

**Материал для самостоятельного изучения по модулю:  
«Устройство и монтаж внутренних и внешних сетей электроснабжения»  
(модуль реализуется в программах)**

<b>Шифр группы</b>	<b>Наименование программы</b>
<b>С-5</b>	Устройство наружных и внутренних электрических сетей на объектах капитального строительства, включая ОИАЭ
<b>С-20(Л)</b>	Организация работ в строительстве и производство электромонтажных работ на объектах капитального строительства, включая ОИАЭ
<b>С-40</b>	Развитие ключевых профессиональных компетенций линейного персонала по организации электромонтажных работ (на соответствие требований квалификационных стандартов: «Мастер (направление деятельности: электромонтажные работы)», «Прораб (направление деятельности: электромонтажные работы)», «Начальник участка (направление деятельности: электромонтажные работы)»)

### **Устройство и монтаж внутренних сетей электроснабжения**

Главные схемы электрических соединений АЭС выбираются на основании утвержденной схемы развития энергосистемы и ее участка, к которому подключается данная АЭС, с учетом единичной мощности агрегатов и суммарной мощности станции в целом. АЭС характеризуется применением генераторов большой мощности, поэтому для ее выдачи используются ВЛ напряжением 220-750 кВ.

В соответствии с требуемой схемой электроснабжения АЭС электротехническое оборудование можно разделить на следующие группы:

1. силовые трансформаторы;
2. оборудование КРУ;
3. оборудование ОРУ;
4. оборудование систем надежного питания;
5. электродвигатели.

В состав первой группы «Силовые трансформаторы» входит следующее оборудование:

- блочные трансформаторы;
- автотрансформаторы связи для ОРУ (АТ ОРУ);
- рабочие трансформаторы собственных нужд (ТСН);
- резервные трансформаторы собственных нужд (РТСН);
- секционные трансформаторы собственных нужд (трансформаторы секций 0,4 кВ).

В состав второй группы «Оборудование КРУ» входит следующее оборудование:

- высоковольтное оборудование до 10 кВ;
- низковольтное оборудование до 0,4 кВ.

В состав третьей группы «Оборудование ОРУ» входит следующее оборудование:

- высоковольтные выключатели;
- измерительные трансформаторы тока;
- измерительные трансформаторы напряжения;
- компенсирующие реакторы;
- разъединители;
- заземлители;
- разрядники/ограничители перенапряжений;

- изоляторы и шинные опоры;
- панели релейной защиты и автоматики.

В состав четвертой группы «Оборудование систем надежного питания» входит следующее оборудование:

- аккумуляторные батареи;
- щиты постоянного тока;
- агрегаты бесперебойного питания.

В состав пятой группы «Электродвигатели» входит следующее оборудование:

- электродвигатели 0,4 кВ;
- электродвигатели 6 кВ.

Характерная особенность схемы электроснабжения собственных нужд (с.н.) АЭС – повышенные требования к надежности питания приводов механизмов, обеспечивающих безопасность АЭС. Механизмы с.н. АЭС относятся согласно ПУЭ к потребителям 1-ой категории и делятся на три группы:

Потребители 1 группы – это потребители, не допускающие перерыва питания более чем на доли секунды во всех режимах и требующие обязательного наличия питания после срабатывания аварийной защиты реактора, к ним относятся:

а) потребители, допускающие перерыв питания не более чем на доли секунды и требующие длительное время надежного питания после срабатывания автоматической защиты (АЗ) реактора (системы КИПиА, приборы технологического контроля, системы дозиметрии, потребители постоянного тока и постоянно - горящая часть аварийного освещения);

б) потребители, допускающие перерыв питания не более чем доли секунды, но не требующие длительное время питания после срабатывания АЗ реактора (электроприводы задвижек и отсечной арматуры, БРУ-К);

в) потребители, требующие при переходных режимах в энергосистеме гарантированного питания в течение 2-х секунд для предотвращения срабатывания АЗ реактора (электромагниты приводов СУЗ, удерживающие стержни управления в заданном положении).

Потребители 2 группы

а) допускают перерыв питания на время, определяемое условиями безопасности (от десятков секунд до нескольких минут) и требуют обязательного наличия питания после срабатывания автоматической защиты (АЗ) реактора (насосы аварийного охлаждения зоны, спринклерные насосы, маслонасосы турбины и уплотнения вала генератора). Для питания этих потребителей применяют дизель - генераторы.

Потребители 3 группы

а) не предъявляют к надежности более высокие требования, чем к питанию ответственных потребителей с.н. АЭС (конденсаторные и циркуляционные насосы).

На АЭС должны предусматриваться следующие сети электроснабжения потребителей собственных нужд:

- а) сети 6 кВ и 0,4 кВ, 50 Гц надежного питания потребителей 2 группы;
- б) сеть 0,4 кВ, 50 Гц надежного питания потребителей 1 группы;
- в) сеть 220 В, 110 В, 48 В, 24 В постоянного тока для питания потребителей, не допускающих перерыв питания или допускающих кратковременный перерыв в питании;
- г) сеть 6 кВ и 0,4 кВ, 50 Гц для питания потребителей, которые не предъявляют специальных требований к питанию, т. е. потребителей 3 группы.

Для потребителей собственных нужд. АЭС должно предусматриваться нормальное рабочее и резервное питание от рабочих и резервных трансформаторов собственных нужд и аварийных источников питания.

В качестве аварийных источников питания применяются:

- a) аккумуляторные батареи (АБ) и АБ со статическими преобразователями;
- b) автоматизированные дизель – генераторы (ДГ) и газотурбинные установки.

В РУ 6, 10 кВ должны предусматриваться шкафы КРУ с вакуумными или элегазовыми выключателями.

В качестве управляемых средств компенсации реактивной мощности (СКРМ) применяются:

- управляемые шунтирующие реакторы (УШР) напряжением 110, 220, 330 и 500 кВ, подключаемые к шинам ВН подстанции или к линии;
- дискретно-управляемые вакуумно-реакторные группы (ВРГ), подключаемые к обмоткам НН (10-35 кВ) имеющихся на подстанциях трансформаторов и автотрансформаторов или шинам подстанций через вакуумные выключатели;
- статические тиристорные компенсаторы (СТК) реактивной мощности, подключаемые к обмоткам НН автотрансформаторов, шинам подстанций или через специальный трансформатор к линиям электропередач;
- синхронные компенсаторы (СК), подключаемые к обмоткам НН трансформаторов или автотрансформаторов подстанций.

Защита от грозových перенапряжений РУ и ПС осуществляется:

- от прямых ударов молнии - стержневыми и тросовыми молниеотводами в соответствии с разделом 4.2 ПУЭ;
- от набегающих волн, защитными аппаратами, устанавливаемыми на подходах и в РУ в соответствии с разделом 4.2 ПУЭ. В качестве защитных аппаратов должны применяться, как правило, ограничители перенапряжений (ОПН).

Схемы собственных нужд ПС должны предусматривать присоединение трансформаторов собственных нужд к разным источникам питания (вводам разных трансформаторов, различным секциям РУ и др.).

На подстанциях 330 кВ и выше следует предусматривать резервирование питания собственных нужд от третьего независимого источника.

На распределительных ТП 6-35/0,4 кВ должны применяться силовые трансформаторы:

- маслонаполненные герметичные (без маслорасширителей),
- литые или сухие с уменьшенными потерями (в том числе, за счет применения в трансформаторах магнитопроводов из аморфной стали - пониженные потери ХХ (на 75%) и КЗ) и массогабаритными параметрами,
- с симметрирующими устройствами (обеспечивают поддержание симметричности фазных напряжений в сетях энергосистем и потребителей электроэнергии с неравномерной нагрузкой).

В ТП, встроенных в здания, должны, как правило, применяться малогабаритные трансформаторы с сухой изоляцией, с пониженным уровнем шума и вибрации:

- с системой автоматического контроля температуры трансформатора;
- с датчиками температуры внутри камеры трансформатора источника питания.

С целью сокращения занимаемой площади и оптимизации компоновочных решений на ПС допускается применение жёсткой ошиновки на стороне 35-500 кВ, как неизолированной, так и в защищённом исполнении.

В распределительных сетях при мощности трансформаторов 1000 кВА и более на стороне 0,4 кВ должны применяться закрытые или изолированные (трёхфазные и однофазные) токопроводы. Допускается использование гибкой ошиновки при обосновании.



Рис. Трансформаторы герметичные (ТМГ) – без маслорасширителей



Рис. Аморфные трансформаторы (пониженные потери ХХ (на 75%) и КЗ)



Рис. Помещение РУ



Рис. КРУ-СЭЩ. Камеры с вакуумным выключателем и с разъединителем

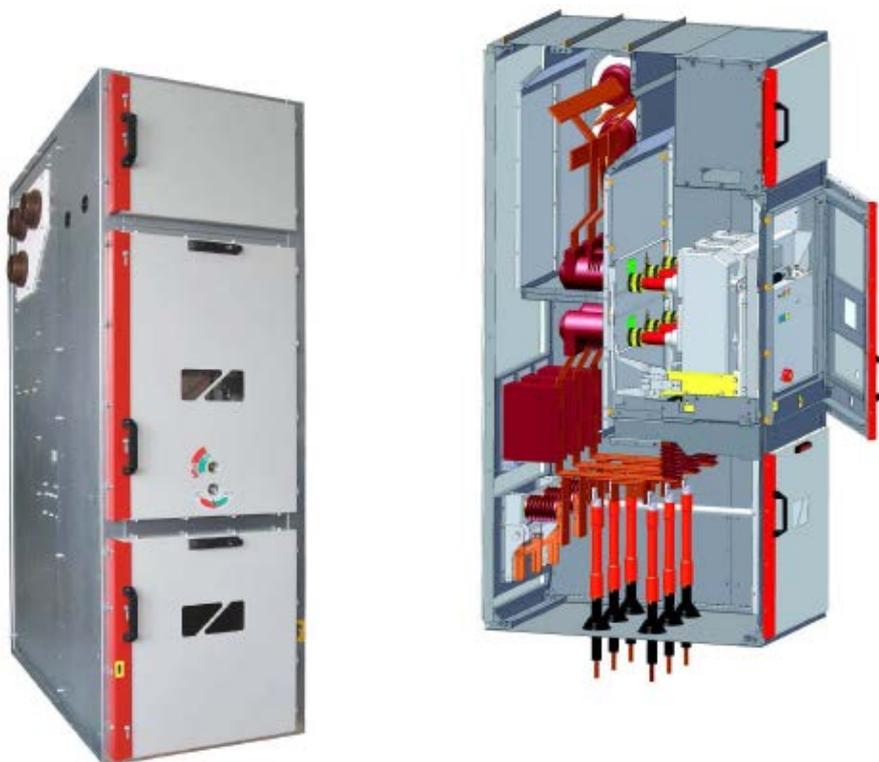


Рис. КРУ (6,10 кВ)

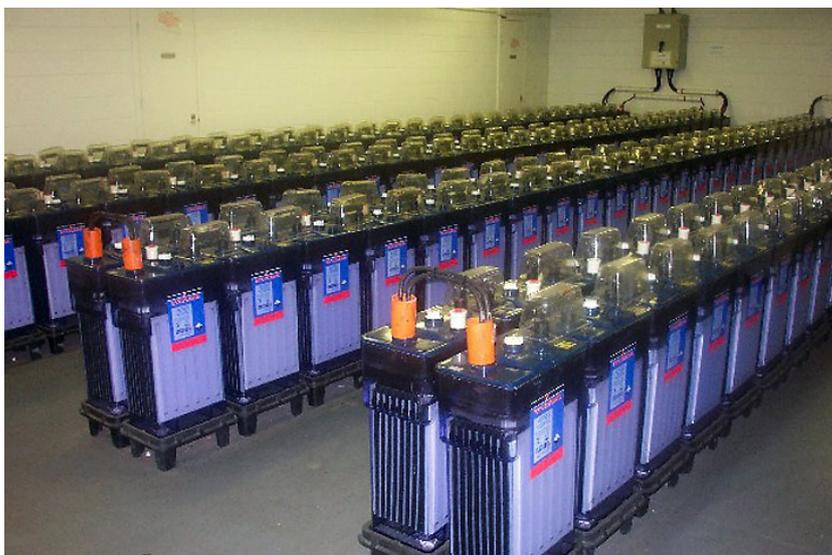


Рис. Аккумуляторные батареи



Рис. Статические конденсаторные установки

### **Технология монтажа электрооборудования. Общие требования**

При организации и производстве работ по монтажу и наладке электротехнических устройств следует соблюдать требования СП 76.13330.2016 «Электротехнические устройства», национальных и межгосударственных стандартов, технических условий и ведомственных нормативных документов.

Работы по монтажу и наладке электротехнических устройств следует производить в соответствии с рабочими чертежами основных комплектов чертежей электротехнических марок; по рабочей конструкторской документации нестандартизированного оборудования, выполненной проектной организацией; по рабочей конструкторской документации предприятий – изготовителей технологического оборудования, поставляющих вместе с ним шкафы питания и управления.

Монтаж электротехнических устройств следует осуществлять на основе применения узлового и крупноблочного методов строительства, с установкой оборудования, поставляемого укрупненными узлами, не требующими при установке правки, резки, сверления или других подгоночных операций и регулировки. При приемке рабочей документации к производству работ надлежит проверять учет в ней требований индустриализации монтажа электротехнических устройств, а также механизации работ по прокладке кабелей, такелажу и установке технологического оборудования.

После принятия помещений под монтаж электрооборудования и кабельных трасс электромонтажные работы выполняются в две стадии:

*первая стадия:*

установка электрооборудования и шинопроводов, конструкций для прокладки кабелей и проводов, монтажу троллеев для электрических мостовых кранов, монтажу стальных и пластмассовых труб для электропроводок, прокладке проводов скрытой проводки до штукатурных и отделочных работ, а также работы по монтажу наружных кабельных сетей и сетей заземления.

Выполняется по совмещенному графику одновременно с производством основных строительных работ, но должны быть закончены работы по сооружению туннелей, каналов и т.д., включая установку закладных деталей.

*вторая стадия:*

работы по монтажу электрооборудования, прокладке кабелей и проводов, шинопроводов и подключению кабелей и проводов к выводам электрооборудования.

Выполняются после завершения комплекса общестроительных и отделочных работ, монтажу сантехнических устройств, установки технологического оборудования, электродвигателей и т.п., монтажа технологических, санитарно-технических трубопроводов и вентиляционных коробов.

### ***Монтаж КРУ и трансформаторных подстанций***

Наиболее высокий уровень индустриализации имеют работы по монтажу распределительных устройств (РУ) и комплектных трансформаторных подстанций (КТП). Комплектные РУ и КТП приходят с завода в комплекте, состоящими из готовых блоков, с полностью скомплектованными кабельными связями, входящими в схемы первичных и вторичных цепей с разделанными концами и вспомогательными материалами.

Поэтому монтаж и контроль качества заключается в проверке правильности установки, монтажа оборудования, аппаратуры и приборов, прокладки и подключения силовых и контрольных кабелей и других работ в соответствии с требованиями проекта, заводскими и монтажными инструкциями, ППР и ТК.

Производят приемку помещения под монтаж от строительной организации по акту, проверив готовность и соответствие строительной части помещений рабочим чертежам:

- наличие чистовых полов, горизонтальность которых должна обеспечивать максимальное отклонение 5 мм;
- для обеспечения перемещения выкатных тележек ячеек без разрушения поверхности пола необходимо обеспечить устойчивость покрытия;
- наличие отделки помещения;
- наличие отопления, вентиляции;
- выполнением планировки погрузочно-разгрузочной площадки и наличие транспортных коммуникаций;
- проверка на соответствие проекту габаритных размеров помещений, основных фундаментов, осей установки КРУ, (в том числе для шинных вводов) и временных проемов, кабельных каналов, мест установки, количество труб и трубных проходок для прокладки силовых и контрольных кабелей;
- проверка наличия и качества закладных деталей под ячейки КРУ и щитовое оборудование РУ, шинопроводы, кабельные конструкции, обрамление кабельных каналов и проемов.
- приемка траншей под монтаж наружного контура заземления.

До выполнения монтажа КРУ в помещениях РУ необходимо выполнить:

- монтаж внутреннего контура заземления с соединением его с наружным контуром;

- монтаж постоянного освещения с прокладкой электросетей и установкой осветительных щитков и светильников;
- установка кабельных конструкций в каналах, кабельных полуэтажах, прокладка лотков.

Установка грузоподъемных машин, организация и выполнение строительно-монтажных работ с их применением осуществляется в соответствии со специально разработанным для этих целей ППР грузоподъемными машинами. Погрузочно-разгрузочные работы грузовыми кранами выполняются по ТК погрузочно-разгрузочных работ.

Хранить блоки ячеек на монтажной площадке категорически запрещается.

Перемещение, подъем и установку камер, щитов или блоков РУ и другого оборудования осуществлять с принятием мер, предупреждающих их опрокидывание (строповка выше центра тяжести, применение оттяжек и др.).

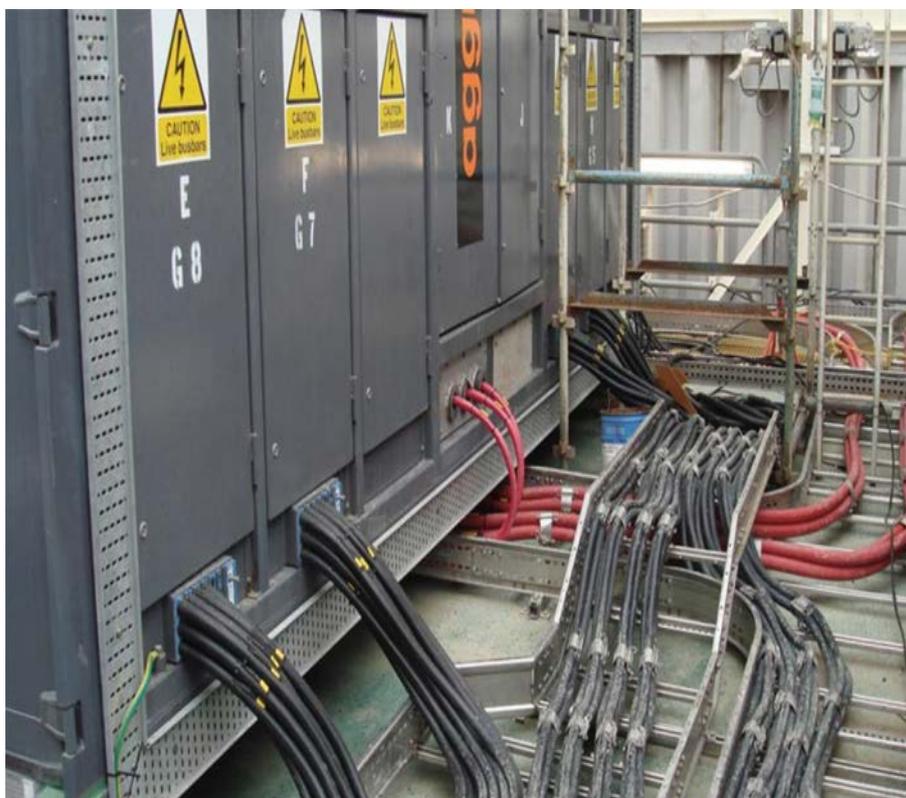


Рис. Помещение РУ

Монтаж шкафов КРУ начинают с транспортировки их к местам установки согласно схеме заполнения РУ. Установку шкафов КРУ целесообразнее начинать с одного из крайних по схеме заполнения шкафов. После монтажа шкафа из него выкатывают выдвижные элементы и проверяют правильность его установки. Шкаф не должен иметь качаний или перекоса. Допускается приварить подкладки (не более 3-х, общей толщиной не превышающей 5 мм) к основанию КРУ (или к раме) и к закладным при установке шкафа для его выравнивания.

При помощи уровня и отвеса проверяют горизонтальность нижней рамы шкафа и отсутствие наклонов по глубине и фасаду. Соединить шкафы между собой болтами, необходимо начинать с нижних болтов. Перед затягиванием болтов зазор между каркасами не должен превышать 1 мм.

После установки шкафов монтируют сборные шины, к которым присоединяют отпайки сваркой или болтовым присоединением. Монтаж сборных шин целесообразнее начинать с

середины секции РУ. По окончании монтажа СШ и отпаек проверяют правильность установки шкафов секции РУ. Для этого в шкафы вкатывают подвижные элементы, разъединяющие контакты которых смазывают смазкой и устанавливают сначала в крайнее нижнее положение, а затем – в верхнее. По следу, оставленному неподвижным контактом, проверяют соосность подвижного и неподвижного контактов и достаточность их контактного соединения. Одновременно проверяют работу блокировочных устройств. При положительных результатах шкафы КРУ приваривают к опорным швеллерам.

Выполнить заземление всех частей, подлежащих заземлению, согласно проектной документации.

Выполнить присоединение силовых и контрольных кабелей.

После этого всю аппаратуру секции РУ протирают (или продувают сжатым воздухом) от пыли и передают под наладочные испытания.

### ***Монтаж КТП***

Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) внутренней установки состоят из трехфазных понижающих трансформаторов, высшее напряжение которых 6 или 10 кВ, а низшее напряжение 0,4 кВ и шкафов РУ. Шкафы РУ изготавливают секционными, линейными и вводными. Они состоят из шинной и коммутационных частей, разделенных перегородками.

В шкафах распределительного устройства (РУ) напряжением до 1 кВ размещены коммутационная и защитная аппаратура: выдвижные универсальные автоматические выключатели, релейная аппаратура АВР, измерительные приборы, а также измерительные трансформаторы тока.

Многоблочные распределительные устройства монтируют поэтапно. Блоки устанавливают поочередно, предварительно снимая специальные заглушки, которые закрывают выступающие концы шин. Установочные швеллеры шкафов соединяют сваркой с помощью перемычек из полосовой стали сечением 40 x 4 мм. После установки блоков приваривают шины заземления к опорным швеллерам.

Распределительные устройства соединяют с трансформатором гибкой перемычкой и закрывают коробом из листовой стали, который поставляется в комплекте с комплектной трансформаторной подстанцией. При выполнении присоединения к выводам трансформатора необходимо знать, что чрезмерные изгибающие усилия при затяжке гаек могут вызвать течь масла. Соединение шин выполняют с помощью болтов. Короб к трансформатору и вводному шкафу крепят болтами.

По окончании монтажа блоков КТП проверяют исправность проводки приборов, надежность крепления болтовых соединений, особенно контактных и заземляющих, работу механической блокировки, состояние изоляторов. После этого подсоединяют кабели высокого и низкого напряжения. Для заземления КТП швеллеры приваривают к контуру заземления в двух местах.

КТПН – комплектная трансформаторная подстанция наружной установки должна быть расположена на спланированной площадке на высоте не менее 0,2 м от уровня планировки.

Оборудование КТПН после выгрузки с автомашины устанавливается на заранее смонтированные металлоконструкции (несущие и закладные).

После выверки оборудования необходимо произвести его закрепление с помощью болтов или приваркой (если это разрешено заводской инструкцией). Дальнейшая технология соответствует монтажу КТП.

### *Монтаж внутреннего контура заземления*

Заземление – это преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством

В электрических установках заземляются корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, вторичные обмотки измерительных трансформаторов, приводы электрических аппаратов, каркасы распределительных щитов, пультов, шкафов, металлические конструкции распределительных устройств, металлические корпуса кабельных муфт, металлические оболочки и броня кабелей, проводов, металлические конструкции зданий и сооружений и другие металлические конструкции, связанные с установкой электрооборудования.

Контроль качества внутреннего контура заземления. Метод: визуально-измерительный  
Контролируются:

- Проверка соответствия мест размещения элементов внутреннего контура заземления требованиям проекта и ППР;
- Надежность крепления заземляющих проводников к строительным конструкциям;
- Проход магистрали заземления через стены и перекрытия;
- Выполнение пересечения проводников заземления с инженерными коммуникациями;
- Соединение магистрали заземления и заземляющих проводников;
- Контроль полноты присоединения к внутреннему контуру заземления электротехнического оборудования и строительных конструкций здания.
- Контроль присоединения электрооборудования к контуру заземления
- Контроль оконцевания и соединения медных заземляющих проводов
- Контроль присоединения заземляющих проводников к оборудованию
- Контроль качества выполнения болтовых соединений
- Проверка переходных сопротивлений контактных соединений заземлителей с заземляемыми элементами

Заземляющие и нулевые защитные проводники в помещениях и в наружных установках должны быть доступны для осмотра.

Магистраль внутреннего контура заземления выполняется стальной полосой сечением 40x4 мм на высоте 0,4 м от чистого пола с помощью держателей, окрашивается полосами желто-зеленого цвета, проход заземляющего проводника сквозь стену, через перекрытие выполнять в отрезках труб.

Каждая часть электроустановки, подлежащая заземлению, должна быть присоединена к сети заземления при помощи отдельного ответвления.

Последовательное включение в заземляющий или защитный проводник заземляемых частей электроустановки не допускается.

Каждый шкаф КРУ и каждая панель защиты или управления должны быть присоединены сваркой не менее чем в двух местах к закладным деталям или обрамлениям каналов, образующим магистраль заземления.

Заземление кабельных линий выполняется не менее чем в двух точках в противоположных концах трассы присоединением к общему контуру заземления. Количество точек зависит от протяженности трассы и определяется рабочей документацией.

Соединение кабельных металлоконструкций с проводниками заземления выполняется болтовым соединением или сваркой. Крепление оцинкованных кабельных стоек – только с помощью болтовых соединений.

Необходимо обеспечить непрерывность электрической цепи заземления по трассе кабельных металлоконструкций, для чего на окрашенных конструкциях устанавливают соединительные поводки заземления с обеспечением в болтовом соединении надежного электрического контакта.

### *Токопроводы и шинопроводы*

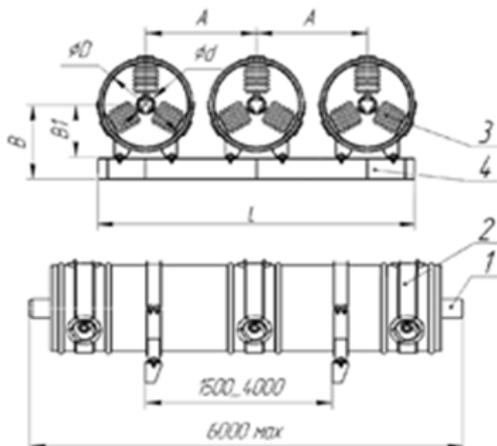


Рис. Токопроводы ТЭНЕ, ТЭНП напряжением 6, 10, 20, 24, 27, 35 кВ  
Секция прямолинейная: 1 – шина токоведущая, 2 - оболочка-экран, 3 - изолятор, 4 – балка



Рис. Токопроводы комплектные закрытые напряжением 6 и 10 кВ типов ТЗК, ТЗКР и ТЗКЭП



Рис. Токопроводы с литой изоляцией от 3 до 24 кВ, до 9 000 А



Рис. Шинопроводы комплектные закрытые напряжением 1,2 и 0,4 кВ типа ШЗК



Рис. Шинопроводы магистральные

## Устройство и монтаж наружных сетей электроснабжения

### *Схемы выдачи мощности АЭС*

Схема выдачи мощности электростанций зависит от конфигурации и схемы электрической сети энергосистемы, в которой сооружается электростанция. Схема присоединения АЭС на всех этапах ввода мощности должна обеспечивать выдачу всей располагаемой мощности (за вычетом нагрузки распределительной сети и собственных нужд) в любой период суток или года как при полной схеме сети, так и при отключении любой линии или трансформатора связи шин без воздействия автоматики на разгрузку АЭС.

Количество отходящих ВЛ на каждом напряжении определяется использованием их пропускной способности, которая, в свою очередь, зависит от размещения электростанций относительно центров нагрузки и от конфигурации сети. Например, большинство АЭС, расположенных в европейской части страны с развитой электрической сетью, становятся коммутационными узлами энергосистемы с большим количеством отходящих ВЛ, суммарная пропускная способность которых превышает мощность присоединенных генераторов. Этому способствует также необходимость выдачи всей мощности АЭС при выходе из работы любой ВЛ.

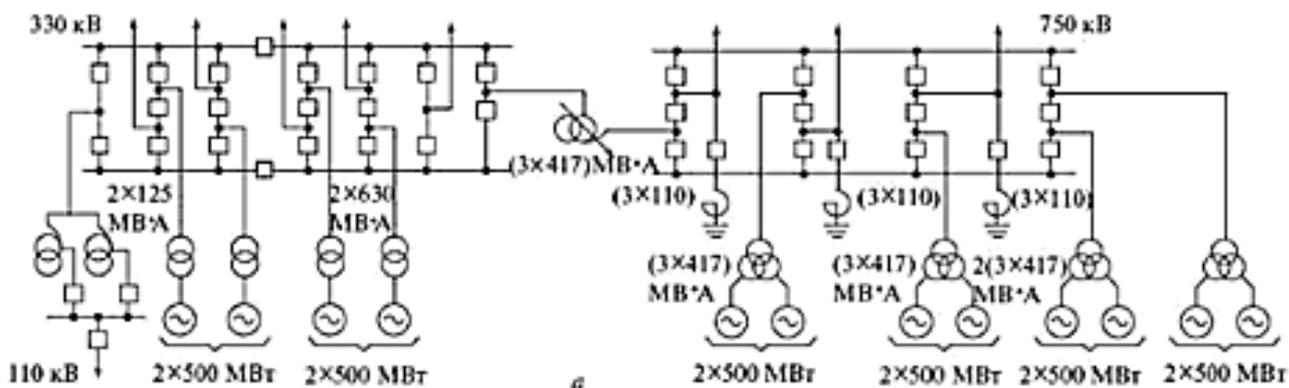


Рис. Пример схемы выдачи мощности

Например в проекте "АЭС-2006" в схеме выдачи мощности на распределительных подстанциях применены (КРУЭ) комплектные распределительные устройства 220/500кВ закрытого типа с элегазовой изоляцией.

Схема выдачи мощности предусматривает производство электроэнергии напряжением двух классов – 220 кВ и 500 кВ. При этом, турбина вырабатывает всего 24 кВ, которые по токопроводу поступают на блочный трансформатор, где и повышаются уже до 500 кВ. После чего часть энергомощности через КРУЭ-500 передается в Единую энергосистему. Другая часть – на автотрансформаторы, где понижается с 500 кВ до 220 кВ и через КРУЭ-220 также поступает в энергосистему.



Рис. Повышающий однофазный трансформатор (мощность -533 МВт, вес 340 тонн)

### ***Открытое распределительное устройство (ОРУ)***

Открытое распределительное устройство должно обеспечить надежность работы, безопасность и удобство обслуживания при минимальных затратах на сооружение, возможность расширения.

Открытое распределительное устройство состоит из комплекса опорных конструкций (порталы, фундаменты, опорные стойки и др.), сооружаемых из металла и железобетона, и устанавливаемого на этих конструкциях электрооборудования (трансформаторы, силовые выключатели, разъединители, трансформаторы тока и напряжения, разрядники, ошиновка и др.).

К монтажным работам на ОРУ относятся:

а) монтаж гибкой ошиновки в виде систем сборных шин, линейных и шинных мостов и спусков к электрооборудованию (применение жесткой ошиновки позволяет отказаться от порталов и уменьшить площадь ОРУ);

б) установка и монтаж всех видов электрооборудования.



Рис. Открытое распределительное устройство (ОРУ)

До начала электромонтажных работ на открытых распределительных устройствах строительной организацией должно быть закончено сооружение подъездных путей, подходов и подъездов, установлены шинные и линейные порталы, сооружены фундаменты под электрооборудование, кабельные каналы с перекрытиями, ограждения вокруг ОРУ, резер-

вуары для аварийного сброса масла, подземные коммуникации и закончена планировка территории. В конструкциях порталов и фундаментов под оборудование должны быть установлены предусмотренные проектом закладные части и крепежные детали, необходимые для крепления гирлянд изоляторов и оборудования. В кабельных каналах и тоннелях должны быть установлены закладные детали для крепления кабельных конструкций и воздухопроводов. Должно быть также закончено сооружение водопровода и других предусмотренных проектом противопожарных устройств.

Электрооборудование при монтаже, разборке и ревизии не подлежит, за исключением случаев, когда это предусмотрено государственными и отраслевыми стандартами или техническими условиями, согласованными в установленном порядке.

Разборка оборудования, поступившего опломбированным с предприятия-изготовителя, запрещается.

При приемке фундаментов под электрооборудование следить за допустимыми отклонениями в размерах, согласно требованиям норм и правил.

Гибкая ошиновка ОРУ состоит из следующих основных элементов:

а) сборные шины, выполняемые в виде одной или двух трехфазных систем. Иногда, особенно на крупных энергетических объектах, сооружается еще третья (обходная) трехфазная система шин;

б) переходные мосты-перемычки для отдельных ячеек ОРУ;

в) ответвления-спуски от сборных шин или мостов к электроаппаратам.

Работы по гибкой ошиновке ОРУ выполняются до установки электрооборудования, что облегчает монтаж ошиновки и исключает возможные повреждения аппаратов. Подвеска шинных мостов, расположенных выше сборных шин, должна быть выполнена в первую очередь.

Работы по монтажу гибкой ошиновки ОРУ производятся в следующем порядке: распаковывают изоляторы, осматривают их, обращая внимание на наличие сколов и трещин, прочность цементной связки, соосность стержней и шапок. Если обнаруживают скол, трещину и другие дефекты, изоляторы отбраковывают. Годные изоляторы протирают, а фарфоровые кроме того испытывают мегаомметром. Сопrotивление изоляции каждого подвесного изолятора должно быть не менее 300 МОм. Затем подбирают арматуру для гирлянды, комплектуют и собирают изоляторы в гирлянды. Далее с помощью барабана, установленного на домкраты или кабельную тележку, раскатывают провода для сборных шин, шинных мостов и спусков.

Соединения гибких проводов в пролетах на территории ОРУ допускается только опрессовкой.

При сооружении ОРУ приходится выполнять также монтаж жесткой ошиновки. Сюда относятся небольшие участки ошиновки (перемычки) между отдельными аппаратами РУ или для присоединения к силовым трансформаторам.

При монтаже жесткой ошиновки следует предусматривать возможность свободного изгиба шин («компенсация») при температурных колебаниях и изменениях при этом длины шин, особенно в местах подключения к аппаратам.

Смонтированная полностью ошиновка поднимается и подвешивается на порталах.

Жесткая ошиновка прокладывается на опорных изоляторах или шинных опорах наружной установки

Монтаж высоковольтного оборудования начинается с приемки фундаментов под монтаж оборудования. Под руководством шеф-монтажа производится установка оборудования, согласно заводским инструкциям, технологическим картами и ППР.

При монтаже трансформаторов должна быть обеспечена вертикальность их установки. Регулировку вертикальности допускается производить с помощью стальных прокладок.

***Монтаж разъединителей, отделителей, короткозамыкателей, ограничителей перенапряжения, реакторов***

При сборке и монтаже разъединителей, отделителей, короткозамыкателей должны быть обеспечены: горизонтальность установки опорных рам, вертикальность и равенство по высоте колонок опорных изоляторов, соосность контактных ножей. Отклонение опорной рамы от горизонтали и осей собранных колонок изоляторов от вертикали, а также смещение осей контактных ножей в горизонтальной и вертикальной плоскости и зазор между торцами контактных ножей не должны превышать норм, указанных в инструкциях предприятий-изготовителей. Выравнивание колонок допускается с помощью металлических подкладок.

Ножи аппаратов должны правильно (по центру) попадать в неподвижные контакты, входить в них без ударов и перекосов и при включении не доходить до упора на 3-5 мм.

Трансформаторы тока предназначены для понижения тока и работают в режиме короткого замыкания (КЗ).





Рис. Трансформатор тока

Ограничитель перенапряжения ОПН обеспечивает глубокое ограничение грозовых и коммутационных перенапряжений.



Рис. Ограничитель перенапряжения ОПН-750

Разъединители предназначены для создания видимого разрыва сети при выводе высоковольтного выключателя в ремонт.



Рис. Высоковольтный разъединитель 750 кВ

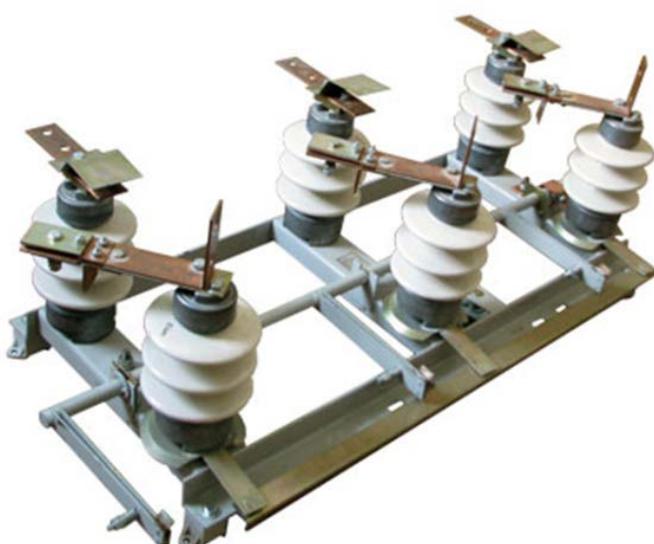


Рис. Разъединитель РЛНД 10 кВ

Реакторы устанавливаются на сборных шинах подстанций или на отходящих линиях для ограничения тока (мощности) короткого замыкания; на шинах подстанций или питающих линиях для обеспечения необходимого значения остаточного напряжения на шинах подстанций, ограничения пусковой мощности при пуске асинхронных или синхронных двигателей.



Рис. Реактор масляный 750 кВ



Рис. Реактор сухой



Рис. Управляемые реакторы РУОМ

В минимальный комплект заводской поставки дугогасящего реактора серии РУОМ входит электромагнитная часть со встроенным в масляный бак тиристорным преобразователем и система управления САНК, обеспечивающая функционирование комплекса в автоматическом или ручном резервном режимах.

### ***Монтаж высоковольтного силового трансформатора***

Силовые трансформаторы доставляют на место установки полностью собранными и подготовленными к включению в работу. Только в случаях, когда не позволяют грузоподъемность транспортных средств и стесненность габаритов, трансформаторы большой мощности доставляют со снятыми радиаторами, расширителем и выхлопной трубой.

Трансформаторы доставляют на место установки на автомашине, специальном транспорте (трейлере) или на железнодорожной платформе и устанавливают на фундамент или в камеру с помощью лебедок и полиспаатов, а если позволяет грузоподъемность – кранам. Передвижение трансформаторов по наклонной плоскости производят с уклоном не более 15 градусов. Под специальные площадки силовых трансформаторов устанавливают гидродомкраты, силовой трансформатор приподнимают и под него подводят и устанавливают каретки с катками. После этого силовой трансформатор плавно опускают домкратами на рельсовый путь. Скорость перемещения трансформатора в пределах подстанции не должна превышать 8 м/мин. Катки трансформаторов укрепляют на направляющих упорами, устанавливаемыми с обеих сторон трансформатора. Трансформаторы массой до 2 т, не снабженные катками, устанавливают непосредственно на фундаменте. Корпус (бак) трансформатора присоединяют к сети заземления. Силовой трансформатор должен быть установлен так, чтобы крышка имела подъем по направлению к газовому реле не менее 1 %, а маслопровод к расширителю – не менее 2 %.

В большинстве случаев монтаж осуществляется без ревизии активной части трансформатора.

Однако, в случаях нарушений правил транспортирования или хранения, трансформатор

форматор может быть, в той или иной степени, поврежден. В такой ситуации необходимо сначала удостовериться в исправности трансформатора, что и предполагает технологический этап ревизии.

Основными этапами штатного (без ревизии) проведения монтажа высоковольтного (110 кВ и выше) оборудования являются:

- подготовка монтажных работ;
- монтаж встроенных трансформаторов тока;
- монтаж вводов;
- монтаж расширителя, системы газоотводных трубопроводов, элементов защиты и эксплуатационного контроля трансформатора;
- монтаж системы охлаждения;
- технологические операции по доведению характеристик изоляции до необходимых (подсушка, сушка);
- послемонтажные испытания;
- опробование и включение трансформатора в работу.



Рис. Монтаж силового трансформатора

Подготовка монтажной площадки состоит:

- в подготовке фундамента для установки трансформатора;
- в организации подъездных путей для перекатки трансформатора на место его установки;
  - в перевозке трансформатора, элементов системы охлаждения, других комплектующих, оснастки, приборов и материалов на площадку;
  - в установке технологического монтажного оборудования и организации его энергоснабжения (электропитание, прокладка воздухопроводов, трубопроводов для подачи масла и т. п.);
- в подготовке кранового и другого погрузочно-разгрузочного оборудования.

На ОРУ кабели оперативных цепей, цепей управления, релейной защиты, автоматики прокладываются в лотках из железобетонных конструкций без заглабления их в почву или металлических лотках, подвешенных к конструкциям ОРУ. Во всех кабельных сооружениях следует предусматривать запас емкости для дополнительной прокладки кабелей порядка 15% от количества, предусмотренного на расчетный период.

На ПС 220-750 кВ кабельные потоки от распределительных устройств различных напряжений, трансформаторов, а также от присоединений подключенных к разным секциям распределительного устройства одного напряжения должны прокладываться в отдельных лотках или каналах.

Релейная защита предназначена для автоматического отключения поврежденного элемента от остальной неповрежденной части системы.



Рис. Ошиновка трансформатора

#### ***Внешний контур заземления***

Для искусственных заземлителей обычно применяют круглую сталь диаметром 10—16 мм, полосовую сталь сечением 40x4 мм и угловую сталь сечением 50x50x5 мм. Для улучшения качества заземлителей применяется обмедненная сталь.

Длина вертикальных заземлителей принимается равной:

- ввинчиваемых и вдавливаемых 4,5—5 м,
- забиваемых 2,5-3 м.

Глубина заложения верха вертикальных заземлителей должна быть 0,5—0,7 м от уровня планировочной отметки земли и выступать от дна траншеи на 0,1—0,2 м для удобства приварки к ним соединительных полос или круглых стержней.

Горизонтальные заземлители (для заземляющей сетки - выравнивание потенциалов) из полосовой стали следует укладывать на дно траншеи на ребро. Глубина укладки на территории ОРУ – не менее 0,5м, за территорией электроустановки – не менее 1м, в скальных породах – не менее 0,15 м.

Прокладку заземлителей параллельно кабелям или трубопроводам следует выполнять на расстоянии не менее 0,3м, а при пересечениях – не менее 0,1м. Заземляющие проводники, присоединяющие оборудование или конструкции к заземлителю, в земле прокладывают на глубине не менее 0,3м.

Расстояние между вертикальными электродами должно быть не менее 1,5-2 длины. Расстояние от фундамента здания до частей заземлителя должно быть не менее 2,5 м.

Размещение вертикальных заземлителей в грунте и соединение заземлителей полосовой сталью представлены на рисунке.

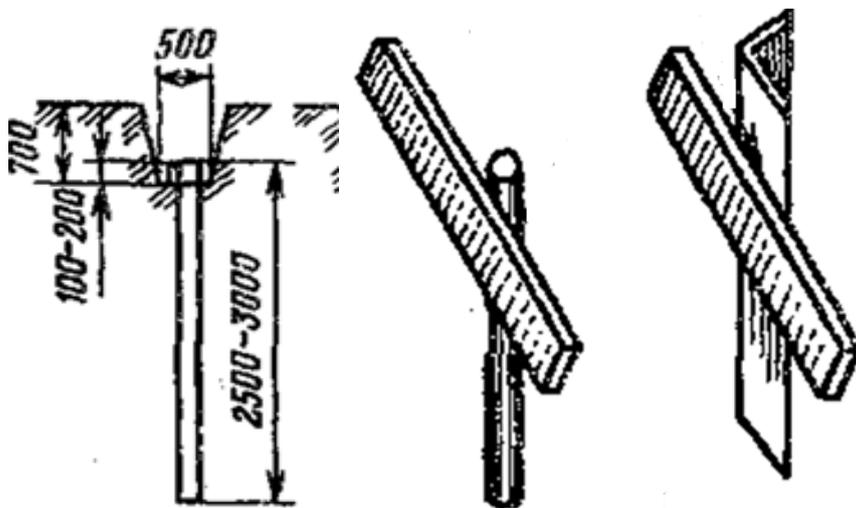
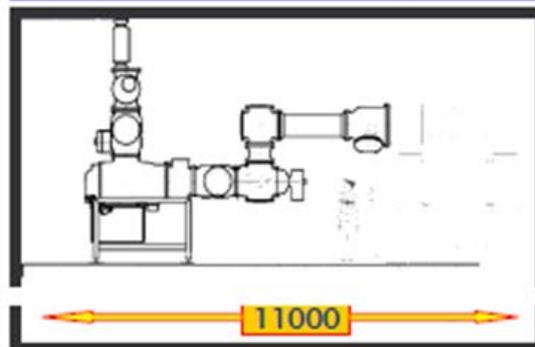
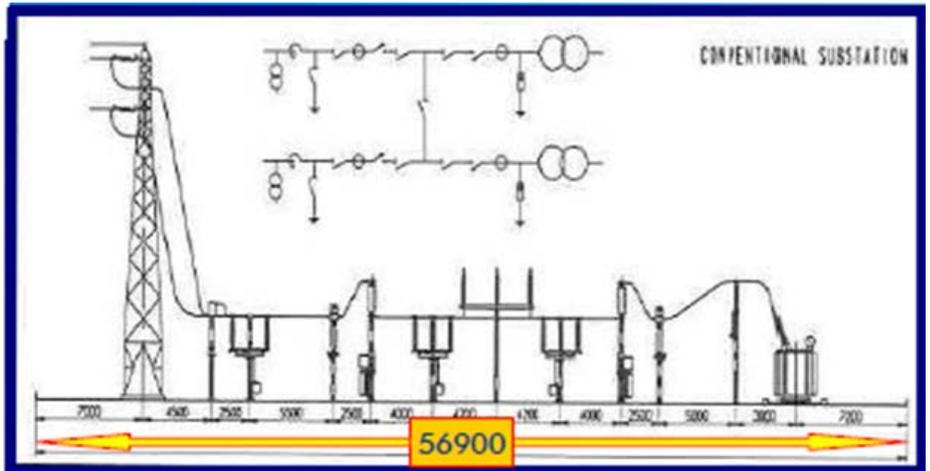
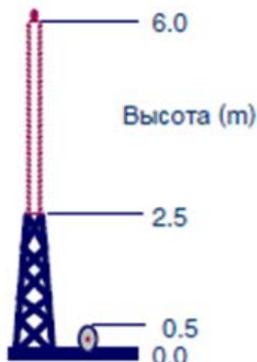


Рис. Размещение вертикальных заземлителей в грунте и соединение заземлителей полосовой сталью

### ***Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ)***

В настоящее время за рубежом и в России созданы и применяются комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ) на напряжения 110—1150кВ. В таких РУ все электрические аппараты – выключатели, разъединители, заземлители, а также разрядники, токопроводы и измерительные трансформаторы – заключены в алюминиевую оболочку, заполненную инертным газом – элегазом (SF<sub>6</sub>). Эти РУ комплектуются из стандартных элементов схемы электрических соединений с аппаратурой управления, контроля, сигнализации, измерений и блокировки. Изоляция – элегаз и литые из смол изоляторы, служащие для фиксации токоведущих частей в герметичном корпусе. Герметичность алюминиевой заземленной оболочки и работа по замкнутому циклу обеспечивают безопасность и отсутствие выбросов горячих газов и пламени в атмосферу, а также заметного шума при отключениях. При атмосферном давлении диэлектрические свойства элегаза в три раза выше, чем воздуха, а при давлении 0,2 МПа – такие же, как у изоляционного масла. Дугогасящие свойства более чем в 10 раз превосходят таковые для воздуха. Если элегаз не подвергается длительному воздействию короны, то газ не стареет. При низких температурах элегаз может сжижаться в зависимости от его давления и плотности (например, при давлении 1,5 МПа и температуре +6 °С). Для обеспечения нормальной работы выключателей при температуре минус 30 0С и ниже необходимо подогревать помещение, в котором будет устанавливаться КРУЭ. При наружной установке КРУЭ следует проверять возможность возникновения указанных низких температур в районе установки. Сравнительные характеристики площадей и пространств для ОРУ и КРУЭ приведены на рисунке.

➤ Площадь для установки КРУЭ ~ в 7 раз меньше, чем для ОРУ



➤ Постранство для установки КРУЭ в 10 - 25 раз меньше, чем для ОРУ

Преимущества КРУЭ по сравнению с РУ на обычном оборудовании следующие:

- сильно уменьшаются площади земельных участков (в 3—5 раз), уменьшение тем сильнее, чем выше класс напряжения;
- сокращаются объемы строительно-монтажных работ и сроки строительства, сокращение тем больше, чем выше класс напряжения РУ;
- значительно снижается шум от РУ, что дает возможность размещать их в центре нагрузок;
- обладают высокой надежностью в эксплуатации и значительно большими межремонтными сроками;
- исключено биологическое воздействие на человека в электрическом поле, что особенно важно для электроустановок высокого и сверхвысокого напряжения;
- значительно сокращается расход металла на строительные конструкции; он тем меньше, чем выше класс напряжения РУ.

Всего в здании КРУЭ почти две сотни единиц высоковольтного оборудования. Линейные ячейки имеют выводы для присоединения к токопроводам и отходящим кабелям. Соединение ячеек с силовыми кабелями производится при помощи кабельных вводов специальной конструкции, а с воздушными линиями - с помощью газонаполненных вводов.

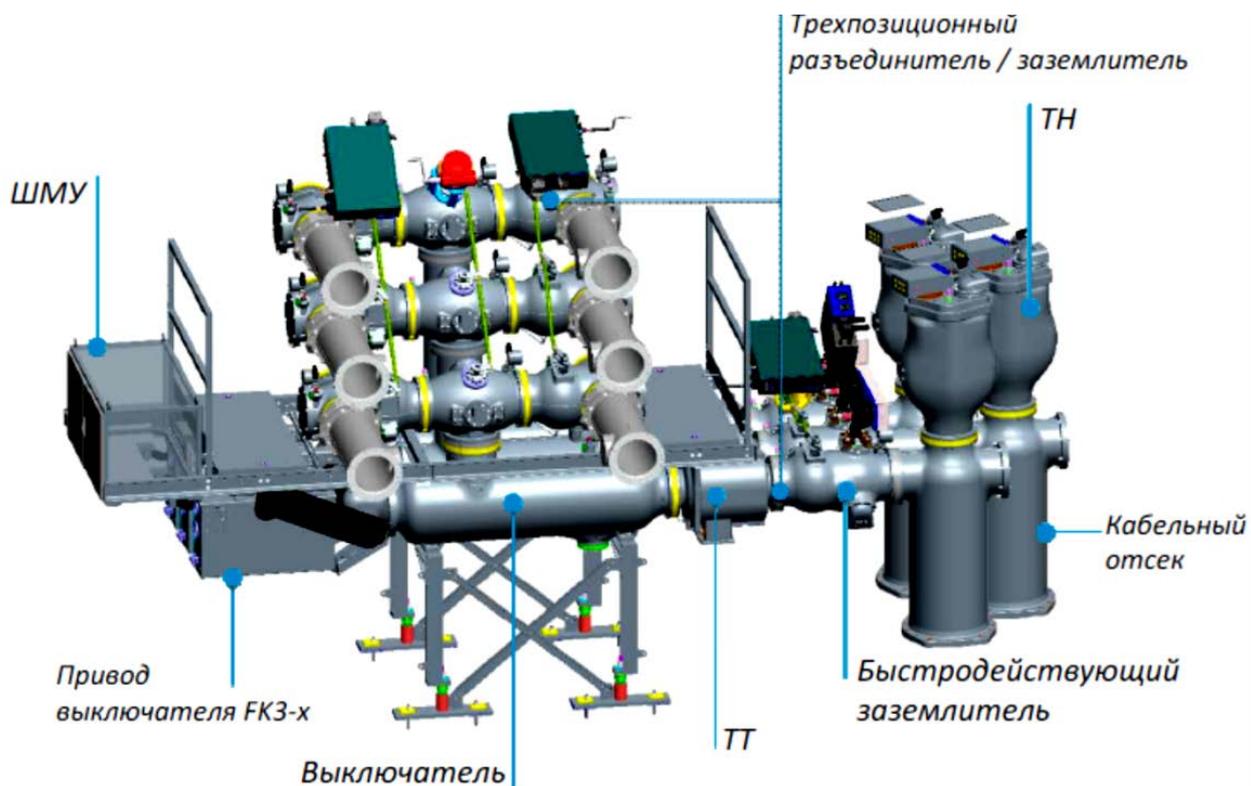


Рис. Состав оборудования ячейки КРУЭ



Рис. ПС 220 кВ

До начала монтажа ячеек должны быть полностью закончены строительные и отделочные работы в помещениях КРУЭ: стены и потолки должны быть окрашены краской не образующей пыли, покрытия полов также не должны выделять пыли. Во всех помещениях до начала монтажа должно быть обеспечено хорошее естественное или искусственное освещение, надежная приточно-вытяжная вентиляция и отопление (во время монтажа ячеек в помещении должна постоянно поддерживаться температура в пределах от плюс 15 до плюс 20 °С, а относительная влажность не должна превышать 50 %). Помимо внутренней отделки помещения, на нулевой отметке здания КРУЭ 330 кВ смонтирована медная сетка для защитного и функционального заземления. Данное устройство предназначено для выравнивания электрических потенциалов, защиты электрооборудования, чтобы воспрепятствовать появлению мешающих или опасных напряжений, а также обеспечить безопасность персонала согласно требованиям электробезопасности.

Монтаж элегазовых ячеек производится либо персоналом завода-изготовителя, либо специально обученным персоналом монтажной организации под обязательным руководством шеф-персонала завода. Перед монтажом ячейки подвергаются ревизии, все элементы проверяются на герметичность специальным прибором.

Подготовка оборудования заключается в удалении из него воздуха и влаги, для чего непосредственно перед заполнением газом оборудование подвергается вакуумированию.

Перед окончательным монтажом и электрическими проверками отдельные узлы оборудования очищают мягкой неворсистой тряпкой или ветошью, особенно тщательно очищают места стыков, после этого внутренние полости, если они вскрывались, пылесосят, как и места стыков. Очищенные узлы сразу после удаления пыли закрывают пленкой, и в таком виде узлы хранят до сборки и монтажа. Пленку снимают непосредственно перед сборкой или монтажом оборудования. На этом технологическая наладка практически заканчивается.

Электрическая наладка элегазового оборудования заключается в проведении некоторых измерений на стадии монтажа, так как после монтажа к отдельным узлам оборудования доступ практически невозможен. Поэтому на стадии монтажа элегазового оборудования необходимо иметь бригаду квалифицированных наладчиков в составе не менее двух человек для производства необходимых измерений и испытаний.

В процессе монтажа проверяют также правильность работы контактов, коммутирующих вспомогательные цепи: сигналы о включении предшествуют моментам касания главных контактов разъединителей и заземлителей, т. е. сигналы должны поступать до замыкания главных контактов аппаратов; сигналы об отключении должны поступать после прохождения подвижными контактами расстояния не менее 80 % от расстояния между экранами этих контактов, т. е. сигналы должны поступать не ранее, чем после прохождения 0,8 пути — хода контактов на размыкание. Действие главных контактов проверяют индикатором, а вспомогательных контактов — визуально.

При монтаже полюсов ячеек измеряют переходные сопротивления постоянному току контактов разъединителей и заземлителей



Рис. Комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией

### *Монтаж комплектных токопроводов*

Комплектные токопроводы служат для электрической связи турбогенераторов с повышающими трансформаторами или трансформаторов собственных нужд с РУ 6—10 кВ.

Токопроводы могут располагаться как внутри, так и снаружи помещения.

Токопровод с элегазовой изоляцией представляет последовательно соединенные газоизолированные отсеки, состоящие из алюминиевых шестиметровых секций с токоведущей шиной (например: диаметром 120 мм внутри для КРУЭ-330 кВ). Газоизолированные отсеки заполняются газовой смесью «элегаз-азот», выполняющей функцию изоляции.



Рис. Токопроводы КРУЭ



Рис. Токопровод КРУЭ наружный

## Кабельная техника

### *Силовые кабели низкого напряжения (до 1 кВ)*

По условиям эксплуатации кабели разделяются на 2 группы:

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

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

### *Силовые кабели среднего напряжения (до 35 кВ)*

Эти кабели применяются в распределительных сетях с изолированной нейтралью на напряжения 6, 10, 20 и 35 кВ. Основным напряжением распределительных сетей энергосистем России стран СНГ является напряжение 10 кВ и 35 кВ.

На сегодняшний день существует 2 типа силовых кабелей на среднее напряжение:

- силовые кабели с пропитанной бумажной изоляцией – кабели старого поколения;

- силовые кабели с экструдированной полимерной изоляцией (изоляция из сшитого полиэтилена) – кабели нового поколения.

На рисунке показана типовая конструкция кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на среднее напряжение.

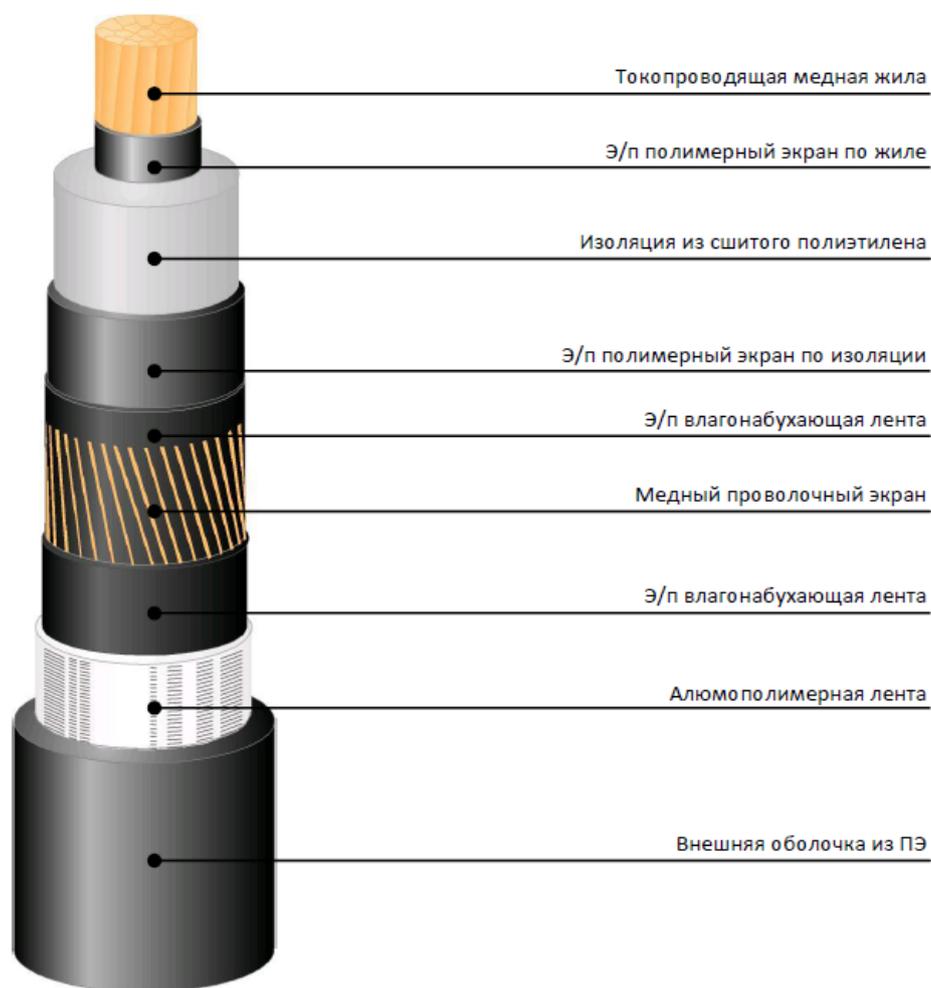


Рис. Типовая конструкция силового кабеля на среднее напряжение до 35 кВ.

#### *Силовые кабели высокого напряжения (до 500 кВ)*

К классу кабелей высокого напряжения относятся кабели на напряжение 110, (150), 220 кВ, 330, (380) и 500 кВ применительно к номинальным напряжениям систем электропередачи, принятых в России и странах СНГ.

Кабели высокого напряжения предназначены для передачи крупных мощностей электроэнергии (60 – 620 МВА) на указанных выше напряжениях. Области применения таких кабелей следующие:

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

На рисунке показана типовая конструкция кабеля на высокое напряжение.



Рис. Типовая конструкция кабеля на высокое напряжение.

### *Силовые кабели на высокое постоянное напряжение*

Несмотря на все достоинства кабелей переменного напряжения, имеется по крайней мере одна область, где их использование практически невозможно, а именно – передача электроэнергии на большие расстояния. Зарядный ток  $I_z$  (ток утечки через изоляцию кабеля) уменьшает передаваемую мощность. По достижении некоторой, так называемой критической величины  $I_{кр}$  ток  $I_z$  окажется равным допустимому току нагрузки на кабель, что сделает передачу энергии невозможной. Значения  $I_{кр}$  ориентировочно составляют несколько десятков километров.

Для кабелей постоянного тока  $I_z = 0$ , что и делает их привлекательными и часто единственно возможным техническим решением для передачи энергии на большие расстояния, в первую очередь – при пересечении больших водных пространств.

Помимо фактического отсутствия ограничений по длине передачи кабеля постоянного тока имеют целый ряд преимуществ по сравнению с кабелями переменного тока. Это более высокая надежность, обусловленная отсутствием некоторых механизмов старения, присущих изоляции, работающей при переменном напряжении, возможность реверса потока мощности и передача очень больших мощностей. Указанные преимущества весьма существенны для России, которая отличается большими пространствами, значительной неравномерностью размещения источников и потребителей электроэнергии, а также большим экспортом энергии.

### *Типы наружных покровов силовых кабелей*

На сегодняшний день существуют определенные требования к внешним защитным покровам силовых кабелей. Так, например, существуют требования по содержанию дыма при горении кабелей, требования по содержанию токсичных и химически активных элементов при горении кабелей. В зависимости от тех или иных требований или при их совокупности на сегодняшний день разработаны различные варианты исполнения внешней оболочки кабелей.

Классификация силовых кабелей в зависимости от типа наружной оболочки непосредственно связана с условиями прокладки, в которых предполагается прокладывать тот или иной кабель. Так, например, существуют трассы сложной конфигурации, где необходимо использовать кабель, имеющий внешнюю оболочку с повышенными механическими свойствами для того, чтобы избежать механических повреждений кабеля при его протяжке и укладке. Кроме того, зачастую бывают требования по пожаробезопасности, связанные с возможностью нахождения большого количества людей в местах, где проложены кабели и т.д.

### *Арматура силовых кабелей*

В настоящее время в энергосистемах применяются различные виды кабельной арматуры. Из них наиболее известны концевые и соединительные муфты, разновидностями которых для концевых муфт являются муфты элегазовых кабельных вводов, а для соединительных муфт – переходные и стопорные муфты. Многообразие конструктивных форм арматуры и особенностей.

### *Арматура силовых кабелей на среднее напряжение*

На сегодняшний день для современных кабельных систем на среднее напряжение, состоящих из силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, существует 2 принципиально отличающихся подхода в области конструирования кабельной арматуры:

- термоусаживаемая кабельная арматура;
- кабельная арматура холодной усадки.

В данный момент на кабельном рынке термоусаживаемая кабельная арматура представлена огромным количеством производителей. Так сложилось исторически. Большинство из представленной арматуры имеет традиционную конструкцию и как результат такая арматура имеет свои преимущества и недостатки, которые представлены ниже:

Преимущества термоусаживаемой кабельной арматуры на среднее напряжение:

- традиционная конструкция у большинства производителей;
- большое количество производителей кабельной арматуры на сегодняшнем рынке.

Недостатки термоусаживаемой кабельной арматуры на среднее напряжение:

- необходимость проведения огневых работ при монтаже;
- необходима высокая квалификация монтажников, выполняющих огневые работы;
- необходимость использования специальных инструментов (горелки и баллона с газом) для выполнения огневых работ.

Кабельная арматура холодной усадки принципиально отличается от термоусаживаемой арматуры. В качестве изоляционных тел и защитных внешних покровов в данном типе кабельной арматуры применяются специальные эластичные полимерные материалы, которые до монтажа находятся в растянутом состоянии. В процессе монтажа происходит усадка этих изоляционных частей на подготовленный кабель. Зачастую монтаж такой арматуры существенно проще и быстрее. Применение технологии холодной усадки позволяет такой арматуре совместно с кабелем «дышать» во время процессов нагрева и

охлаждения кабельной линии при эксплуатации, что обеспечивает надежное прилегание изоляционных частей арматуры к кабелю и исключает попадание влаги внутрь муфт. Это позволяет обеспечить дополнительную надежность кабельных систем на среднее напряжение при их эксплуатации. Кроме того, существует возможность устанавливать арматуру холодной усадки на изгибах кабельной трассы и в стесненных условиях. Ниже приведены основные преимущества и недостатки кабельной арматуры на среднее напряжение:

Преимущества кабельной арматуры холодной усадки:

- отсутствие необходимости выполнять огневые работы при монтаже;
- отсутствие необходимости в специальных инструментах для проведения огневых работ;
- относительная простота монтажа;
- возможность устанавливать кабельную арматуру на изгибах кабельной трассы и в стесненных условиях;
- кабельная арматура «дышит» совместно с кабелем при различных нагревах и охлаждениях кабельной линии при эксплуатации, тем самым обеспечивается плотное прилегание изоляционных частей арматуры к кабелю.

Недостатки кабельной арматуры холодной усадки:

- нетрадиционная конструкция;
- относительно небольшой круг производителей арматуры.

*Арматура силовых кабелей на высокое напряжение*

Кабельная арматура на высокое напряжение отличается большими размерами по сравнению с арматурой на среднее напряжение, а также имеет целый ряд особенностей. Так, концевые муфты на высокое напряжение в своей конструкции элемент, выравнивающий электрическое поле, и изоляционное масло в качестве изоляционной среды. На сегодняшний день известны следующие типы кабельной арматуры на высокое напряжение:

- концевые муфты наружной установки;
- соединительные муфты;
- соединительные транспозиционные муфты;
- элегазовые кабельные вводы в трансформаторы и КРУЭ.

В связи с большой стоимостью кабелей на высокое напряжение часто бывают ситуации, когда потребители по экономическим или другим соображениям не всегда имеют возможность быстрой и полной замены всей длины существующих кабельных линий на основе маслонаполненного кабеля на современные кабели с изоляцией из сшитого ПЭ. Поэтому энергосистемы зачастую вынуждены менять маслонаполненный кабель по участкам (по строительным длинам). В этой связи возникает задача соединения кабелей с разнородной электрической изоляцией, которая решается путем использования соединительных переходных муфт.

### **Требования к кабелям для применения на особо опасных объектах, в том числе на АЭС**

Помимо общих требований безопасности к кабелям и проводам, согласно техническим регламентам (ТР ТС 004/2011) установлен комплекс специальных технических требований к кабелям, применяемых на АЭС, с учетом их применения в различных помещениях по условиям внешней среды: то есть где возможны аварийные режимы при эксплуатации (гермозоны, технологические необслуживаемые помещения зоны строгого режима, технологические полубслуживаемые помещения - периодически обслуживаемые, зоны строгого режима) и помещения с «естественным фоном». В

стандарте **СТО СРО-С 60542960 00030-2014** дан перечень кабельных изделий применяемых на АЭС.

Согласно НП-001-15 кабельные изделия для АЭС делятся на группы

1. Терморационностойкие кабельные изделия для гермозоны АЭС.
2. Кабели для эксплуатации вне гермозоны АЭС.
3. Кабельные изделия для оборудования систем безопасности. (Класс 2).
4. Кабельные изделия для оборудования систем нормальной эксплуатации важных для безопасности (Класс 3).
5. Кабельные изделия общепромышленного исполнения для систем нормальной эксплуатации, которые по показателям надежности и пожаробезопасности удовлетворяют требованиям, установленным для АЭС (Класс 4)

*Общие требования безопасности к кабелям и проводам согласно требованиям ТР ТС 004/2011 следующие:*

1. Требования к конструкции.
  - 1.1 Устойчивость к воздействию внешних факторов механического и не механического характера
  - 1.2 Устойчивость к воздействию заданных климатических условий.
2. Требования электробезопасности.
  - 2.1 Необходимый уровень защиты от прямого или косвенного воздействия электрического тока.
  - 2.2 Исключение недопустимого нагрева при эксплуатации, приводящего к появлению опасностей.
  - 2.3 Кабели должны обладать необходимым уровнем изоляционной системы, соответствующего нормированному классу напряжения сети.
3. Требования пожарной безопасности
  - 3.1 Отсутствие опасности возникновения пожара в нормальных режимах эксплуатации.
  - 3.2 Отсутствие недопустимых рисков опасностей, обусловленных режимами перегрузки, аварийных режимов и отказов, вызванных внутренними и внешними факторами.
4. Требования экологической безопасности
  - 4.1 Кабели и провода должны обеспечивать необходимый уровень защиты от опасностей, вызванных биологическими факторами, в том числе при утилизации отходов и кабелей после вывода из эксплуатации.

*Маркировка кабельных изделий* нового поколения отражает их соответствие отдельным показателям пожарной безопасности или их совокупности и включает следующие буквенные индексы:

- «нг» – соответствие требованиям по нераспространению горения при групповой прокладке, установленным нормами ГОСТ Р МЭК 60332-3-10-2005
- «LS» (low smoke) – соответствие требованиям по дымогазовыделению при горении и тлении, установленным нормами МЭК 61034-1, 2; ГОСТ IEC 61034-2
- «HF» (halogen free) – соответствие требованиям по коррозионной активности продуктов дымо-газовыделения при горении, установленным нормами ГОСТ Р МЭК 60754-2; ГОСТ IEC 60754-1, 2
- «FR» (fire resistance) – соответствие требованиям по огнестойкости (сохранение функционирования при пожаре), установленным нормами ГОСТ Р МЭК 60331-11; 21; 23; 25. ГОСТ IEC 60331-21, ГОСТ IEC 60331-23
- «LTx» - соответствие требованиям по токсичности продуктов горения, установленными нормами ГОСТ 12.1.044-89.

### Огнестойкие кабели

Огнестойкие кабели могут быть разной конструкции. Главное их назначение как можно дольше оставаться в работоспособном состоянии.

Области применения огнестойких кабелей:

1. Электрические цепи систем безопасности АЭС
2. Системы пожарной сигнализации
3. Аварийное электроснабжение
4. Аварийное освещение, освещение запасных выходов
5. Внутренняя радиосеть
6. Оборудование системы дымоудаления и приточной вентиляции запасных выходов
7. Пожарные насосы (усилительные насосы пожарного водопровода)
8. Эвакуационные и пожарные лифты

Таблица. Конструкции огнестойких кабелей

Тип кабеля	Токопроводящая жила	Термический барьер	Основная изоляция	Оболочка
I	Медь	Слой из слюдосодержащих лент	HF-композиции	HF-композиции
II	Медь	-	Минеральная изоляция	Металлическая оболочка
III	Медь	-	Специальные рецептуры силиконовых резин	HF-композиции

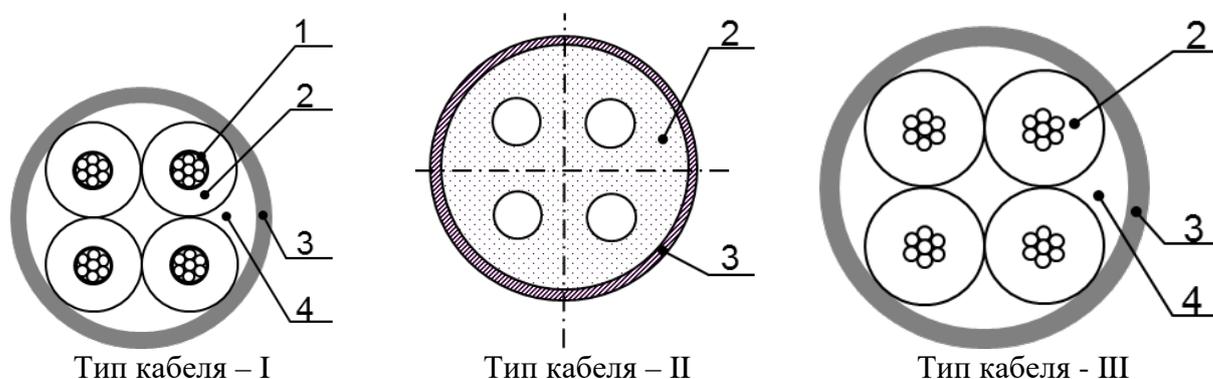


Рисунок. Конструкции огнестойких кабелей, 1 – термический барьер; 2 – основная изоляция; 3 – оболочка; 4 – заполнение.

### Монтаж кабельных линий

Кабели, которые используются на атомных электростанциях, должны соответствовать чрезвычайно высоким требованиям. На АЭС в большом количестве есть разные специальные помещения, коридоры, камеры. В них поддерживается разная температура, давление. Это обуславливает необходимость прокладки кабелей в туннелях, каналах, шахтах, коробах. Чтобы обеспечить максимальную безопасность при аварийных ситуациях, кабели систем безопасности прокладывают по отдельным трассам, которые разделяют огнеупорными пере-

городками. Помимо этого, в зданиях первого контура ядерного реактора трассы кабелей защищают экранами из железобетона от механических повреждений.

Виды кабельных сооружений:

- кабельный туннель,
- кабельный канал,
- кабельная шахта,
- кабельный этаж,
- кабельная эстакада,
- кабельная галерея.

Прокладка силовых кабелей в траншеях допускается только к удаленным вспомогательным объектам при количестве не более шести.

По способу прокладки кабельные линии делятся на кабельные линии, проложенные:

- в траншеях в земле;
- на кабельных металлоконструкциях (КМК);
- в трубах;
- с креплением скобами по стене;
- с креплением на тросе.

Условия эксплуатации кабельных трасс и линий, в соответствии с классификацией НП-001-15, предполагает их использование на АЭС для:

- гермозоны;
- систем безопасности;
- систем нормальной эксплуатации важных для безопасности;
- систем нормальной эксплуатации.

Кабельные изделия для АС должны изготавливаться с медными или медными лужеными токопроводящими жилами. Возможность изготовления кабелей силовых с алюминиевыми жилами для использования вне гермозоны АС определяется Заказчиком, исходя из технической и экономической целесообразности, по согласованию с Генпроектировщиком АС.

Кабельные линии, прокладываемые на площадке АС, следует подразделять по функциональному назначению систем безопасности, для которых они предназначены на:

- защитные,
- локализирующие,
- обеспечивающие,
- управляющие.

Кабельные изделия должны быть стойкими к возникновению и распространению горения при аварийных режимах работы (коротком замыкании, перегрузках), а также удовлетворять комплексу технических требований по показателям пожарной безопасности, надежности, сейсмостойкости и стойкости к внешним воздействующим факторам в зоне применения.

Конкретное значение вероятности возникновения пожара на кабельной линии зависит от условий ее работы и функции системы безопасности, в которой она эксплуатируется, и устанавливается соответствующими нормативными документами (НД). Утверждена номенклатура кабельных изделий, предназначенных для прокладки в кабельных сооружениях и технологических помещениях АС, разрешенных для применения на АС, содержит марки кабелей, проводов и арматуры к ним, перечень основных типоразмеров, класс пожарной опасности по **ГОСТ 31565-2012**, нормативную документацию на них, а также допустимые условия применения. Полный перечень характеристик кабелей, проводов и арматуры к ним, в том числе особенности конструктивного исполнения, электрические,

механические параметры, эксплуатационные свойства кабельных изделий, разрешенных для применения на АС, указаны в ГОСТах и ТУ, по которым осуществляется их производство (СТО СРО-С 60542960 00030-2014).

Подробно о требованиях при прокладке кабельных линий на объедках использования атомной энергии сказано в стандарте **СТО 95 140 – 2013**.

К началу работ по прокладке кабелей, должны быть полностью закончены строительные работы, включая установку закладных деталей для закрепления кабельных конструкций.

Условия работы кабельных линий зависит от характера окружающей среды в зоне прокладки кабеля. В соответствии с этими условиями и выбираются: способы прокладки, тип кабеля и КМК.

Конструкции для прокладки кабельных линий, как правило, должны выполняться из негорючего материала.

В качестве материала для изготовления кабельных конструкций возможно использовать оцинкованную, углеродистую или нержавеющую сталь.

Для прокладки одиночных кабелей в административных и бытовых помещениях допускается использовать короба на основе пластических масс, имеющих сертификаты Российской Федерации установленного образца (гигиенический, соответствия техническому регламенту).



Рис. Установка кабельных металлоконструкций

Кабельные конструкции иностранного производства, применяемые для монтажа кабелей, должны пройти необходимую процедуру сертификации в соответствии с **Постановлением Правительства РФ от 23.12.2021 № 2425**.

КМК, устанавливаемые в зоне свободного и контролируемого доступа, рекомендуется изготавливать из оцинкованной углеродистой стали, толщина слоя цинкового покрытия не менее 80 мкм; в гермозоне из коррозионно-стойкой стали или с химически стойким к дезактивирующим растворам негорючим покрытием и должны выдерживать многократные орошения дезактивирующими растворами (СТО СРО-С 60542960 00030-2014). Поврежденные оцинкованные покрытия необходимо восстанавливать.

Конструкция узлов соединения должна создавать непрерывную электрическую цепь между всеми элементами КМК для целей электробезопасности и электромагнитной совместимости кабельных трасс.

### ***Способы прокладки кабельных линий***

Прокладку КЛ возможно осуществлять ручным и механизированным способом, в соответствии с ППР. Ручная прокладка применяется на небольших длинах кабелей, имеющих малый вес. В этом случае кабель разматывается с барабана или бухты и протягивается по расставленным по трассе линейным и угловым роликам вручную. В остальных случаях применяется механизированная прокладка. При этом тяжение осуществляют за конец кабеля с помощью кабельного чулка или кабельного захвата тросом тяговой лебедки по роликам, при этом производится постоянный контроль усилия тяжения. При прокладке высоковольтного кабеля (110-220 кВ) необходимо присутствие представителя завода-изготовителя (шеф-инженера).

До начала прокладки кабеля устроены подъезды и подходы к местам установки лебедки и кабельного барабана, подготовлены площадки для установки кабельного барабана. Все погрузочно-разгрузочные работы выполняются с соблюдением требований правил безопасности. Раскрутка кабеля с кабельного барабана, установленного на домкратах, ведется только сверху.

До начала работ по прокладке кабельной линии на КМК, они должны быть смонтированы и промаркированы, согласно рабочему проекту.

В кабельных сооружениях кабели, как правило, следует прокладывать целыми строительными длинами в соответствии со следующими требованиями:

- контрольные кабели и кабели связи следует размещать только под/ над силовыми кабелями; при этом их следует отделять перегородкой;
- контрольные кабели допускается прокладывать рядом с силовыми кабелями до 1 кВ;
- силовые кабели до 1 кВ рекомендуется прокладывать над кабелями напряжением выше 1 кВ, при этом их следует отделять перегородкой;
- различные группы кабелей: рабочие и резервные, питающие электроприемники I категории, рекомендуется прокладывать на разных уровнях и отделять перегородками.
- разделительные перегородки следует предусматривать из негорючих материалов с пределом огнестойкости не менее EI 15;
- Прокладка контрольных кабелей допускается пучками на лотках и многослойно в металлических коробах при соблюдении следующих условий:
  - ✓ высота слоев в одном коробе не должна превышать 150 мм;
  - ✓ в пучках и многослойно должны прокладываться кабели с однотипными оболочками, при этом наружный диаметр пучка кабелей должен быть не более 100 мм;
- в каждом направлении кабельной трассы следует предусматривать запас емкости не менее 15% общей емкости коробов.

Прокладка силовых кабелей пучками и многослойно не допускается.

Кабель, прокладываемый по конструкциям следует закреплять в конечных точках, на поворотах трассы (с обеих сторон изгиба на расстоянии не более 0,5 м), на остальных участках трассы – в местах расположенных по длине кабельной линии с шагом не более 10 м. Кабели, прокладываемые вертикально по конструкциям, должны быть закреплены на каждой кабельной конструкции с шагом 1 м.

Для защиты кабелей от механических повреждений на высоте до 2 м от пола кабель необходимо проложить в трубе или защитить кожухом.

При прокладке кабельной линии кабели трех фаз должны располагаться треугольником (для 6 (10) кВ), (либо в одной плоскости) и скрепляться вместе с шагом 1-1,5м

### ***Высоковольтные кабели***

Кабели следует укладывать с запасом по длине 1-2 %. В траншеях и на сплошных поверхностях внутри зданий и сооружений запас достигается путем укладки кабеля "змейкой", а по кабельным конструкциям (кронштейнам) этот запас используют для образования стрелы провеса.

Проложенный в траншее кабель должен быть присыпан первым слоем земли, уложена механическая защита или сигнальная лента (на высоте 250 мм от верха кабелей), после чего представителями электромонтажной и строительной организаций совместно с представителем заказчика должен быть произведен осмотр трассы с составлением акта на скрытые работы.

Кабели, проложенные на кабельных конструкциях с пролетом между ними 0,8-1 м, должны быть закреплены на всех опорах алюминиевыми скобами с прокладкой двух слоев резины толщиной 2 мм, если нет иных указаний в рабочей документации.

Укладывать запас кабеля в виде колец (витков) не допускается.

### ***Одножильный высоковольтный кабель***

При прокладке в земле треугольником кабели прокладываются вплотную. При прокладке кабелей треугольником на воздухе рекомендуемое расстояние между кабелями «в свету» 25 см.

При расположении одножильных кабелей в плоскости рекомендуемое расстояние между осями кабелей – диаметр «в свету».

### ***Монтаж кабельных муфт и концевых заделок***

Выбор типа кабельных муфт и концевых заделок зависит от условий в месте их установки и определяется рабочей документацией. Показатели пожарной безопасности кабельных муфт (далее - муфт) должны соответствовать показателям пожарной безопасности кабельных изделий по ГОСТ 31565-2012, в соединениях которых применяются данные муфты.

Разделка конца кабеля заключается в последовательном и ступенчатом удалении на определенной длине защитных покровов. Разделка концов кабеля должна выполняться с соблюдением указаний заводов-изготовителей. Размеры разделки определяются конструкцией муфты или заделки, напряжением кабеля и сечением его жил.

### ***Герметичные кабельные вводы (гермопроходки)***

Гермопроходки предусматриваемые в проектных решениях, должны иметь предел огнестойкости не менее предела огнестойкости пересекаемой противопожарной преграды (конструкции). При этом в местах пересечения кабелей ограждающих конструкций реакторного отделения (межбололочного пространства) должны применяться гермопроходки с пределами огнестойкости не менее пределов огнестойкости ограждающих конструкций, но не более IET120 по ГОСТ Р 53310.



Рис. Герметичные кабельные вводы (гермопроходки)

### ***Маркировка кабельных линий***

Для временной маркировки кабеля рекомендуется использовать пластиковые бирки : с нанесением данных о кабеле несмываемым маркером

- квадратной формы для силовых кабелей 0,4 кВ,
- круглой формы для силовых кабелей 6-20 кВ,
- треугольной формы для контрольных кабелей.

Для постоянной маркировки проложенных кабелей рекомендуется устанавливать маркировочные кабельные бирки:

- белого (контрольные кабели),
- желтого (силовые кабели свыше 1 кВ)
- серого цвета (силовые кабели до 1 кВ).

Маркировочные кабельные бирки закрепляют на кабелях на прямых участках с шагом 50 м, в местах ввода кабеля к оборудованию, при проходе кабеля через стены и перекрытия (с обеих сторон), а также в местах ответвлений трасс (до и после ответвления) в соответствии с требованиями ПУЭ.

Для кабелей, проложенных в помещениях, где предусматривается обработка дезактивационными растворами, а так же кабелей проложенных по кабельным трассам, подверженных воздействию окружающей среды, рекомендуется использовать бирки из коррозионно-стойкой стали с нанесением на них информации ударным методом.

Содержание информации на маркировочных кабельных бирках:

- монтажная марка кабеля по кабельному журналу;
- адреса «откуда-куда» по кабельному журналу;
- заводская марка кабеля;
- длина проложенного кабеля.

В кабельных журналах в графе «трассировка» для всех кабелей указывается место прокладки кабеля на каждой трассе, участке, полке. Номер конструкции указывается сверху вниз.

### ***Противопожарная защита кабелей и кабельных трасс***

Защита кабельных сооружений, трасс и линий, предусматриваемых на АС, осуществляется в соответствии с требованиями НД по противопожарной тематике, содержащих требования по данному вопросу.

На основании приведенных документов различают три вида защиты кабельных сооружений, трасс и линий:

- конструктивная - использование облицовочных и строительных материалов и разделение каналов систем безопасности, систем нормальной эксплуатации, важных для безопасности, и систем нормальной эксплуатации на разные трассы, прокладываемые по разным кабельным сооружениям;

- огнезащитными покрытиями (использование различных огнезащитных составов: красок, покрытий и т.п.);

- автоматическими системами обнаружения и тушения пожара.

Применение огнезащитных составов допускается также для повышения пределов огнестойкости кабельных конструкций.

Облицовочные материалы должны применяться для изготовления самостоятельных конструкций:

- огнестойких кабельных каналов (коробов);
- узлов и деталей огнестойких каналов (коробов);
- узлов заделок проходок кабелей и коробов (каналов) через стены;
- огнепреградительных поясов, а также облицовок каналов из листовой стали.

Покрытие кабелей огнезащитными составами, как правило, следует применять для кабельных линий, прокладываемых в:

- непроходных кабельных каналах;
- отсеках двойных полов площадью не превышающей 100 м<sup>2</sup>;
- технологических галереях и машинных залах АС;
- кабельных сооружениях, где по условиям технологии и компоновочным решениям невозможно/нецелесообразно применение установок пожаротушения;
- в кабельных сооружениях действующих энергоблоков, не оборудованных установками автоматического пожаротушения, при применении кабелей, не обеспечивающих нераспространение горения или огнестойкость.

Огнезащитные составы по способу действия подразделяются на:

- терморасширяющиеся – основано на применении вспучивающихся органических и неорганических материалов;
- абляционных (не вспучивающихся) – основано на применении водных растворов и органических растворителей.

Кабельные короба, используемые для прокладки кабелей, должны иметь противопожарные перегородки и уплотнения:

- на горизонтальной длине через каждые 30 м;
- на вертикальных участках через каждые 20 м и переходе через каждое перекрытие;
- в местах разветвления кабельных коробов.

Кабельные шахты, в местах прохода через каждое перекрытие, но не реже, чем через каждые 20 м, должны предусматриваться перегородки из несгораемых материалов.

Места входа кабелей в помещения закрытых распределительных устройств и щитов управления должны иметь перегородки с пределом огнестойкости не менее EI45.

До начала прокладки кабеля все проходки, проемы в кабельных помещениях должны быть заделаны временным противопожарным уплотнением. В процессе прокладки кабеля в конце каждой смены демонтированные временные уплотнения должны восстанавливаться.

Для препятствия распространения горения огнезащитным составом следует покрывать:

- всю поверхность силовых, одиночных кабелей и кабелей связи;
- всю доступную внешнюю поверхность ряда кабелей, проложенных в коробах и лотках многослойно;
- наружную поверхность контрольных кабелей, уложенных пучками.

В металлических коробах любого типа запрещается приварка крышек

### ***Контроль качества выполненных работ по монтажу кабельных линий***

Контроль качества выполняемых работ необходимо осуществлять при следующих видах строительного контроля:

- входной контроль оборудования, кабельной продукции, комплектующих, изделий и материалов;
- операционный контроль;
- инспекционный контроль;
- приемочный контроль.

Операционный контроль при выполнении работ по монтажу кабельных линий осуществляется на этапах работ, согласно технологии, и отражается в схемах операционного контроля качества (СОКК) в проекте производства работ (ППР).

Контроль монтажа кабельной продукции ведется в соответствии с нормативно-технической документацией (РД, ППР, СП 76.13330.2016, ПУЭ, Инструкции).

Контролируются:

- измерение сопротивления изоляции прокладываемого кабеля до начала прокладки (заводская документация, акты измерения сопротивления изоляции);
- правильность раскладки кабеля (РД);
- раскатка кабеля, предельные усилия (СП 76.13330.2016, Инструкции);
- радиус изгиба кабеля (измеряется линейкой, радиус не должен быть меньше указанного в заводской документации для проложенного типа кабеля);
- расстояние между точками крепления кабеля (допустимое отклонение  $\pm 100$  мм);
- контроль отсутствия механических повреждений;
- измерение сопротивления изоляции кабеля после прокладки (заводская документация, акты измерения сопротивления изоляции);
- маркировка;
- восстановление огнезащитных уплотнений;

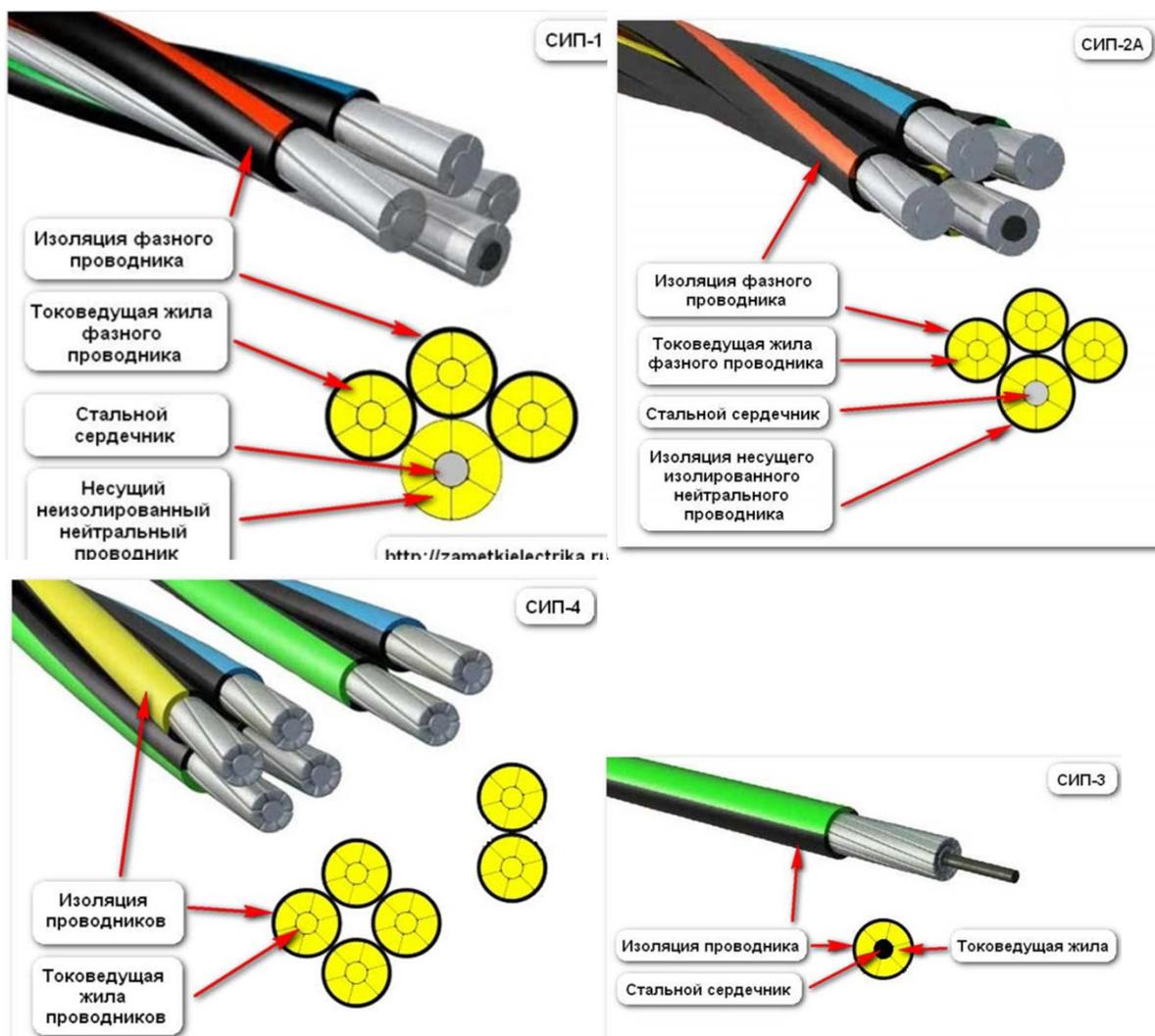
- соблюдение технологии монтажа соединительных и концевых муфт, согласно требованиям заводской документации.

### Самонесущие изолированные провода

Конструкция - с изолированной или голой несущей нейтралью) состоит из медной или алюминиевой проводниковой многопроволочной жилы, окруженной внутренним полупроводниковым экструдированным экраном, затем — изоляцией из шитого полиэтилена, полиэтилена или ПВХ.

Герметичность обеспечивается порошком и компаундированной лентой, поверх которых расположен металлический экран из меди или алюминия в виде спирально уложенных нитей или ленты, с использованием экструдированного свинца.

Поверх подушки кабельной брони, выполненной из бумаги, ПВХ, полиэтилена, делают броню из алюминия в виде сетки из полосок и нитей. Внешняя защита выполнена из ПВХ, полиэтилена без галогена.



## Преимущества:

- Высокая надежность и бесперебойное обеспечение потребителей электроэнергией.
- Сокращение эксплуатационных расходов за счет исключения систематической расчистки трасс, замены поврежденных изоляторов.
- Снижение энергопотерь в линии вследствие уменьшения реактивного сопротивления (0,1 Ом/км по сравнению с 0,35 Ом/км для неизолированных проводов).
- Возможность совместной подвески на опорах проводов с разным уровнем напряжения и с телефонными линиями
- Простота монтажа и ремонта, особенно при работах под напряжением.
- Сокращение объемов аварийно-восстановительных работ.
- Отсутствие или незначительное обрастание гололедом и мокрым снегом изолированной поверхности проводов
- Возможность сооружения ЛЭП без вырубki просек.
- Возможность монтажа ЛЭП по фасадам зданий, что может исключить установку части опор, загромождающих тротуары, и улучшить общую эстетику в городских условиях.
- Исключение опасности возникновения пожаров в случае падения проводов на землю.
- Исключение возможности короткого замыкания между фазными проводами или на землю.
- Высокая безопасность обслуживания и отсутствие риска поражения при касании фазных проводов, находящихся под напряжением.
- Безопасность работ вблизи ЛЭП.
- Снижение вероятности хищения электроэнергии и разрушения.
- Использование сталеалюминиевой жилы придает прочность. Удобнее для монтажа, отсутствует провисание
- Использование в качестве изоляции сшитого полиэтилена позволяет увеличить допустимую температуру нагрева жил в нормальном режиме в 2 раза, в режиме перегрузки - в 1,5 раза, при коротком замыкании с протеканием тока КЗ - в 2 раза.
- Возможность применения в ЛЭП классов напряжения 0,6/1 кВ и 20 кВ при температуре от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ .

## Нормативно-техническая документация

1. ТР ТС 004/2011. «О безопасности низковольтного оборудования».
2. ПУЭ
3. НП-001-15 Общие положения обеспечения безопасности атомных станций
4. СП 76.13330.2016 "Электротехнические устройства"
5. СТО СРО-С 60542960 00030-2014. Требования к противопожарной защите кабельных трасс и кабельных сооружений при проектировании, строительстве и эксплуатации АЭС. Москва 2014 г.
6. СТО 95 140 – 2013. Требования к организации электромонтажных работ на ОИАЭ. Монтаж кабельных электрических линий
7. Постановление Правительства РФ от 23.12.2021 № 2425
8. ГОСТ 31565-2012 Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности