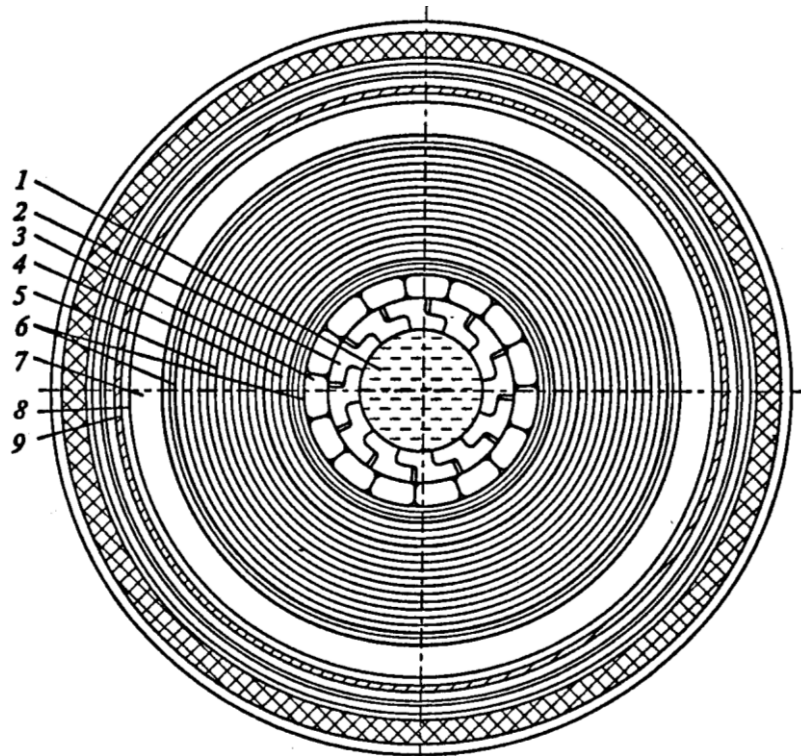


Рис. 2.5. Конструкция маслонаполненного кабеля низкого давления на напряжение 110 кВ:

1 – канал для циркуляции масла; 2 – Z-образные проволоки токопроводящей жилы; 3 – сегментные проволоки жилы; 4 – слой изоляции из уплотненной бумаги; 5 – слой изоляции из неуплотненной бумаги; 6 – экран из электропроводящей бумаги; 7 – свинцовая оболочка; 8 – упрочняющие ленты; 9 – защитные покровы

На рис. 2.5 приведена конструкция МНК низкого давления, а на рис. 2.6 – МНК высокого давления в стальной трубе.

Кабели высокого напряжения со сшитой ПЭ-изоляцией имеют ряд важных преимуществ в эксплуатации по сравнению с МНК:

- не требуют систем подпитки маслом и сигнализации давления, что снижает трудоемкость обслуживания и капитальные затраты на сооружение кабельных линий;
- позволяют осуществлять прокладку без ограничения разностей уровней на трассе;
- снижают трудоемкость монтажных работ при сооружении кабельных линий;
- экологически безопасны (отсутствует утечка масла в грунт, что наблюдается при эксплуатации МНК);
- имеют повышенную нагрузочную способность и стойкость к токам короткого замыкания за счет более высокой теплостойкости изоляции из сшитого ПЭ по сравнению с пропитанной бумаги.

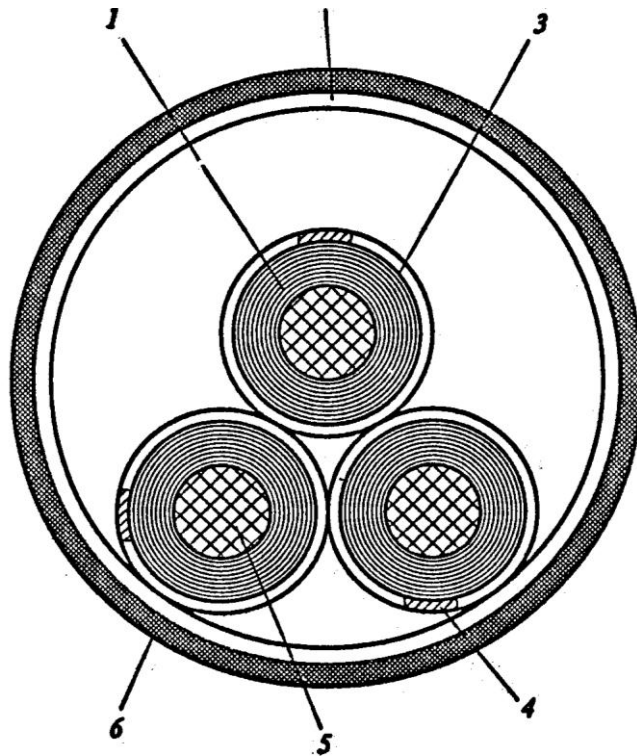


Рис. 2.6. Конструкция маслонаполненного кабеля высокого давления в стальной трубе:

1 – бумажная изоляция, пропитанная маслом; 2 – стальная труба; 3 – экран из медной ленты; 4 – медная проволока скольжения; 5 – токопроводящая жила; 6 – антикоррозионное покрытие

Напряженность электрического поля в пластмассовой изоляции находится на уровне напряженности в бумажно-пропитанной изоляции и составляет от 6 до 15 кВ/мм в зависимости от номинального напряжения кабелей. Типовая конструкция кабеля высокого напряжения с изоляцией из сшитого ПЭ показана на рис. 2.7. Эти кабели нового поколения для увеличения пропускания возрастающих уровней электрической мощности, вместо ранее использовавшихся малых сечений жилы кабеля до 625 мм^2 , применяются кабели сечением 1200 мм^2 и более (рис. 2.7,а).

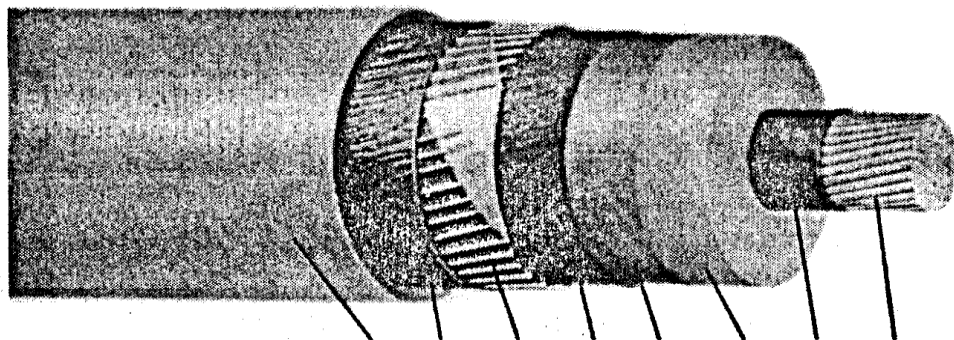


Рис. 2.7. Конструкция силового кабеля высокого напряжения с изоляцией из сшитого ПЭ

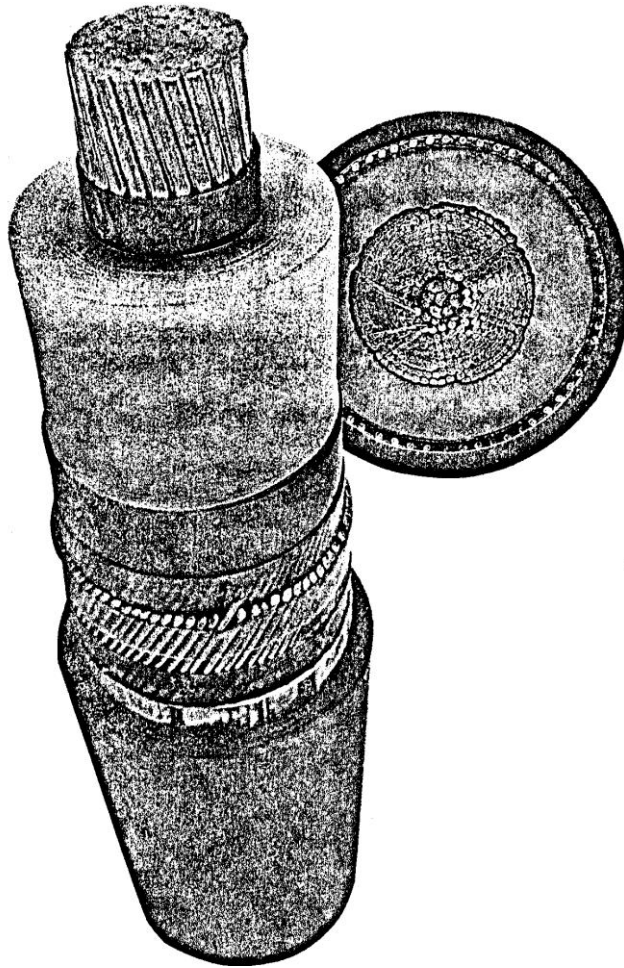


Рис. 2.7,а. Высоковольтный кабель сечением $1200 - 1500 \text{ мм}^2$ с изоляцией из СП

Встроенный в высоковольтный кабель в его экран оптоволоконные проводники обеспечивают возможность мониторинга температуры в реальном масштабе времени и уровня передаваемой мощности, что повышает надежность электроснабжения (рис. 2.8).

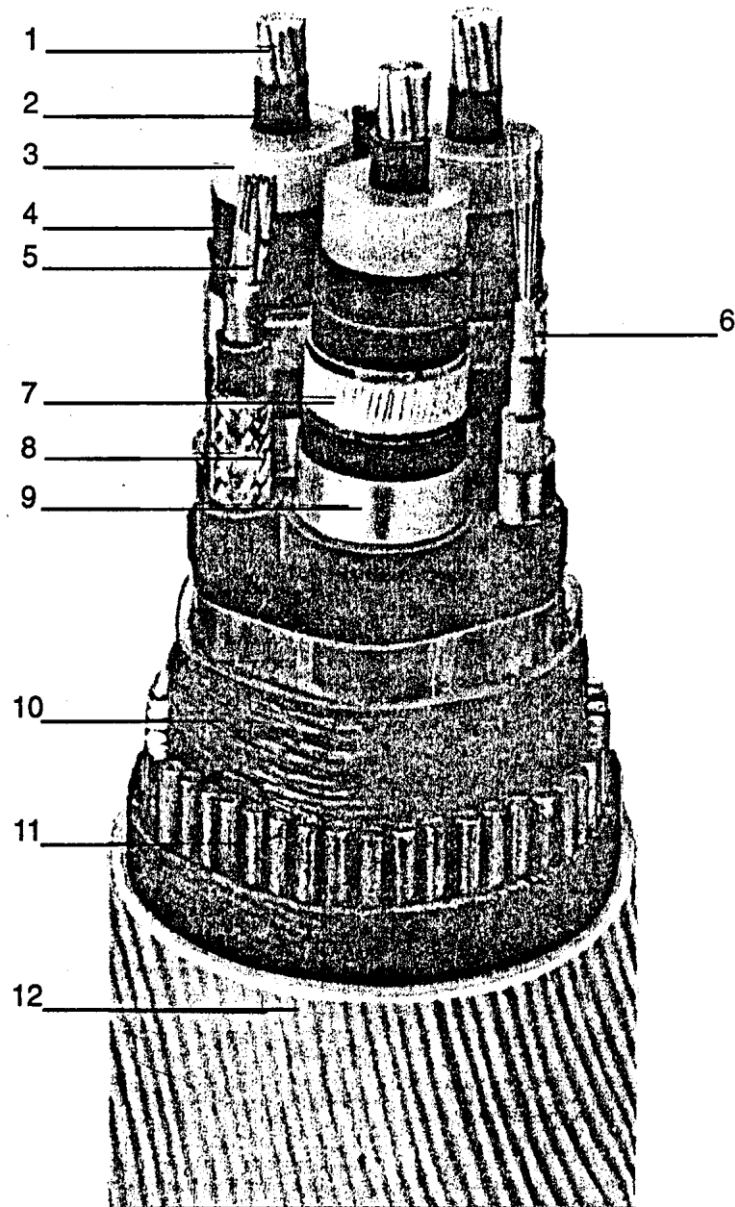


Рис. 2.8. Высоковольтный трехжильный кабель с изоляцией из СП:

1 – медная токопроводящая жила: круглая уплотненная с водоблокирующими элементами; *2* – экран по жиле: полупроводящий материал; *3* – изоляция из сшитого полиэтилена; *4* – экран по изоляции: полупроводящий материал; *5* – контрольный кабель; *6* – волоконно-оптический кабель; *7* – экран из медных проволок, поверх которых положена водоблокирующая лента; *8, 9* – защитная оболочка: алюминиевая лента (*8*) со слоем полиэтилена (*9*); *10* – подушка: полипропиленовые нити; *11* – броня из оцинкованных стальных проволок; *12* – наружный покров: битум; полипропиленовые нити, кабельная пряжа, покрытие, предохраняющее от слипания

2.2. Прокладка кабельных линий

Кабельная прокладка является основной для промышленных предприятий и городов в отличие от сетевых ВЛ электропередачи.

Проектирование и сооружение кабельных линий (КЛ) должны производиться с учетом развития сети, ответственности и назначения линий, характера трассы, способа прокладки, конструкций кабелей.

При выборе трассы КЛ стараются достичь наименьшего расхода кабеля и обеспечить его защиту от механических повреждений, от коррозии и вибрации, от повреждения электрической дугой при замыкании в соседнем кабеле и пр. Кабельные сооружения необходимо рассчитывать на дополнительную прокладку не менее 15% сверх предусмотренных проектом.

Прокладка кабелей в траншеях. Прокладка кабелей в траншеях наиболее проста и дешева. Она экономична по такому важному показателю, как расход цветного металла, так как при прокладке в земле в результате лучшего охлаждения пропускная способность кабеля увеличивается по сравнению с другими способами прокладки. На рис. 2.9 приведены примеры кабельных траншей с расположением в них одиночного кабеля и четырех силовых кабелей одного напряжения и принадлежности (назначения).

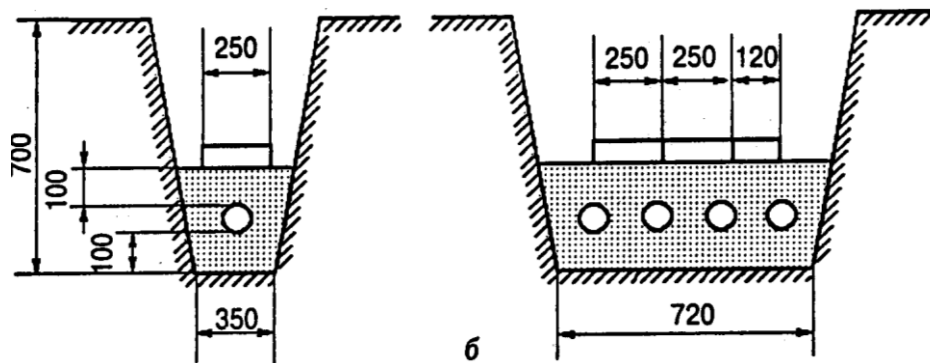


Рис. 2.9. Расположение кабелей в кабельных траншеях:

a – одиночный кабель; *б* – четыре основных кабеля одного напряжения и назначения

Прокладку в траншее не рекомендуется применять: 1) на участках с большим количеством кабелей и там, где возможна разливка горячего металла или разрушающе действующих жидкостей; 2) при большой насыщенности территории подземными и наземными технологическими и транспортными коммуникациями и другими сооружениями; 3) в почвах, содержащих большое количество веществ, разрушающе действующих на оболочки кабелей; 4) в местах, где блуждающие токи достигают опасных значений, большие механические нагрузки на поверхность земли, возможно частое разрытие грунта.

Для прокладки в земле следует применять преимущественно бронированные кабели, металлические оболочки которых должны иметь внешний покров для защиты от химических воздействий.

В одной траншее с силовыми допускается прокладка трех-четырех контрольных кабелей. Глубина заложения от планировочной отметки (поверхности) должна быть не менее: для КЛ до 20 кВ – 0,7 м; 35 кВ – 1 м. Маслонаполненные кабельные линии напряжением 110 – 220 кВ должны иметь глубину залегания не менее 1,5 м.

При определении длины прокладываемого кабеля необходимо учитывать, что для компенсации температурных деформаций и возможных смещений почвы (механических напряжений) кабели в траншее укладываются волнообразно (змейкой), что увеличивает длину на 1 – 2%.

Размеры траншеи при прокладке в ней силовых кабелей до 10 кВ принимаются не менее приведенных ниже (рис. 2.10).

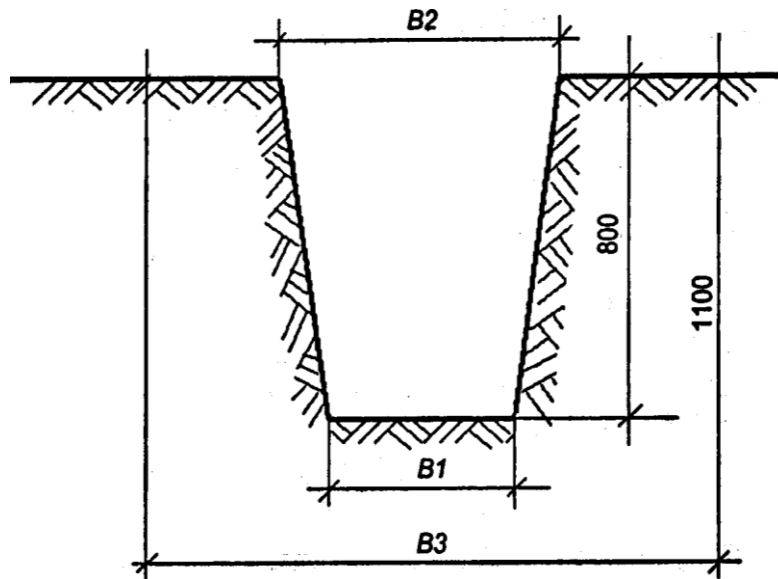


Рис. 2.10. Размеры траншеи для прокладки кабелей 1 – 10 кВ: B_1 – на дне траншеи; B_2 – размер у поверхности земли; B_3 – размер зоны отвода

Число силовых кабелей, шт. ...	1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
B_1 , мм	250	300	400	600	750	900
B_2 , мм	350	500	600	700	830	1000
B_3 , мм	2150	2300	2400	2500	2600	2800

В местах поворота, разветвления траншеи выполняют так, чтобы радиус изгиба кабелей был не меньше допустимого (рис. 2.11., табл. 2.2).

На уклонах от 20 до 50° прокладка кабелей в траншеях производится с креплением кабеля к железобетонным сваям. Вместо железобетонных свай могут применяться столбы из дерева хвойных пород, обработанные антисептическим составом.

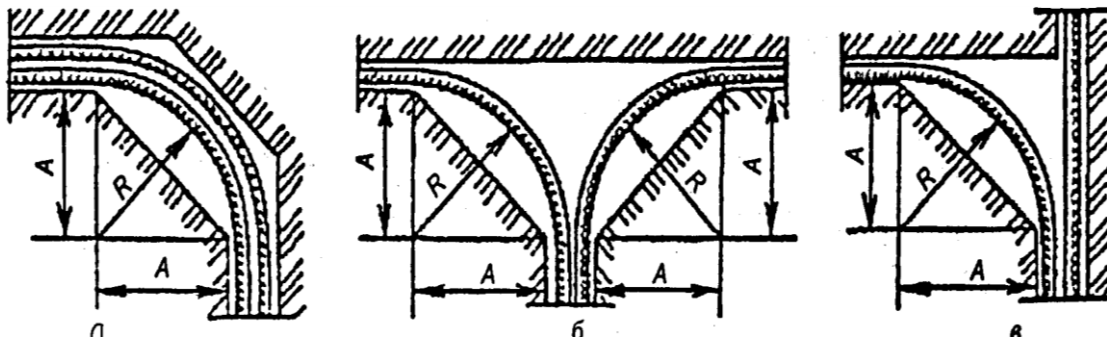


Рис. 2.11. Поворот и разветвление кабельных трасс:
 а – поворот кабелей; б – разветвление кабелей; в – ответвление кабеля

При параллельной прокладке кабелей в траншее концы кабелей, предназначенных для последующего монтажа соединительных муфт, располагают со сдвигом мест соединения не менее на 2 м. При этом предусматривается запас кабеля по длине, необходимый для проверки изоляции на влажность, для монтажа соединительных муфт и укладки дуг компенсаторов, предохраняющих муфты от повреждения при возможных смещениях почвы и при температурных деформациях кабеля, а также на случай перерезки муфты при ее повреждении.

Таблица 2.2

Размеры траншей и радиусы изгиба кабелей при поворотах и разветвлениях кабельных трасс

Число × сечение жил (мм ²)	Наружный диаметр кабеля, мм, при напряжении		Радиус изгиба кабеля R, мм	Минимальный размер скоса внутреннего угла траншеи A, мм
	10 кВ	1 кВ		
Кабели ААБ, АБ, АСБ, СБ				
3 × 70	44,4	-	700	600
3 × 240	63,7	-	950	850
3 × 70	-	34,9	550	450
3 × 240	-	53,9	800	700
Кабели ААШв, АШв				
3 × 70	40,8	-	650	550
3 × 240	59,5	-	900	800
3 × 70	-	30,4	500	400
3 × 240	-	50,4	800	700

Прокладка кабелей в блоках. Прокладка кабелей в блоках рекомендуется в следующих случаях: в местах пересечения с железными и автомобильными дорогами; в условиях стесненности по трассе (при большом числе других подземных коммуникаций и сооружений); при вероятности разлива металла или агрессивных жидкостей в местах прохождения кабельных трасс;

при прокладке кабельных линий в агрессивных по отношению к оболочке кабелей грунтах; при необходимости защиты кабелей от блуждающих токов.

Для сооружения блоков применяют: двух- и трехканальные железобетонные панели, предназначенные для прокладки в сухих, влажных и насыщенных водой грунтах; асбоцементные трубы для защиты кабелей от блуждающих токов (см. рис. 2.12); керамические трубы для защиты кабелей в агрессивных и насыщенных водой грунтах (при необходимости можно и в сухих грунтах).

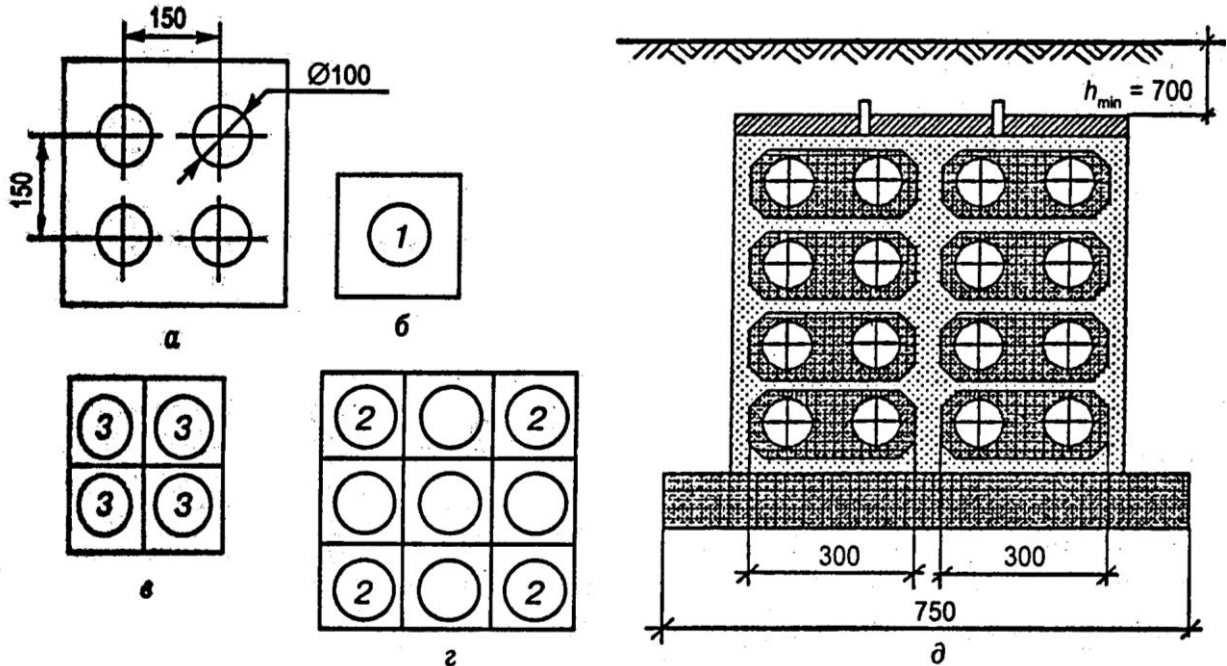


Рис. 2.12. Группы и номера каналов блоков:

a - расчетная конфигурация; *б* - I группа, канал № 1; *в* - II группа, канала № 3; *г* - III группа, канал № 2; *д* - рабочая конструкция блока

В местах изменения направления трассы или глубины заложения блоков, а также на прямолинейных участках большой длины выполняют кабельные колодцы. Число колодцев на прямых участках блока должны быть минимальным, при этом расстояние между соседними колодцами следует принимать максимально возможным с учетом строительных длин кабелей, допустимых усилий тяжения и условий прокладки.

Габариты кабельных колодцев должны обеспечивать: нормальные условия протяжки кабелей с максимальным сечением $3 \times 240 \text{ мм}^2$ с радиусом изгиба кабеля $R = 25d$ (d - диаметр кабеля); замену их в случае надобности; установку соединительных муфт с защитными металлическими кожухами длиной 1250 мм. Кабельные колодцы выполняют из кирпича или сборного железобетона. Типы кабельных колодцев: проходной прямого типа; угловой - для изменения направления блочной прокладки с углами поворота 90, 120, 135 и 150°; крестообразный.

Прокладка кабелей в кабельных сооружениях . Внутри кабельных сооружений (помещений) кабели прокладывают на стальных конструкциях различного исполнения. *Кабельным сооружением* называется помещение, специально предназначенное для размещения в нем кабелей, кабельных муфт, а также маслоподпитывающих аппаратов и другого оборудования, предназначенного для обеспечения нормальной работы маслонаполненных кабелей. К кабельным сооружениям относятся: кабельные туннели, каналы, коробка, блоки, шахты, этажи, двойные полы, кабельные эстакады, галереи, камеры, подпитывающие пункты.

Кабельные сооружения должны отделяться от других помещений и соседних кабельных сооружений несгораемыми перегородками и перекрытиями. Такими же перегородками протяженные туннели должны разделяться на отсеки длиной не более 150 м при прокладке силовых и контрольных кабелей и не более 100 м при наличии маслонаполненных кабелей. Следует выполнять мероприятия по предотвращению попадания в кабельные сооружения технологических вод и масел, а также обеспечивать отвод почвенных и ливневых вод.

Внутри кабельных сооружений кабели прокладывают на стальных конструкциях различного исполнения. Кабели больших сечений (алюминиевые 25 мм² и более, медные 16 мм² и более) укладывают непосредственно на конструкциях. Силовые кабели меньших сечений и контрольные кабели прокладывают в лотках (сварных или перфорированных) или в коробах, которые крепят на кабельных конструкциях или на стенах. Прокладка в лотках более надежна и имеет лучший внешний вид, чем открытая прокладка на конструкциях.

Кабельные сооружения, за исключением эстакад, колодцев для соединительных муфт, каналов и камер, должны обеспечиваться естественной или искусственной вентиляцией. Вентиляционные устройства оборудуют заслонками для прекращения доступа воздуха в случае возгорания, а также для предупреждения промерзания туннеля в зимнее время. При прокладке кабелей внутри помещения следует предотвращать перегрев кабелей за счет повышения температуры окружающего воздуха и влияний технологического оборудования (не допускается прокладка кабелей возле маслопровода, над и под маслопроводами и трубопроводами с горючей жидкостью). В полу и межэтажными перекрытиями кабели прокладывают в каналах или трубах. Запрещается прокладка кабелей в вентиляционных каналах, а также открыто по лестничным клеткам. Пересечение кабелями проходов следует выполнять на высоте не менее 1,8 м от пола.

Кабельные туннели (рис. 2.13) и **коллекторы** (2.14) рекомендуется сооружать в городах и на предприятиях с уплотненной застройкой территории или при большом насыщении территории подземными инженерными коммуникациями, а также на территориях больших металлургических, машиностроительных и других предприятий. Кабельные туннели сооружают, как

правило, при числе прокладываемых кабелей от 20. Туннели обычно выполняют роль магистральных.

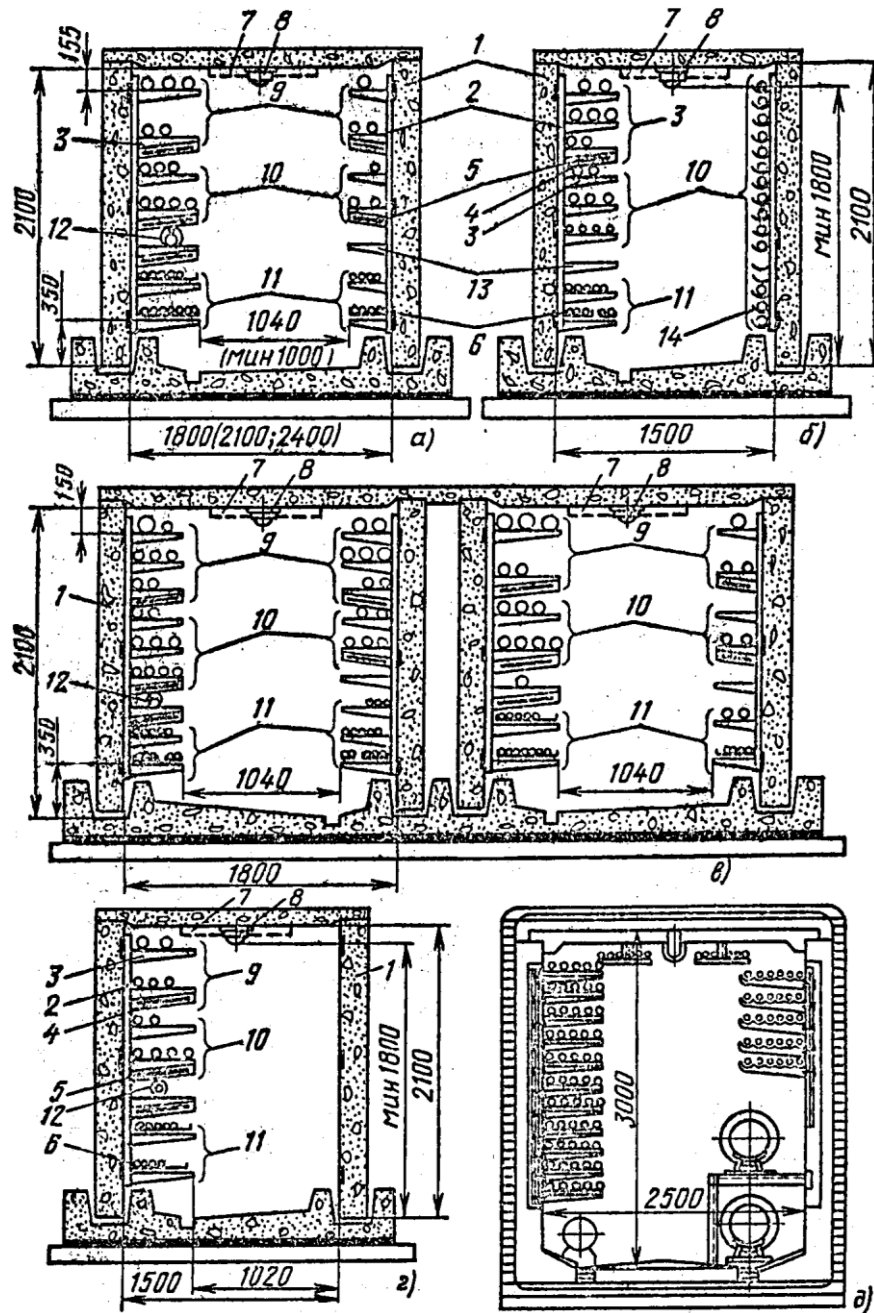


Рис. 2.13. Размещение кабелей в туннелях и коллекторах прямоугольного сечения:

a, б – проходной с двусторонним расположением кабелей; *в* – проходной трехстенный с четырехсторонним расположением кабелей; *г* – проходной с односторонним расположением кабелей; *д* – проходной двусторонний коллектор; *1* – блок туннеля; *2* – стойка; *3* – полка; *4* – подвеска; *5* – перегородка огнестойкая; *б* – лоток сварной; *7* – зона пожароизвещателей и трубопроводов механизированной уборки пыли и пожаротушения; *8* – светильник; *9* – силовые кабели выше 1 кВ; *10* – силовые кабели до 1 кВ; *11* – контрольные

кабели; 12 – муфта соединительная в защитном кожухе; 13 – полка укладки соединительных муфт; 14 – подвеска

Кабельные туннели прямоугольного сечения предназначены для двусторонней и односторонней укладки кабелей и бывают проходного и полупроходного исполнений. При большом числе кабелей туннели и коллекторы прямоугольного сечения могут быть трехстенными (сдвоенными). В табл. 2.3 приведены основные размеры туннелей прямоугольного сечения.

На рис. 2.13 показано размещение кабелей в туннелях прямоугольного сечения. Применение полупроходных туннелей допускается в местах, где подземные коммуникации мешают выполнить проходной туннель, при этом полупроходной туннель принимают длиной не более 15 м и для кабелей напряжением не выше 10 кВ. Проходы в кабельных туннелях и коллекторах должны быть не менее 1 м, однако допускается уменьшение проходом до 800 мм на участках длиной не более 500 мм.

Таблица 2.3

Внутренние размеры туннелей прямоугольного сечения

Конструкция туннеля	Ширина, м	Высота, м
С односторонним расположением кабелей: проходной полупроходной	1,5	2,1
	1,5	1,65
С двухсторонним расположением кабелей: проходной полупроходной	2,4; 2,1; 1,8 1,5	2,1
	1,8; 1,5	1,65
Трехстенный с расположением кабелей на четырех стенах, проходной	1,8	2,1

Протяженные кабельные туннели и коллекторы разделяют по длине огнестойкими перегородками на отсеки длиной не более 150 м с устройством в них дверей. Прокладка кабелей в коллекторах и туннелях рассчитывается с учетом возможности дополнительной прокладки кабелей в количестве не менее 15%.

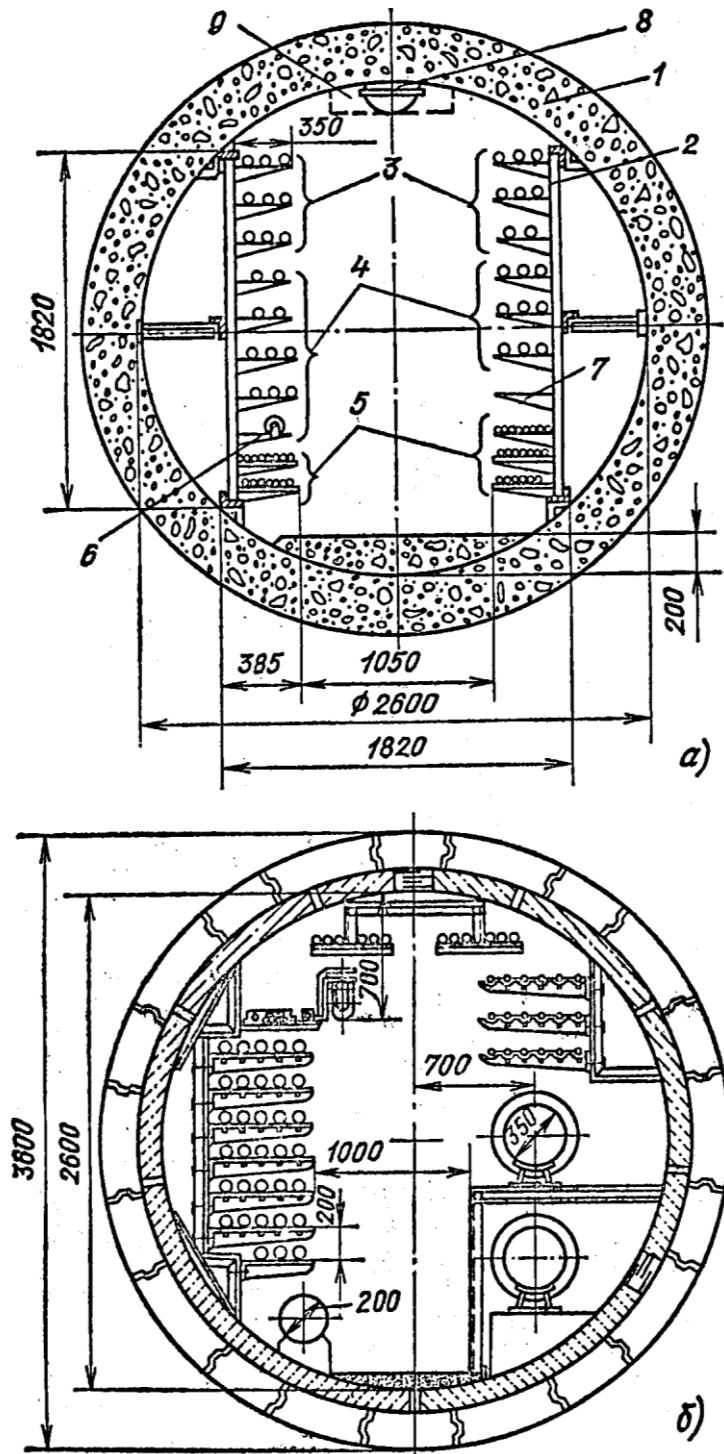


Рис. 2.14. Размещение кабелей в туннелях и коллекторах круглого сечения:
а – туннель; *б* – коллектор; 1 – блок туннеля; 2 – блок кабельных конструкций; 3 – кабели выше 1 кВ; 4 – кабели до 1 кВ; 5 – контрольные кабели; 6 – муфта соединительная; 7 – свободная полка для укладки соединительных муфт; 8 – светильник; 9 – зона пожароизвещателей и трубопроводов механизированной уборки пыли и пожаротушения

Применение в кабельных туннелях небронированных кабелей с полиэтиленовой оболочкой по условиям пожарной безопасности запрещается. Металлическая броня кабелей, прокладываемых в туннелях, должна иметь антикоррозийное покрытие.

Прокладки кабелей в **кабельных каналах** находят широкое применение. Кабельные каналы изготавливают типовыми из сборных железобетонных элементов или из монолитного железобетона. В производственных помещениях каналы перекрывают плитами на уровне пола. При прохождении вне зданий и неохраняемых территориях канала прокладывают под землей на глубине не менее 300 мм в зависимости от нагрузок, которые могут возникнуть на трассе. Если территория охраняется, то применяют полуподземные каналы с естественной или искусственной вентиляцией. Но такие каналы не должны препятствовать транспортным коммуникациям и не должны сочетаться с общей планировкой территории предприятия, так как уровень перекрытия таких каналов возвышается над планировочной отметкой на 50 – 250 мм.

Кабели в каналах прокладывают на конструкциях различного исполнения, возможно также и по дну канала. Число кабелей в канале может колебаться в широких пределах и зависит от диаметров кабелей и марки типового канала; в каналах максимальных размеров можно положить до 50-60 силовых кабелей. При необходимости прокладки большого числа кабелей возможно применение сдвоенных или трехстенных каналов, но при этом усложняется выполнение ответвлений к отдельным потребителям.

Каналы выполняются из унифицированных железобетонных лотковых каналов с перекрытиями, из унифицированных железобетонных стеновых плит с основаниями и перекрытиями из монолитного железобетона, а также кирпича.

Способ прокладки кабелей в каналах позволяет обеспечить осмотры и ремонты кабельных линий в процессе эксплуатации, а также прокладку нового или замену действующего кабеля без производства земляных работ. Кроме того, при прокладке кабелей в каналах обеспечивается надежная защита от механических повреждений. На рис. 2.15 представлены прямые участки унифицированных каналов лоткового типа и из сборных элементов. В табл. 2.4 приведены основные размеры унифицированных кабельных каналов.

Основные прямые лотковые каналы, перекрытия к ним, а также основные элементы сборных каналов имеют длину 3 м. Длина и ширина сборных элементов к лотковым и сборным каналам в местах поворотов и ответвлений берется из расчета прокладки в них кабелей напряжением до 10 кВ сечением $3 \times 240 \text{ мм}^2$ с радиусом изгиба кабеля $R = 25d$.

На участках, где могут быть пролиты расплавленный металл, жидкости с высокой температурой или вещества, разрушающе действующие на оболочки кабелей, сооружение кабельных каналов не разрешается.

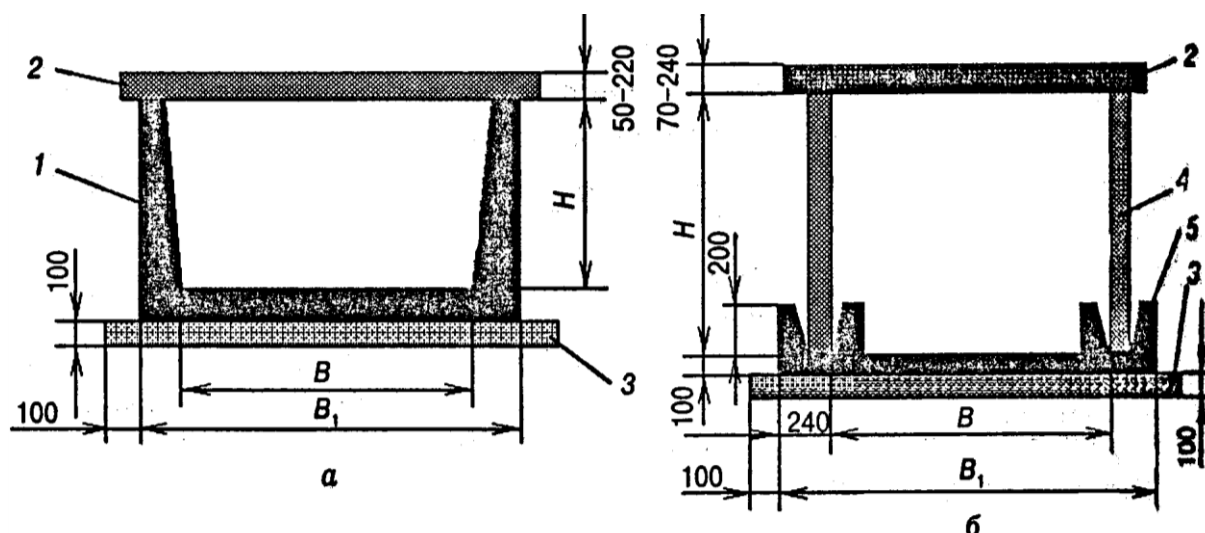


Рис. 2.15. Сборные железобетонные каналы:

а – лотковые типа ЛК; *б* – из сборных плит типа СК; 1 – лоток; 2 – плита перекрытия; 3 – подготовка песчаная; 4 – плита; 5 – основание

Кабельные каналы вне зданий, где это необходимо по соображениям охраны, должны быть засыпаны поверх съемных плит землей с толщиной слоя 300 мм и более. На огражденных территориях, доступных только для обслуживающего персонала, например на подстанциях, засыпка кабельных каналов поверх съемных плит запрещается.

Таблица 2.4

Размеры прямых участков унифицированных кабельных каналов

Исполнение	Сечение канала, мм	Размеры (см. рис. 2.15), мм		
		B	B_1	H
Лотковый канал типа ЛК				
ЛК-1	300×300	300	420	290
ЛК-4	600×450	600	760	450
ЛК-7	600×600	600	820	600
ЛК-9	120×600	1200	1140	580
Сборный канал типа СК				
СК-1	900×900	900	1380	900
СК-4	1200×1200	1200	1680	1200

В электромашинных помещениях каналы можно перекрывать рифленным железом, а в помещениях щитов управления с паркетными полами – деревянными щитами с паркетом.

Засыпка силовых кабелей, проложенных в каналах, запрещается. Расположение кабелей на конструкциях в зависимости от типоразмеров каналов может быть следующим: на одной стенке канала на подвесах; на одной стенке канала на полках; на обеих стенках на подвесах; на одной стенке канала на

подвесах, на другой стенке на полках; на обеих стенках канала на полках; на дне канала при глубине его не более 0,9 м.

Кабельные каналы следует рассчитывать с учетом возможности дополнительной прокладки кабелей не менее 10% от проложенных. Горизонтальное расстояние в свету между конструкциями при двустороннем их расположении (ширина прохода) должно быть не менее 300 мм для каналов глубиной до 600 мм и не менее 400 мм при каналах глубиной 900 и 1200 мм.

Для прокладки в каналах применяют кабели с оболочками, не распространяющими горение. Расположение кабелей и их крепление на конструкциях в зависимости от их напряжения, сечения и типа, а также выполнение горизонтальных асбоцементных перегородок и установка соединительных муфт такие же, как и в туннелях. Установка кабельных конструкций, расстояния между ними такие же, как и при установке в туннелях.

В тех случаях, когда другие виды прокладки кабелей не могут быть применены по технологическим, конструктивным или экономическим соображениям, используют прокладку **кабелей на тросах** (на стальном канате). Прокладка силовых кабелей на тросах применяется в сетях напряжением до 1 кВ как внутри помещений (цехов), так и вне их. Кабельные проводки на тросах внутри помещений выполняют по колоннам вдоль и поперек здания, а также между стенами (рис. 2.16), а вне помещений – как правило, между стенами зданий.

Для силовых линий, прокладываемых на тросе, применяют такие же кабели, как и для прокладки внутри зданий и сооружений. Кабели, прокладываемые вне зданий, в том числе и под открытыми навесами, должны иметь защитное негорючее наружное покрытие. Выбор троса производится в зависимости от несущей нагрузки. В качестве несущего троса применяют сплетенные из стальных оцинкованных проволок канаты и горячекатаную стальную оцинкованную проволоку.

Расстояние между анкерными креплениями несущего троса должно быть не более 100 м; расстояние между промежуточными креплениями – не более 30 м при прокладке одного-двух кабелей сечением до 70 мм², 12 м – для более двух кабелей сечением 70 мм² и во всех случаях прокладки кабелей сечением 95 мм² и выше. Расстояние между кабельными подвесками должно быть 0,8-1 м. Анкерные концевые конструкции крепят к стенам зданий или колоннам зданий; крепление их к балкам и фермам не допускается.

Эстакады и галереи являются альтернативой туннелям и блокам, функционально имеют одно и то же назначение – организовывать большие кабельные потоки и защищать их от механических и иных повреждений. Прокладка кабелей напряжением до 10 кВ сечением до 240 мм² на эстакадах и в галереях применяется для магистральных и межцеховых электрических сетей по территориям промышленных предприятий. Применение специальных кабельных эстакад рекомендуется в качестве основного вида прокладки

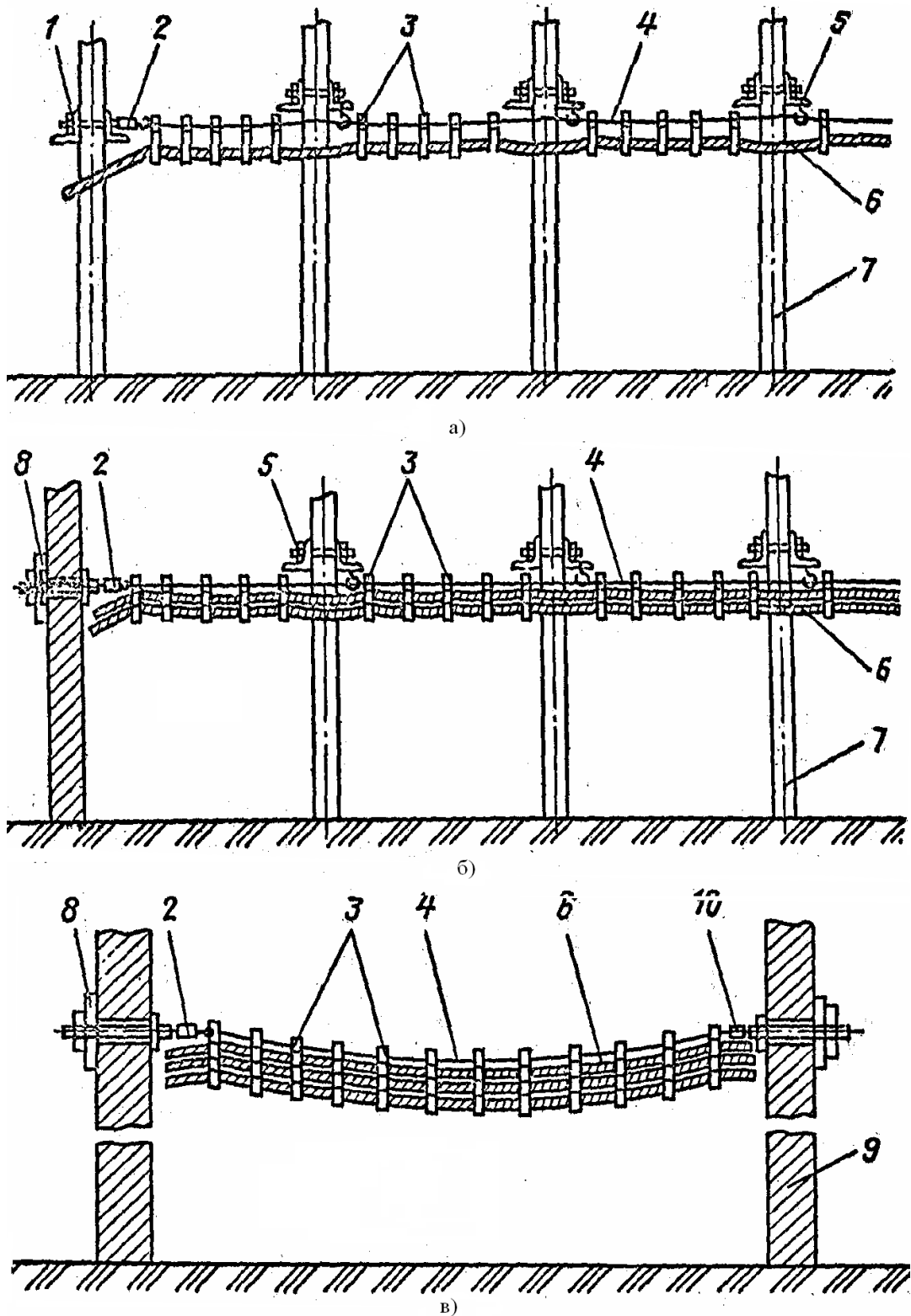


Рис. 2.16. Прокладка кабеля на тросах:

а — по колоннам; *б* — то же с креплением троса к стене; *в* — между стенами; 1 — обхват конечный; 2 — муфта натяжная; 3 — кабельный подвес; 4 — трос несущий; 5 — обхват промежуточный; 6 — кабель; 7 — колонна; 8 — анкер; 9 — стена; 10 — зажим тросовый

по территориям химических и нефтехимических предприятий, где не исключена возможность проливки веществ, разрушительно действующих на оболочки кабелей, а также на предприятиях, где уровень грунтовых вод близок к поверхности. Допускается использовать технологические эстакады для совмещенной прокладки трубопроводов и кабелей. Основные типы кабельных эстакад выполняют непроходными железобетонными, металлическими и комбинированными. Конструкция непроходных эстакад должна позволять обслуживание их со специально оборудованных машин.

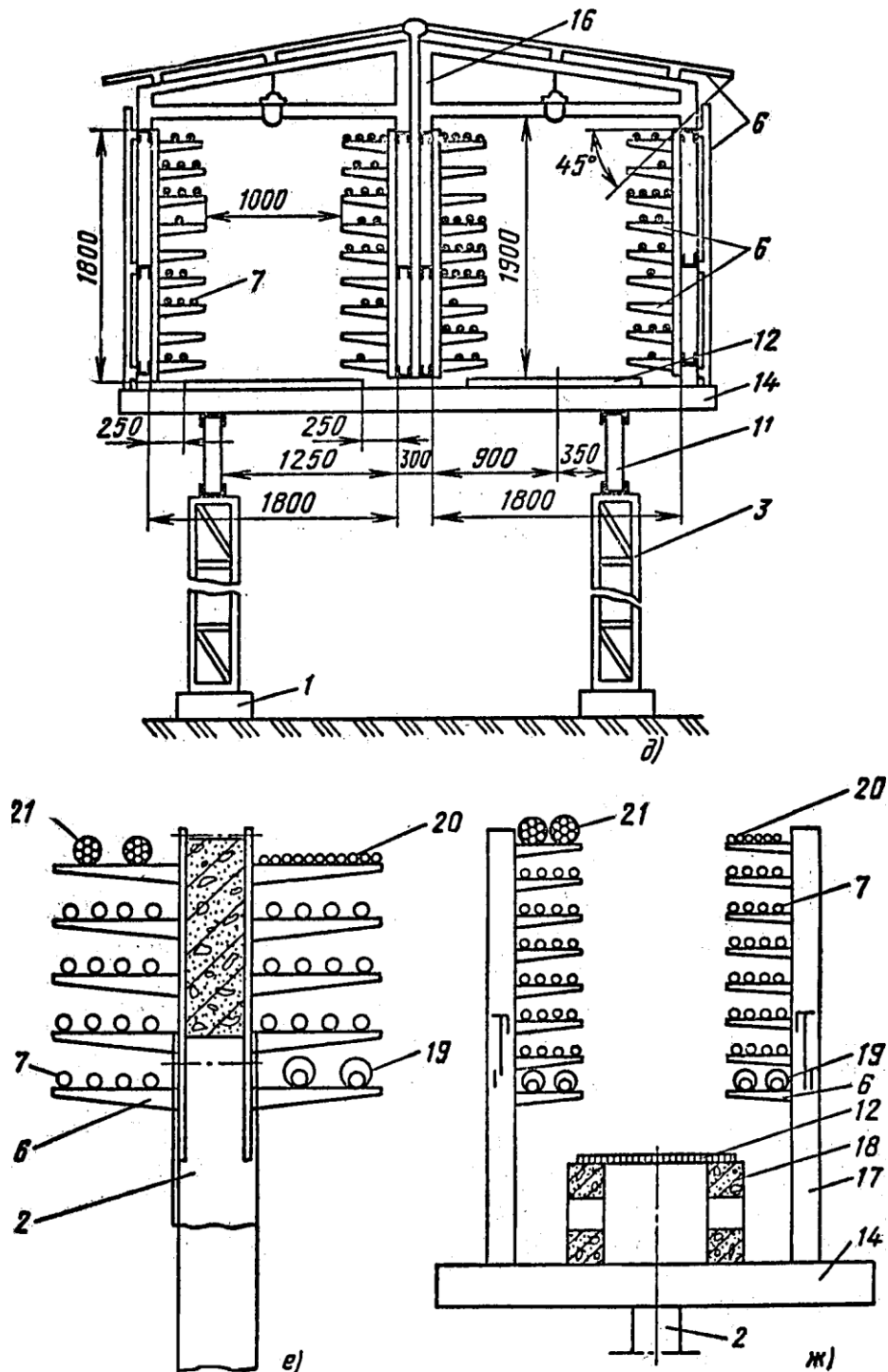


Рис. 2.17. Прокладка кабелей на кабельных эстакадах с солнцезащитными козырьками и без солнцезащитных козырьков:

a – эстакада непроходная железобетонная; *б* – эстакада проходная металлическая; *в* – галерея односторонняя; *г* – галерея двусторонняя металлическая; *д* – галерея трехстенная комбинированная; *е* – эстакада непроходная железобетонная без солнцезащитных козырьков; *жс* – эстакада проходная без солнцезащитных козырьков; 1 – железобетонное основание; 2 – железобетонная колонна; 3 – металлическая колонна; 4 – солнцезащитный козырек; 5 – железобетонная балка; 6 – кабельная конструкция (стойка и полки); 7 – кабели; 8 – стационарные солнцезащитные панели; 9 – съемные солнцезащитные панели; 10 – профиль стальной (только в местах стыка солнцезащитных панелей); 11 – основные несущие металлические фермы; 12 – металлический настил; 13 – металлическая траверса; 14 – железобетонная траверса; 15 – основные несущие железобетонные балки; 16 – сплошная огнезащитная перегородка; 17 – стойка; 18 – плита; 19 – соединительная муфта; 20 – контрольные кабели; 21 – пучок кабелей сечением до 16 мм².

На рис. 2.17 представлены галереи и кабельные эстакады различных исполнений из унифицированных элементов. При совмещенной прокладке трубопроводов и кабелей эстакады должны иметь индивидуальное исполнение. Непроходные эстакады применяют для прокладки до 16, 24 и 40 кабелей с пролетами между опорами 6 м, а для прокладки 24 и 48 кабелей – пролет 12 м. Проходные одно- и двухсекционные эстакады используют для прокладки до 64 и 128 кабелей с пролетами 6 и 12 м.

Расстояние между полками по вертикали на непроходных эстакадах 200 мм, на проходных – 250 мм. Расстояние по горизонтали между полками 1 м, но оно может быть увеличено при разработке конкретного проекта с учетом несущей способности кабельных конструкций. При прокладке кабелей в алюминиевой оболочке сечением жил 50 мм² и более расстояние между кабельными конструкциями допускается до 6 м. Стрела провеса кабелей между конструкциями должна быть 0,4 мм.

Для прокладки по эстакадам следует применять кабели без наружного горючего покрова, имеющие антикоррозийную защиту или с наружным защитным покровом из негорючего материала. Расположение кабелей на полках, расстояния между кабелями, установка соединительных муфт и другие условия такие же, что и при прокладке кабелей в туннелях.

Библиографический список

1. Баптиданов А.Н., Тарасов В.И. Электрические станции и подстанции. М.: Энергия. 1982.
2. Основы современной энергетики. Под общ. ред. чл. корр. РАН Е.В. Аметистова. В 2-х частях. М.: Издательство МЭИ. 2002.

3. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат. 1987.
4. Электрическая часть станций и подстанций. Под редакцией А.А.Васильева. М.: Энергия. 1980.
5. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики. М.: ИНФРА-М. 2005.
6. Быстрицкий Г.Ф. Общая энергетика. М.: Издательский центр «Академия». 2005.
7. Быстрицкий Г.Ф., Кудрин Б.И., Саженов В.А. Воздушные и кабельные линии. М.: Издательство МЭИ. 1988.
8. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. М.: Энергоатомиздат. 1989.
9. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Интернет Инжиниринг. 2005.
10. Пантелеев Е.Г. Монтаж и ремонт кабельных линий. 2-ое издание. М.: Энергоатомиздат. 1990.
11. Федоров А.А., Попов Ю.П. Эксплуатация электрооборудования промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат. 1986.
12. Правила устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат. Изд. 7, 2005.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ГЛАВА ПЕРВАЯ. ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ.....	5
1.1. Общие сведения и определения.....	5
1.2. Основные характеристики и элементы воздушных линий электропередачи (ВЛ)	8
1.3. Провода и грозозащитные тросы ВЛ.....	14
1.4. Опоры ВЛ.....	20
1.5. Изоляторы и линейная арматура.....	25
ГЛАВА ВТОРАЯ. КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ.....	34
2.1. Классификация кабельных линий.....	34
2.2. Прокладка кабельных линий.....	46
ЛИТЕРАТУРА.....	64

ВОЗДУШНЫЕ И КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Учебное пособие
по курсу
Внутризаводское электроснабжение и режимы

(Кафедра электрооборудования и электрохозяйства предприятий,
организация и учреждений КГЭУ)

Составители: Быстрицкий Геннадий Федорович,
Роженцова Наталья Владимировна

Редактор издательского отдела

Изд. лиц. ИД № 03480 от 08.12.00 Темплан издания КГЭУ 2008г.

Подписано к печати

Формат 60 x 84/16

Гарнитура «Times»

Вид печати РОМ

Бумага «Business»

Физ.печ. л.

Усл. печ. л.

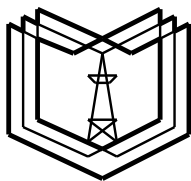
Уч.-изд. л. 3,0

Тираж 1000

Заказ

Издательский отдел КГЭУ
420066, Казань, Красносельская, 51

Типография КГЭУ
420066, Казань, Красносельская, 51



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Казанский государственный
энергетический университет

Г.Ф.Быстрицкий
Н.В.Роженцова

**ВОЗДУШНЫЕ И КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Казань 2008