МОНТАЖ, ПРОКЛАДКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ С ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ НА НАПРЯЖЕНИЕ 6 – 45 КВ и 110 – 330 КВ

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора – главный инженер
ООО ПО «Энергокомплект»

С.С. Красновский

24 . 02 .2026

ООО "ПО "ЭНЕРГОКОМПЛЕКТ"
Инв. № 4982

ИНСТРУКЦИЯ

Витебск 2026 г.

Содержание

Введение 4
1 Подготовительные работы 6
1.1 Общие указания 6
1.2 Нормативные ссылки 6
1.3 Правила безопасности при выполнении работ на кабельных линиях. Общие положения 9
1.4 Хранение и транспортировка барабанов с кабелем 9
1.5 Приемка трассы 11
1.6 Подготовительные работы 14
1.7 Требования к оборудованию для прокладки 17
1.8 Раскатка кабелей 19
2 Способы прокладки кабелей 20
3 Условия прокладки 24
3.1 Прокладка кабелей в земле 24
3.2 Одновременная прокладка трех фаз кабеля 25
3.3 Прокладка кабелей в вечномерзлых грунтах 26
3.4 Прокладка кабелей в кабельных сооружениях и производственных помещениях 27
3.5 Прокладка кабелей в трубах и блоках 31
3.6 Прокладка кабелей при низких и высоких температурах 34
3.6.1 Требования к минимальной температуре окружающего воздуха при прокладке кабеля без предварительного прогрева 34
3.6.2 Рекомендации к минимальной температуре окружающего воздуха при прокладке бронированного кабеля без предварительного прогрева 34
3.6.3 Требования к минимальной температуре кабеля при прокладке без предварительного прогрева 35
3.6.4 Температурные условия для предварительного прогрева кабеля 35
3.6.5 Предварительный прогрев кабеля 35
3.6.6 Прокладка предварительно прогретого кабеля 35
3.6.7 Требования к максимальной температуре окружающего воздуха при прокладке кабеля 36
4 Прокладка кабеля 36
5 Кабельная арматура 39

Разраб.	Короткевич А.М.	23.02.26
Проверил	Голомуздов А.В.	23.02.26
Н. контр.	Панченко Е.В.	23.02.26

Дубл. Взам. Подл.

ИМ

6 Схемы соединения и заземления экранов 41
7 Испытание оболочки кабеля и ее ремонт 41
8 Испытание кабельных линий после монтажа и в процессе эксплуатации 43
8.1 Общие положения 43
8.2 Порядок испытаний 44
8.3 Испытание кабелей повышенным напряжением 45
8.3.1 Испытательное напряжение 45
8.3.2 Испытание постоянным током кабеля, предназначенного для работы на переменном токе 46
8.4 Проверка физических параметров кабеля 46
9 Определение мест повреждений кабельных линий 46
10 Контроль технического состояний кабельных линий и их ремонт 48
10.1 Ремонт кабелей 49
10.2 Технологические этапы ремонта многофазного кабеля 50
10.3 Методические указания по ремонту кабеля 51
11 Герметизация концов кабелей 52
12 Правила безопасности при выполнении работ на кабельных линиях 53
12.1 Земляные работы 53
12.2 Вскрытие муфт, разрезание кабеля 54
12.3 Прокладка, перекладка кабеля и переноска муфт 54
12.4 Работы в подземных сооружениях 55
13 Засыпка траншеи грунтом, маркировка 55
14 Обходы и осмотры кабельных линий 56
Приложение 1. Технология ремонта оболочки кабеля 59
Приложение 2. Перечень веществ, вредно действующих на оболочку кабеля 61
Приложение 3. Выбор номинального сечения жил и экранов в зависимости от токовых нагрузок и условий прокладки 63
Приложение 4. Пример расчета усилий тяжения и радиального давления на кабель 86
Приложение 5. Список оборудования, приспособлений, инструментов и материалов, необходимых для прокладки одной строительной длины кабеля (ориентировочный) 88
15 Лист регистрации изменений 90

Введение

Настоящая инструкция предназначена для руководства при прокладке, монтаже и эксплуатации кабельных линий, выполненных кабелем, изготовленным ООО «ПО «Энергокомплект» и обязательна к применению при строительстве и эксплуатации кабельных систем на напряжение от 6,0 кВ до 330 кВ.

К силовым кабелям с полимерной изоляцией относятся кабели с изоляцией из поливинилхлоридного пластиката (ПВХ), с изоляцией из сшитого вулканизированного полиэтилена (СПЭ) и с изоляцией из этиленпропиленовой резины (ЭПР).

Силовые кабели предназначены для использования в распределительных электрических сетях:

- для передачи и распределения электрической энергии и электрических сигналов в стационарных электротехнических установках при переменном напряжении от 6,0 кВ до 330 кВ, частотой 45 – 65 Гц;
- для неподвижного присоединения к электрическим приборам, аппаратам, сборкам зажимов электрических распределительных устройств;
- для прокладки в земле, в воздухе, в кабельных сооружениях, в производственных и офисных помещениях, в жилых и общественных зданиях, в зрелищных, медицинских и учебных заведениях;
- для общепромышленного применения;
- для АЭС в гермозоне и вне гермозоны в системах класса 3 по классификации НП-001 (для зарубежных АЭС классификация по НП 001-97).

Кабели могут использоваться в сетях с изолированной и с глухозаземленной нейтралью.

Кабели предназначены для прокладки на трассах без ограничения разности горизонтальных отметок прокладки.

При прокладке кабелей на воздухе (на эстакадах, галереях, открытых лотках и т.д.), должна быть предусмотрена защита кабелей от ультрафиолетового и инфракрасного (солнечного) излучения. При отсутствии такой защиты материал оболочки кабеля должен обладать соответствующей стойкостью и при этом расчет максимально допустимого тока в кабеле должен производиться по IEC 60287 [18, 20] с учетом коэффициента поглощения солнечной радиации поверхностью кабеля и интенсивности солнечного излучения для широты, в которой прокладывается кабель.

При прокладке кабелей в водонасыщенных грунтах или в затапливаемых кабельных сооружениях, по экрану или под экраном могут быть намотаны водоблокирующие (водонабухающие) ленты, препятствующие продольному распространению влаги вдоль изоляции токопроводящих жил (продольная герметизация «г»). В алюминиевых жилах в этом случае могут наматываться по повивам водоблокирующие нити (категория «гж»). Кабели с обозначением «2г» имеют кроме продольной герметизации, металлический барьер из алюмополимерной ленты, приваренной с внутренней стороны оболочки, препятствующий поперечному проникновению влаги. Кабели с обозначением «г» предназначены для прокладки в земле (в траншеях), кабели с обозначением «2г» - в сырых, частично затапливаемых помещениях и территориях, в несудоходных водоемах при обеспечении их механической защиты.

Кабели с маркировкой «нг» предназначены для одиночной, «нг (A F/R, A..D)» – групповой прокладки в кабельных сооружениях, помещениях, в том числе и пожароопасных.

Кабели с маркировкой и «нг-LS» предназначены для прокладки в кабельных сооружениях и объектах, где кроме требований нераспространения горения предъявляются условия к пониженному дымогазовыделению при горении и тлении (атомных и тепловых электростанциях, метрополитенах, высотных зданиях, учреждениях с большим скоплением людей, крупных промышленных объектах с технологически опасным производством и т.п.).

Прокладка кабелей непосредственно по сгораемым, трудносгораемым и несгораемым поверхностям открыто или скрыто допускается только специально предназначенных для этой цели кабелей в соответствии с требованиями пожарной безопасности.

Для прокладки в стальных трубах, коробах и в замкнутых каналах строительных конструкций следует применять кабели, специально предназначенные для этих целей.

При наличии в местах прокладки кабелей масел и эмульсий следует применять кабели с маслостойкой оболочкой или кабели должны быть защищены от их воздействия.

В сырых и особо сырых помещениях для прокладки следует применять кабели с влагостойкой изоляцией и/или во влагостойкой оболочке.

Кабели предназначены для эксплуатации в стационарном состоянии при температуре окружающей среды от минус 50°С до плюс 50 °С. Кроме этого могут изготавливаться кабели холодостойкие от минус 60°С до плюс 40°С, и в тропическом исполнении от минус 25°С до плюс 65°С.

Длительно допустимая температура нагрева жил кабеля при эксплуатации допускается для кабелей с ПВХ изоляцией – до 70°С, с СПЭ изоляцией и с изоляцией из ЭПР – до 90°С.

Максимально допустимая температура нагрева жил кабелей при коротком замыкании допускается до 250°С; продолжительность короткого замыкания не должна превышать 5 сек.

Допустимая температура нагрева жил кабеля в режиме перегрузки – не более 130°С.

Продолжительность работы кабелей в режиме перегрузки – не более 8 часов в сутки, 100 часов в год и 1000 часов за весь срок службы.

Срок службы кабелей с полимерной изоляцией не менее 30 лет при соблюдении потребителем условий транспортирования, хранения, прокладки (монтажа) и эксплуатации, указанных в настоящей Инструкции и технических условиях. Конкретный срок эксплуатации указывается в документации на поставляемый кабель.

1 Подготовительные работы

1.1 Общие указания

Данная инструкция распространяется на технологический процесс монтажа и прокладки одно- и трехфазных кабелей с полимерной изоляцией на напряжение 6 – 45 кВ и 110 – 330 кВ в земле (траншее, в лотках), в воздухе, кабельных сооружениях, в блоках (трубах) и производственных помещениях.

Описанные в инструкции действия и операции относятся к одной строительной длине.

Инструкция распространяется на монтажные операции, проводимые в любое время года.

Прокладка и монтаж кабелей должна выполняться специализированной монтажной организацией, имеющей соответствующее оборудование, приспособления, инструмент, материалы и квалифицированных специалистов, прошедших специальное обучение.

Прокладка и монтаж кабелей должна выполняться по проекту производства работ (ППР) с учетом требований настоящей инструкции, а также действующих нормативных документов (приведены в разделе 1.2) и других НТПД, действующих в местных условиях.

На подводную прокладку инструкция не распространяется. Условия прокладки кабеля в воде определяются при проектировании кабельной линии с учетом конкретных условий и должны быть согласованы с предприятием-изготовителем кабеля.

На каждый этап прокладки кабеля должен быть составлен соответствующий акт.

1.2 Нормативные ссылки

При разработке инструкции использовались следующие документы:

1. ГОСТ 34834-2022 «Кабели силовые с экструдированной изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно»;
2. СТБ IEC 60502-2-2018 «Кабели силовые с экструдированной изоляцией и кабельная арматура на номинальное напряжение от 1 (Um = 1,2 кВ) до 30 кВ (Um = 36 кВ). Часть 2. Кабели на номинальное напряжение от 6 (Um = 7,2 кВ) до 30 кВ (Um = 36 кВ)»; (для РФ ГОСТ Р 55025-2012 «Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия»)
3. СТБ IEC 60840-2018 «Кабели силовые с экструдированной изоляцией и кабельная арматура на номинальное напряжение свыше 30кВ (Uм=36 кВ) до 150кВ (Uм =170 кВ). Методы испытаний и требования» (для РФ ГОСТ РМЭК 60840—2022 «Кабели силовые с экструдированной изоляцией и арматура к ним на номинальное напряжение свыше 30 кВ ($U_м$ = 36 кВ) до 150 кВ ($U_м$ = 170 кВ)»);
4. СТБ IEC 62067-2018 «Кабели силовые с экструдированной изоляцией и их кабельная арматура на номинальное напряжение свыше 150 кВ (Uм = 170 кВ) до 500 кВ (Uм = 550 кВ). Методы испытаний и требования» (для РФ ГОСТ Р МЭК 62067-2017 «Кабели силовые с экструдированной изоляцией и арматура к ним на номинальное напряжение свыше 150 кВ ($U_м$ = 170 кВ) ДО 500 кВ ($U_м$ = 550 кВ)»);
5. ГОСТ 18690-2012 «Кабели, провода, шнуры и кабельная арматура. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение».
6. ГОСТ 22489-2021 (IEC 30228:2004) «Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров».
7. ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды».
8. ТУ BY 300528652.018-2010 «Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 64/110 кВ», ООО «ПО «Энергокомплект»;
9. ТУ BY 300528652.064-2020 «Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 127/220 и 190/330 кВ кВ», ООО «ПО «Энергокомплект»;
10. ТУ BY 300528652.080-2021 «Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6-45 кВ», ООО «ПО «Энергокомплект»;
11. ТУ BY 300528652.057-2018 «Кабели силовые с изоляцией из этиленпропиленовой резины на напряжение 6-35 кВ», ООО «ПО «Энергокомплект»;

12. ТУ BY 300528652.021-2010 «Кабели силовые и контрольные с изоляцией из поливинилхлоридного пластиката или сшитого полиэтилена»;
13. СП 4.04.06-2024 «Монтаж электротехнических устройств» (для РФ СП 76.13330.2016 «Свод правил. Электротехнические устройства». Актуализированная редакция СНиП 3.05.06-85).
14. СН 1.03.04-2020 «Организация строительного производства»
15. IEC 60183 Кабели высоковольтные. Руководство по выбору.
16. СН 4.04.05-2025 «Электрические сети внешнего электроснабжения» (для РФ «ПУЭ-7 Правила устройства электроустановок седьмое издание» (ПУЭ));
17. СП 4.04.07-2025 «Электрические сети внешнего электроснабжения»;
18. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1 Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Методы расчета номинальной токовой нагрузки (100 %-ный коэффициент нагрузки) и потерь. Общие положения.
19. ГОСТ Р МЭК 60287-1-3. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1-3. Методы расчета номинальной токовой нагрузки (100 %-ный коэффициент нагрузки) и потерь. Распределение тока между одножильными кабелями, расположенными параллельно, и расчет потерь, обусловленных циркулирующими токами.
20. ГОСТ Р МЭК 60287-2-1. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 2-1. Тепловое сопротивление. Расчет теплового сопротивления.
21. IEC 60229. Electric cables – Tests on extruded oversheaths with a special protective function.
22. МЭК 60853-2 «Расчет токовых нагрузок кабеля при циклическом и аварийном режимах работы Часть 2. Токовые нагрузки кабелей на напряжение выше 18/30 (36) кВ при циклическом режиме и токовые нагрузки кабелей всех напряжений при аварийном режиме».
23. Другие национальные нормативные, технические, правовые документы.

Национальные нормативные, технические, правовые документы далее обозначены как НТПД.

1.3 Правила безопасности при выполнении работ на кабельных линиях. Общие положения

При проведении погрузочно-разгрузочных работ, транспортировке и прокладке кабелей необходимо выполнять правила техники безопасности согласно требованиям НТПД.

В случаях, когда прокладка, монтаж, эксплуатация, монтаж соединений проводов транспозиции и заземления должен производиться в условиях, не предусмотренных указанными выше правилами, должны быть разработаны и утверждены дополнительные меры безопасности в проекте производства работ.

1.4 Хранение и транспортировка барабанов с кабелем

Хранение и транспортировка барабанов с кабелем должна осуществляться в соответствии с ГОСТ 18690 и нормативно-технической документацией завода-изготовителя.

Условия транспортирования кабелей в части воздействия климатических факторов внешней среды должны соответствовать группе 8(ОЖЗ) по ГОСТ 15150. Условия хранения кабелей должны соответствовать группе 8(ОЖЗ) по ГОСТ 15150.

Допускается хранение кабелей на барабанах в обшитом виде на открытых площадках не более 2 лет, под навесом – не более 5 лет (если на барабан с кабелем не попадают осадки и прямые лучи солнца), в закрытых помещениях (складах) – не более 5 лет.

При выполнении работ, связанных с транспортировкой, погрузкой, разгрузкой, должны соблюдаться следующие условия:

- Концы кабелей во время транспортировки и хранения должны быть герметизированы, чтобы предотвратить проникновение воды, и закреплены.
- Барабаны должны всегда располагаться в вертикальном положении.
- При транспортировке каждый барабан должен быть закреплен отдельно.
- Погрузка и разгрузка барабанов с кабелем должна осуществляться с помощью грузоподъемных механизмов необходимой грузоподъемности, с соблюдением соответствующих правил техники безопасности и правил строповки грузов.
- Барабаны при подготовке к транспортированию быть надежно закреплены чалками в грузовом отсеке транспортного средства (в кузове автомобиля, на прицепе, ж/д платформе, и т. д.).



Рисунок 1 – Правильная позиция для транспортировки кабеля

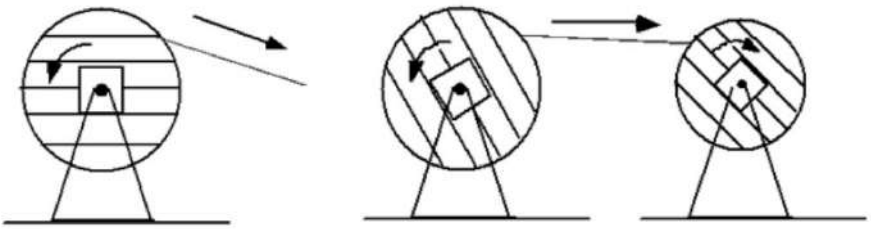


Рисунок 2 – Правильный сход кабеля с барабана и намотка с барабана на барабан

- Запрещается перевозка барабанов с кабелем плашмя (на щеке).
- Погрузка, разгрузка и перевозка барабанов с кабелем без обшивки или с нарушенной обшивкой запрещается.
- При погрузке и разгрузке барабанов с кабелем рекомендуется применять грузозахватное приспособление, которое крепится в осевом отверстии щёк барабана.
- Скорость транспортирования должна обеспечивать сохранность барабанов с кабелем при резком торможении.
- Перемещения и установку барабанов с кабелем следует производить, не допуская их ударов. Разгрузка барабанов сбрасыванием с автомобилей и других транспортных средств запрещается.
- Запрещается разгрузка барабана с кабелем скатыванием с автомобилей и других транспортных средств, а также погрузка барабанов в транспортные средства накатом, за исключением случаев, когда дно кузова автомобиля (или дно железнодорожной платформы и т.д.) находится на одном уровне с полом эстакады, на которую разгружается (или с которой загружается) барабан с кабелем.
- При перекатывании барабанов с кабелем следует соблюдать направление вращения, указанное стрелкой на щеке барабана. Перекатка барабанов с выступающими концами кабеля запрещается. Концы кабеля должны быть закреплены на барабане.

- Условия хранения и транспортирования кабелей в части воздействия климатических факторов внешней среды должны соответствовать группе 8(ОЖЗ) по ГОСТ 15150.

Допускается ремонт наружной оболочки кабеля равноценным по качеству материалом по методике ОАО «ВНИИКП». Число ремонтов оболочки кабеля в заводских условиях должно быть не более одного на строительную длину кабеля.

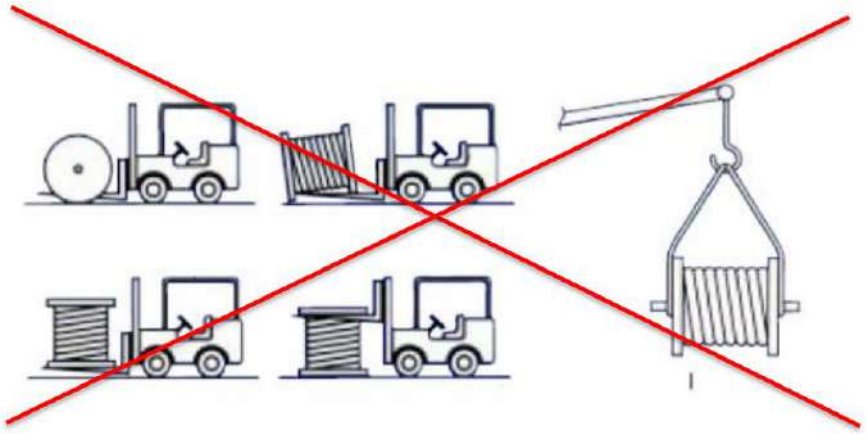


Рисунок 3 – Такая транспортировка кабеля запрещена

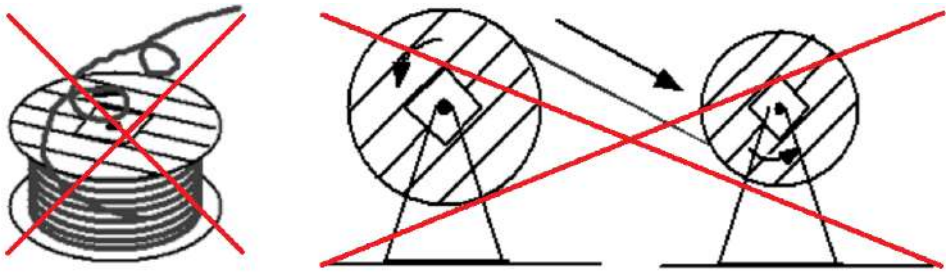


Рисунок 4 – Неправильное раскручивание барабана

1.5 Приемка трассы

Перед началом прокладки кабелей трасса кабельной линии должна быть принята от строительно-монтажной организации по акту. Трасса должна соответствовать проектной документации и данной инструкции.

До прокладки кабелей должны быть выполнены следующие работы:

- установлены опорные стойки для концевых муфт;
- выполнены пересечения с другими инженерными коммуникациями;
- подготовлены проходы для вводов кабелей в здания и сооружения, и в них вставлены трубы не обладающие ферромагнитными свойствами;
- в кабельных сооружениях смонтированы опорные конструкции согласно проекту;

- из траншей откачана вода, удалены камни, посторонние предметы и строительный мусор;
- сделана подсыпка из песчано-гравийной смеси толщиной 100 мм на дне траншеи или в лотках;
- подготовлены котлованы для монтажа соединительных муфт;
- проходимость блочных труб должна быть проверена специальными калибрами.
- заготовлена вдоль трассы песчано-гравийная смесь (песок с размером зёрен не более 2 мм и гравий с размерами частиц до 15 мм в соотношении 1:1) для присыпки кабеля после прокладки;
- заготовлены железобетонные плиты, кирпичи для укрытия кабелей, предусмотренные проектом;
- при необходимости, на заходах в котлованы и колодцы вырыты приямки для укладки кабелей после монтажа муфт.

В случае использования лотков они должны быть уложены на дно траншеи на ненарушенную структуру грунта и состыкованы так, чтобы не было смещения лотков относительно друг друга в горизонтальной и вертикальной плоскостях с учетом следующего:

- на углах поворотов стыки между лотками должны быть скреплены бетоном;
- на участках с сыпучими или влажными грунтами стенки траншеи должны быть раскреплены, при этом крепления не должны мешать последующей прокладке кабеля.

Трубы, в которых будут прокладываться кабели, должны быть уложены по возможности прямолинейно. Заходы труб с внутренней стороны должны быть округлены с радиусом не менее 5 мм и не иметь выступов, изломов, зазусенцев.

Трубы должны быть соединены сваркой, муфтами, соединительными патрубками или манжетами и скреплены цементным раствором для исключения перемещения труб во время прокладки кабеля.

Не допускается применять для соединения труб манжеты, муфты и соединительные патрубки из материалов, имеющих свойства намагничивания (например, листовой стали), если они будут охватывать замкнутым контуром кабели одной фазы, проложенной в соединяемых трубах.

Внутренний диаметр муфты, соединительного патрубка или манжеты должен быть не меньше внутреннего диаметра соединяемых труб.

В процессе стыковки труб и сооружения трубных переходов рекомендуется затягивать проволоку, которая впоследствии будет использована для протягивания стального каната (троса), предназначенного для прочистки трубы (канала) и затягивания кабеля.

До протягивания кабеля в трубный переход необходимо очистить его от остатков бетонного раствора и строительного мусора. Для этого через трубу протянуть с помощью лебедки канат с прикрепленным к нему приспособлением в виде стального контрольного цилиндра, обернутого одним куском материала, и трех ершей из стальной проволоки.

Проверить траншеи перед входами труб. Для предотвращения попадания песка и гравия в трубы при тяжении кабеля дно траншеи перед входами труб должно быть ниже труб на 10-15 см.

Трассы блочной канализации для прокладки кабелей должны быть подготовлены с учётом следующих требований:

- выдержана проектная глубина заложения блоков от планировочной отметки;
- обеспечена правильность укладки и гидроизоляция стыков железобетонных блоков и труб;
- обеспечены чистота и соосность каналов (каналы должны быть очищены от крошек бетона, песка, камней, мусора и не должны иметь выступов внутри);
- выполнены двойные крышки (нижняя с запором) люков колодцев, металлические лестницы или скобы для спуска в колодец.

Согласно ППР должны быть выполнены и тщательно спланированы площадки для установки барабанов с кабелем и тяговой лебёдки.

С трассы кабеля должны быть вывезены посторонние предметы и мусор: камни, корни деревьев, строительный мусор, куски металла, шлака и т.п.

При особых условиях прокладки на пересечениях с теплотрассами, трубопроводами, автомобильными и железными дорогами и т.д., прокладке по специальным сооружениям (мостам, плотинам, дамбам, причалам, пирсам), должны соблюдаться специальные требования к трассе и условиям прокладки, приведенные в НТПД, а также общие требования, приведённые в настоящей инструкции.

При прокладке на стальных канатах и в других особых условиях, не оговорённых в настоящей инструкции (например, в трубах и блоках большой протяжённости, на эстакадах, подверженных значительным температурным деформациям, на сложных пересечениях с теплотрассами и коммуникациями), ППР должен быть обязательно согласован с заводом-изготовителем кабеля.

ППР на прокладку кабелей 110 кВ и выше должен быть согласован заводом-изготовителем кабеля.

1.6 Подготовительные работы

Прокладку кабелей разрешается начинать только при наличии проектной документации на кабельную линию и ППР.

К началу работ по прокладке кабелей должны быть полностью закончены строительные работы по сооружению туннелей, каналов, эстакад, колодцев, включая установку закладных частей для крепления кабельных конструкций, выполнены отделочные работы, смонтировано электроосвещение, вентиляция, а также системы пожаротушения и водоудаления.

Траншеи, трубы, лотки и блоки для прокладки кабелей к началу работ должны быть полностью подготовлены.

При прокладке кабелей должны также соблюдаться соответствующие нормы и правила, предусмотренные другими нормативными документами, утвержденными или согласованными в установленном порядке.

Вывозить барабаны к месту прокладки рекомендуется не более чем за один день до начала работ, чтобы избежать возможных повреждений при длительном хранении барабанов на трассе.

До начала прокладки кабеля необходимо провести следующие подготовительные мероприятия:

- подготовить необходимые помещения и площадки для размещения бригад рабочих, инженерно-технических работников, производственной базы, а также для складирования материалов и инструмента с обеспечением мероприятий по охране труда, противопожарной безопасности и охране окружающей среды в соответствии с НТПД;
- произвести внешний осмотр барабанов с кабелем, подлежащих прокладке. Убедиться в том, что обшивка барабанов не нарушена и не повреждена механическая защита внутренних концов кабеля (капы). Проверить записи, которые велись при хранении барабанов с кабелем;
- привести и установить на трассе барабаны с кабелем, механизмы и приспособления для прокладки в соответствии с ППР;
- барабаны с кабелем установить на отдающее устройство так, чтобы при размотке конец кабеля сходил сверху барабана. Закладные втулки барабанов должны быть плотно посажены (закреплены) в теле барабана, для этого необходимо подтянуть гайки на шпильках и втулках;
- на участке трассы между барабанами и лебедкой установить ролики так, чтобы при протяжке кабель не провисал. Расстояние между роликами на прямолинейных участках должно быть не более 4 м. На по-

воротах трассы должны быть установлены угловые ролики, обеспечивающие плавный поворот кабеля с радиусом изгиба не менее 15 D, где D-наружный диаметр кабеля.

- Ролики не должны иметь острых граней и заусенцев, которые могут повредить наружный покров кабеля. В местах поворота трассы установить и надежно закрепить угловые ролики (при необходимости установить анкера.). Оси роликов должны быть тщательно смазаны смазкой, ролики должны свободно и легко вращаться;

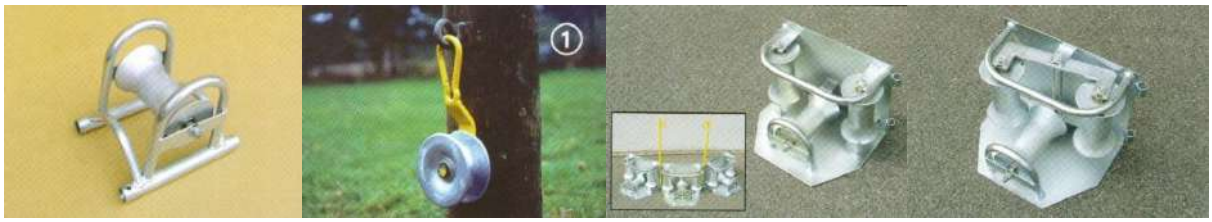


Рисунок 5 – Ролики линейные и поворотные

- при прокладке кабеля в блоках, в тоннеле (канале) необходимо установить по трассе, согласно ППР, ролики (угловые, направляющие, ролики для троса и т.д.) и другое оборудование, необходимое для установки роликов и направления кабеля (распорные крепления, обводные устройства, воронки и т.д.). Направляющие ролики должны быть установлены на входе и выходе тоннеля, канала блока, трубы, а также во всех промежуточных колодцах (если они имеются по трассе);



Рисунок 6 – Ролик и воронка направляющие в трубы

- для обеспечения плавного спуска кабеля в траншею у барабана установить направляющие ролики, ширина первого из них должна быть не меньше ширины барабана;



Рисунок 7 – Ролик-рольганг, приемный от барабана

- на торце труб в переходах установить входные воронки или специальные направляющие ролики. Для предотвращения образования острых кромок от прохода троса на выходах из труб установить специальные направляющие ролики;
- установить тяговое устройство (лебёдку) у конца трассы или за кабельным колодцем;
- установить телефонную или УКВ связь между местами расположения барабанов, лебедки, поворотов, перегородок и переходов трассы;
- установить барабан с кабелем на отдающее устройство (домкраты, стойки и т.п.), снять обшивку, вытащить из щек барабанов гвозди и скобы, которые могут повредить кабель при протяжке;
- проверить крепление нижнего конца кабеля (при необходимости закрепить его дополнительно);
- установить тормозное устройство для регулирования скорости вращения барабана при протяжке (для предотвращения инерционного раскручивания барабана);
- при подготовке к тяжению проволочным чулком или концевым захватом необходимо проволочный чулок закреплять так, чтобы не повредить защитную капу на конце кабеля;
- при подготовке к тяжению клиновым захватом капа на конце кабеля снимается и на жилу кабеля монтируется клиновой захват. При прокладке кабеля в трубах, в которых может быть вода, и при атмосферных осадках применение клинового захвата запрещается;
- для предотвращения сползания чулка (концевого захвата) с кабеля он должен быть забандажирован тонкой медной или алюминиевой проволокой и липкой ПВХ лентой;

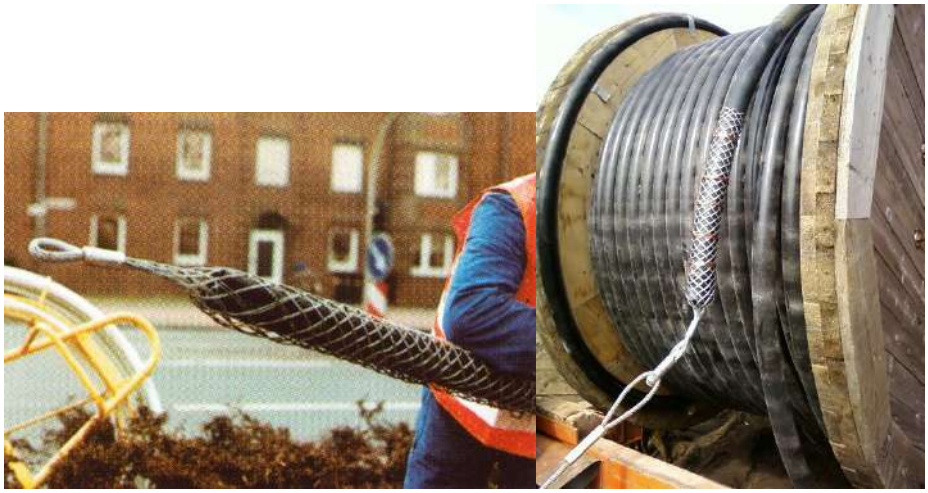


Рисунок 8 – «Чулок» на кабеле и пример крепления троса и «чулка» на кабеле

- растянуть канат тяговой лебедки по трассе и прикрепить его к петле для тяжения на проволочном чулке или захвате; при тяжении трёх кабелей канат тяговой лебедки необходимо прикреплять через противозакручивающее устройство к месту соединения тросов, идущих от петель для тяжения на трёх чулках (захватах).

При подготовке к тяжению кабелей в трубах или каналах блоков необходимо обратить внимание на то, чтобы габаритные размеры проволочного чулка или захвата, подготовленного к тяжению, позволили протянуть кабель без заклинивания в трубе или канале блока. Для определения допустимых габаритных размеров следует руководствоваться требованиями п.3.5 настоящей инструкции (условия прокладки в трубах), при этом вместо наружного диаметра кабеля в расчет следует принимать максимальный диаметр, охватывающий снаружи в поперечном сечении кабельный чулок или захват, подготовленный к тяжению (при протяжке нескольких кабелей – максимальный диаметр, охватывающий узел крепления, подготовленный к тяжению).

1.7 Требования к оборудованию для прокладки

Тяжение кабелей во время прокладки должно производиться при помощи проволочного кабельного чулка (или концевого захвата), закрепляемого на оболочке кабеля, или за токопроводящую жилу при помощи клинового захвата. Применение клинового захвата не допускается при протяжке кабеля в трубах и при атмосферных осадках.

Усилия тяжения кабеля *P*, возникающие при прокладке, не должны превышать величин, рассчитанных по формуле:

$$P = \sigma \cdot S \qquad (1)$$

где P – усилие тяжения, Н (кГс);

S – площадь поперечного сечения жилы кабеля, мм^2;

σ – предельно допускаемое при растяжении механическое напряжение в жиле кабеля, равное:

- 50 Н/мм^2 (5 кГс/мм^2) – для кабелей с медной жилой;
- 30 Н/мм2 (3 кГс/мм2) – для кабелей с алюминиевой жилой.

Тяговая лебедка должна иметь специальные устройства, позволяющие:

- контролировать усилие тяжения кабеля;
- производить запись этого усилия на диаграмму в течение всего процесса тяжения кабеля;
- производить автоматическое отключение тяговой лебедки, если усилие тяжения превысит заданную величину;

Трос тяговой лебёдки должен быть снабжен противозакручивающим устройством.



Рисунок 9 – Тяговая лебедка с мини компьютером

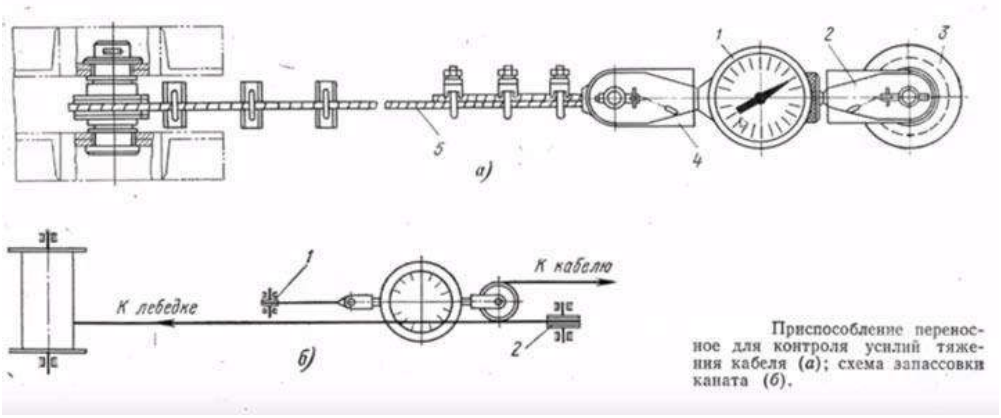
Усилия тяжения кабеля при прокладке должны быть рассчитаны при проектировании кабельной линии и учтены при заказе строительных длин кабеля.

Максимально допустимое радиальное давление для небронированного кабеля составляет не более:

- 1500 Н/м – при протягивании через угловой ролик;
- при использовании системы роликов:
  - 4500 Н/м при установке 3-х роликов на 1 м длины;
  - 7500 Н/м при установке 5-ти роликов на 1 м длины.

Максимально допустимое усилие тяжения для небронированного кабеля при протяжке в трубах (блоках) не должно превышать 10000 Н/м.

При отсутствии на тяговой лебедке устройства, контролирующего усилие тяжения, допускается использовать динамометрическое устройство, через которое тяговый трос соединяется с лебедкой (см. рисунок 10).



Приспособление переносное для контроля усилий тяжения кабеля (*а*); схема запассовки каната (*б*).

Рисунок 10 – Динамометр и схема его подсоединения

При большой длине кабеля и значительных усилиях тяжения кабеля рекомендуется применять промежуточный разъемный чулок, присоединенный к второй лебедке, работающей синхронно с основной.



Рисунок 11 – Разъемный «Чулок» на месте присоединения дополнительной лебедки

1.8 Раскатка кабелей

Раскатка кабелей может производиться с движущегося кабельного транспортера, автомобиля или трубоукладчика в тех случаях, когда механизм может свободно двигаться вдоль трассы и когда в траншее нет сооружений, требующих протяжки через них кабелей (трубы, блоки, поперечные подземные сооружения).

Скорость движения механизма при раскатке кабелей должна быть в пределах 0,6 – 1 км/ч, при этом расстояние между краем траншеи и колесом механизма должно быть не менее глубины траншеи, умноженной на коэффициент 1,25.

При раскатке не допускаются рывки кабеля при сходе с барабана, которые могут привести к повреждению кабеля из-за появления механических нагрузок, превышающих допустимые усилия тяжения кабеля. Для этого необходимо следить, чтобы кабель плавно сматывался с барабана и имел провис. Необходимо также следить, чтобы сматываемый кабель не терся о щеку барабана (при необходимости следует применять защитную направляющую воронку).

При раскатке кабеля по дну траншеи вслед за кабелем должны двигаться рабочие, которые принимают сматываемый с барабана кабель и укладывают его на дно траншеи.

2 Способы прокладки кабелей

Кабели с полимерной изоляцией могут прокладываться в земле (траншее или лотках, рисунке 12), в кабельных помещениях (туннели, галереи, эстакады), в блоках (трубах), в кабельных каналах, в производственных помещениях (в лотках, по стенам).



Рисунок 12 – Прокладка трехфазных кабелей 10 кВ в траншее

Способ прокладки кабелей выбирается на стадии проектирования кабельной линии. При этом необходимо руководствоваться следующим:

- При прокладке кабелей в земле рекомендуется в одной траншее прокладывать не более шести кабельных линий. При большем количестве кабелей рекомендуется прокладывать их в отдельных траншеях или в каналах, туннелях, по эстакадам и в галереях.

- Прокладка кабелей в туннелях, по эстакадам и галереям рекомендуется при количестве кабельных линий, идущих в одном направлении более двадцати.
- Прокладка кабелей в блоках применяется в условиях большой стесненности по трассе, в местах пересечений с железнодорожными путями и проездами, при вероятности разлива металла, агрессивных химически активных веществ и т. п.

Радиус изгиба кабеля при прокладке должен быть не менее: для одножильных кабелей 15 D, для трехжильных кабелей 10 D, где D – наружный диаметр кабеля.

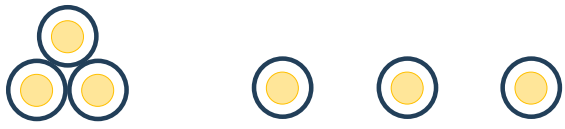
При монтаже одножильных кабелей с использованием специального шаблона допускается минимальный радиус изгиба кабеля 7,5 D, при этом место изгиба кабеля необходимо подогревать до температуры 30°С. Следует учитывать, что распрямление кабеля и его повторный изгиб в этом месте не допускается.

Кабели должны быть уложены с запасом по длине 1 – 2 %, достаточным для компенсации температурных деформаций кабелей и конструкций, а также возможных смещений почвы. В траншеях и на сплошных поверхностях внутри зданий и сооружений запас создается путем укладки кабеля «змейкой», а по кабельным конструкциям (кронштейнам) этот запас создается образованием стрелы провеса.

ВНИМАНИЕ! Укладывать запас кабеля в виде колец (витков) запрещается.

Кабельные металлические конструкции должны быть заземлены в соответствии с ПУЭ и НТПД.

При прокладке кабельной линии кабели трех фаз должны прокладываться параллельно и располагаться «треугольником» (а) или в одной плоскости «в ряд» (б) как показано на рисунке 13.



а б

Рисунок 13 – Способы прокладки кабелей

Однофазные кабели преимущественно укладываются в «треугольник», при необходимости кабели могут прокладывать в плоскости «в ряд». Способ прокладки определяется проектом по согласованию с эксплуатирующей организацией. Иные способы расположения фаз кабеля должны быть согласованы с заводом-изготовителем и эксплуатирующими организациями.

Прокладка однофазных кабелей участками частично «в треугольник», частично «в плоскости» не рекомендуется.

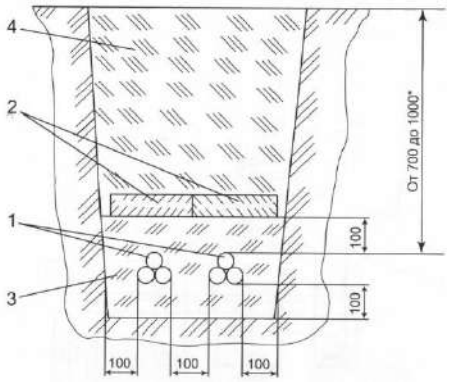


Рисунок 14 – Пример прокладки в траншее кабелей до 20 кВ включительно

1 – кабели; 2 – железобетонные плиты или кирпич; 3 – песчано-гравийная смесь или просеянный грунт; 4 – засыпной грунт, (Все размеры указаны в миллиметрах).

Примечания:

1) При отсутствии питающихся от данной кабельной линии потребителей 1-ой категории, по согласованию с эксплуатирующей организацией, допускается вместо плит и кирпичей использовать для перекрытия пластмассовые сигнальные ленты, укладываемые на расстоянии 250 мм над кабелями.

2) Глубина заложения кабеля зависит от условий прокладки, должна соответствовать п.2.3.83 ПУЭ.

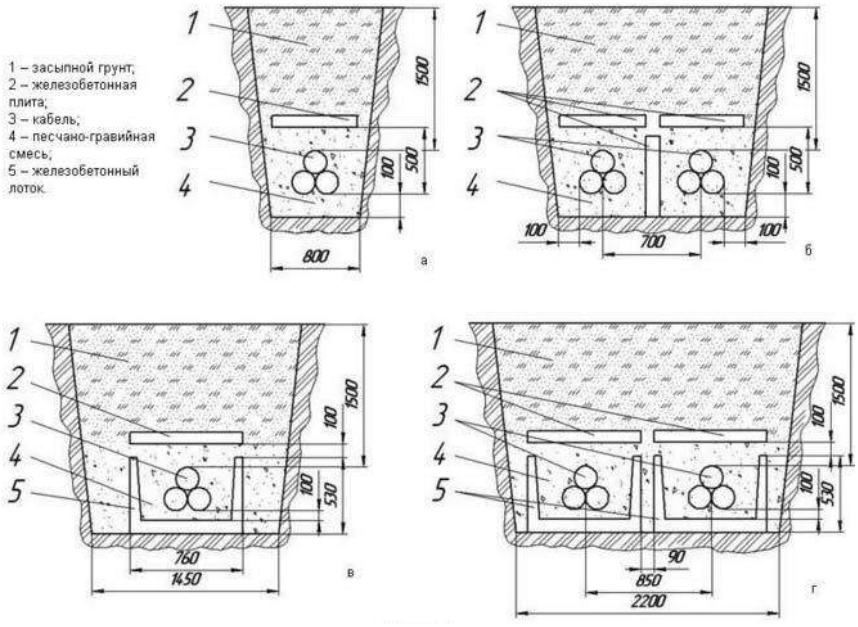


Рисунок 15 – Пример прокладки в траншее кабелей 110 кВ и выше

1 – засыпной грунт; 2 – железобетонные плиты или кирпич; 3 – кабели; 4 – песчано-гравейная смесь; 5 – железобетонный лоток; (Все размеры указаны в миллиметрах).

Примечание: Глубина заложения кабеля зависит от условий прокладки, должна соответствовать указанной в проекте.

При прокладке кабелей в плоскости расстояние в свету между двумя соседними кабелями одной кабельной линии должно быть не менее двух наружных диаметров кабеля.

Расстояние между фазами однофазного кабеля по всей трассе должны быть одинаковыми, за исключением участков около соединительных и концевых муфт.

Скрепление кабелей трех фаз «в треугольник» должно осуществляться лентами, стяжками, хомутами или скобами из немагнитных материалов. При расположении треугольником кабели скрепляются по длине кабельной линии (за исключением участков муфт) с шагом 1 – 1,5 м, на изгибах трассы – 1 м. При прокладке в земле и связке фаз кабеля следует учитывать, что при засыпке грунтом кабели не должны менять своего положения.

Кабели, проложенные в плоскости в кабельных сооружениях на воздухе, должны быть закреплены по длине линии с шагом 1 – 1,5 м.

Трубы, в которых прокладываются кабели, должны укладываться и закрепляться по такой же схеме, как и кабели по трассе, т.е. «в треугольник» или «в ряд».

Шаг, тип, конструкция и материал крепления определяются при проектировании кабельной линии в зависимости от места расположения кабелей в земле, в лотках, консолях тоннелей и эстакад, строительных конструкциях кабелей и т.д.

При закреплении кабелей необходимо учитывать возможное тепловое расширение кабелей и механические нагрузки, возникающие в режиме короткого замыкания.

Запрещается пофазная прокладка кабеля в металлических трубах!

Во избежание перегрева фаз кабеля не рекомендуется прокладка в металлических трубах и при трехфазной прокладке!

Отдельные кабели, не связанные в треугольник, должны прокладываться так, чтобы вокруг каждого из них не было замкнутых металлических контуров из магнитных материалов. В связи с этим, запрещается использование магнитных материалов для бандажей, крепёжных или иных изделий (скоб, хомутов, манжет, экранов), охватывающих кабель по замкнутому контуру. Бирки на кабель рекомендуется крепить капроновыми, пластмассовыми нитями или проволоками из немагнитных металлов (например, из меди).

При прокладке нескольких кабельных линий в одной траншее, концы кабелей, предназначенные для последующего монтажа соединительных муфт,

следует располагать со сдвигом мест соединений на соседних кабельных линиях не менее чем на 2 м. При этом должен быть оставлен запас кабеля длиной, необходимой для монтажа муфты, а также укладки дуги компенсатора (длиной на каждом конце не менее 1,5 м для кабелей напряжением 6-10 кВ, не менее 2,0 м для кабелей напряжением 20-45 кВ и не менее 5,0 м для кабелей напряжением 110 кВ и выше).

В стеснённых условиях при больших количествах кабелей допускается располагать компенсаторы в вертикальной плоскости, ниже уровня прокладки кабелей. Муфта при этом остаётся на уровне прокладки кабелей.

В местах монтажа соединительных муфт должна быть предусмотрено место для соединения экранов и, при необходимости (определить проектом), устройство для заземления экранов.

Для монтажа соединительных муфт и соединения экранов 3-х фаз на трассе должны быть подготовлены котлованы, соосные с траншеей, шириной не менее 1,5 м для кабелей на номинальное напряжение до 10 кВ включительно и не менее 1,7 м для кабелей на большее номинальное напряжение. Длина котлована для монтажа трех муфт и соединения экранов не менее 5 м для кабелей на номинальное напряжение до 10 кВ включительно и не менее 7 м для кабелей на большее номинальное напряжение.

Для многоцепных линий размеры котлованов определяются при проектировании с учётом конкретных условий.

Траншеи и кабельные сооружения перед прокладкой кабеля должны быть осмотрены для выявления мест на трассе, содержащих вещества или мусор, разрушительно действующие на полиэтиленовую оболочку кабеля, в том числе:

- места, загрязнённые нефтяными маслами с высоким содержанием ароматических углеводородов (в том числе, кабельными, трансформаторными) или другими веществами, приведёнными в приложении 2;
- насыпной грунт, содержащий шлак или строительный мусор;
- участки, расположенные ближе 2 м от выгребных и мусорных ям.

При невозможности обхода этих мест (при прокладке в траншее) кабель должен быть проложен в полимерных трубах.

3 Условия прокладки

3.1 Прокладка кабелей в земле

При прокладке кабельных линий в земле кабели прокладываются в траншеях и должны иметь снизу подсыпку, а сверху засыпку из песчано-гравийной смеси (песок с размером зёрен не более 2 мм и гравий с размерами частиц до 15

мм в соотношении 1:1), песок или просеянный грунт для засыпки кабеля после прокладки.

Материал для засыпки траншеи не должен содержать камней, строительного мусора и шлака. Кабели на всем протяжении должны быть защищены от механических повреждений железобетонными плитами, кирпичами.

Материал засыпки указывается в проекте. Засыпка иным материалом, отличным от проектного, с большим удельным тепловым сопротивлением не допускается, так как ведет к снижению пропускной способности кабеля!

Бестраншейная прокладка кабелей с помощью ножевых кабелеукладчиков не допускается.

Глубина прокладки кабелей в грунте должна быть не менее 0,7 м для кабелей на номинальное напряжение 6-20 кВ, не менее 1,0 м для кабелей на номинальное напряжение 35-45 кВ и и не менее 1,5 м для кабелей на номинальное напряжение 110 кВ и выше. При меньшей глубине прокладки или при пересечении трассы с инженерными сооружениями или естественными препятствиями должна быть предусмотрена дополнительная защита (например, прокладка в трубах).

Для защиты кабелей при пересечении дорог, инженерных сооружений и естественных препятствий, а также для изготовления кабельных блоков должны применяться полимерные трубы либо трубы из иного немагнитного материала. Допускается прокладка трех фаз одной кабельной линии в одну трубу длиной не более 20м.

Внутренний диаметр трубы при прокладке одного кабеля должен быть не менее 1,5 D, но не менее 50 мм при длине труб до 5 м и 100 мм при большей длине труб (D – диаметр кабеля). Внутренний диаметр трубы при прокладке трех кабелей треугольником должен быть не менее 3 D, но не менее 150 мм.

При длине труб от 20 до 100 м диаметр трубы должен быть не менее 2D, при длине трубы более 200 м – не менее 2,5D.

Скорость тяжения не должна превышать 30 м/мин и должна быть выбрана руководителем прокладки в зависимости от характера трассы, погодных условий, усилий тяжения такой, чтобы избежать повреждений кабеля и нарушений требований техники безопасности при его прокладке.

3.2 Одновременная прокладка трех фаз кабеля

В случае необходимости одновременного тяжения трёх кабелей (определяется проектом и ППР), установить на трассе три барабана с кабелем.

На сходе кабелей с барабанов устанавливается устройство для группирования кабелей, через которое пропускаются концы кабелей.

Подготовить канат (трос) с противозакручивающим устройством, которым впоследствии будет производиться тяжение (один трос на три кабеля).

На каждый кабель смонтировать отдельный проволочный чулок или захват, у которых петли для тяжения через тросы соединить между собой (при этом кабельные чулки или захваты должны быть установлены на трёх кабелях «в разбежку»).

Подготовить необходимые материалы и инструменты для, связывания кабелей в треугольник.

Дальнейшие требования по подготовке к прокладке трёх кабелей в связке такие же, как при прокладке одиночного кабеля.

Допускается протяжка трех фаз кабеля одновременно при длине трубы не более 20 м, при этом диаметр трубы должен быть не менее 2,15*D.

Одновременная **протяжка трёх кабелей для укладки по трассе «в ряд» (в одной плоскости) не допускается** в связи со сложностью обеспечения равномерного распределения усилия тяжения на три несвязанных кабеля, а также опасностью схода с роликов и перехлёста кабелей на поворотах.

При одновременном тяжении трёх кабелей кабели на сходе с барабанов должны собираться вместе с помощью устройства для группирования кабелей и скрепляться в треугольник, при этом скорость тяжения должна выбираться такой, чтобы была обеспечена возможность связывания кабелей в треугольник до попадания кабелей на трассу (если это предусмотрено проектом).

Остальные общие требования к прокладке такие же, как для прокладки одиночного кабеля.

3.3 Прокладка кабелей в вечномерзлых грунтах

При прокладке кабеля в вечномерзлых грунтах ППР должен быть обязательно согласован с заводом-изготовителем.

Глубина прокладки кабелей в вечномерзлых грунтах определяется при проектировании кабельной линии с учетом конкретных грунтовых и климатических условий.

Местный грунт, используемый для обратной засыпки траншей должен быть размельчен и уплотнен. Наличие в траншее льда и снега не допускается. Грунт для насыпи следует брать из мест, удаленных от оси трассы кабеля не менее чем на 5 м. Грунт в траншее после осадки должен быть покрыт мохоторфяным слоем.

В качестве дополнительных мер против возникновения морозобойных трещин следует применять:

- засыпку траншеи с кабелем песчаным или гравийно-галечным грунтом;
- устройство водоотводных канав или прорезей глубиной до 0,6 м, расположенных с обеих сторон трассы на расстоянии 2-3 м от ее оси;
- обсев кабельной трассы травами и обсадку кустарником.

3.4 Прокладка кабелей в кабельных сооружениях и производственных помещениях

При прокладке кабелей с ПЭ оболочкой на воздухе в кабельных сооружениях и производственных помещениях проектом должны быть обеспечены дополнительные меры противопожарной защиты, путем нанесения на оболочку специальных огнезащитных покрытий, согласованных с пожарной инспекцией или прокладывать кабели с негорючей оболочкой и имеющие дополнительные огнезащитные элементы в конструкции кабеля.

Кабели в кабельных сооружениях рекомендуется прокладывать целыми строительными длинами, избегая применения соединительных муфт.

Соединительные муфты кабелей, прокладываемых в блоках, должны быть расположены в колодцах.

На трассе, состоящей из проходного туннеля, переходящего в полупроходной туннель или непроходной канал, соединительные муфты должны быть расположены в проходном туннеле.

Перед прокладкой в туннеле (галерее) должны быть установлены конструкции для крепления кабелей и каркасы противопожарных перегородок. Кирпичная кладка перегородок может быть выполнена после прокладки кабелей при соблюдении соответствующих мер предосторожности.

ВНИМАНИЕ !! Запрещаются любые сварочные работы в тоннеле после прокладки кабелей.

Расстояние между опорными конструкциями выбираются в соответствии с проектом и требованиями НТПД. Металлические конструкции, на которые укладываются кабели, должны быть выполнены таким образом, чтобы исключить возможность повреждения кабелей острыми краями, заусенцами и пр.

При монтаже соединительных муфт в кабельных сооружениях, необходимо установить отдельные полки на опорной конструкции для каждой муфты.

Крепление кабелей должно быть выполнено таким образом, чтобы не допускать деформации кабелей под действием собственного веса, а также в результате механических напряжений, возникающих при циклах «нагрев-охлаждение» и при электромагнитных взаимодействиях при коротких замыканиях.

Кабели, проложенные горизонтально по конструкциям на открытых эстакадах, должны быть дополнительно закреплены во избежание смещения под действием ветровых нагрузок на прямых горизонтальных участках трассы в соответствии с проектной документацией.

Кабели, не связанные в треугольник, должны быть закреплены на конструкциях в местах, расположенных по длине кабельной линии с шагом 1 – 1,5 м (при расположении на лотках, в коробках или на сплошных полках).

При укладке кабелей на консоли закрепление необходимо производить на каждой консоли. Расстояние между консолями должно быть не более 1 м, полезная длина консоли на прямых участках трассы – не более 500 мм.

Кабели, прокладываемые вертикально по конструкциям и стенам, должны быть закреплены на каждой кабельной конструкции. Крепление кабелей должно быть выполнено таким образом, чтобы была предотвращена деформация оболочек и не нарушались соединения жил в муфтах под действием собственного веса кабеля. Места креплений определяются на этапе проектирования.

В местах жесткого крепления кабелей на конструкциях должны быть проложены прокладки из эластичного материала (например, мягкая резина). Прокладки должны выступать за края хомутов или скоб по ширине приблизительно на 5 мм.

Кабели внутри и снаружи помещений должны быть защищены до безопасной высоты от возможных механических повреждений, которые могут возникнуть при передвижении автотранспорта, перемещении грузов и механизмов, действий неквалифицированного персонала, но не менее 2м от уровня земли или пола и на глубине 0,3 м в земле.

Проходы кабелей через стены, перегородки и перекрытия в производственных помещениях и кабельных сооружениях должны осуществляться через отрезки труб (полимерных или иных из немагнитных материалов) или через открытые проемы. Зазоры в отрезках труб, в отверстиях и проемы после прокладки кабелей должны быть заделаны несгораемым материалом (например, цементом с песком, глиной с песком и т.п.) по всей толщине стены или перегородки.

Вводы кабелей в здания, кабельные сооружения и другие помещения должны быть выполнен в полимерных или иных трубах из немагнитных материалов. Концы труб должны выступать в траншею из стены здания или фундамента (при наличии отмостки - за линию последней) не менее чем на 0,6 м, и иметь уклон в сторону траншеи:

Должны быть предусмотрены меры, исключающие проникновение из траншей в здания, кабельные сооружения и другие помещения воды и мелких животных.

Варианты креплений кабелей на металлоконструкции с помощью хомутов (скоб) из листового алюминия или алюминиевого сплава приведены на рисунках 16, 17, и 18.

Возможно использование хомутов (скоб) другой конструкции и из иных материалов (например, из полиамида, армированного стекловолокном).

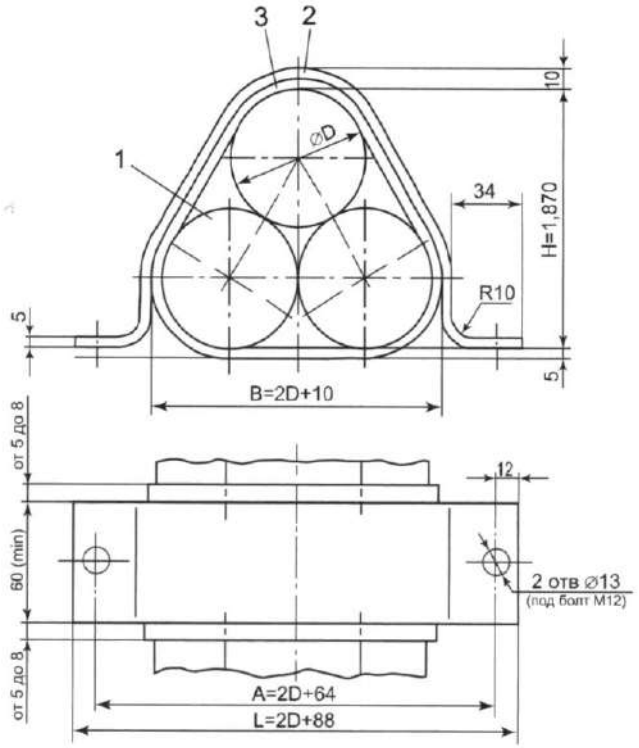


Рисунок 16 – Вариант исполнения крепления трех кабелей в связке на металлоконструкции

1 – кабель; 2 – хомут (скоба) из алюминия или алюминиевого сплава толщиной 5 мм или из стального листа толщиной 3-4 мм; 3 – прокладка из резины или поливинилхлорида толщиной 3-5 мм.

Все размеры в миллиметрах. Крепежные изделия (болты, гайки, шайбы) не показаны.

Примечание: D – наружный диаметр кабеля.

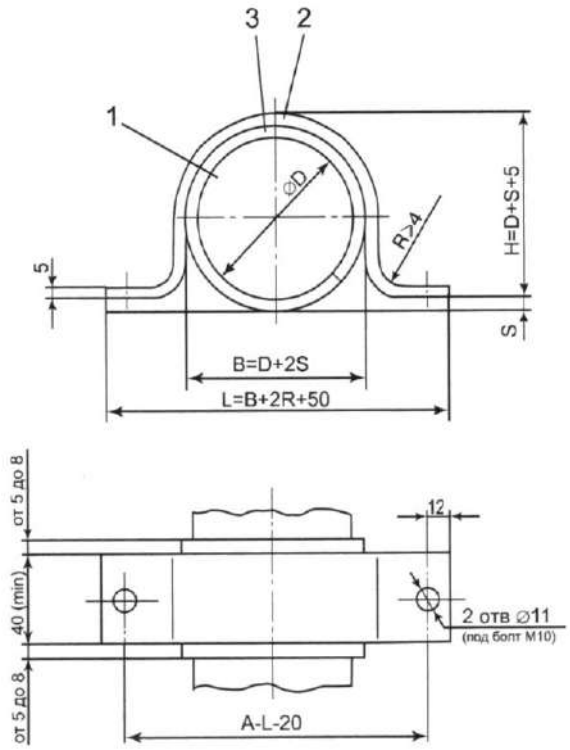


Рисунок 17 – Вариант исполнения крепления одного кабеля на металлоконструкции

1 – кабель; 2 – хомут (скоба) из алюминия или алюминиевого сплава; 3 – прокладка из резины или поливинилхлорида.

Все размеры в миллиметрах. Крепежные изделия (болты, гайки, шайбы) не показаны.

Примечание: D – наружный диаметр кабеля, S – толщина прокладки (от 3 до 4 мм).

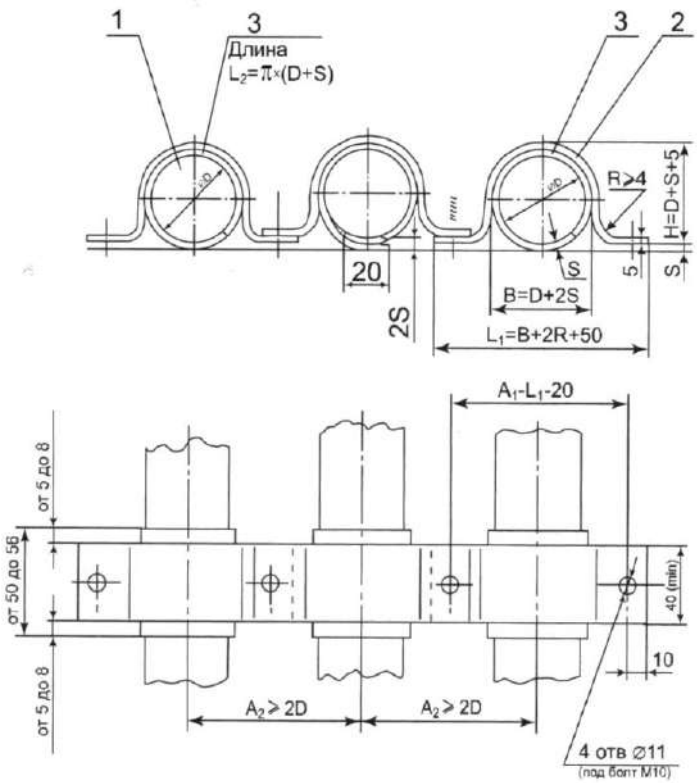


Рисунок 18 – Вариант исполнения крепления трех кабелей на металлоконструкции

1 – кабель; 2 – хомут (скоба) из алюминия или алюминиевого сплава; 3 – прокладка из резины или поливинилхлорида. Все размеры в миллиметрах. Крепежные изделия (болты, гайки, шайбы) не показаны.

Примечание:

1) D – наружный диаметр кабеля, S – толщина прокладок (от 3 до 4 мм);

2) Размер A_2 равен размеру A_1 и определяется с учетом величины наружного диаметра кабеля D и выбранного радиуса гибки полки хомута R.

3.5 Прокладка кабелей в трубах и блоках

При прокладке кабелей в блочной канализации должна быть определена общая длина и диаметр трубы, канала блока по условиям предельно допустимых усилий тяжения, исходя из конструктивных параметров кабелей и условий прокладки. Предельная длина канала блока и усилия тяжения должны быть определены на стадии проектирования кабельной линии. Пример прокладки под автомобильными и другими дорогами (а), под железнодорожными путями (б) приведен на рисисунке 19.

Трубы должны быть соединены сваркой, муфтами, соединительными патрубками или манжетами и скреплены цементным раствором для исключе-

ния перемещения труб во время прокладки кабеля. Асбоцементные и керамические трубы должны быть соединены муфтами или манжетами и скреплены цементным раствором.

Не допускается применять для соединения труб манжеты, муфты и соединительные патрубки из материалов, имеющих свойства намагничивания (например, листовой стали), если они будут охватывать замкнутым контуром кабели одной фазы, проложенной в соединяемых трубах.

Прокладка кабеля в строительных основаниях без труб не допускается.

Внутренний диаметр муфты, соединительного патрубка или манжеты должен быть не меньше внутреннего диаметра соединяемых труб.

В процессе стыковки труб и сооружения трубных переходов рекомендуется затягивать проволоку, которая впоследствии будет использована для протягивания стального каната (троса), предназначенного для прочистки трубы (канала) и затягивания кабеля.

До протягивания кабеля в трубный переход необходимо очистить его от остатков бетонного раствора и строительного мусора. Для этого через трубу протянуть с помощью лебедки канат с прикрепленным к нему приспособлением в виде стального контрольного цилиндра, обернутого одним куском материала, и трех ершей из стальной проволоки.

При прокладке кабеля под железными дорогами, трамвайными путями, шоссейными магистралями, укладка полимерных труб, предназначенных для кабеля, может производится в металлической гильзе. Свободное пространство в металлической гильзе между полимерными трубами заполняется бетоном. Диаметр и длина металлической гильзы и способ её прокладки определяются при проектировании кабельной линии.

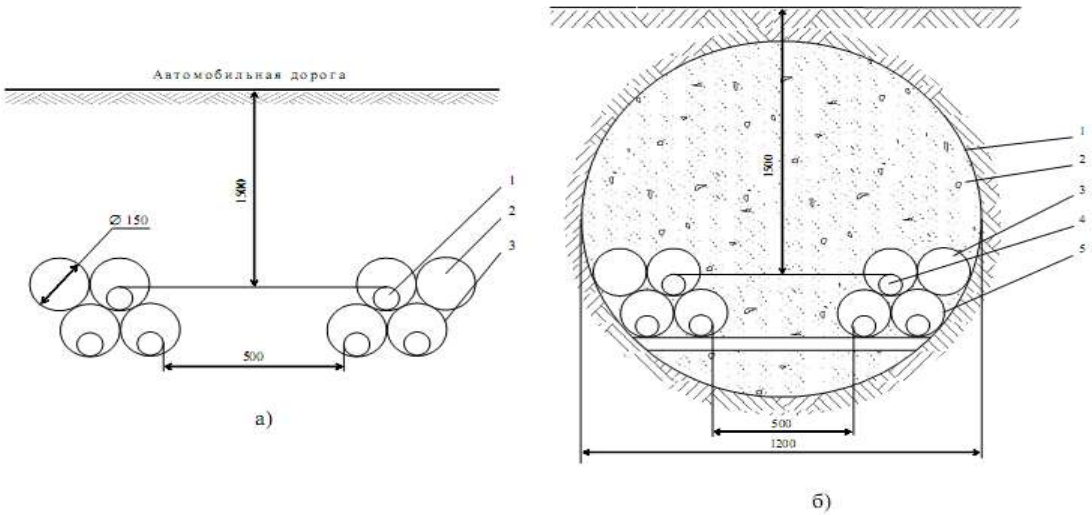


Рисунок 19 – Пример прокладки под автомобильными и другими дорогами (а), под железнодорожными путями (б).

Условные обозначения:

а) 1 – кабель 2 – резервная труба; 3 – труба с кабелем

б) 1 – металлическая гильза; 2 – «легкий» бетон; 3 – резервная труба; 4 – кабель; 5 – труба с кабелем.

Примечания:

1. Трубы могут быть полимерные или изготовленные из других материалов, не обладающих ферромагнитными свойствами;

2. В переводах под магистральными автомобильными дорогами и железнодорожными путями необходимо заложить не менее одной резервной трубы на одну кабельную линию.

До затяжки кабеля трубу (канал блока) необходимо очистить от остатков бетонного раствора, строительного мусора, земли, песка и т.д. Это рекомендуется произвести путем протягивания через трубу (канал блока) с помощью лебёдки каната с прикреплённым к нему приспособлением (рисунок 20).

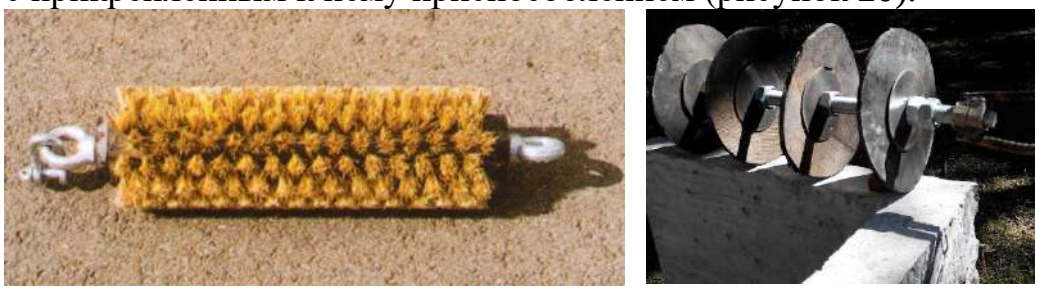


Рисунок 20 – Приспособления для прочистки труб

При прочистке трассы к последнему ершу прикрепляют стальной канат, который одновременно затягивают в канал для последующей протяжки кабеля.

Для уменьшения усилий тяжения при протягивании кабелей через трубы и блочные каналы длиной более 100 м следует покрывать поверхности кабелей смазкой, не содержащей веществ, вредно действующих на оболочку кабелей (для кабелей с ПЭ оболочкой возможно использовать технический вазелин; для кабелей с ПВХ оболочкой – тавот, солидол, технический вазелин). Ориентировочный расход смазки от 8 до 10 кг на каждые 100 м кабеля. Необходимо следить за тем, чтобы к смазанной поверхности не прилипали камни, мусор, песок, которые могут повредить оболочку кабеля при протяжке.

Для уменьшения усилия тяжения кабеля через трубу длиной до 20 м также можно проливать воду. Для труб длиной до 100 м в качестве смазки можно использовать мыльный раствор.

Протягивать кабель через трубы рекомендуется по возможности без остановок, для исключения больших начальных усилий тяжения.

При протяжке в трубу или канал блока трех фаз кабеля запрещается последовательная протяжка отдельных кабелей с использованием стального троса из-за возможности повреждения тросом уже проложенных кабелей. При длине

труб до 20 м возможна последовательная протяжка отдельных кабелей вручную с использованием веревки.

Скорость протяжки в трубах должна быть не более 17 м/мин и кабель необходимо протягивать по возможности без остановок.

3.6 Прокладка кабелей при низких и высоких температурах

3.6.1 Требования к минимальной температуре окружающего воздуха при прокладке кабеля без предварительного прогрева

В холодное время года прокладка кабелей до 45 кВ включительно без их предварительного прогревания допускается только в случаях, когда температура воздуха в течение 24 ч до начала производства электромонтажных работ не снижалась, в том числе кратковременно, ниже:

- для кабелей с ПВХ – оболочкой – не ниже –15 °С;
- для кабелей с ПЭ – оболочкой – не ниже –20 °С;
- для кабелей с безгалогенными композициями класса «HF» – не ниже –15°С.
- для кабелей с изоляцией из этиленпропиленовой резины и холодостойкой оболочкой монтаж возможен при температуре до –40°С без предварительного прогрева жил, что позволяет использовать данный кабель в районах с холодным климатом.

При температуре окружающего воздуха ниже –10 °С, даже кратковременно, в течение последних 24 часов, кабели напряжением 110 кВ и выше допускается прокладывать только с предварительным прогревом.

3.6.2 Рекомендации к минимальной температуре окружающего воздуха при прокладке бронированного кабеля без предварительного прогрева

В холодное время года прокладка бронированных кабелей до 45 кВ включительно без их предварительного прогревания рекомендуется при температуре наружного воздуха в течение 24 ч до начала производства электромонтажных работ не ниже, в том числе кратковременно:

- для бронированных кабелей с ПВХ – оболочкой – не ниже –5 °С;
- для бронированных кабелей с ПЭ – оболочкой – не ниже –10 °С;
- для бронированных кабелей с безгалогенными композициями класса «HF» – не ниже –10°С.

3.6.3 Требования к минимальной температуре кабеля при прокладке без предварительного прогрева

Температура всех витков кабеля на барабане (бухте) при укладке без предварительного подогрева должна быть не ниже указанной в требованиях к температуре окружающего воздуха, указанных в п. 3.6.1.

Контроль температуры должен производиться термометром, установленным на витках кабеля.

3.6.4 Температурные условия для предварительного прогрева кабеля

При температурах от –15°С до –40°С для кабелей с ПВХ оболочкой и с безгалогенными композициями класса «HF», и от –20 °С до –40 °С для кабелей с ПЭ оболочкой кабель перед прокладкой должен быть предварительно прогрет.

Для бронированного кабеля рекомендуется предварительный прогрев перед прокладкой при температурах наружного воздуха от –5°С до –40°С для кабелей с ПВХ оболочкой и с безгалогенными композициями класса «HF», и от –10 °С до –40 °С для кабелей с ПЭ оболочкой.

3.6.5 Предварительный прогрев кабеля

Прогрев барабанов с кабелем допускается осуществлять в сооруженном вблизи места прокладки тепляке (вагончик, двойная палатка и т.п.) с обогревом горелками инфракрасного излучения или тепловоздуходувками, при этом должна быть обеспечена циркуляция теплого воздуха в тепляке. Не допускается обогрев с применением открытого огня.

Продолжительность прогрева кабеля в зависимости от температуры внутри помещений или тепляков, в которых прогревается кабель, составляет:

- не менее 3 суток при температуре от 5 до 10°С;
- не менее 1 суток при температуре от 10 до 25 °С;
- не менее не менее 18 ч при температуре от 25 до 40 °С.

Для кабелей, диаметр которых более 60 мм, время прогрева рекомендуется увеличить на 30%.

3.6.6 Прокладка предварительно прогретого кабеля

После прогрева кабеля следует немедленно произвести его прокладку, не допуская остывания.

После предварительного прогрева прокладку кабеля выполняют при температуре наружного воздуха от 0 до –10°С не более 1 ч, от –10 до –20 °С – не более 40 мин, от –20°С и ниже – не более 30 мин.

Если длина кабеля не большая, то можно поместив барабан кабеля в палатку и прогрев его в помещении до +20°С с помощью тепловых пушек (но не током КЗ), зачалить выход кабеля с барабана в чулок и оперативно уложить, оставляя барабан в палатке.

Прогретые кабели укладывают с повышенным запасом 3-4 % по длине вместо 1-3%, так как при охлаждении нагретый кабель укорачивается и натягивается сильнее, чем при обычных условиях.

Прокладка кабелей при температуре наружного воздуха ниже –40 °С запрещается.

3.6.7 Требования к максимальной температуре окружающего воздуха при прокладке кабеля

Кабели с оболочкой из ПВХ следует прокладывать при температуре не выше +35°С, чтобы предотвратить возможное повреждение оболочки.

4 Прокладка кабеля

Способ прокладки определяется при составлении ППР с учётом требований НТПД.

В случае если при прокладке предусмотрен шеф-надзор, решения шеф-инженера завода-изготовителя кабеля, связанные с прокладкой, являются обязательными к исполнению.

В случае, если усилие тяжения превышает допустимую величину, то необходимо прокладку прекратить и проверить правильность установки и исправность роликов, натяжение каната по трассе, в переходах и на углах поворота, наличие смазки (воды) в трубах, а также проверить возможность заклинивания кабеля в трубах.

Решение о возможности дальнейшей протяжки кабеля принимает руководитель работ или представитель шеф-монтажной организации предприятия-изготовителя кабеля.

Руководитель работ сопровождает движение конца кабеля по трассе. Команду на включение лебедки при протяжке дает только руководитель работ. Команду на остановку лебедки может дать любой, заметивший неполадки при протяжке.

Скорость тяжения не должна превышать 30 м/мин и должна быть выбрана руководителем прокладки в зависимости от характера трассы, погодных условий, усилий тяжения такой, чтобы избежать повреждений кабеля и нарушений требований техники безопасности при его прокладке.

Допустимая скорость тяжения при прокладке в особых условиях (в блоках, трубах и т.д.) указана при описании этих способов прокладки.

При одновременном тяжении трёх кабелей кабели на сходе с барабанов должны собираться вместе с помощью устройства для группирования кабелей и скрепляться в треугольник, при этом скорость тяжения должна выбираться такой, чтобы была обеспечена возможность связывание кабелей в треугольник до попадания кабелей на трассу. Остальные общие требования к прокладке такие же, как для прокладки одиночного кабеля.

Барабан с кабелем необходимо подтормаживать так, чтобы не было рывков, ослабления и провисания витков кабеля и в то же время не создавать чрезмерных усилий торможения.

При спуске кабеля в траншею или входе в туннель необходимо следить, чтобы кабель не соскальзывал с роликов и не терся о трубы и стенки в проходах. На входе в трубы необходимо следить за тем, чтобы не повреждались защитные покровы кабелей о край трубы.

При повреждении оболочки кабеля необходимо остановить прокладку, осмотреть место повреждения и принять решение о способе ремонта оболочки, составить акт о повреждении оболочки кабеля.

На углах поворота рабочим необходимо находиться с внешней стороны кабеля или каната, во избежание травмы или соскакивания кабеля и каната с роликов. Поправлять ролики, канат или кабель руками во время протяжки запрещается.

У лебедки рабочий следит за работой лебедки, контролирует усилие тяжения и по командам включает или выключает лебедку.

Сопровождающие конец кабеля должны следить за тем, чтобы кабель шел по роликам, при необходимости подправляют ролики, а также направляют конец кабеля.

Кабель вытягивается таким образом, чтобы при укладке его по проекту расстояние от верха концевой муфты или от условного центра соединительной муфты было не менее 2 м. При определении запаса следует учитывать, что остатка кабеля на барабане должно хватить для монтажа муфты. После окончания протяжки кабеля необходимо отсоединить тяговый трос и снять чулок или захват с конца кабеля. При прокладке кабеля и отсоединения тягового троса (снятия чулка или захвата) необходимо обрезать крайний кусок кабеля не менее 1,5м, имеющий возможные повреждения при тяжении.

После обрезки кабеля необходимо герметизировать концы кабелей капированием. При необходимости, для более надежной герметизации концов кабелей возможно применить двойное капирование. Внутреннюю капу осадить на электропроводящий слой по изоляции кабеля, а наружную капу – на внутреннюю капу и на оболочку кабеля. Возможно также перед капированием нанести на обрез кабеля слой расплавленного битума или другого герметика.

При необходимости концы кабеля завести в камеры, колодцы, кабельные помещения. При этом необходимо соблюдать допустимые радиусы изгиба кабеля. Снять кабель с роликов, уложить и закрепить его по проекту.

Примерная схема расстановки рабочих при протяжке кабеля:

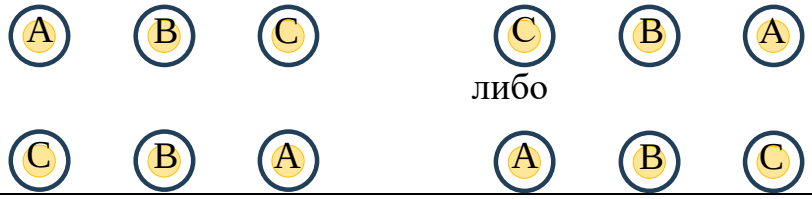
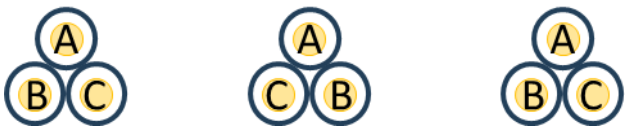
- барабан, на тормозе – 1 человек;
- сход кабеля с барабана – 1 человек;
- спуск кабеля в траншею (вход, выход из туннеля) – 1 человек;
- на лебедке – 2 человека;
- сопровождение конца кабеля – 2 человека;
- на каждом углу поворота – 1 человек;
- на каждом проходе в трубах через перегородки или перекрытия, у входа в камеру или здание – 1 человек;
- на прямых участках – по необходимости.

При одновременном тяжении трех кабелей за устройством для группирования кабелей должны находиться 2 человека для скрепления кабеля в треугольник.

После прокладки в траншее произвести присыпку кабеля песчано-гравийной смесью или мелким грунтом толщиной не менее 100 мм и провести испытания оболочки кабеля.

При прокладке нескольких одножильных цепей необходимо рекомендуется позаботиться о том, чтобы фазы соединены таким образом, чтобы обеспечить сбалансированное распределение тока (согласно МЭК 60287-1-3), как показано в таблице 1.

Таблица 1 – Прокладка нескольких цепей одножильных кабелей

Режим	Способ прокладки
2 кабеля на фазу, воздух	
2 кабеля на фазу, земля или воздух	
2 кабеля на фазу, земля или воздух	
3 кабеля на фазу, земля или воздух	

Режим	Способ прокладки
4 кабеля на фазу, земля или воздух	

5 Кабельная арматура

Перед началом монтажа кабельной арматуры необходимо выполнить следующее:

- подготовить рабочее место и необходимый инструмент;
- отрезать кусок кабеля длиной не менее 1,5м, (монтажный запас, на котором могут дефекты от «чулка»);
- прогреть участок кабеля перед разделкой до температуры 70°С для снятия механического напряжения с изоляции и защитных слоев.

После прокладки кабеля, подготовки котлованов производится монтаж соединительных и концевых муфт. Тип кабельной арматуры определяется проектом в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя кабеля. Для снижения токов в экранах и потерь в кабеле, для монтажа соединительных муфт необходимо применять специальные муфты, имеющие приспособление для вывода экрана каждой фазы из муфты и его соединение под металлический контакт.

Надежность работы кабельных линий определяется не только качеством кабеля, но и от кабельной арматуры, которая применяется для её монтажа и от качества произведенного монтажа.

Монтаж муфт производится согласно требованиям инструкций фирмы-изготовителя муфты.

На месте монтажа муфты должны быть установлены палатка или шатер, а лучше всего мобильный монтажный вагончик для размещения деталей муфты, инструмента, приспособлений и материалов.

Место монтажа должно быть оборудовано электропитанием, освещением и подогревом, если монтаж выполняется в холодное время года.

Размер котлована для соединительных муфт должен быть достаточным для того, чтобы надвинуть на кабель вправо и влево от места соединения жил детали муфт, которые затем будут монтироваться на области соединения.

Для предотвращения попадания влаги и пыли в область соединения необходимо располагать концы кабеля на подставках. Рабочая одежда монтажников должна быть чистой. Все инструменты и приспособления должны быть очищены от масла.

Для монтажа применяются пропановая или бутановая газовая горелка. Пламя горелки при усадке элементов муфты должно постоянно перемещаться, чтобы не повредить усаживаемый материал.

Вместо газовой горелки можно применять промышленный электрофен с температурой воздуха на выходе из сопла не менее 600°С.

Все поверхности, которые будут контактировать с клеем, должны быть очищены и обезжирены уайт-спиритом, бензином типа «калоша» или салфетками, пропитанными изопропиловым спиртом.

Термоусаживаемые трубки следует обрезать острым ножом, оставляя при этом ровные гладкие кромки без заусенцев. При усадке трубок необходимо следить за равномерной усадкой по всей окружности кабеля по мере продвижения вдоль него. После усадки поверхность трубок должна быть гладкой и без морщин, а профиль внутренних компонентов должна четко просматриваться.

Полупроводящие экраны по изоляции кабеля должны сниматься только специальным инструментом так, чтобы обеспечить гладкую и равномерно круглую поверхность изоляции. Инструмент должен быть настроен на снятие только слоя полупроводящего экрана, срез должен быть выполнен в виде фаски.

Некоторые марки кабелей среднего напряжения (6 -45 кВ) и высокого напряжения 110 кВ и выше изготавливаются с легко снимаемым полупроводящим слоем по изоляции.

Для соединения и оконцевания кабеля до 45 кВ рекомендуется применение концевых и соединительных муфт следующих производителей: ABB – Швейцария, «Tyco Electronics» (Raychem) – Германия, «ПЗМИ» – г.Подольск РФ, «Прогресс» (Москва, РФ).

Для соединения и оконцевания кабеля 110-330 кВ рекомендуется применение концевых и соединительных муфт следующих производителей: ABB – Швейцария, «Tyco Electronics» (Raychem) – Германия, АО «Изолятор-АКС», ООО «Аркасил» (Москва, РФ).

ООО «ПО «Энергокомплект» имеет возможность поставить комплектно с кабелем полного набора арматуры: соединительных и концевых муфт, элегазовых вводов в ячейки КРУЭ и кабельных вводов в трансформатор, а также осуществить шеф-монтаж кабельных линий.

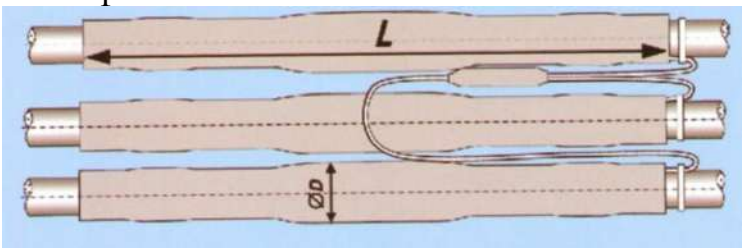


Рисунок 21 – Соединительная муфта с приспособлением для объединения экранов

Монтаж кабельной арматуры должен выполнять специально обученный персонал, имеющий сертификат завода-изготовителя кабельной арматуры на право ее монтажа.

6 Схемы соединения и заземления экранов

На кабелях среднего напряжения (6–45 кВ) с изолированной нейтралью экран выполняет важную защитную функцию в рабочем режиме и в аварийном, поэтому экран должен рассчитываться на протекание максимального тока все время, необходимое для устранения ОЗЗ и КЗ. С учетом наведенного напряжения и режима длительной работы электрических сетей при ОЗЗ и КЗ важное практическое значение имеет режим работы экранов, определяемый схемой соединения экранов.

Экраны трехфазных силовых кабелей заземляются с двух сторон.

Экраны однофазных силовых кабелей могут заземляться одним из следующих способов: с одной стороны (в одной точке); с двух сторон с применением транспозиции экранов; с двух сторон с применением транспозиции экранов и кабелей; с двух сторон. При большой длине кабельных линий возможно применение секционирования схем заземления экранов. Способ заземления экранов кабельной линии зависит от ее длины, условий прокладки и эксплуатации, режима работы и определяется проектом.

При большой длине кабельных линий, выполненных однофазными кабелями, при применении двухстороннего заземления экранов рекомендуется соединять (объединять) экраны на соединительных муфтах.

ВНИМАНИЕ!!! Применение заниженного сечения экрана приводит к его разрушению и кабель становится неремонтопригодным!

7 Испытание оболочки кабеля и ее ремонт

После прокладки кабелей и монтажа соединительных муфт необходимо удалить из траншеи инструменты и оборудование, произвести засыпку кабеля песчано-гравийной смесью толщиной не менее 100 мм. После присыпки необходимо провести испытания оболочки кабеля.

Испытания проводятся после полного монтажа всей кабельной линии или ее участка, но не менее одной строительной длины. С целью своевременного обнаружения возможных повреждений также рекомендуется проводить испытания оболочек сразу после прокладки строительных длин на участках между колодцами или на отдельных участках кабельной линии с проложенным кабелем и смонтированными муфтами до засыпки траншеи.

Оболочка кабелей после прокладки должна быть испытана постоянным током по [21] напряжением исходя из условия: 4 кВ на каждый миллиметр оболочки, но не более 10 кВ. Напряжение прилагается между находящимися под оболочкой металлическими слоями (экраном, броней) и внешним электродом (заземлителем) в течение 1 минуты. Все металлические слои под оболочкой должны быть соединены вместе.

Для контроля кабельных линий, проложенных на воздухе по эстакадам, защитная оболочка должна иметь внешний электропроводящий слой, который заземляется в процессе работы.

В процессе эксплуатации оболочка кабеля испытывается постоянным током напряжением исходя из условия: 4 кВ на каждый миллиметр оболочки, но не более 10 кВ в течение 1,0 мин.

Для кабелей, изготовленных более чем за год до прокладки, испытательное напряжение должно быть снижено до 5 кВ (как после прокладки, так и в процессе эксплуатации).

Во время испытания следует следить за тем, чтобы никто из присутствующих на испытании и случайных людей не мог прикоснуться к оболочке кабеля на всем протяжении испытываемого участка.

После испытания оболочки кабеля постоянным током необходимо заземлить токопроводящие жилы и соединить их с медным экраном на время не менее 1 часа для снятия статического заряда.

В случае, если оболочка кабеля не выдержала испытаний, нужно определить место повреждения одним из следующим методов:

- индукционным;
- акустическим;
- методом накладной рамки.
- Для исключения повреждения основной изоляции жил кабеля категорически запрещается прожигание места повреждения оболочки кабеля.

В случае, если оболочка кабеля не выдержала испытаний, нужно определить и открыть для осмотра место повреждения, произвести ремонт оболочки. Ремонт оболочки кабеля должен производиться обученным персоналом по технологии, приведенной в Приложении 1 к данной инструкции.

После проведения ремонта необходимо засыпать кабель песчано-гравийной смесью толщиной не менее 100 мм и провести повторные испытания оболочки кабеля.

После проведения ремонта оболочки и повторного испытания данные о ремонте необходимо занести в кабельный журнал кабельной линии с указанием:

- наименование кабельной линии;

- дата проведения ремонта;
- наименование монтажной организации и фамилии монтажников;
- расположение дефектного места на трассе с указанием метража;
- эскиз места ремонта с указанием расположения строительных длин;
- описание дефекта и проведенных ремонтных работ.

Если при испытаниях оболочек были вскрыты концы кабелей, закрытые капами, то после проведения испытаний на данных концах должны быть сразу же смонтированы новые капы.

8 Испытание кабельных линий после монтажа и в процессе эксплуатации

8.1 Общие положения

Испытания кабельных линий производятся в соответствии с нормативами и стандартами (IEC 60502-2 (HD 62081), IEC 60840, IEC 60229), действующими государственными руководящими документами и рекомендациями заводов-изготовителей.

Испытания должны производиться с соблюдением правил техники безопасности.

Техническое состояние кабельных линий определяется по совокупности параметров: сравнение конкретных результатов проведенных испытаний с нормируемыми значениями, данных эксплуатации, журналов периодических осмотров и др. Данные, полученные при испытаниях, должны быть сопоставлены с результатами измерений на других фазах линии и, по возможности, на однотипных линиях. Сопоставление измеренных при испытаниях значений параметров линии с их исходными значениями и оценка имеющихся различий, является главным критерием состояния кабеля. Выход параметров за установленные предельные значения следует рассматривать как признак наличия дефектов, которые могут привести к отказу линии.

В качестве исходных контролируемых параметров при вводе линии в эксплуатацию принимают значения, указанные в паспорте или в протоколе заводских испытаний. При эксплуатационных испытаниях в качестве исходных принимаются значения параметров, определённых при вводе линии в эксплуатацию. Качество проведенного ремонта оценивается сравнением результатов испытаний после ремонта с данными при вводе в эксплуатацию, принимаемыми в качестве исходных.

Методики испытаний и метрологические требования являются стандартными, приводятся в нормативной документации, инструкциях, методической литературе и т.д.

Результаты испытаний кабельных линий, место и причины их повреждения, выполненные мероприятия по ремонту, должны заноситься в паспорт кабельной линии.

8.2 Порядок испытаний

До начала испытаний производится осмотр всех элементов кабельной линии, каналов и туннелей, в которых проложена линия. Если плановый осмотр проводился менее чем за 1 месяц до испытаний, дополнительный осмотр не требуется.

При обнаружении дефектов концевых муфт испытания должны проводиться после их устранения

При испытаниях напряжение должно плавно подыматься до максимального значения и поддерживаться неизменным в течение всего периода испытаний. Отсчет времени приложения напряжения производится с момента установления его максимального значения.

При испытаниях кабельных линий срок эксплуатации которых превышает 20 лет, величину испытательного напряжения рекомендуется снизить до 0,8 величины нормативного испытательного напряжения.

Напряжение прикладывается между жилой и экраном каждой фазы, при этом жилы других фаз и экраны всех фаз должны быть заземлены.

При проведении испытания ток утечки должен уменьшаться и стабилизироваться. Если не происходит уменьшения тока утечки, а также при его увеличении или нестабильности, испытание следует продолжить до выявления дефекта, но не более 15 мин.

При испытании напряжение прикладывается поочередно к каждой фазе, при этом остальные фазы и все экраны должны быть заземлены.

При испытании одножильных кабелей испытательное напряжение прикладывается в течение 5 мин. между жилой и металлическим экраном.

При испытании изоляции кабелей напряжение прикладывается поочередно к каждой жиле кабеля.

При испытании трехжильных кабелей с пофазным экраном напряжение прикладывается в течение 5 мин. между каждым жилой и металлическим экраном.

При испытании трехжильных кабелей с общим экраном для всех жил, напряжение прикладывается в течение 5 мин. последовательно между каждым изолированной жилой и всеми другими жилами и общими металлическим экраном.

При этом остальные жилы и все экраны должны быть заземлены.

Допускается одновременное испытание всех трех фаз кабельной линии.

8.3 Испытание кабелей повышенным напряжением

8.3.1 Испытательное напряжение

Кабели на строительной длине должны выдержать испытание переменным напряжением в соответствии с [2, 3, 4]:

- Кабели на напряжение 6-45 кВ после прокладки и монтажа арматуры рекомендуется испытывать переменным напряжением $2U_0$ (столбец 3 таблицы 2) номинальной частотой 50 Гц в течение 60 мин или переменным напряжением U_0 (столбец 2 таблицы 2) частотой 50 Гц в течение 24 ч, или переменным напряжением $3U_0$ (столбец 4 таблицы 2) номинальной частотой 0,1 Гц в течение 60 мин.

Таблица 2 – Испытательное напряжение для кабелей 6-45 кВ, в киловольтах

Номинальное напряжение	Значение U_0, – номинальное фазное напряжение	Значение $2U_0$	Значение $3U_0$
6	3,5	7,2	10,7
8,7	5,0	10,0	15,0
10	6,0	12,0	18,0
18	10,0	20,0	30,0
20	11,5	23,0	34,5
35	20,0	40,0	60,0
45	26,0	52,0	78,0

- Кабели на напряжение 110-330 кВ после прокладки и монтажа арматуры рекомендуется испытывать переменным напряжением, указанным в столбце 3 таблицы 3, одной из частот в диапазоне от 20 до 300 Гц в течении не менее 1 ч. При отсутствии специального испытательного оборудования допускается проводить испытания номинальным напряжением, указанным в столбце 2 таблицы 3, в течении 24 ч., приложенным между жилой и металлическим экраном.

Таблица 3 – Испытательное напряжение для кабелей 110-330 кВ, в киловольтах

Номинальное напряжение	Значение U_0, – номинальное фазное напряжение	Испытательное напряжение после прокладки
110	64	128
220	127	180
330	190	250

Испытания напряжением проводят при температуре окружающей среды. Во всех случаях испытательное напряжение повышают постепенно до установленного значения. Форма волны испытательного напряжения должна быть синусоидальной. Во время испытания не должно произойти пробоя изоляции.

После испытания повышенным напряжением необходимо заземлить токопроводящую жилу и/или соединить её с медным экраном на время не менее 1,0 часа.

8.3.2 Испытание постоянным током кабеля, предназначенного для работы на переменном токе

В соответствии с рекомендациями «Федеральная сетевая компания – Россети», ГПО «Белэнерго», ОАО «ВНИИКП», АО «Росатом» испытание основной изоляции кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена, предназначенного для работы на переменном токе, постоянным (выпрямленным) током не допускается.

8.4 Проверка физических параметров кабеля

Проверка целостности жил кабеля и фазировка кабельной линии проводится после окончания монтажа КЛ, перемонтажа муфт, монтажа ремонтных муфт, отсоединения и пересоединения жил кабеля.

Сопротивление жил кабеля постоянному току, приведенное к 1 км длины, должно соответствовать ГОСТ 22483-2021.

В процессе эксплуатации, после восстановительного и капитального ремонтов, допускается увеличение электрического сопротивления не более чем на 3%.

Измеренная ёмкость, приведенная к удельному значению (1 м длины), не должна отличаться от результатов заводских испытаний более чем на 5%.

Неравномерность распределения токов по жилам (фазам) и экранам в рабочем режиме не должна превышать 10%.

9 Определение мест повреждений кабельных линий

Определение мест повреждения кабельных линий рекомендуется производить в три этапа:

1) Диагностика повреждения: определение характера повреждения, выполнение предварительных измерений расстояния до места повреждения.
2) Определение зоны предполагаемого повреждения одним из относительных методов.

3) Уточнение местонахождения повреждения одним из абсолютных методов.

Повреждения кабелей могут быть подразделены на следующие виды:

- Повреждения изоляции, вызывающие замыкание одной фазы на землю;
- Обрыв фазы с заземлением или без заземления;
- Сложные повреждения, представляющие комбинации из упомянутых выше видов повреждений.

Измерения производятся на кабельной линии, отключенной от источника питания, и отсоединенной от всех электроприемников.

Трасса кабельной линии, отключившейся аварийно, должна быть осмотрена. При необходимости производится уточнение трассы.

Производится осмотр кабельной линии в кабельных сооружениях в целях обнаружения явного повреждения. Осмотру подлежат также муфты.

Для установления характера повреждения кабельной линии следует:

- измерить сопротивление изоляции каждой токоведущей жилы по отношению к земле мегомметром на напряжение 2500 В;
- определить целостность (отсутствие обрыва) токоведущих жил;
- определить расстояние до зоны повреждения приборами типа Р5-10, Рейс-105 или подобными импульсными искателями повреждения.

Если мегомметром и импульсными искателями повреждений не удается определить характер повреждения, то необходимо снизить сопротивление изоляции в месте повреждения до величины менее 1 кОм. Для этого проводят поочередное испытание всех фаз повышенным выпрямленным напряжением (не более 40 кВ во избежание пробоя кабеля в другом месте), предварительно включив и настроив прибор типа Щ4120 или ЦР0200. Определение расстояния до места повреждения этими приборами проводят при первых пробоях изоляции.

После определения характера повреждения кабельной линии выбирается метод, наиболее подходящий для определения места повреждения в данном конкретном случае.

Определение зоны повреждения производится одним из относительных методов:

- импульсным методом;
- методом колебательного разряда.

После определения зоны повреждения непосредственно на трассе определяют место повреждения одним из следующих абсолютных методов:

- индукционным;
- акустическим;

- методом накладной рамки.

Перед определением мест повреждений оболочек необходимо предварительно ознакомиться с паспортными данными линии и результатами предыдущих испытаний оболочек фаз кабеля повышенным напряжением.

При определении мест повреждений оболочек первоначально производится определение зоны повреждения методом падения напряжения (петлевым методом), а затем точное определение места повреждения акустическим методом или методом шагового напряжения.

При определении мест повреждений оболочек кабелей, проложенных в земле, запрещается прожигание оболочек в месте повреждения для предотвращения повреждения основной изоляции.

После испытаний необходимо заземлить экран на время не менее 1,0 часа.

10 Контроль технического состояний кабельных линий и их ремонт

Кабели являются наиболее трудным элементом электрооборудования, и эксплуатация кабельных линий имеет свои особенности, так как обнаружить дефекты в ней простым осмотром не всегда удается. Это связано с возможной большой длиной кабелей, различными условиями прокладки и эксплуатации (в земле, в лотках, на воздухе, на эстакадах, в кабельных сооружениях), различным материалом изоляции кабеля.

Основным методом контроля состояния изоляции кабельной линии является испытание ее повышенным напряжением. Цель испытаний состоит в выявлении и своевременном устранении развивающихся дефектов изоляции кабеля, концевых и соединительных муфт, с тем чтобы предупредить возникновение повреждений в процессе работы. Испытание повышенным напряжением кабельных линий напряжением свыше 1000 В проводят один раз в 3 года.

Состояние кабеля определяется по току утечки. При удовлетворительном его состоянии подъем напряжения сопровождается возрастанием тока утечки за счет зарядки емкости, затем снижается до 10–20 % максимального значения.

Кабельная линия считается пригодной к эксплуатации, если при испытаниях не произошло пробоя или перекрытия по поверхности концевой муфты, не наблюдается резких толчков тока и заметного роста тока утечки.

Допустимые токовые нагрузки для длительного нормального режима работы кабельных линий определяются с помощью таблиц, приводимых в электротехнических справочниках. Эти нагрузки зависят от способа прокладки кабеля и вида охлаждающей среды (земля, воздух).

Для кабелей, проложенных в земле, длительно допустимая нагрузка принимается из расчета прокладки одного кабеля в траншее на глубине 1,5 м при температуре земли 15°С. Для кабелей, проложенных на открытом воздухе, температура окружающей среды принимается равной 25°С. Если расчетная температура окружающей среды отличается от принятых условий, то вводится поправочный коэффициент.

За расчетную температуру земли принимается наивысшая среднемесячная температура из всех месяцев года на глубине прокладки кабеля.

За расчетную температуру воздуха принимается наибольшая среднесуточная температура, повторяющаяся не менее трех раз в году.

Длительно допустимая нагрузка кабельной линии определяется по участкам линий с наихудшими условиями охлаждения, если длина этого участка не менее 10 м. Допустимые нормы перегрузок с учетом их длительности приводятся в технической документации завода-изготовителя кабеля.

10.1 Ремонт кабелей

Ремонт кабельных линий производится по результатам осмотров и испытаний. Перед началом ремонта по виду повреждения и марке кабеля определяется тип кабельной арматуры в зависимости от условий эксплуатации. Полученный комплект (упаковка) муфты осматривается на предмет целостности упаковки и сроков ее хранения (некоторые комплектующие кабельной арматуры имеют ограниченный срок хранения). Тип кабельной арматуры выбирается по условиям эксплуатации кабельной линии, марке кабеля и характеристиках электрических сетей. Характеристики кабельной арматуры должны соответствовать условиям эксплуатации кабельной линии.

Особенностью выполнения работ является то обстоятельство, что кабели, подлежащие ремонту, могут находиться под напряжением, и, кроме того, они могут располагаться близко к действующим кабелям, находящимся под напряжением. Поэтому необходимо соблюдать необходимые меры безопасности при работах в действующих электроустановках, и обеспечить сохранность близлежащих кабелей.

Ремонт кабельных линий может быть связан с раскопками. Во избежание повреждений близлежащих кабелей и инженерных коммуникаций на глубине более 0,4 м земляные работы выполняются только вручную (лопатой). При наличии вблизи места ремонта каких-либо подземных коммуникаций работы должны производиться только с разрешения их владельца. После вскрытия кабеля, подлежащего ремонту, необходимо принять меры по сохранности рядом расположенных кабелей (коммуникаций).

При выполнении работ по ремонту кабеля на открытом воздухе необходимо принять меры по защите места работ от пыли, атмосферных осадков и тп. Работы необходимо выполнять под палаткой или тентом.

Основными видами работ при повреждении кабельной линии являются: ремонт оболочек, восстановление изоляции токопроводящих жил (ТПЖ), соединение ТПЖ, монтаж соединительных и концевых муфт. Для ремонта незначительных повреждений защитной оболочки кабеля можно использовать специальные разъемные ремонтные манжеты, имеющие в комплекте герметизирующие элементы.

Если установлен факт наличия влаги внутри кабеля, то увлажненный участок вырезается, делается вставка кабелем аналогичного типа и монтируются две соединительные муфты. Проверка кабеля на влажность при ремонте **обязательна**.

В настоящее время, при проведении ремонта кабелей используется **современная кабельная арматура на основе термоусаживаемых материалов**. Для соединения и оконцевания кабелей применяются различные типы концевых и соединительных муфт, обеспечивающих надежную работу кабельных линий в различных условиях эксплуатации (внутренней и наружной установки, в земле, в увлажненных грунтах и в воде, в кабельных сооружениях и промышленных помещениях с повышенной пожаро- и взрывоопасностью и т.п.).

Работа по монтажу кабельной арматуры выполняется квалифицированным персоналом, прошедшим соответствующее обучение и имеющим соответствующие сертификаты от заводов-изготовителей кабельной арматуры.

Монтаж кабельной арматуры должен выполняться строго в соответствии с инструкцией завода-изготовителя. Кабельная арматура различных заводов может иметь значительные отличия по комплектующим и технологии монтажа.

Для разделки кабеля следует использовать специальный инструмент. Усадку термоусаживаемых элементов следует выполнять с помощью газовой горелки или промышленного электрофена с температурой воздуха на выходе из сопла не менее 600°С.

После окончания ремонта кабеля необходимо убрать рабочее место, уложить муфты и запас кабеля в траншее (кабельном сооружении), восстановить конструкции и засыпать кабель. После засыпки кабеля и муфт проводится испытание кабельной линии повышенным напряжением.

При успешном испытании кабельная линия включается в работу.

10.2 Технологические этапы ремонта многофазного кабеля

1. Подготовка рабочего места и допуск к работе;
2. Подготовительные работы;
3. Очистка кабеля;
4. Подготовка изоляции, ТПЖ и защитных слоев к проверке на влажность;
5. Разметка кабеля согласно монтажной инструкции;

6. Наложение бандажей, снятие защитных покровов;
7. Подготовка трубок для восстановления оболочки и защитного кожуха;
8. Разделка кабеля;
9. Подготовка жил, фазировка ТПЖ;
10. Подготовка изоляции ТПЖ, снятие полупроводящего слоя;
11. Обработка «корешка» разделки кабеля;
12. Подготовка соединителей и изолирующих трубок ТПЖ;
13. Соединение ТПЖ с помощью соединительных гильз[1];
14. Восстановление изоляции ТПЖ;
15. Восстановление заполнения внутренних слоев кабеля;
16. Восстановление экрана и наложение поводка; (при наличии, восстановление брони);
17. Надвижка и усадка защитного кожуха;
18. Сборка инструмента и оформление окончания работ, уборка рабочего места.

10.3 Методические указания по ремонту кабеля

Процесс монтажа должен быть непрерывным до полного его окончания. В процессе монтажа соблюдать чистоту рук и инструмента и выполнять все мероприятия, указанные в заводской инструкции; принять меры, исключающие попадание пыли и влаги в муфту.

Поверхности оболочек, бронепокровов или шланга кабеля, предназначенные для контакта с герметиком, должны быть обезжирены, зачищены (бронепокровы до металлического блеска) напильником или шкуркой и еще раз обезжирены. Снятие полупроводящего слоя с изоляции ТПЖ производить только специальным ножом.

Усадку термоусаживаемых изделий производить газовой горелкой или электрофеном.

Для усадки горелку отрегулировать так, чтобы пламя ее было синее, размытое с желтым языком. Остроконечное синее пламя не допускается.

При усадке термоусаживаемых перчаток, трубок горелку держать в направлении усадки изделий, равномерно перемещая горелку по окружности кабеля. Прежде, чем продолжить усадку вдоль кабеля трубка или перчатка должны равномерно усесть по всей окружности.

Поверхности усаженных трубок или перчаток должны быть гладкими, без морщин и вздутий.

[1] комплекты кабельной арматуры могут комплектоваться соединительными гильзами или наконечниками под опрессовку или с болтами со срывными головками.

Ленты клея-расплава и герметиков наматывать на прогретые до 70-80 °С поверхности (ленты при прикосновении прилипают). Намотку клея-расплава выполнить в один слой с 50%-ным перекрытием без натяга. Для предотвращения раскручивания конец ленты клея-расплава при наложении последнего витка подплавить пламенем горелки.

При намотке ленты герметика необходимо вытягивать не менее чем на 30% по ширине. При таком вытягивании ленты после намотки герметика превращается в монолит, герметично соединенный с элементами муфты. Нанесение герметика при температуре ниже 0 °С проводится после нагрева его до плюс 20 °С пламенем горелки.

Перед усадкой термоусаживаемых элементов удалить с них бумажную маркировку.

Для защиты полупроводящего слоя и изоляции от прямого воздействия пламени горелки временно защитить ее обмоткой стеклоленты.

11 Герметизация концов кабелей

Капы для герметизации концов кабелей выбираются в зависимости от наружного диаметра кабеля. Необходимо использовать капы с клеевым составом, нанесенным на внутреннюю поверхность капы, или со специальными вкладышами из адгезивного материала. Рекомендуется использовать капы по ТУ 16.К71-051-89 «Оконцеватели кабельные термоусаживаемые» с усиленным уплотнением типа 102L (с термоплавким клеем).

Технология монтажа кап следующая.

Измерить длину цилиндрической части капы.

На оболочке кабеля на расстоянии от конца, превышающем длину цилиндрической части капы на 15-20 мм, отметить границу монтажа капы.

На поверхности оболочки в месте монтажа капы снять скребком все наплывы и выпуклые надписи. При необходимости обрезать конец кабеля таким образом, чтобы срез был ровным и прямым.

Поверхность оболочки в месте монтажа капы зачистить шкуркой и обезжирить ацетоном (допускается использование бензина, нефраса или уайт-спирита).

Надеть капу на конец кабеля (между капой и оболочкой должен быть клеевой слой).

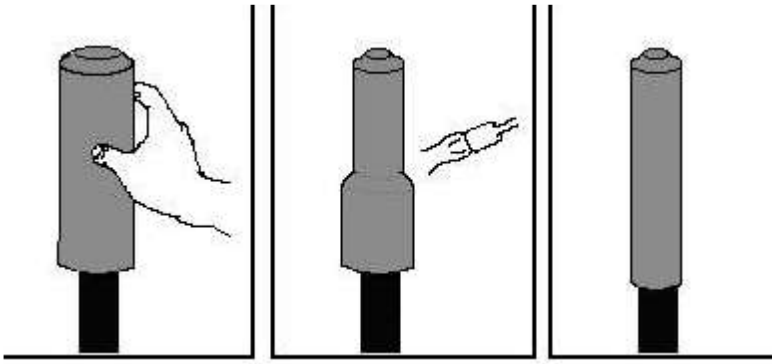


Рисунок 22 – Порядок герметизации кабеля

Легким пламенем газовой горелки осадить капу, начиная с торца. Настройте горелку таким образом, чтобы получить мягкое синее пламя с желтым языком. Следует избегать острого синего пламени. Направляйте горелку в сторону усадки для того, чтобы предварительно нагреть усаживаемый материал. Постоянно перемещайте пламя во избежание пережога материала. При прогреве капы и ее усадке на свободную оболочку кабеля должен выдавливаться клеевой состав в виде ровного валика. Поверхность капы должна быть ровной, гладкой, без морщин.

Дать остыть месту монтажа до температуры ниже 35 °С. До остывания любые механические воздействия на место монтажа капы не допускаются.

При необходимости особенно надежной герметизации концов кабелей возможно применение двойного капирования. При этом внутренняя капа осаживается на полупроводящий экран по изоляции кабеля (герметизируется токопроводящая жила), а наружная капа осаживается на внутреннюю капу и оболочку кабеля.

Возможна также дополнительная герметизация жилы и медного экрана кабеля расплавленным битумом, который наносится перед монтажом на срез кабеля до полного его перекрытия.

Необходимость двойного капирования и дополнительной герметизации битумом определяет шеф-инженер.

12 Правила безопасности при выполнении работ на кабельных линиях

12.1 Земляные работы

При выполнении земляных работ необходимо точно определить местонахождение расположенных вблизи трассы кабеля сооружений (газовых, водопроводных, связи и прочих коммуникаций).

Не допускается производство раскопок землеройными машинами на расстоянии менее 1 м и применение гидромолота, бетонолома, отбойного молотка и других ударных механизмов на расстоянии ближе 5 м от кабелей. При

выполнении земляных работ над кабелями применение отбойных молотов для рыхления грунта и землеройных машин для его выемки, а также ломов и кирок допускается только на глубину, на которой до кабелей остается слой грунта не менее 0,3 м. Дальнейшая выемка грунта должна производиться лопатами.

В зимнее время выемку грунта лопатами можно начинать только после его отогревания. При этом приближение источника тепла к кабелям допускается не ближе, чем на 15 см.

Крепление стенок траншей, выполнение откосов, крутизна откосов планируются в соответствии с условиями, указанными в СНиП и ПТЭ.

12.2 Вскрытие муфт, разрезание кабеля

Перед вскрытием муфт или разрезанием кабеля необходимо удостовериться в том, что кабель определен правильно, что он отключен и выполнены технические мероприятия, необходимые для допуска к работам на нем.

В тех случаях, когда нет уверенности в правильности определения подлежащего ремонту кабеля, производится его уточнение в «пучке» и на трассе. Для уточнения применяется специальная лаборатория. После уточнения на кабеле вешается специальная бирка с указанием наименования кабельной линии, фазы, должности и фамилии работника, проводившего уточнение.

Перед разрезанием кабеля или вскрытием соединительной муфты необходимо проверить отсутствие напряжения с помощью специального приспособления – прокола, состоящего из изолирующей штанги и режущего наконечника. Приспособление должно обеспечить прокол и разрезание оболочки и изоляции до жилы с замыканием на землю. Кабель в месте прокола предварительно прикрывается защитным экраном. В туннелях, коллекторах и колодцах такое приспособление разрешается применять только при наличии дистанционного управления.

Меры безопасности при выполнении прокола должны соответствовать ПТЭ и ПТБ.

12.3 Прокладка, перекладка кабеля и переноска муфт

При перекатке барабана с кабелем необходимо принять меры против захвата его выступающими частями одежды работников. До начала перекатки закрепляют концы кабеля и удаляют торчащие из барабана гвозди. Барабан с кабелем допускается перекатывать только по направлению стрелки, указанной на щеке барабана, на небольшие расстояния по горизонтальной поверхности по твердому грунту или прочному настилу.

Запрещается размещать кабели, пустые барабаны, механизмы, приспособления и инструмент ближе 1 м от бровки траншей.

Разматывать кабель с барабанов разрешается при наличии тормозного приспособления.

При прокладке кабеля запрещается стоять внутри углов поворота, а также поддерживать кабель вручную на поворотах трассы.

Перекладывать кабели и переносить муфты можно только после отключения кабеля и его заземления. Перекладка допускается только в горизонтальном направлении в пределах слабины кабеля без натяга. Одновременное перемещение кабеля и муфты в вертикальном и горизонтальном направлениях не допускается. При перекладке муфта должна быть зафиксирована не менее чем на 3 м от её середины.

Перекладывание кабелей, находящихся под напряжением, запрещается.

12.4 Работы в подземных сооружениях

Меры безопасности при работах в колодцах, коллекторах и туннелях должны соответствовать ПТЭ, ПТБ и ППБ.

Перед началом осмотра или работы в подземных сооружениях, не имеющих приточно-вытяжной вентиляции, необходимо проверить отсутствие горючих и вредных для человека газов. Проверка газов с помощью открытого огня запрещается.

Применение открытого огня в колодцах, коллекторах и туннелях, а также вблизи открытых люков запрещается.

При прожигании кабелей находиться в колодцах запрещается, а в туннелях и коллекторах допускается только на участках между двумя открытыми входами. Работать на кабелях во время их прожигания запрещается. Во избежание пожара после прожигания кабели необходимо осмотреть.

13 Засыпка траншеи грунтом, маркировка

После испытаний оболочек проложенный в траншее кабель должен быть присыпан первым слоем земли, уложена механическая защита – железобетонные плиты. Далее трасса засыпается грунтом, причем не допускается засыпка трассы комьями мерзлой земли, грунтом, содержащим камни, куски металла, шлака и т.п.

Окончательную засыпку траншеи разрешается проводить после успешного испытания кабеля и подписания акта на скрытые работы.

После окончания прокладки и монтажа кабельной линии с места работ должны быть вывезены мусор, отходы использованных материалов и кабеля.

Каждая кабельная линия должна иметь свой номер или наименование и быть промаркирована в соответствии с требованиями ПУЭ.

14 Обходы и осмотры кабельных линий

Надзор за трассами кабельных линий, кабельными сооружениями и кабельными линиями в целях проверки их состояния и соблюдения правил охраны электрических сетей производится периодическим обходом и осмотром оперативным персоналом или специально выделенными для этого монтерами, инженерно-техническим персоналом в сроки, предусмотренные Правилами технической эксплуатации электроустановок (ПТЭ) и местными инструкциями.

Внеочередные обходы и осмотры производятся в период паводков и после ливней, а также при отключении линий релейной защитой.

При обходах и осмотрах трасс кабельных линий, проложенных на открытых территориях, необходимо:

- проверять, чтобы на трассе не производились не согласованные с энергопредприятием работы (строительство сооружений, раскопка земли, посадка растений, устройство складов, забивка свай, столбов и т.п.), а также, чтобы не было завалов трасс снегом, мусором, шлаком, отбросами, не было провалов и оползней грунта;
- осматривать места пересечения кабельных трасс с железными дорогами, обращая внимание на наличие предупредительных плакатов и на надежное металлическое соединение рельсов электрифицированных железных дорог в местах стыков;
- осматривать места пересечения кабельных трасс шоссейными дорогами, канавами и кюветами;
- осматривать состояние устройств и кабелей, проложенных по мостам, дамбам, эстакадам и другим подобным сооружениям;
- проверять состояние кабеля в местах выхода кабелей на стены зданий или опоры воздушных линий электропередачи наличие и состояние защиты кабелей от механических повреждений, исправность концевых муфт.

При обходах и осмотрах трасс кабельных линий, проложенных на закрытых территориях, кроме указанного для открытых территорий, необходимо:

- при выявлении нарушений правил охраны электрических сетей на трассах линий вручать предписание об их устранении;
- в случае выявления не устраненных в установленный при предыдущем осмотре срок недостатков составлять протокол о нарушении.

Осмотр кабельных сооружений и кабельных линий, проложенных в кабельных сооружениях, должен производиться специально выделенным персо-

налом электростанции или электрических сетей. При осмотре кабельных сооружений и кабельных линий, проложенных в кабельных сооружениях, необходимо:

- проверять внешнее состояние соединительных и концевых муфт, крепления кабелей;
- проверять, наличие смещений и провесов кабелей, соблюдение предусматриваемых ПУЭ расстояний между кабелями;
- проверять исправность освещения;
- измерять температуру воздуха в помещениях;
- проверять исправность устройств сигнализации и пожаротушения;
- проверять состояние строительной части, дверей, люков и их запоров, крепежных конструкций, наличие разделительных несгораемых перегородок и плотности заделки кабелей в местах прохода через стены, перекрытия и перегородки;
- проверять наличие и правильность маркировки кабелей;
- проверять, наличие посторонних предметов, строительных и монтажных материалов, обтирочных концов, тряпок, мусора и пр.;
- проверять, наличие грунтовых и сточных вод, технологических отходов производства.

В случаях, когда кабельные сооружения и распределительные устройства или подстанции принадлежат разным организациям, осмотр концевых участков и концевых муфт кабельных линий в РУ и ПС должен производиться с представителями этих организаций.

Результаты обходов и осмотров кабельных линий, их трасс и кабельных сооружений регистрируются в журнале по обходам и осмотрам. Кроме того, все обнаруженные дефекты на трассах кабельных линий должны быть записаны в журнал дефектов и неполадок или в карты дефектов.

При выявлении дефектов, требующих немедленного устранения, производящий обход и осмотр обязан немедленно сообщить об этом своему непосредственному начальнику, дежурному персоналу организации, эксплуатирующей кабельную линию и ответственному персоналу предприятия (организации) - владельца электроустановки.

При обнаружении на трассе кабельных линий производства земляных работ, выполняемых без разрешения предприятия (организации) владельца кабельных сетей, а также других нарушений действующих правил охраны электрических сетей, производящий обход и осмотр должен принять меры по предотвращению выше указанных нарушений, сообщить об этом непосредственному начальнику, сделать запись в журнале обходов и осмотров, выдать предупреждение лицам, производящим несанкционированные раскопки.

При обнаружении дефектов на кабельных линиях в распределительных устройствах электростанций и подстанций, сведения о них передаются владельцу КЛ.

В случаях, когда монтаж соединений провода заземления должен производиться в условиях не предусмотренных указанными выше правилами, должны быть разработаны и утверждены дополнительные меры безопасности в проекте производства работ.

Приложение 1. Технология ремонта оболочки кабеля

П.1.1 Ремонт с применением термоусаживаемой манжеты

Для ремонта рекомендуется использовать термоусаживаемые манжеты фирмы «Райхем», «Про Для ремонта рекомендуется использовать специальные разъемные термоусаживаемые манжеты длиной до 1500 мм. Внутренний диаметр манжеты зависит от наружного диаметра ремонтируемого кабеля. Основными характеристиками термоусаживаемой манжеты являются:

- Наружный диаметр ремонтируемого кабеля, мм;
- Внутренний диаметр манжеты до усадки Da, мм;
- Внутренний диаметр манжеты после усадки Db, мм.

Манжета выбирается такой, чтобы после усадки на кабель ее внутренний диаметр был в пределах от (Db +15% Db) до (Da -15% Da).

Ремонтную манжету и замок можно отрезать любой необходимой длиной на месте монтажа.

По согласованию с предприятием-изготовителем кабеля допускается использовать равноценные по качеству термоусаживаемые манжеты других производителей.

Определяется граница места ремонта оболочки кабеля (минимум по 100 мм в обе стороны от краев дефекта по длине кабеля).

Поверхность оболочки в месте ремонта зачистить шкуркой и обезжирить ацетоном.

Отрезать от манжеты и замка участок равный по длине месту ремонта.

Снять с отрезка манжеты защитную пленку, обернуть манжету вокруг ремонтируемого участка кабеля таким образом, чтобы клеевой слой манжеты примыкал к оболочке кабеля. Надвинуть на приливы манжеты замок.

Легким пламенем газовой горелки усадить манжету на кабель, начиная прогрев с середины со стороны противоположной замку. Перемещая пламя горелки вдоль и по периметру манжеты, добиться ее осаживания на кабель, при этом необходимо следить, чтобы не было перегрева манжеты.

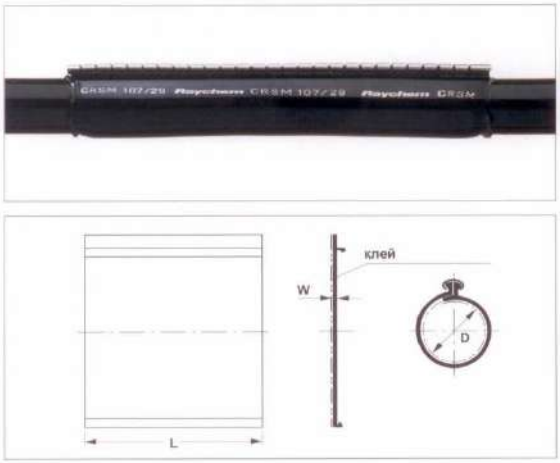




Рисунок П.1.1 – Ремонтная манжета

После полной усадки манжеты необходимо дополнительно прогреть зону вблизи замка. При правильной усадке манжеты после прогрева из-под ее концов на оболочку кабеля должен выдавиться клеевой состав в виде ровных валиков.

После усадки необходимо дать манжете остыть до температуры ниже +35 °С. Не допускается любые механические воздействия на место ремонта до остывания.

П1.2 Ремонт с применением лент RULLE

Ленты RULLE выполнены из этиленпропиленовой резины с клейким слоем из бутилкаучука, закрытым защитной пленкой, которая снимается при монтаже. Толщина лент – 2 мм, ширина – 60 мм.

Определяется граница места ремонта оболочки кабеля (минимум по 100 мм в обе стороны от краев дефекта по длине кабеля).

При наличии ребер на оболочке кабеля необходимо в месте ремонта снять ребра по всей окружности.

Поверхность оболочки в месте ремонта зачистить шкуркой и обезжирить ацетоном.

Наложить с 50% перекрытием два слоя лены RULLE. Наложение производить клеевым составом к оболочке ремонтируемого кабеля, снимая с него защитный слой. При намотке ленту следует вытягивать до такой степени, чтобы нарисованные на ее поверхности овалы превратились в круги.

Приложение 2. Перечень веществ, вредно действующих на оболочку кабеля

В перечне приведены данные по устойчивости (удовлетворительной, ограниченной или неудовлетворительной) к воздействию различных веществ материала оболочки кабелей (полиэтилена высокой плотности) при отсутствии внутреннего давления и внешнего механического напряжения и температурах 20°С и 60°С.

Материал оболочки кабелей имеет **неудовлетворительную устойчивость при температурах 20°**С и **60°**С к воздействию следующих веществ:

- бром (жидкий или газ), йод в спиртовом растворе и в соли калия, фтор (газ);
- галогенопроизводные вещества: бромистый метил, бромоформ, дихлорэтилен, дихлорбензол, дихлорпропилен, метилциклогексан, пропилен дихлорид, тетрахлорэтилен, трихлорбензол, трихлорэтилен, трибромметан, хлорбензол, хлороформ, хлоросульфиновая кислота, хлористый тионил, хлористый этил, хлористый этилен, хлористый метил, хлористый метилен;
- ароматические углеводороды;
- дипентен, тетрадекан, тетрагидрофуран, трёхокись серы, диэтиловый эфир, дипентен, изопентан, изопропиламин, изопропиловый амин, меркаптанат этила, нитробензол, нитротолуол, N-пентан, олеум, пентан-2, фурфурол, циклогексан, O-Zylene, P-Zylene, этилбензол;
- азотная кислота (95% и выше), «царская водка» (HCl/HNOз=3/1), серная кислота (кипящая), керосин, скипидар (живица).

Материал оболочки кабелей имеет **ограниченную устойчивость при температуре 20°С и не удовлетворительную устойчивость при температуре 60°С** к воздействию следующих веществ: акрилат этила, декан, дибутиловый амин, дисульфид углерода, ксилол, лигроин, лизоль, метилциклогексан, N-гептан, озон, стирол, тетрахлорид углерода, тетрахлорид титана, тетрахлорметан, трёххлористое соединение бора, толуол, тормозная жидкость, хлор (насыщенный водный раствор или газ), хлорид аллила.

Материал оболочки кабелей имеет **удовлетворительную устойчивость при температуре 20°С и неудовлетворительную устойчивость при температуре 60 °С** к воздействию следующих веществ: изоприловый эфир, нитроэтан, октиловый спирт, оливковое масло, перекись водорода (90%), серная кислота (от 80 до 98%), хлорная кислота (70%), этилацетат.

Материал оболочки кабелей имеет **ограниченную устойчивость при температурах 20°С и 60°С** к воздействию следующих веществ: ацетон, амилацетат, бензол, бензин, диацетоновый спирт, диэтиловый кенон, гексахлорофен, камфорное масло, сернистый кальций.

Материал оболочки кабелей имеет **удовлетворительную устойчивость при температуре 20 С и ограниченную устойчивость при температуре 60°С** к воздействию следующих веществ: анилин, гексан, дизельное топливо, изооктан, масляная кислота, фурфуроловый спирт, этиловый спирт и некоторые другие вещества, перечень которых имеется на ПО «Энергокомплект».

Перечень составлен на основании данных, предоставленных фирмой «Borealis» (поставщик полиэтилена), источник информации-ISO/TR 7472, 7474; Carlowitz: «Kunststofftabellen-3. Auflage».

Приложение 3. Выбор номинального сечения жил и экранов в зависимости от токовых нагрузок и условий прокладки

П3.1 Общие указания

Номинальное сечение токопроводящих жил (ТПЖ) выбирается по длительно допустимому току $I_{табл}$, приведенному в таблицах раздела П.3.2., скорректированному с учетом условий прокладки и эксплуатации кабеля при помощи поправочных коэффициентов k_i, приведенных в П.3.3. Поправочные коэффициенты должны быть приняты для участка трассы с наихудшими условиями охлаждения, длина которого превышает 10 м:

$$I_{дл} = I_{табл} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \ldots \cdot k_n \text{ (А)} \qquad \text{(П.3.1)}$$

где $I_{дл}$ – длительно допустимый ток кабеля с учетом условий прокладки и эксплуатации.

Длительно допустимый ток кабельной линии $I_{кл}$ в электрической сети номинальным напряжением $U_{ном}$ определяется исходя из передаваемой мощности $P_{кл}$ с учетом перспективного роста нагрузок, возможных послеаварийных режимов, обеспечения необходимого резерва мощности по формуле:

$$I_{кл} = \frac{P_{кл}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot cos\varphi} \text{ (А)} \qquad \text{(П.3.2)}$$

где φ – угол сдвига фаз между напряжением и током.

При необходимости прокладки нескольких параллельных кабельных цепей для передачи необходимой мощности рекомендуется проводить технико-экономические расчеты с учетом затрат на прокладку кабелей, их монтаж, эксплуатацию и требований надежности электроснабжения.

Выбранное номинальное сечение жилы должно быть проверено по допустимому току в послеаварийном режиме (перегрузка) в соответствии с П.3.4. и по допустимому току короткого замыкания жилы, приведенному в П.3.5.

Номинальное сечение экрана кабелей выбирается по допустимому току короткого замыкания экрана, приведенному в П.3.5.

Пропускная способность кабеля зависит от способа прокладки, то есть для одного и того же сечения ТПЖ при различных способах прокладки кабеля длительно допустимый ток разный.

П3.2 Определение сечения токопроводящей жилы и расчет допустимой токовой нагрузки

Длительно допустимая токовая нагрузка силовых кабелей рассчитывается по методике IEC 60287 с учетом параметров кабеля и условий прокладки по формуле:

$$I_{max} = \left[\frac{\Delta\theta - W_d \cdot [0.5 \cdot T_1 + n \cdot (T_2 + T_3 + T_4)]}{R \cdot T_1 + n \cdot R \cdot (1 + \lambda_1) \cdot T_2 + n \cdot R \cdot (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot (T_3 + T_4)}\right]^{0.5} \text{(А)} \qquad \text{(П.3.3)}$$

где

$\Delta\theta$ – разница температур токоведущей жилы и окружающей среды, °С;

W_d - диэлектрические потери на единицу длины, Вт/м;

T_1 - термическое сопротивление между жилой и металлическим экраном (оболочкой), °С·м/Вт;

T_2 - термическое сопротивление между металлическим экраном (оболочкой) и броней, °С·м/Вт;

T_3 - термическое сопротивление наружного покрова, °С·м/Вт;

T_4- термическое сопротивление окружающей кабель среды, °С·м/Вт (для земли эта величина обусловлена процессом теплопроводности, а для воздуха – процессом конвекции);

R - электрическое сопротивление токопроводящей жилы при максимально допустимой её температуре, Ом/м;

n - число жил в кабеле;

λ_1, λ_2 - отношение общих потерь в металлических экранах (оболочках) и броне к сумме потерь в токоведущих жилах;

Основная суть расчетов по методике IEC 60287 – определение длительно допустимого тока ТПЖ, при котором температура жилы составит максимально допустимое значение (90 °С для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена).

Длительно допустимые токи кабеля на напряжение 6-330 кВ представлены ниже в таблицах, данные даны в А.

При прокладке кабеля на воздухе и отсутствии защиты кабелей от ультрафиолетового и инфракрасного (солнечного) излучения расчет максимально допустимого тока в кабеле должен производиться по IEC 60287 [18, 20] с учетом коэффициента поглощения солнечной радиации поверхностью кабеля и интенсивности солнечного излучения для широты, в которой прокладывается кабель.

Таблица П.3.1 – Длительно допустимые токи одножильного кабеля на напряжение 6 кВ

Номинальное сечение жилы кабеля, мм^2	При прокладке в земле, А				При прокладке в воздухе, А			
	Медная жила		Алюминиевая жила		Медная жила		Алюминиевая жила	
	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником
35	221	193	172	147	250	203	188	155
50	250	225	195	170	290	240	225	185
70	310	275	240	210	360	300	280	230
95	336	326	263	253	448	387	349	300
120	380	370	298	288	515	445	403	346
150	416	413	329	322	574	503	452	392
185	466	466	371	364	654	577	518	450
240	531	537	426	422	762	677	607	531
300	590	604	477	476	865	776	693	609
400	633	677	525	541	959	891	787	710
500	697	759	587	614	1081	1025	900	822
630	792	848	653	695	1213	1166	1026	954
800	825	933	719	780	1349	1319	1161	1094
1000	900	980	790	820	1415	1433	1345	1200

Таблица П.3.2 – Длительно допустимые токи одножильного кабеля на напряжение 10-15 кВ

Номинальное сечение жилы кабеля, мм^2	При прокладке в земле, А				При прокладке в воздухе, А			
	Медная жила		Алюминиевая жила		Медная жила		Алюминиевая жила	
	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником
50	250	225	195	170	290	240	225	185
70	310	275	240	210	360	300	280	230
95	336	326	263	253	448	387	349	300
120	380	370	298	288	515	445	403	346
150	416	413	329	322	574	503	452	392
185	466	466	371	364	654	377	518	450
240	531	537	426	422	762	677	607	531
300	590	604	477	476	865	776	693	609
400	633	677	525	541	959	891	787	710

Номинальное сечение жилы кабеля, мм^2	При прокладке в земле, А				При прокладке в воздухе, А			
	Медная жила		Алюминиевая жила		Медная жила		Алюминиевая жила	
	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником
500	697	759	587	614	1081	1025	900	822
630	762	848	653	695	1213	1166	1026	954
800	825	933	719	780	1349	1319	1161	1094
1000	900	1003	800	845	1423	1411	1220	1180

Таблица П.3.3 – Длительно допустимые токи одножильного кабеля на напряжение 20-45 кВ

Номинальное сечение жилы кабеля, мм^2	При прокладке в земле, А				При прокладке в воздухе, А			
	Медная жила		Алюминиевая жила		Медная жила		Алюминиевая жила	
	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником
50	230	225	185	175	290	250	225	190
70	290	270	225	215	365	310	280	240
95	336	326	263	253	446	389	348	301
120	380	371	298	288	513	448	402	348
150	417	413	330	322	573	507	451	394
185	466	466	371	365	652	580	516	452
240	532	538	426	422	760	680	605	533
300	582	605	477	476	863	779	690	611
400	635	678	526	541	957	895	783	712
500	700	762	588	615	1081	1027	897	824
630	766	851	655	699	1213	1172	1023	953
800	830	942	722	782	1351	1325	1159	1096
1000	906	1007	805	850	1430	1415	1230	1186

Таблица П.3.4 – Длительно допустимые токи трехжильного кабеля на напряжение 6 кВ

Номинальное сечение жилы кабеля, мм^2	Прокладка в земле		Прокладка в воздухе	
	медные жилы	алюминиевые жилы	медные жилы	алюминиевые жилы
35	164	126	179	138
50	192	148	213	165

Номинальное сечение жилы кабеля, мм²	Прокладка в земле		Прокладка в воздухе	
	медные жилы	алюминиевые жилы	медные жилы	алюминиевые жилы
70	233	181	263	204
95	279	216	319	248
120	316	246	366	285
150	352	275	413	321
185	396	311	471	368
240	457	358	550	432

Таблица П.3.5 – Длительно допустимые токи трехжильного кабеля на напряжение 10-45 кВ

Номинальное сечение жилы кабеля, мм²	Прокладка в земле				Прокладка в воздухе			
	медные жилы		алюминиевые жилы		медные жилы		алюминиевые жилы	
	10 и 15 кВ	20-45 кВ	10 и 15 кВ	20-45 кВ	10 и 15 кВ	20-45 кВ	10 и 15 кВ	20-45 кВ
50	207	207	156	161	206	215	159	163
70	253	248	193	199	255	264	196	204
95	300	300	233	233	329	331	255	256
120	340	341	265	265	374	376	291	292
150	384	384	300	300	423	426	329	331
185	433	433	338	339	479	481	374	375
240	500	500	392	392	562	564	441	442
300	563	563	456	456	630	630	490	490
400	635	635	515	515	710	710	554	554
500	-	-	564	-	-	-	683	-
630	-	-	636	-	-	-	776	-

Таблица П.3.6 – Длительно допустимые токи одножильного кабеля на напряжение 110 кВ. Прокладка в земле, кабели расположены треугольником, экраны кабелей соединены и заземлены с двух сторон

Сечение, мм²	Кабель с медной жилой				Кабель с алюминиевой жилой			
	Одна цепь		Две цепи		Одна цепь		Две цепи	
	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1
150	456	390	411	347	360	309	325	275
185	502	429	452	382	396	340	358	303
240	572	489	515	437	455	389	409	345
300	632	538	567	476	507	432	455	383
350	678	577	608	508	545	462	490	408

Сечение, мм^2	Кабель с медной жилой				Кабель с алюминиевой жилой			
	Одна цепь		Две цепи		Одна цепь		Две цепи	
	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1
400	723	612	645	539	587	497	524	439
500	798	673	709	590	654	553	583	486
630	859	721	760	630	719	605	637	530
800	932	779	820	677	787	659	694	575
1000*	1009	840	884	729	864	722	759	628
1200*	1081	895	944	775	938	779	820	675
1400*	1119	928	977	802	990	820	865	710
1600*	1175	970	1020	835	1041	863	905	744
2000*	1235	1020	1056	865	1115	921	956	785

*Токовая нагрузка рассчитана для кабелей с сегментированной (секторной) токопроводящей жилой

Таблица П.3.7 – Длительно допустимые токи одножильного кабеля на напряжение 110 кВ. Прокладка в земле, кабели расположены треугольником, экраны кабелей соединены по системе с правильной транспозицией

Сечение, мм^2	Кабель с медной жилой				Кабель с алюминиевой жилой			
	Одна цепь		Две цепи		Одна цепь		Две цепи	
	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1
150	467	401	423	357	364	313	330	279
185	518	445	469	397	404	347	366	310
240	597	512	539	455	467	400	421	356
300	674	576	607	512	528	452	475	401
350	736	625	656	551	560	485	515	435
400	787	670	706	593	619	527	555	467
500	884	751	790	663	699	594	625	524
630	993	841	884	740	792	671	705	591
800	1146	968	1017	849	904	764	803	670
1000*	1285	1083	1137	947	1020	860	902	752
1200*	1410	1183	1242	1031	1127	946	994	825
1400*	1505	1263	1324	1100	1220	1020	1050	887
1600*	1608	1345	1410	1170	1308	1094	1147	950
2000*	1782	1498	1550	1286	1470	1237	1278	1062

*Токовая нагрузка рассчитана для кабелей с сегментированной (секторной) токопроводящей жилой

Таблица П.3.8 – Длительно допустимые токи одножильного кабеля на напряжение 110 кВ. Прокладка в земле, кабели расположены в плоскости, экраны кабелей соединены и заземлены с двух сторон

Сечение, мм^2	Кабель с медной жилой				Кабель с алюминиевой жилой			
	Одна цепь		Две цепи		Одна цепь		Две цепи	
	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1
150	440	373	392	328	349	297	311	262
185	480	407	427	357	391	333	348	293
240	537	453	475	396	442	375	392	328
300	581	488	511	425	486	410	429	358
350	61	515	540	448	520	438	457	372
400	644	538	564	466	549	460	482	400
500	693	576	604	497	599	501	524	433
630	737	610	639	524	649	540	564	465
800	785	648	677	554	703	583	608	500
1000*	841	691	721	588	758	626	652	534
1200*	879	720	751	611	802	659	687	561
1400*	903	740	770	625	830	686	713	580
1600*	931	760	790	641	865	708	736	598
2000*	967	790	811	658	912	747	765	622

*Токовая нагрузка рассчитана для кабелей с сегментированной (секторной) токопроводящей жилой

Таблица П.3.9 – Длительно допустимые токи одножильного кабеля на напряжение 110 кВ. Прокладка в земле, кабели расположены в плоскости, экраны кабелей соединены по системе с правильной транспозицией

Сечение, мм^2	Кабель с медной жилой				Кабель с алюминиевой жилой			
	Одна цепь		Две цепи		Одна цепь		Две цепи	
	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1
150	477	410	427	362	373	319	334	282
185	539	463	483	409	421	361	377	319
240	622	533	556	470	486	417	435	367
300	704	602	627	529	551	470	491	414
350	767	653	682	573	602	513	535	451
400	824	701	731	614	647	551	574	482
500	927	787	821	687	732	621	647	542
630	1045	885	922	770	830	703	732	612
800	1176	993	1033	861	943	797	828	691
1000*	1368	1153	1197	996	1078	908	943	785
1200*	1510	1267	1315	1091	1195	1003	1041	864

Сечение, мм^2	Кабель с медной жилой				Кабель с алюминиевой жилой			
	Одна цепь		Две цепи		Одна цепь		Две цепи	
	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1	Кн=0,8	Кн=1
1400*	1632	1365	1418	1175	1300	1087	1123	935
1600*	1749	1463	1515	1254	1400	1171	1211	1003
2000*	1940	1634	1664	1384	1567	1322	1346	1120

*Токовая нагрузка рассчитана для кабелей с сегментированной (секторной) токопроводящей жилой

Таблица П.3.10 – Длительно допустимые токи одножильного кабеля на напряжение 110 кВ. Прокладка в воздухе.

Сечение, мм^2	Экраны кабелей соединены и заземлены с двух сторон				Экраны кабелей соединены и заземлены по принципу правильной транспозиции			
	Кабель с медной жилой		Кабель с алюминиевой жилой		Кабель с медной жилой		Кабель с алюминиевой жилой	
	треугольником	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником	в плоскости
150	545	533	435	427	585	585	456	456
185	610	597	491	482	667	667	520	520
240	698	680	568	555	780	780	609	609
300	773	747	637	618	895	895	700	700
350	830	802	689	668	983	983	771	771
400	883	846	739	713	1068	1068	839	839
500	947	926	827	792	1219	1219	961	961
630	1066	997	919	870	1399	1399	1110	1110
800	1185	1074	1029	954	1651	1651	1293	1293
1000*	1288	1143	1135	1035	1895	1895	1486	1486
1200*	1378	1200	1230	1102	2123	2123	1676	1676
1400*	1455	1275	1310	1178	2227	2320	1840	1840
1600*	1534	1354	1390	1254	2526	2523	2013	2016
2000*	1697	1606	1534	1483	2868	2853	2310	2305

*Токовая нагрузка рассчитана для кабелей с сегментированной (секторной) токопроводящей жилой

Таблица П.3.11 – Длительно допустимые токи одножильного кабеля на напряжение 220 кВ. Алюминиевая жила

Сечение, мм^2	Кабели проложены в земле				Кабели проложены в воздухе			
	В плоскости		В треугольнике		В плоскости		В треугольнике	
	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон
400	528	452	502	473	764	682	702	677
500	605	498	574	531	893	771	816	778
630	692	544	655	594	1045	866	950	893
800	787	587	741	657	1215	960	1096	1014
1000	916	640	965	742	1446	1081	1309	1184
1200	1002	670	944	792	1602	1151	1447	1289
1400	1088	697	1024	840	1760	1216	1586	1390
1600	1170	720	1098	882	1913	1275	1721	1486
1800	1249	740	1170	921	2061	1328	1850	1575
2000	1320	757	1233	954	2198	1374	1969	1653
2500	1502	794	1393	1029	2550	1477	2268	1840

Таблица П.3.12 – Длительно допустимые токи одножильного кабеля на напряжение 330 кВ. Алюминиевая жила

Сечение, мм^2	Кабели проложены в земле				Кабели проложены в воздухе			
	В плоскости		В треугольнике		В плоскости		В треугольнике	
	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон
500	500	598	495	567	526	878	767	806
630	630	685	542	647	590	1024	864	937
800	800	777	585	732	652	1188	960	1081
1000	1000	903	635	851	734	1421	1081	1292
1200	1200	987	665	929	783	1573	1152	1428
1400	1400	1072	691	1007	830	1728	1218	1565
1600	1600	1152	714	1079	872	1878	1278	1697
1800	1800	1229	734	1149	910	2023	1333	1824
2000	2000	1299	750	1211	942	2157	1379	1941

Таблица П.3.13 – Длительно допустимые токи одножильного кабеля на напряжение 220 кВ. Медная жила

Сечение, мм^2	Кабели проложены в земле				Кабели проложены в воздухе			
	В плоскости		В треугольнике		В плоскости		В треугольнике	
	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон
400	676	535	642	584	978	822	897	847
500	770	578	729	647	1137	913	1036	962
630	876	620	826	712	1322	1006	1197	1089
800	986	657	923	773	1522	1093	1365	1215
1000	1162	709	1095	873	1835	1220	1658	1425
1200	1258	733	1182	918	2012	1280	1812	1528
1400	1361	755	1275	963	2199	1338	1975	1631
1600	1453	773	1356	1000	2375	1390	2125	1724
1800	1534	789	1426	1032	2531	1434	2256	1804
2000	1617	803	1498	1061	2692	1475	2391	1882
2500	1784	828	1637	1116	3028	1556	2665	2035

Таблица П.3.14 – Длительно допустимые токи одножильного кабеля на напряжение 330 кВ. Медная жила

Сечение, мм^2	Кабели проложены в земле				Кабели проложены в воздухе			
	В плоскости		В треугольнике		В плоскости		В треугольнике	
	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон	Правильная транспозиция	Заземление с двух сторон
500	761	576	720	642	1118	913	1025	958
630	866	620	816	709	1295	1010	1182	1086
800	974	657	913	770	1489	1100	1348	1214
1000	1146	705	1078	864	1803	1225	1637	1421
1200	1240	728	1164	909	1976	1287	1789	1524
1400	1341	750	1254	953	2160	1347	1949	1629
1600	1431	768	1334	990	2332	1400	2097	1723
1800	1510	783	1402	1021	2485	1445	2227	1803
2000	1591	796	1472	1050	2642	1486	2360	1881

Длительно допустимые токи рассчитаны при следующих условиях:

- максимальная температура жилы 90°С;

- температура окружающей среды 15°С при прокладке в грунте и 25°С при прокладке в воздухе (вторая климатическая зона);
- глубина прокладки в грунте - 1,5 м (110 кВ и выше), 0,8 м (6-45 кВ);
- тепловое сопротивление грунта 1,2 К*м/Вт;
- при прокладке треугольником кабели прокладывают вплотную;
- при прокладке в горизонтальной плоскости кабели прокладывают на расстоянии одного диаметра кабеля между одножильными кабелями;
- расстояние между кабельными линиями в горизонтали составляет два диаметра, но не менее 250 мм;
- коэффициент нагрузки kн для кабелей 6-45 кВ и 220-330 кВ принят равным 1,0, для кабелей 110 кВ kн длительно допустимый ток приведен для kн=0,8 и kн=1,0;
- для кабелей 6-45 кВ токи соответствуют режиму заземления экранов с двух сторон;
- кабели в воздухе проложены свободно и защищены от солнечного излучения;
- токи для кабелей 220 кВ и выше рассчитаны на кабели с сечением медного экрана 150 мм2;
- резервные кабели при расчете не учитываются.

При других условиях эксплуатации и режимов соединения и заземления экранов длительно допустимый ток должен быть скорректирован путем применения корректирующих коэффициентов следующим образом.

При других расчетных температурах окружающей среды допустимые токовые нагрузки должны быть умножены на поправочные коэффициенты, приведенные в таблице П.3.15, при другой глубине прокладки – в таблицах П.3.16.1- П.3.16.3, при другом тепловом сопротивлении грунта – в таблицах П.3.17.1- П.3.17.2.

Поправочные коэффициенты для расчета токовых нагрузок проложенных рядом трехжильных кабелей или групп одножильных кабелей в грунте приведены в таблице П.3.18.1- П.3.18.2, на воздухе — в таблицах П.3.19.

Поправочные коэффициенты при прокладке в трубах и каналах при длине труб 10 м и приведены в таблице П.3.20.

Поправочные коэффициенты для расчета токовых нагрузок при различных сечениях экранов кабелей напряжением 220-330 кВ приведены в таблице П.3.21.

При других условиях прокладки и эксплуатации кабелей, не учтенных в П3.3, расчет допустимых токов необходимо проводить в соответствии с требованиями стандарта МЭК 60287.

Значения длительно допустимых токовых нагрузок кабелей с применением заземления экрана с одной стороны соответствуют значениям длительно допустимых токовых нагрузок кабелей с применением транспозиции экранов.

Емкости кабелей напряжением 6-330 кВ приведены в таблице П.3.25-П.3.29.

Расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по жиле E_i и экране по изоляции E_0 для кабеля напряжением 45-330 кВ приведены в таблицах П.3.26-П.3.29.

П3.3. Поправочные коэффициенты для пересчета длительно допустимых токов

Таблица П.3.15 – Изменение температуры окружающей среды

	Поправочный коэффициент k_i при температуре окружающей среды, °С												
	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
В земле	1,16	1,13	1,10	1,06	1,03	1,00	0,96	0,92	0,89	0,85	0,81	0.77	0.73
На воздухе	1,24	1,21	1,18	1,14	1,13	1,08	1,05	1,00	0,96	0,91	0,86	0.81	0.76

Таблица П.3.16.1 – Изменение глубины прокладки, кабели 6-45 кВ

Глубина прокладки	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0
Поправочный коэффициент	1,04	1,02	1,00	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,88	0,84

Таблица П.3.16.2 – Изменение глубины прокладки, кабели 110 кВ

Глубина прокладки	0,7	0,9	1	1,2	1,5	1,8	2	2,5	3	5
Коэффициент	1,10	1,07	1,05	1,03	1,00	0,98	0,97	0,94	0,93	0,83

Таблица П.3.16.3 – Изменение глубины прокладки, кабели 220-330 кВ

Глубина прокладки / Сечение жилы	0,7	0,9	1	1,2	1,5	1,8	2	2,5	3	5
400	1,09	1,06	1,04	1,02	1,00	0,98	0,97	0,95	0,94	0,84
500-630	1,10	1,07	1,05	1,03	1,00	0,98	0,97	0,94	0,93	0,83
800-1400	1,11	1,07	1,05	1,03	1,00	0,98	0,97	0,94	0,92	0,83
1600-2000	1,12	1,07	1,06	1,03	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,83

Таблица П.3.17.1 – Изменение теплового сопротивления грунта, кабели 6-110 кВ

Удельное сопротивление грунта, °С·м/Вт	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	3,0
Поправочный коэффициент k_3	1,17	1,07	1,00	0,94	0,89	0,85	0,81	0,73	0,68

Таблица П.3.17.2 – Изменение теплового сопротивления грунта, кабели 220-330 кВ

Удельное сопротивление грунта °С·м/Вт / Сечение жилы	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	3,0
400	1,17	1,07	1,00	0,94	0,89	0,85	0,81	0,73	0,68
500-630	1,18	1,08	1,00	0,94	0,88	0,84	0,80	0,72	0,67
800-1400	1,19	1,08	1,00	0,93	0,88	0,84	0,80	0,72	0,66
1600-2000	1,20	1,08	1,00	0,93	0,88	0,83	0,79	0,71	0,65

Таблица П.3.17.3 – Ориентировочные значения теплового сопротивления грунта, °С·м/Вт

проточная вода	0
при прокладке по дну водоемов	0,4-0,5
песок, влажностью более 9%, песчано-глинистая почва, влажностью более 14%	0,8
песок, влажностью 7-9%, песчано-глинистая почва, влажностью 12-14%	1,2
песок, влажностью 4-7%, песчано-глинистая почва, влажностью 8-12%	1,8
песок, влажностью до 4%, каменистая почва	3,0

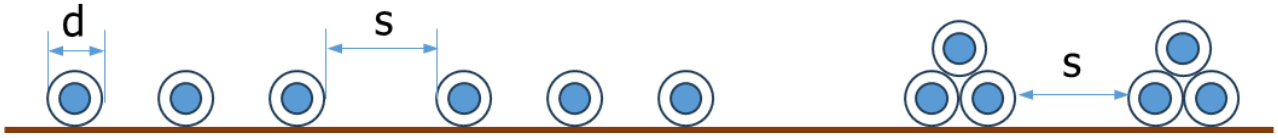


Рисунок П.3.1 – Взаимные параметры кабелей, проложенных совместно в плоскости и в треугольник

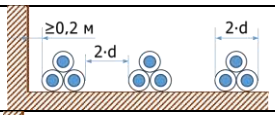
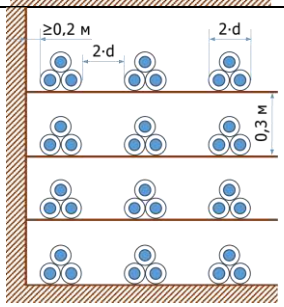
Таблица П.3.18.1 – Поправочные коэффициенты для перерасчета длительно допустимых токов для проложенных в земле рядом групп кабелей напряжением 6-45 кВ

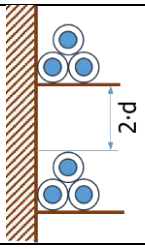
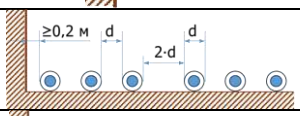
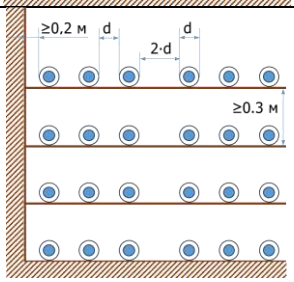
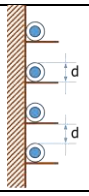
Расстояние между кабелями в свету, мм	Коэффициент при числе кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0.90	0.85	0.80	0.78	0.75
200	1,00	0.92	0.87	0.84	0.82	0.81
300	1,00	0.93	0.90	0.87	0.86	0.80

Таблица П.3.18.2 – Поправочные коэффициенты для перерасчета длительно допустимых токов для проложенных в земле рядом групп кабелей напряжением 110-220-330 кВ

Расстояние между группами кабелей в свету	Поправочные коэффициенты при числе групп кабелей				
	1	2	3	4	5
200	1,00	0.87	0.79	0.74	0.7
400	1,00	0.9	0.83	0.79	0.75
600	1,00	0.92	0.85	0.82	0.79
800	1,00	0.93	0.87	0.84	0.82
1000	1,00	0.94	0.89	0.86	0.84

Таблица П.3.19 – Поправочные коэффициенты для перерасчета длительно допустимых токов для проложенных в воздухе рядом групп кабелей

Расположение		Количество цепей			Варианты расположения кабелей
		1	2	3	
На поверхности земли, лотках, полках		0,95	0,90	0,88	
На полках в помещениях и кабельных сооружениях (без возможности циркуляции воздуха)	1 полка	0,95	0,90	0,88	
	2 полки	0,90	0,85	0,83	
	3 полки	0,88	0,83	0,81	
	4 полки	0,86	0,81	0,79	
На полках в помещениях и кабельных сооружениях (с возможностью циркуляции воздуха)	1 полка	1,00	0,98	0,96	
	2 полки	1,00	0,95	0,93	
	3 полки	1,00	0,94	0,92	
	4 полки	1,00	0,93	0,90	

Расположение		Количество цепей			Варианты расположения кабелей
		1	2	3	
Вертикальное		0,89	0,86	0,84	
На поверхности лотках, полках и др.		0.92	0.90	0.88	
На полках в помещениях и кабельных сооружениях (без возможности циркуляции воздуха)	1 полка	0.92	0.89	0.88	
	2 полки	0.87	0.84	0.83	
	3 полки	0.84	0.82	0.81	
	4 полки	0.82	0.81	0.79	
На полках в помещениях и кабельных сооружениях (с возможностью циркуляции воздуха)	1 полка	1.00	0.97	0.96	
	2 полки	0.97	0.94	0.93	
	3 полки	0.96	0.93	0.92	
	4 полки	0.94	0.91	0.90	
Вертикальное		0,94	0,91	0,89	

Примечание:

Не требуются поправочные коэффициенты в случае:

- расстояния между одножильными кабелями, расположенными в треугольник, не менее 4d;
- расстояния между трехжильными кабелями, расположенными в плоскости, не менее 2d;
- расстояния между трехжильными кабелями, расположенными вертикально, не менее 2d, количество кабелей друг над другом не имеет значения.

Таблица П.3.20 – При прокладке в трубах и каналах при длине труб 10 м и более

Условия прокладки	Коэффициент при внутреннем диаметре трубы					
	1,5 d	2 d	2,5 d	3 d	3,5 d	4 d
Кабели проложены в отдельных трубах в грунте или на воздухе с защитой от солнечного излучения	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95

d – диаметр кабеля (при прокладке в трубе трех кабелей величина d равна 2,15 · диаметр одного кабеля)

Таблица П.3.21 – Поправочные коэффициенты при материале и сечении жилы, мм^2, в зависимости от условий прокладки, кабели 220-330 кВ

Сечение экрана	Режим прокладки	Сечение жилы										
		Al:	400	500	630	800	1000	1200, 1400	1600	1800	2000	-	-
		Cu:	-	-	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000
95	Плоск		1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07
	Треуг		1,02	1,03	1,03	10,4	1,05	1,05	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09
120	Плоск		1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03
	Треуг		1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04
150	Плоск		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	треуг		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
185	плоск		1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Треуг		0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96
210	Плоск		1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98
	Треуг		0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93
240	Плоск		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Треуг		0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,95	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91
265	Плоск		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Треуг		0,97	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91	0,9
300	Плоск		1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
	Треуг		0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9	0,9	0,89
350	Плоск		1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
	Треуг		0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9	0,89	0,89	0,88

П3.4 Перегрузочная способность кабелей

Допустимые токи кабелей в режиме перегрузки определяются по МЭК 60853-2 [22], либо могут быть определены при прокладке в земле $I^{з}_{п/г}$ и на воздухе $I^{в}_{п/г}$ следующим образом:

$$I^{з}_{п/г} = 1{,}17 \cdot I_{дл}, \quad (П.3.4)$$

$$I^{в}_{п/г} = 1{,}20 \cdot I_{дл}, \quad (П.3.5)$$

Длительно допустимая температура нагрева жилы кабелей – 90 °С. Допустимый нагрев жил кабелей в режиме перегрузки – не более 130°С.

Продолжительность работы кабелей в режиме перегрузки должна быть не более 8 ч в сутки, 100 часов в году и не более 1 000 ч за срок службы.

П.3.5 Допустимые токи короткого замыкания по жиле и по экрану

Допустимые токи короткого замыкания по жиле рассчитаны исходя из начальной температуры жилы кабеля 90°С и конечной температуры 250°С. Предельно допустимая температура жил кабелей при коротком замыкании – 250 °С, предельно допустимая температура медного экрана кабелей при коротком замыкании – 350 °С при протекании тока короткого замыкания в течение до 4 с.

Предельная температура нагрева жил при коротком замыкании по условиям невозгораемости кабелей – 400 °С.

Токи короткого замыкания рассчитаны при температуре экрана до начала короткого замыкания 80°С и предельной температуре экрана при коротком замыкании 350°С.

Для расчета допустимых токов короткого замыкания при начальной температуре жилы, отличающейся от 90°С, используются расчетные плотности токов короткого замыкания (таблица П.3.23).

Для продолжительности короткого замыкания отличной от 1 с, значения тока короткого замыкания необходимо умножить на поправочный коэффициент К, рассчитанный по формуле:

$$K = \frac{1}{\sqrt{t}}, \quad (П.3.6)$$

где t – продолжительность короткого замыкания, сек.

Таблица П.3.22 – Допустимый ток односекундного короткого замыкания в жиле кабеля, кА, при длительности КЗ 1 сек

Номинальное сечение жилы, мм²	Тип жилы	
	с медной жилой	с алюминиевой жилой
35	5,0	3,3
50	7,15	4,7
70	10,0	6,6
95	13,6	8,9
120	17,2	11,3
150	21,5	14,2
185	26,5	17,5
240	34,3	22,7
300	42,9	28,3
350	50,1	33,0
400	57,2	37,6
500	71,5	47,0
630	90,1	59,2
800	114,4	75,2
1000	143,1	94,5
1200	171,7	112,8
1400	200,2	131,6
1600	228,8	150,4
1800	257,4	169,2
2000	286,0	188,0

Таблица П.3.23 – Расчетные плотности токов короткого замыкания

Материал жилы	Расчетная плотность тока короткого замыкания, А/мм², (при длительности КЗ 1 сек.), для температуры жилы к моменту короткого замыкания в °С							
	90	80	70	60	50	40	30	20
Медь	143	149	154	159	165	170	176	181
Алюминий	94	98	102	105	109	113	116	120

Таблица П.3.24 – Допустимые токи односекундного короткого замыкания по экрану, кА

Сечение медного экрана, мм²	Допустимый односекундный ток короткого замыкания медного экрана	Допустимый односекундный ток короткого замыкания экрана А(ТАС)
16	3,10	

Сечение медного экрана, мм²	Допустимый односекундный ток короткого замыкания медного экрана	Допустимый односекундный ток короткого замыкания экрана А(ТАС)
25	4,80	3,32
35	6,70	4,54
50	9,60	6,09
70	13,40	8,74
95	16,90	11,91
120	21,36	14,74
150	26,70	17,76
185	32,90	22,51
210	37,38	27,09
240	42,72	29,35
265	47,17	34,19
300	53,40	38,61
350	62,30	45,15

Для других значений медного экрана допустимый ток односекундного короткого замыкания рассчитывается по формуле:

$$I_{кз} = k \cdot S_э, \qquad (П.3.7)$$

где

$I_{кз}$ – допустимый ток односекундного короткого замыкания в медном экране, кА;

k – коэффициент, равный

- 0,191 кА/мм² (для сетей 6 – 45 кВ с изолированной нейтралью);
- 0,178 кА/мм² (для сетей 110 кВ и выше с глухозаземленной нейтралью);
- 0,129 кА/мм2 для экрана А(ТАС).

$S_э$ – номинальное сечение медного экрана.

Таблица П.3.25 – Ориентировочная емкость 1 км кабеля, мкФ

Номинальное сечение жилы кабеля, мм²	Номинальное напряжение кабеля, кВ						
	6	10	15	20	30	35	45
25	0,26						
35	0.29	-	-	-	-	-	-
50	0.32	0.25	0.2	0.18	0.14	0.13	0.12
70	0.37	0.29	0.23	0.2	0.15	0.15	0.13

Номинальное сечение жилы кабеля, мм^2	Номинальное напряжение кабеля, кВ						
	6	10	15	20	30	35	45
95	0.41	0.32	0.25	0.22	0.17	0.16	0.14
120	0.45	0.35	0.28	0.24	0.18	0.17	0.15
150	0.49	0.38	0.30	0.26	0.19	0.19	0.16
185	0.53	0.42	0.32	0.28	0.21	0.20	0.17
240	0.58	0.46	0.36	0.31	0.23	0.22	0.19
300	0.59	0.51	0.39	0.33	0.25	0.24	0.20
400	0.62	0.57	0.44	0.37	0.27	0.26	0.22
500	0.65	0.63	0.48	0.41	0.30	0.28	0.24
630	0.73	0.70	0.54	0.45	0.33	0.32	0.27
800	0.81	0.77	0.60	0.50	0.36	0.35	0.29
1000	0.97	0.92	0.71	0.59	0.43	0.41	0.34

Таблица П.3.26 – Расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по жиле E_i и экране по изоляции E_0 для кабеля напряжением 45 кВ

Номинальное сечение кабеля, мм^2	Номинальный внутренний диаметр изоляции, мм	Номинальная толщина изоляции, мм	Расчетный номинальный наружный диаметр по изоляции, мм	Расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по жиле E_i, кВ/мм	Расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по изоляции E_0, кВ/мм
50	9,2	10,5	30,2	4,76	1,45
70	11,0	10,5	32,0	4,43	1,52
95	12,4	10,5	33,4	4,23	1,57
120	13,8	10,5	34,8	4,07	1,62
150	15,3	10,5	36,3	3,93	1,66
185	16,8	10,5	37,8	3,82	1,70
240	19,2	10,5	40,2	3,67	1.75
300	21,2	10,5	42,2	3,56	1,79
400	24,0	10,5	45,0	3,45	1,84
500	27,0	10,5	48,0	3,35	1,88
630	30,5	10,5	51,5	3,25	1,93
800	34,3	10,5	55,3	3.17	1,97
1000	41,7	10,5	62,7	3,06	2,03

Таблица П.3.27 – Номинальная емкость между жилой и экраном, приведенная к 1 км длины кабеля; расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по жиле E_i и экране по изоляции E_0 для кабеля 110 кВ

Номинальное сечение кабеля, мм^2	Номинальный внутренний диаметр изоляции, мм	Номинальная толщина изоляции, мм	Расчетный номинальный наружный диаметр по изоляции, мм	Номинальная емкость между экраном и жилой, мкФ/км	Расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по жиле E_i, кВ/мм	Расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по изоляции E_0, кВ/мм
150	16,5	16,0	48,5	0,129	7,19	2,45
185	18,0	16,0	50,0	0,136	6,96	2,51
240	20,4	16,0	52,4	0,147	6,65	2,59
300	22,4	16,0	54,4	0,157	6,44	2,65
350	21,6	16,0	56,0	0,177	6,29	2,7
400	25,2	15,0	55,2	0,192	6,48	2,96
500	28,2	15,0	58,2	0,213	6,26	3,04
630	32,6	15,0	62,6	0,231	6,02	3,13
800	36,4	15,0	66,4	0,255	5,85	3,21
1000	41,5	15,0	71,5	0,284	5,67	3,29
1200	47,6	15,0	77,6	0,293	5,50	3,38
1400	49,5	15,0	79,5	0,311	5,46	3,40
1600	53,3	15,0	83,3	0,351	5,38	3,44
2000	61,9	15,0	91,9		5,23	3,52

Таблица П.3.28 – Номинальная емкость между жилой и экраном, приведенная к 1 км длины кабеля; расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по жиле E_i и экране по изоляции E_0 для кабеля 220 кВ.

Номинальное сечение кабеля, мм^2	Номинальный внутренний диаметр изоляции, мм	Номинальная толщина изоляции, мм	Расчетный номинальный наружный диаметр по изоляции, мм	Номинальная емкость между экраном и жилой, мкФ/км	Расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по жиле E_i, кВ/мм	Расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по изоляции E_0, кВ/мм
400	25,8	24,0	73,8	0,122	9,37	3,27
500	28,8	24,0	76,8	0,13	8,99	3,37
630	33,7	24,0	81,7	0,144	8,51	3,51
800	37,0	24,0	85,0	0,1554	8,25	3,59

Номинальное сечение кабеля, мм^2	Номинальный внутренний диаметр изоляции, мм	Номинальная толщина изоляции, мм	Расчетный номинальный наружный диаметр по изоляции, мм	Номинальная емкость между экраном и жилой, мкФ/км	Расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по жиле E_i, кВ/мм	Расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по изоляции E_0, кВ/мм
1000	42,1	22,0	86,1	0,179	8,43	4,12
1200	45,3	22,0	89,3	0,188	8,26	4,19
1400	50,6	22,0	94,6	0,204	8,02	4,29
1600	55,1	22,0	99,1	0,218	7,85	4,37
1800	57,7	22,0	101,7	0,225	7,77	4,41
2000	63,0	22,0	107,0	0,241	7,61	4,48

Таблица П.3.29 – Номинальная емкость между жилой и экраном, приведенная к 1 км длины кабеля; расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по жиле E_i и экране по изоляции E_0 для кабеля 330 кВ.

Номинальное сечение кабеля, мм^2	Номинальный внутренний диаметр изоляции, мм	Номинальная толщина изоляции, мм	Расчетный номинальный наружный диаметр по изоляции, мм	Номинальная емкость между экраном и жилой, мкФ/км	Расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по жиле E_i, кВ/мм	Расчетная номинальная электрическая напряженность на экране по изоляции E_0, кВ/мм
500	28,8	30	88,8	0,113	11,72	3,80
630	33,7	28	89,7	0,131	11,52	4,33
800	37,0	26	89,0	0,146	11,70	4,86
1000	42,1	24	90,1	0,168	11,86	5,54
1200	45,3	24	93,3	0,177	11,61	5,64
1400	50,6	24	98,6	0,192	11,26	5,78
1600	55,1	24	103,1	0,204	11,01	5,88
1800	57,2	24	105,7	0,211	10,88	5,94
2000	63,0	24	110,5	0,224	10,67	6,03

П3.6 Пример расчета пропускной способности кабеля с учетом условий прокладки

Условия: две кабельные линии от ЦП до РУ 10 кВ со 100% резервированием нагрузки;

На трассе КЛ 10 кВ следующие препятствия:

- 3 поворота на 90°;
- 2 поворота на 25-30°;
- 4 трубных перевода длиной от 5 до 40 м;
- трубные переводы выполнены трубами ПЭНД, диаметр 110 мм;
- кабель в траншее и трубах укладывается «в треугольник»;
- расстояние между КЛ 300 мм;
- трасса кабеля проходит в зоне периодического затопления ливневыми и грунтовыми водами;
- расчетный ток нагрузки – 720 А;
- ток КЗ на шинах ЦП – 18,6 кА;
- глубина прокладки в земле – 0,8-1,0 м.

По таблице П.3.2 выбираем ближайший номинальный ток кабеля с медной ТПЖ сечением 500 мм^2 равный 759 А. Удельное термическое сопротивление грунта равно 1,2, поэтому поправочный коэффициент не применяем. С учетом прокладки 2-х параллельных КЛ на расстоянии 300 мм друг от друга необходимо применить коэффициент k_5=0.93; с учетом прокладки кабеля в пластмассовых трубах необходимо применить коэффициент k_6=0,94:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{табл}} \cdot 0{,}93 \cdot 0{,}94 = 759 \cdot 0{,}93 \cdot 0{,}94 = 663{,}5 \text{ А}.$$

Выбранное сечение кабеля не обеспечивает необходимую пропускную способность. По таблице П.3.2 выбираем кабель с медной ТПЖ сечением 500 мм^2, номинальный ток равен 848 А.

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{табл}} \cdot 0{,}93 \cdot 0{,}94 = 848 \cdot 0{,}93 \cdot 0{,}94 = 741{,}3 \text{ А}.$$

Выбранное сечение медной ТПЖ сечением 500мм^2 обеспечивает пропуск расчетного тока, термическая стойкость кабеля с ТПЖ 500 мм^2 согласно таблицы П.3.22 составляет 71,5 кА.

По таблице П.3.24 выбираем сечение экрана 120 мм^2, допустимый ток КЗ для которого составляет 21,36 кА, что больше заданного 18,6 кА.

В результате расчетов выбираем кабель ПвПу2г 1х500/120-10.

Приложение 4. Пример расчета усилий тяжения и радиального давления на кабель

Кабель АПвПу2г-35 1х500/150 протягивается по роликам 572 м. трасса имеет два изгиба на угол 34° и на 50° (см. рисунок П.4.1), радиус изгиба 2,5 м, длина участка А-Б 140 м, Б-В 177 м, В-Г 255 м. Трубный перевод под рекой 120 м на участке А-Б. Разность уровней между точками А и Б составляет -2,5 м.

Наружный диаметр кабеля 73,5 мм, масса кабеля с экраном 35 мм² составляет 5080 кг/км. Для кабеля с экраном 150 мм² применяем поправочный коэффициент, при этом вес одного погонного метра кабеля составляет:

$$P_{расч}=5{,}080 + (150-35)\cdot 10^{-6}\cdot 8{,}89\cdot 10^{3} = 6{,}1 \text{ кг.}$$

Минимальный радиус изгиба для выбранного кабеля составляет 15·73,5=1102,5 мм, следовательно радиус изгиба 2,5 м является допустимым.

Усилие тяжения в конце участка А-Б:

$$F_{АБ}=9{,}81\cdot 6{,}1\cdot 0{,}30\cdot 140=2513{,}3 \text{ Н.}$$

Усилие тяжения на выходе из изгиба 1:

$$F_{Б}=F_{АБ}\cdot e^{0{,}30\cdot(34\cdot\pi/180)}=2513{,}3\cdot 1{,}195=3003{,}4 \text{ Н.}$$

Усилие тяжения в конце участка Б-В:

$$F_{БВ}=F_{Б}+9{,}81\cdot 6{,}1\cdot 0{,}30\cdot 177 = 3003{,}4+3177{,}6 = 6181{,}0 \text{ Н.}$$

Усилие тяжения на выходе из изгиба 2:

$$F_{В}=F_{АБ}\cdot e^{0{,}30(50\cdot\pi/180)} = 6181{,}\cdot 1{,}225 = 7571{,}7 \text{ Н.}$$

Усилие тяжения в конце участка В-Г:

$$F_{ВГ}=F_{В}+9{,}81\cdot 6{,}1\cdot 0{,}30\cdot 255 = 7571{,}7 + 4577{,}8 = 12149{,}5 \text{ Н.}$$

Угол наклона участка А-Б:

arcsin 2,5/140=0,96° (меньше 1°, можно пренебречь).

На участке А-Б перевод через реку в пластмассовой трубе: $F_{АБ}$ = 2513,3 Н – меньше допустимого (10000Н/м при протягивании в трубах).

Допустимое усилие тяжения кабеля с алюминиевой жилой равно 30·500=15000 Н, т.е. выбранная трасса и метод протяжки кабеля обеспечат усилие тяжения в пределах допустимого при использовании тяговой лебедки с контролем усилия тяжения.

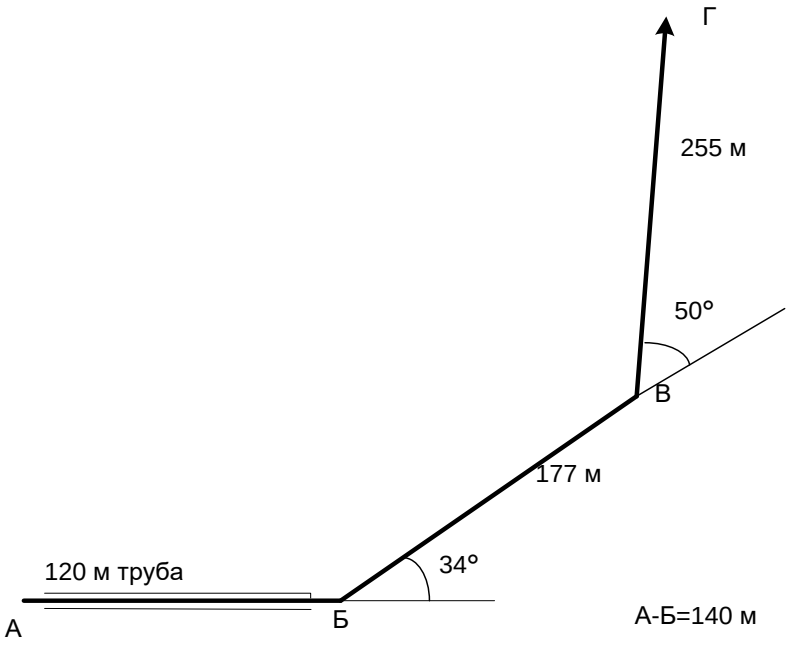


Рисунок П.4.1 – Трасса кабеля с изгибами Б и В.

Радиальное давление на изгибе Б составит:

$$F_{r\text{Б}} = \frac{3003{,}4 \cdot \sin\left({}^{34^\circ}/_{2}\right)}{2.5 \cdot \pi \cdot {}^{34^\circ}/_{360^\circ}} = 1192.5 \quad \text{Н/м},$$

На изгибе В:

$$F_{r\text{В}} = \frac{7571{,}7 \cdot \sin\left({}^{50^\circ}/_{2}\right)}{2.5 \cdot \pi \cdot {}^{50^\circ}/_{360^\circ}} = 2935{,}3 \quad \text{Н/м}$$

Полученные значения радиального давления показывают, что на Б-ом изгибе достаточно установки одного углового ролика (допустимое радиальное давление 1500 Н/м), на В-ом изгибе следует установить систему из 3-х роликов (допустимое радиальное давление 4500 Н/м).

При радиальном усилии больше 4500 Н/м необходимо устанавливать поворотную систему из 5-и роликов не менее.

Приложение 5. Список оборудования, приспособлений, инструментов и материалов, необходимых для прокладки одной строительной длины кабеля (ориентировочный)

№ п/п	Наименование	Кол-во
1.	Лебёдка с электроприводом или двигателем внутреннего сгорания, тяговое усилие 5 тс (49 кН), канатоёмкость 600 м, оснащённая устройствами для контроля усилий тяжения, для записи усилий тяжения и автоматического отключения при превышении допустимых усилий тяжения.	1 шт.
2.	Отдающее устройство грузоподъёмностью до 15 т	1 шт.
3.	Поддерживающий вал для схода кабеля с барабана	1 шт.
4.	Противозакручивающее устройство	1 шт.
5.	Кабельный чулок или захват	2 шт.
6.	Тормозное приспособление	1 шт.
7.	Промежуточное тяговое устройство с приводом от двигателя	1 шт.
8.	Ролики линейные, угловые, направляющие для кабеля	110 шт.
9.	Приспособление для направления кабеля в трубы	10 шт.
10.	Распорная стойка	1м³
11.	Щит деревянный	10м²
12.	Переговорное устройство, радиостанции	10 шт.
13.	Пила циркулярная электрическая	1 шт.
14.	Ножницы НБК-2	1 шт.
15.	Набор инструментов и приспособлений для кабельных работ НКИ-3 ТУ 36-913-75	1 шт.
16.	Набор ключей гаечных (размеры “под ключ” от 10 до 27 мм)	1 шт.
17.	Набор отвёрток (6 штук)	1 шт.
18.	Пассатижи 250 мм	1 шт.
19.	Набор напильников (мелкий, средний)	1 шт.
20.	Нож разделочный	1 шт.
21.	Молоток 300 г	1 шт.
22.	Топор	1 шт.
23.	Гвоздодёр	1 шт.
24.	Ножовка по дереву	1 шт.
25.	Гвозди	10 кг
26.	Ножовка по металлу	1 шт.
27.	Полотно ножовочное по металлу	5 шт.
28.	Кисточка (ширина 15-20 мм)	2 шт.

№ п/п	Наименование	Кол-во
29.	Баллон с пропаном типа Б3-50 с редуктором типа ДПИ-1-65	1 шт.
30.	Горелка газовая со шлангами	1 шт.
31.	Линейка измерительная металлическая 1000 мм ГОСТ 427-75	1 шт.
32.	Штангенциркуль ШЦ-III-250-0,05 ГОСТ 166	1 шт.
33.	Рулетка измерительная металлическая Р5УЗП ГОСТ 7502-98 (5 метров)	1 шт.
34.	Ветошь чистая обтирочная ГОСТ 5354-79	2кг
35.	Краска для наружных работ (цвета: жёлтый, зелёный и красный)	0,05кг
36.	Капа	24 шт.

15 Лист регистрации изменений

Изм.	Номер листов (страниц)				Всего листов (страниц) в документе	Номер докумен-та	Входящий № сопроводительного документа	Подп.	Дата
	Измененных	Замененных	Новых	Аннулированных					