

ВУЗ

студентам
учреждений
высшего
образования

М.А. КОРОТКЕВИЧ

МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ



М.А. КОРОТКЕВИЧ

МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Допущено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов учреждений высшего образования
по электротехническим специальностям



Минск
«Вышэйшая школа»
2012

УДК 621.311(075.8)
ББК 31.279-08я73
К68

Рецензенты: кафедра «Электроснабжение» Белорусского государственного аграрного технического университета; доцент кафедры «Электроснабжение» Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого кандидат технических наук *Ю.А. Рудченко*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства

Короткевич, М. А.

К68 Монтаж электрических сетей : учеб. пособие / М. А. Короткевич. – Минск : Выш. шк., 2012. – 512 с. : ил.

ISBN 978-985-06-2085-9.

Рассмотрены вопросы сборки и установки опор, монтажа проводов, грозозащитных тросов, заземляющих устройств и фундаментов воздушных линий электропередачи напряжением до 750 кВ, монтажа кабельных линий электропередачи, а также некоторые вопросы выполнения ремонтных работ на отключенных воздушных и кабельных линиях электропередачи, технология производства ремонтных работ на воздушных линиях без снятия с них напряжения.

Для студентов учреждений высшего образования по электротехническим специальностям. Может быть полезно инженерно-техническому персоналу электросистем.

УДК 621.311(075.8)
ББК 31.279-08я73

ISBN 978-985-06-2085-9

© Короткевич М.А. 2012
© Оформление УП «Издательство
“Вышэйшая школа”», 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Обеспечение выдачи мощности с электрических станций и удовлетворение нужд потребителей в качественном и надежном снабжении электрической энергией осуществляется за счет сооружения новых и эксплуатации существующих линий электропередачи и трансформаторных подстанций различных номинальных напряжений.

В Белорусской энергосистеме протяженность линий электропередачи напряжением 0,38...750 кВ составляет свыше 268 тыс. км, а количество трансформаторных подстанций с высшим напряжением 6...750 кВ приближается к 70 тысячам.

Цель дисциплины «Монтаж электрических сетей» состоит в подготовке студента к самостоятельной работе по руководству монтажом, реконструкцией и модернизацией объектов электрических сетей (воздушных и кабельных линий электропередачи и трансформаторных подстанций). Будущий специалист должен знать основы не только сооружения воздушных и кабельных линий электропередачи, но и выполнения ремонтных работ. Он должен уметь использовать нормативные документы для организации выполнения операций по монтажу оборудования подстанций, сборке и установке фундаментов и опор, раскатке, натягиванию и визированию проводов и грозозащитных тросов, обеспечению соблюдения габаритных расстояний до земли и пересекаемых инженерных сооружений. При этом будущий специалист должен быть готов к руководству работами по сооружению электросетевых объектов как из унифицированных элементов, так и из элементов, разработанных для конкретной линии или подстанции.

Считается, что если заказчик ограничен в сроках строительства, но более свободен в финансовых средствах, то сооружение линий может осуществляться с использованием унифицированных и типовых конструкций. Если заказчик требует создания современного линейного сооружения, то необходимы индивидуальная разработка и изготовление конструкций. Увеличение первоначальных капитальных затрат, вызванное увеличением объемов проектирования, несомненно, должно окупиться снижением эксплуатационных затрат в течение определенного времени.

Технологическая часть курса базируется на дисциплинах «Электрические системы и сети», «Проектирование механической части линий электропередачи», «Прикладная механика».

К сожалению, учебники и учебные пособия по дисциплине «Монтаж электрических сетей», предназначенные для студентов учреждений высшего образования, до настоящего времени ни в Республике Беларусь, ни в России не издавались. Данное учебное пособие призвано в какой-то мере восполнить имеющийся пробел.

В соответствии с базовой программой дисциплины (регистрационный номер ЭФ-37/4 баз) в учебном пособии излагаются вопросы монтажа и ремонта воздушных (напряжением до 750 кВ) и кабельных (напряжением до 110 кВ) линий электропередачи, а также трансформаторных подстанций. Приводится организационная структура, структура транспортных и такелажных работ при сооружении воздушных и кабельных линий электропередачи. Рассмотрены способы установки опор из различных материалов, монтаж заземляющих устройств, фундаментов металлических опор, проводов и грозозащитных тросов, влияние воздушных линий электропередачи на окружающую среду. Приведена методика обоснования целесообразности прокладки воздушных линий электропередачи над лесным массивом. Изложены способы монтажа кабельных линий в земляных траншеях и кабельных сооружениях, а также способы монтажа трансформаторных подстанций.

При написании книги автор использовал свой многолетний опыт преподавания данного предмета на кафедре «Электрические системы» Белорусского национального технического университета.

Автор выражает благодарность рецензентам книги – коллективу кафедры «Электроснабжение» Белорусского государственного аграрного технического университета (в частности, профессору Г.И. Януковичу), а также доценту кафедры «Электроснабжение» Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого кандидату технических наук Ю.А. Рудченко, замечания которых в максимальной степени были учтены при подготовке рукописи к изданию.

Все отзывы и пожелания просьба направлять по адресу: издательство «Вышэйшая школа», пр. Победителей, 11, 220048, Минск.

Автор

1. ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

1.1. Основные термины и определения

Приведем основные термины и определения, применяемые для обозначения элементов воздушных линий электропередачи.

Промежуточные опоры – это устанавливаемые на прямых участках трассы опоры, к которым подвешиваются провода. Они рассчитываются на воздействие вертикальных (от собственного веса и веса гололеда) и ветровых нагрузок, направленных перпендикулярно к оси линии или под углом 45° к ней, на провода и тросы и проверяются на воздействие горизонтальных нагрузок в аварийном режиме при обрыве одного провода (либо троса), направленного вдоль оси линии.

Промежуточные угловые опоры – это опоры, устанавливаемые в местах поворота трассы линии на угол, не превышающий 10° .

Промежуточные переходные опоры, устанавливаемые в местах пересечения трассы линии с инженерными сооружениями или водными преградами, отличаются от других промежуточных опор большей высотой мест крепления проводов и тросов.

Анкерные опоры – это опоры, предназначенные для натяжения на них проводов и тросов. Различают анкерные опоры на прямых участках трассы линии, анкерно-угловые, концевые, переходные и транспозиционные.

Анкерные опоры на прямых участках трассы линии предназначены для натяжения на них проводов с обеих сторон опоры и, следовательно, воспринимают разность тяжений по проводам и тросам, обусловленную неодинаковой длиной приведенного пролета смежных анкерных участков. Они рассчитываются на воздействие редуцированного тяжения от обрыва одной или двух фаз либо одного троса.

Анкерно-угловые опоры – это опоры, устанавливаемые в точках, где меняется направление трассы линии на угол, превышающий 10° . Они также рассчитываются на воздей-

ствие редуцированного тяжения от обрыва одной или двух фаз либо одного троса.

Анкерные концевые опоры должны воспринимать полное тяжение всех проводов и тросов анкерного пролета со стороны одного из прилегающих пролетов.

Анкерные переходные опоры, применяемые в местах пересечения трассы линии с инженерными сооружениями или водными преградами, отличаются от других анкерных опор большей высотой мест крепления проводов и тросов.

Анкерные транспозиционные опоры – это опоры, предназначенные для изменения взаимного расположения проводов разных фаз. Провод, который соединяет провода фазы, находящиеся по обе стороны анкерной опоры, называется *шлейфом*.

Фундамент опоры – это конструкция (или нижняя часть опоры), заделанная в грунт либо опирающаяся на грунт и передающая на него нагрузки от массы опоры и воздействующих на нее внешних нагрузок.

Промежуточный пролет – расстояние между соседними промежуточными опорами.

Анкерный пролет – расстояние между осями двух ближайших анкерных опор.

Габаритный пролет – это пролет, длина которого соответствует допустимому вертикальному расстоянию (габариту) от нижней точки нижнего провода линии до земли.

Ветровой пролет – длина пролета, соответствующая горизонтальной ветровой нагрузке от проводов двух смежных полупролетов линии.

Весовой пролет – длина пролета, соответствующая вертикальной весовой нагрузке от проводов двух смежных полупролетов.

При неодинаковой высоте точек подвеса провода на соседних промежуточных опорах различают:

- *большой эквивалентный пролет* – пролет, соответствующий подвесу провода на уровне высокой опоры;

- *малый эквивалентный пролет* – пролет, соответствующий подвесу провода на уровне более низкой опоры.

Половина суммы длин большого и малого эквивалентных пролетов равна длине промежуточного пролета.

Приведенный пролет – средняя длина промежуточного пролета анкерного участка.

Визуруемый пролет – пролет, в котором измеряется стрела провеса провода и троса при их монтаже на анкерном участке.

Критические пролеты – расчетные значения длин пролетов.

Первый критический пролет – пролет такой длины, при которой напряжения в материале провода в режимах наименьшей температуры и среднегодовых условий равны между собой и равны допустимым значениям.

Второй критический пролет – пролет такой длины, при котором напряжения в материале провода в режимах наименьшей температуры и наибольшей нагрузки равны между собой и равны допустимым значениям.

Третий критический пролет – пролет такой длины, при котором напряжения в материале провода в режимах среднегодовых условий и наибольшей нагрузки равны между собой и равны допустимым значениям.

Трасса линии – полоса земли вдоль оси воздушной линии, отведенная для ее строительства.

Пикетом на строительстве линии называется центр расположения опоры, закрепленный на трассе специальным пикетным знаком.

Материалы, применяемые при сооружении воздушных линий электропередачи, можно условно разделить:

- на **конструкционные**, из которых изготавливают опоры и фундаменты;
- **проводниковые**, из которых состоят провода и грозозащитные тросы, а также элементы заземляющих устройств;
- **изоляционные** (фарфор, стекло, полимеры), из которых изготавливают изоляторы, обеспечивающие изоляцию проводов друг от друга и от конструктивных элементов опор;
- **вспомогательные** (линейная арматура, горюче-смазочные материалы для эксплуатации машин и механизмов).

Воздушные линии электропередачи напряжением 35 кВ и выше в Республике Беларусь в настоящее время сооружаются на железобетонных опорах, напряжением 0,38 кВ – на железобетонных и на деревянных опорах с железобетонными приставками.

Первоначально все воздушные линии электропередачи напряжением до 220 кВ сооружались на деревянных опорах, пропитанных антисептиком. Однако непродолжитель-

ный срок их службы и частая повреждаемость предопределили применение более долговечных решетчатых металлических свободностоящих или на стальных оттяжках опор, но вместе с тем и более дорогих, требующих также значительных затрат времени на их сборку.

Непрерывный рост электропотребления и, следовательно, необходимость в сооружении в кратчайшие сроки новых линий электропередачи в условиях острого дефицита металла привело в 60–70-х годах прошлого века к массовому внедрению железобетонных изделий в практику электросетевого строительства. К началу 70-х годов были разработаны промежуточные, анкерно-угловые железобетонные опоры на напряжение до 330 кВ, а также двухцепные промежуточные опоры на напряжение 330 кВ.

Применение железобетонных опор на воздушных линиях электропередачи позволяло уменьшать расход металла, значительно снижать затраты на сборку опор на пикетах и тем самым сокращать продолжительность строительства линии. Железобетонные опоры требуют небольших затрат в процессе эксплуатации, а линии электропередачи считаются более эстетичными по сравнению с такими же линиями на металлических или деревянных опорах.

Экономия металла от замены металлических опор на железобетонные существенна. Так, на одну металлическую анкерно-угловую опору линии напряжением 330 кВ требуется (с учетом фундаментов) около 20 т металла, а на железобетонную (с учетом ригелей, анкерных плит, оттяжек) – около 3 т.

На строительстве линии напряжением 330 кВ Молодечно – Лида трестом «Западэлектросетьстрой» впервые в СССР в 1971 г. были применены анкерно-угловые железобетонные опоры на цилиндрических центрифугированных стойках длиной 20 м с внешним диаметром 800 мм, а на линии напряжением 330 кВ Смоленская АЭС – Кричев в 1980 г. (тоже впервые в СССР) – двухцепные железобетонные промежуточные опоры.

Конструкция опоры для двухцепной линии электропередачи напряжением 330 кВ состоит из двух железобетонных стоек, скрепленных между собой двумя металлическими траверсами с консолями, расположенными в два яруса, и ветровыми металлическими связями (внутренние связи). На верхней траверсе крепятся четыре фазы (две

внутри опоры и две на консолях), на нижней траверсе каждая фаза крепится на своей консоли.

Анкерно-угловая железобетонная опора на напряжение 330 кВ имеет три стойки (под каждую фазу по одной стойке), соединенные жесткими связями. Стойки закрепляются оттяжками, соединенными с анкерными плитами. На больших углах поворота ставят дополнительно одну или две стойки, имеющие жесткую связь с основными. В слабых грунтах на каждую стойку устанавливают ригели и насыпают банкетки.

Отметим, что первая в СССР линия напряжением 110 кВ на железобетонных опорах была построена трестом «Западелектросетьстрой» (линия Василевичская ГРЭС – Речица – Гомель).

Железобетоном называется бетон, имеющий стальную арматуру. **Бетон** представляет собой искусственный материал, получаемый в результате химической реакции, проходящей в смеси цемента, воды и заполнителя (песка, щебня, гравия). Бетон прочен на сжатие, но хрупок и плохо работает на растяжение (сопротивление бетона растяжению на порядок ниже сопротивления сжатию). Для увеличения прочности в бетон закладывается стальная арматура, принимающая на себя растягивающие усилия, коэффициент температурного расширения которой близок к коэффициенту температурного расширения бетона. Это обеспечивает их совместную работу и монолитность железобетона.

При растяжении сталь может удлиняться в 5–6 раз больше, чем бетон, вследствие чего в бетоне могут появиться трещины. Во избежание этого при изготовлении опор применяют предварительное натяжение стальной арматуры.

Основные технические характеристики бетона, из которого изготавливаются стойки для опор линий электропередачи, – класс по прочности на сжатие (С), марки по морозостойкости (F), водонепроницаемости (W), средней плотности (D).

Класс бетона по прочности на сжатие в проектном возрасте (через 28 дней после изготовления) должен быть не менее $C^{25}/_{30}$ (здесь 25 – значение нормативного сопротивления, Н/мм²; 30 – гарантированная прочность бетона, Н/мм²).

Марка бетона по морозостойкости должна быть не ниже F150. Здесь число 150 обозначает количество циклов замораживания и оттаивания, которые должен выдержать контрольный образец бетона.

Марка бетона по водонепроницаемости должна быть не менее W6. Здесь цифра 6 обозначает давление воды (в атмосферах), которое выдерживает контрольный образец бетона без ее просачивания через стенки образца.

Железобетонные стойки опор изготавливаются из тяжелого бетона средней плотности D2200...D2500, т.е. средняя плотность бетона равна 2200...2500 кг/м³.

В качестве напрягаемой продольной арматуры применяется горячекатаная гладкая арматурная сталь классов S500, S800, S1200, термомеханически упроченная арматурная сталь периодического профиля классов S500, S800 и арматурные канаты классов S1200, S1400. Здесь числа при обозначении S указывают предел текучести стали в ньютонах на квадратный миллиметр.

Поскольку бетон представляет собой пористый материал, то в него может проникать влага из окружающей среды, что делает его хорошим проводником электрического тока. Это позволяет использовать железобетонные фундаменты в качестве естественных заземлителей.

Для изготовления металлоконструкций опор применяется сталь с малым содержанием углерода, но может использоваться и низколегированная сталь, содержащая кроме углерода, кремния и марганца небольшое количество легирующих присадок (хром, никель, молибден, ванадий). Изделия из стали на открытом воздухе подвержены быстрой коррозии. Для защиты от атмосферной коррозии металлических опор и металлических траверс железобетонных опор применяют лакокрасочные покрытия, оцинкование и алюминирование.

Лакокрасочные покрытия обладают малой стойкостью, их необходимо периодически (через 2–6 лет) восстанавливать, что требует значительных затрат труда эксплуатационного персонала.

Цинковое покрытие разрушается со скоростью до 3 мкм в год в сельской местности; до 6 мкм в год в городах и 4–18 мкм в год в промышленных зонах, что соответствует сроку службы оцинковки (20–25 лет). Следовательно, по истечении отмеченного срока, меньшего, чем срок службы

линии, равный 50 годам, на стальные элементы опор должны наноситься лакокрасочные покрытия.

Стойкость более дорогого, чем цинковое, *алюминиевого покрытия* в 3–5 раз выше. Такое покрытие может прослужить нормативный срок эксплуатации линии.

Кроме стали для изготовления металлоконструкций опор могут применяться алюминиевые сплавы, отличающиеся меньшим (в 2,9 раза) удельным весом, большей стойкостью к коррозии, не требующие специальной защиты в течение всего срока эксплуатации линии и большей (почти в 10 раз) стоимостью. Следовательно, целесообразность применения опор из алюминиевых сплавов должна обосновываться технико-экономическим расчетом.

За рубежом на линиях напряжением до 110 кВ используются стальные опоры, пояса и решетки которых выполнены не из уголковой стали, а из круглых стержней. Элементы решетки из согнутых в холодном состоянии стальных стержней привариваются к поясам. Опоры изготавливаются секциями, которые затем покрываются цинком. Диаметр стержней для изготовления поясов – 26...45 мм, решетки – 12...20 мм.

Преимущества опор из круглых стержней по сравнению с опорами из других профилей:

- меньший вес;
- меньшее (почти в 2 раза), чем у уголков с такой же ветровой поверхностью, сопротивление ветру;
- простота сборки;
- более привлекательный внешний вид;
- меньшая приметность на местности;
- меньшая подверженность коррозии.

Более 50 лет назад в США была построена первая линия электропередачи напряжением 115 кВ с применением стальных оцинкованных конических многогранных опор, наиболее полно удовлетворяющих требованиям эстетики, экологическим нормам и минимуму отчуждаемой земли для временного и постоянного использования.

В настоящее время в странах СНГ, в частности в России и Украине, разрабатываются и монтируются стальные опоры из многогранных гнутых стоек, изготовленных из 6, 10 или 12 металлических секций с толщиной стенки листа 6...14 мм для одноцепных и двухцепных линий напряжением до 330 кВ (рис. 1.1). Опора устанавливается на фун-

даментный модуль, выполненный из металлической трубы со стенкой толщиной 10 мм (для линий напряжением 35...110 кВ), или на набивной железобетонный фундамент с металлическим фланцем в верхней части (на напряжение 220...330 кВ).

Опоры из многогранных стоек отличаются меньшими затратами на транспортировку и сборку, благодаря чему уменьшается стоимость 1 км линии (на 8...15% и на 30...40% по сравнению с увеличившейся в последние годы стоимостью соответственно бетонных и металлических решетчатых опор линии напряжением 35...220 кВ), более низкими затратами на эксплуатацию. Стоимость 1 км одноцепной и двухцепной линий напряжением 330 кВ на многогранных и решетчатых металлических опорах примерно одинакова. Однако такие опоры уязвимы при лесных пожарах на трассе линий и выстрелах злоумышленников по ним из автоматического оружия.

Для сооружения заземляющих устройств применяется угловая, полосовая и круглая сталь с малым содержанием углерода. Для снижения коррозии заземлителей в настоящее время за рубежом наносится электролитическим способом медное покрытие толщиной 0,25 мм.

На воздушных линиях электропередачи применяются сталеалюминиевые провода с одним проводом в фазе (линии напряжением до 35...220 кВ) или несколькими проводами в фазе (2 – линии напряжением 330 кВ, 4–5 – линии напряжением 750 кВ). Площадь поперечного сечения проводов на линиях электропередачи напряжением до 220 кВ находится в пределах 35...400 мм², а на линиях напряжением 330...750 кВ – соответственно 2 × 240...4 × 600 мм². При этом отношение площади поперечного сечения алюминиевой части провода к площади поперечного сечения стальной части провода должно лежать в следующих пределах:

- в районах с толщиной стенки гололеда до 20 мм – 6,0...6,25 при площади поперечного сечения алюминиевой части до 185 мм²; 7,71...8,04 при площади до 240 мм² и более;

- в районах с толщиной стенки гололеда более 20 мм – 6,0...6,25 при площади поперечного сечения алюминиевой части до 95 мм²; 4,29...4,39 при площади 120...400 мм²; 7,71...8,04 при площади 450 мм² и более;

- на больших переходах с пролетами более 800 м – 1,4 независимо от площади поперечного сечения алюминиевой части.

Отметим, что срок службы сталеалюминиевых проводов – не менее 40 лет (ГОСТ 839–80Е), что меньше срока службы линии напряжением 35 кВ и выше на металлических и железобетонных опорах, равного 50 годам.

Для защиты линии от прямых ударов молнии могут применяться стальные тросовые канаты, имеющие площадь поперечного сечения 35 мм² (для линий напряжением 35 кВ), 50 (для линий напряжением 110 кВ) и 70 мм² (для линий напряжением 220 кВ и выше), а также обычные или специальные сталеалюминиевые (АС70/72, АС94/141) одиночные либо расщепленные провода. По последним организуется высокочастотная связь. В настоящее время в качестве грозозащитных тросов применяются многопроволочные провода из алюмовелда (стальные проволоки, покрытые слоем алюминия толщиной 0,2...0,3 мм) без внутренней волоконно-оптической линии связи и с ней. На больших переходах линий электропередачи напряжением 220 кВ и выше используют стальные грозозащитные тросы диаметром 15,0 и 18,5 мм (площадь поперечного сечения – 140 и 200 мм² соответственно).

Для защиты от коррозии стальные канаты покрывают слоем цинка и защитной электросетевой смазкой.

В качестве изоляционных материалов на воздушных линиях электропередачи применяются в основном стеклянные изоляторы, но могут использоваться также фарфоровые и полимерные изоляторы. Стекло получают переплавкой кремнезема в виде песка с оксидами натрия, кальция, калия, свинца. Оно практически водонепроницаемо, его электрическая прочность выше, чем у фарфора. Масса и размер стеклянных изоляторов меньше, чем фарфоровых.

1.2. Организационная структура строительства воздушных линий электропередачи

Строительство воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше в Республике Беларусь ведет

трест «Западэлектросетьстрой», в составе которого имеется четыре механизированные колонны и ремонтно-производственная база.

Особенности линейного строительства заключаются в следующем:

- объекты строительства разбросаны по всей трассе линии;
- при большом объеме работ в целом по линии на каждом пикете выполняются сравнительно малые объемы работ;
- необходимо вести строительство в течение всего года на открытом воздухе в различных климатических условиях.

Указанные особенности обуславливают необходимость применения средств механизации (оснащение машинами, механизмами и средствами малой механизации) и индустриализации, т.е. изготовление максимально возможной номенклатуры деталей в заводских условиях.

Опоры должны собираться на трассе линии из отдельных элементов, там же необходимо выполнять минимальный объем земляных работ при исключении бетонных работ. Последнее достигается, например, применением изготовленных на заводах железобетонных фундаментов, предназначенных для установки металлических опор.

Ведение строительства линий на открытом воздухе сопровождается потерей рабочего времени из-за непогоды, влияющей на сроки выполнения строительно-монтажных работ:

- при скорости ветра более 10 м/с нельзя работать на высоте, т.е. нельзя вести установку опор, монтаж проводов и тросов;
- при грозе нельзя монтировать провода;
- при сильных морозах усложняется работа на всех этапах технологического цикла;
- при метели или тумане затрудняется раскатка и монтаж проводов, не обеспечивается безопасность движения транспортных средств.

Строительство протяженных линий сверхвысоких напряжений ведется *поточным методом*, под которым понимается такая организация работ, когда вдоль трассы сооружаемой линии осуществляется непрерывный поток последовательных строительно-монтажных операций от освоения трассы до подготовки линии к вводу в эксплуатацию.

Каждый комплексный поток состоит из специализированных потоков, перемещающихся по трассе один за другим:

- поток по подготовке трассы линии, обеспечивающий расчистку трассы, устройство временных дорог, переустройство пересекаемых линий, снос строений;
- поток по комплектации и транспортировке конструкций, оборудования и материалов от станций разгрузки, баз и полигонов укрупненной сборки на трассу линии;
- поток по нулевому циклу, обеспечивающий сооружение фундаментов, монтаж контуров заземлений и рекультивацию земли;
- поток по сборке и установке опор;
- поток по монтажу проводов и грозозащитных тросов.

Режим работы персонала по сооружению воздушной линии может быть экспедиционным или вахтовым. При *экспедиционном режиме* работы персонал выезжает на линию на длительное время, определяемое временем строительства всей линии или ее участка либо временем выполнения работ определенного вида, например сооружения фундаментов, монтажа опор, монтажа проводов и тросов. При *вахтовом режиме* монтажники выезжают на место сооружения линии на несколько суток, а затем возвращаются на свое постоянное место жительства. Применение того или иного режима работы персонала при сооружении линии электропередачи обосновывается технико-экономическим расчетом.

Продолжительность строительства линии электропередачи (в днях) может быть определена по формуле

$$t = t_{\text{раб}} t_{\text{норм}} \frac{\ell}{\ell_{\text{норм}}} \prod_{i=1}^n k_i,$$

где $t_{\text{раб}}$ – количество рабочих дней в месяце (можно принять равным 22); $t_{\text{норм}}$ – нормативная продолжительность строительства линий (в месяцах) нормативной длины $\ell_{\text{норм}}$ (табл. 1.1); ℓ – общая длина сооружаемой линии, км.; k_i – поправочные коэффициенты к нормам продолжительности строительства при прохождении трассы линии по болотам (k_1), в сильно пересеченной или горной местности (k_2), в лесной местности (k_3), в городах и участках

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ	6
1.1. Основные термины и определения	6
1.2. Организационная структура строительства воздушных линий электропередачи	15
1.3. Транспортные и такелажные работы при сооружении воздушных линий электропередачи	20
1.3.1. Транспортные работы	20
1.3.2. Перевозка опор, проводов, изоляторов наземным транспортом	26
1.3.3. Такелажные работы	31
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	42
2. СООРУЖЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ	44
2.1. Закрепление опор в грунте	44
2.2. Разбивка котлованов для установки одностоечных и двухстоечных железобетонных опор	48
2.3. Разбивка котлованов для установки фундаментов металлических опор	51
2.4. Установка сборных железобетонных и свайных фундаментов	54
2.5. Особенности устройства фундаментов в болотах и скальных грунтах	62
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	63
3. МОНТАЖ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ	65
3.1. Назначение заземления и требования, предъявляемые к заземляющим устройствам	65

3.2. Определение эквивалентного удельного сопротивления грунта	75
3.3. Расчет сопротивления заземления опор воздушных линий электропередачи	84
3.4. Конструкции заземлителей	103
3.5. Монтаж горизонтальных и вертикальных заземлителей	112
3.6. Измерение сопротивления заземления опор воздушных линий электропередачи	117
3.7. Проектирование заземляющих устройств опор воздушных линий электропередачи	125
3.8. Оценка целесообразности применения заземляющих устройств с глубинными вертикальными электродами	131
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	<i>138</i>
4. СБОРКА И УСТАНОВКА ОПОР	140
4.1. Сборка и установка железобетонных опор	140
4.2. Сборка и установка металлических опор	162
4.2.1. Сборка металлических опор	162
4.2.2. Установка металлических опор	173
4.2.3. Определение усилий, возникающих в такелажных приспособлениях при подъеме опоры с помощью падающей стрелы	181
4.2.4. Монтаж стальных свободстоящих опор воздушных линий электропередачи напряжением до 220 кВ способом вертикального наращивания	186
4.2.5. Монтаж стальных свободстоящих опор из многогранных гнутых стоек	193
4.3. Сборка и установка деревянных опор	201
4.4. Экспресс-метод оценки надежности опор воздушных линий электропередачи	205
4.5. Измерение тяжения в оттяжках опор	207
4.6. Испытания железобетонных стоек опор на прочность, прогиб и трещиностойкость	209
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	<i>212</i>
5. МОНТАЖ ПРОВОДОВ И ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ	215
5.1. Организация работ по монтажу проводов и грозозащитных тросов	215
5.2. Раскатка проводов и грозозащитных тросов	219
5.3. Соединение проводов и грозозащитных тросов	233
5.3.1. Способы соединения проводов и тросов и требования, предъявляемые к соединениям	233
5.3.2. Соединение проводов и тросов в пролетах воздушных линий	235

5.3.3. Соединение проводов и тросов в шлейфах анкерных и анкерно-угловых опор	241
5.3.4. Измерение переходного сопротивления контактных соединений проводов	244
5.4. Натягивание и визирование проводов и тросов	245
5.5. Перекладка проводов и тросов с монтажных роликов в поддерживающие зажимы	248
5.6. Требования, предъявляемые к пересечениям воздушных линий электропередачи с инженерными сооружениями и водными преградами	252
5.7. Особенности монтажа проводов и грозозащитных тросов на пересечениях с водными преградами	258
5.8. Монтаж волоконно-оптических линий связи на проводах воздушных линий электропередачи	265
5.9. Усилия, действующие на опоры при монтаже проводов и тросов	269
5.10. Монтаж самонесущих изолированных и покрытых проводах воздушных линий электропередачи напряжением 0,38...10 кВ	274
5.11. Ремонт воздушных линий электропередачи	284
5.11.1. Регулировка стрелы провеса проводов	284
5.11.2. Ремонт проводов и замена изоляторов	285
5.11.3. Определение усилий в проводах и тросах при опускании их с опор	291
5.11.4. Замена грозозащитных тросов и проводов воздушных линий электропередачи	293
5.11.5. Ремонт опор воздушных линий электропередачи	297
5.12. Ремонт воздушных линий электропередачи под напряжением	308
5.13. Техника безопасности при выполнении ремонтных работ на отключенных воздушных линиях электропередачи	315
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	<i>325</i>

6. ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

6.1. Негативное влияние воздушных линий электропередачи на окружающую среду	328
6.2. Отвод земли для сооружения линий электропередачи	330
6.3. Акустические шумы, создаваемые воздушными линиями электропередачи	334
6.4. Влияние напряженности электромагнитного поля на человека	339
6.5. Влияние воздушных линий электропередачи на линии радиовещания, телефонной и телеграфной связи	346

6.6. Целесообразность прокладки воздушных линий электропередачи через лесные массивы	356
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	365
7. МОНТАЖ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ	367
7.1 Конструктивное устройство силовых электрических кабелей	367
7.2. Прокладка кабельных линий электропередачи	376
7.3. Особенности прокладки кабельных линий внутри зданий атомных электростанций	385
7.4. Раскатка кабеля с барабана	388
7.5. Определение усилий тяжения за оболочку и жилы кабелей при их раскатке	392
7.6. Прокладка кабеля в земляных траншеях	398
7.7. Прокладка кабелей через улицы, дороги, трамвайные и железнодорожные пути	410
7.8. Соединение и оконцевание кабелей	412
7.8.1. Технические требования, предъявляемые к термоусаживаемым кабельным муфтам	412
7.8.2. Монтаж термоусаживаемых соединительных кабельных муфт	420
7.8.3. Монтаж термоусаживаемых концевых кабельных муфт	421
7.9. Прокладка кабелей в блоках	422
7.10. Прокладка кабелей в туннелях и коллекторах	426
7.11. Прокладка кабелей в каналах	429
7.12. Прокладка кабелей в трубах	430
7.13. Прокладка кабелей на эстакадах и в галереях	431
7.14. Прокладка кабелей на лотках	435
7.15. Прокладка кабелей на тросах	437
7.16. Прокладка кабелей на пересечениях с водными преградами	438
7.17. Заземление кабелей и кабельных конструкций	441
7.18. Ремонт кабельных линий электропередачи	442
7.19. Определение трассы кабельной линии и глубины заложения кабеля в земляной траншее	445
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	447
8. МОНТАЖ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ	450
8.1. Требование к монтажу оборудования открытых распределительных устройств на напряжение до 750 кВ ...	450
8.2. Требования к монтажу оборудования закрытых распределительных устройств на напряжение до 10 кВ	453

8.3. Особенности монтажа крупных силовых трансформаторов	457
8.3.1. Организация монтажа крупных силовых трансформаторов	457
8.3.2. Подготовка трансформаторного масла	460
8.3.3. Разгерметизация активной части и установка комплектующих изделий	461
8.4. Монтаж закрытых трансформаторных подстанций городской электрической сети	464
8.5. Монтаж вводно-распределительного устройства на напряжение 0,38 кВ	487
8.6. Монтаж трансформаторной подстанции с воздушным вводом на напряжение 6...10 кВ	489
8.7. Монтаж комплектных трансформаторных подстанций на напряжение 35/ 10 кВ	494
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	496
Приложение	498
Построение монтажных кривых для визируемых пролетов	498
Рекомендуемая литература	506

Учебное издание
Короткевич Михаил Андреевич

МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Учебное пособие

Редактор *Е.В. Мальшева*
Художественный редактор *В.А. Ярошевич*
Технический редактор *А.Н. Бабенкова*
Корректор *В.И. Аверкина*
Компьютерная верстка *А.Н. Бабенковой*

Подписано в печать 23.05.2012. Формат 84×108/32. Бумага офсетная.
Гарнитура «Petersburg». Офсетная печать. Усл. печ. л. 26,88.
Уч.-изд. л. 30,55. Тираж 1000 экз. Заказ 1163.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”». ЛИ № 02330/0494062 от 03.02.2009. Пр. Победителей, 11, 220048, Минск. e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Филиал № 1 открытого акционерного общества «Красная звезда». ЛП № 02330/0494160 от 03.04.2009. Ул. Советская, 80, 225409, Барановичи.