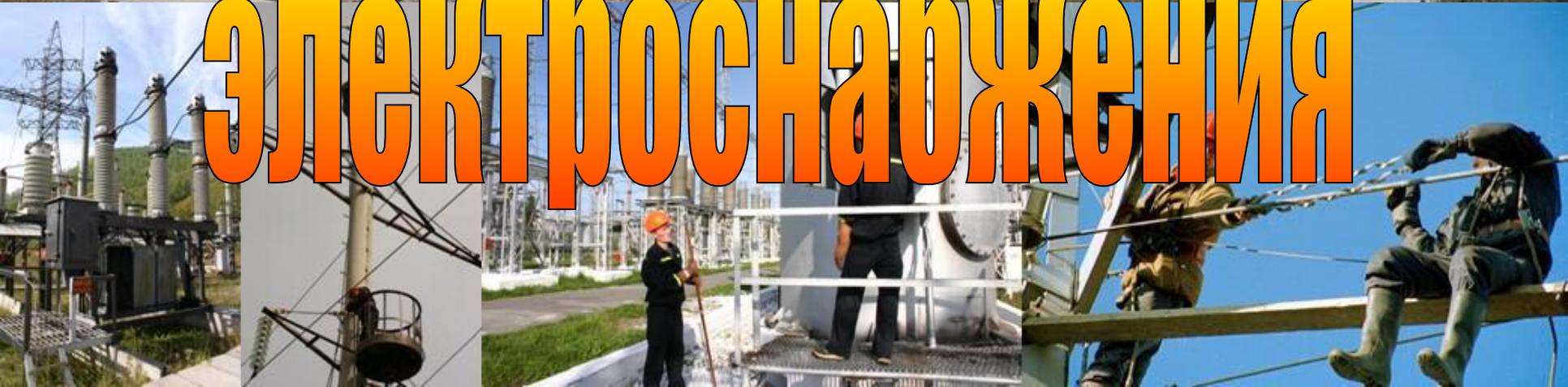


# Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения





## **Костин Владимир Николаевич,**

профессор кафедры электроснабжения ([kostin\\_vn@mail.ru](mailto:kostin_vn@mail.ru)).

Проводит все виды учебных занятий по дисциплинам:

Оптимизационные задачи электроэнергетики;

Электропитающие системы и электрические сети;

Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения.

Имеет более пятидесяти научных и учебно-методических работ.

Руководит дипломным проектированием.

Преподавательский стаж более 30 лет.

# Содержание курса

**Лекции**

**Контрольная работа**

**Зачет**



# *Структура курса*

- ❑ **Монтаж и эксплуатация воздушных линий электропередачи**
- ❑ **Монтаж и эксплуатация кабельных линий электропередачи**
- ❑ **Монтаж и эксплуатация трансформаторов**
- ❑ **Монтаж и эксплуатация оборудования распределительных устройств**

# Литература

---

- Костин В. Н. Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения. Учебное пособие. – СПб.: СЗТУ, 2007.
  - Костин В.Н. Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения. Учебно-методический комплекс. СПб.: СЗТУ, 2007.
  - Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – СПб.: АНО ОУ УМИТЦ, 2003.
-

- 
- Доступ к электронным документам библиотеки предоставляется только в авторизованном режиме. Студенты СЗТУ могут **БЕСПЛАТНО** получить пароль для авторизации в Читальном зале или Медиатеке университета.
  - Иногородние студенты могут узнать свой пароль, отослав письмо с ФИО, номером паспорта и номером зачётной книжки по электронному адресу [e-delivery\\_nwpi@mail.ru](mailto:e-delivery_nwpi@mail.ru)
-

# Введение

- **Электрооборудование** — это совокупность электротехнических устройств, предназначенных для выполнения определенных функций. Состояние электрооборудования, выполняющего функцию электропитания, во многом определяет эффективность основного производства. Выход из строя оборудования системы электропитания может повлечь за собой опасность для жизни людей, расстройство сложного технологического процесса, массовый недоотпуск продукции. Поэтому одной из главных целей монтажа и последующей эксплуатации электрооборудования является обеспечение требуемого уровня его надежности в течение всего срока службы.
- **От качества электромонтажных работ** зависит уровень надежности оборудования, достижение им проектных технико-экономических показателей. Поэтому электромонтажные работы должны проводиться при высоком уровне инженерной подготовки, с максимальным переносом этих работ из монтажной зоны на электромонтажные заводы. Непосредственно в монтажной зоне работы должны сводиться к монтажу комплектного и крупноблочного оборудования.

- **В процессе эксплуатации** под воздействием окружающей среды и эксплуатационных режимов работы происходит постепенный износ оборудования. Поддерживание работоспособности оборудования осуществляется за счет его технического обслуживания, при котором выполняются периодические **осмотры, профилактические измерения, испытания, диагностика** состояния оборудования, устраняются выявленные дефекты и неисправности.
- Наиболее действенным средством поддержания оборудования в требуемом техническом состоянии, восстановления работоспособности и продления срока эксплуатации является **ремонт**, требующий для своего осуществления материальных затрат. Поэтому правильный выбор системы обслуживания и ремонта оборудования снижает себестоимость основной продукции предприятия.
- Качественный ремонт оборудования может быть выполнен только в специализированном подразделении или на предприятии с высоким уровнем технологической дисциплины.

# Раздел 1. Монтаж электрооборудования

---

- **Монтаж воздушных линий**
- **Монтаж кабельных линий**
- **Монтаж трансформаторов**
- **Монтаж оборудования распределительных устройств**



# Монтаж воздушных линий

- ❑ Подготовительные работы.
- ❑ Сборка и установка опор.
- ❑ Монтаж проводов.
- ❑ Монтаж оборудования ВЛ.
- ❑ Приемка ВЛ в эксплуатацию.



# Подготовительные работы

- ❖ Получение разрешения на ведение работ по трассе ВЛ, включая территории лесных массивов и сельскохозяйственных угодий.
- ❖ Подготовка временных помещений для размещения монтажных бригад.
- ❖ Организация временных баз для складирования материалов.



- ❖ Проверка состояния дорог и подъездных путей к трассе ВЛ.
- ❖ Расчистка полосы земли вдоль трассы, прорубка просек.
- ❖ Снос предусмотренных проектом строений, находящихся на трассе ВЛ.
- ❖ Производственный пикетаж — установка вдоль трассы ВЛ пикетов, отмечающих будущие места установки опор.



- ❖ Транспортировка материалов в район прохождения ВЛ:
  - ❑ перевозка опор на трассу ВЛ осуществляется специальными опоровозами;
  - ❑ барабаны с проводом перевозят в вертикальном положении, закрепленными в кузове автотранспорта растяжками из стальной проволоки;
  - ❑ изоляторы, предварительно проверенные и собранные в гирлянды требуемой длины, транспортируются на трассу ВЛ в деревянных контейнерах.



❖ Поставка строительной техники на трассу ВЛ осуществляется своим ходом или на специальном грузовом транспорте.



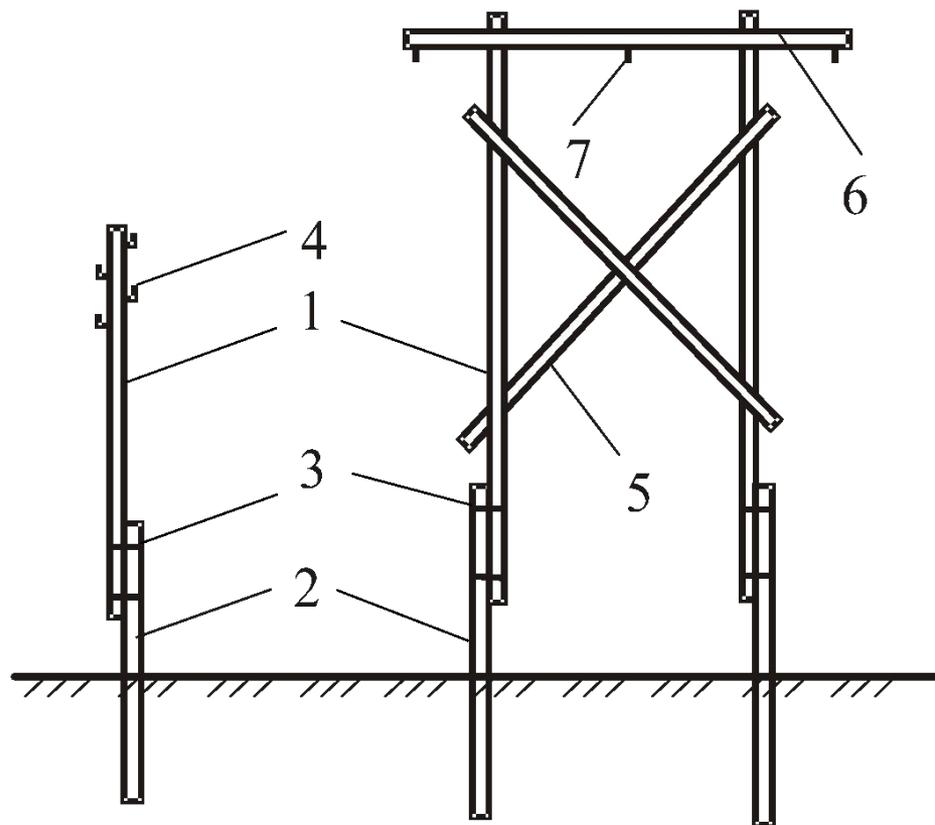
# Сборка и установка опор

## **Сборка деревянных опор.**

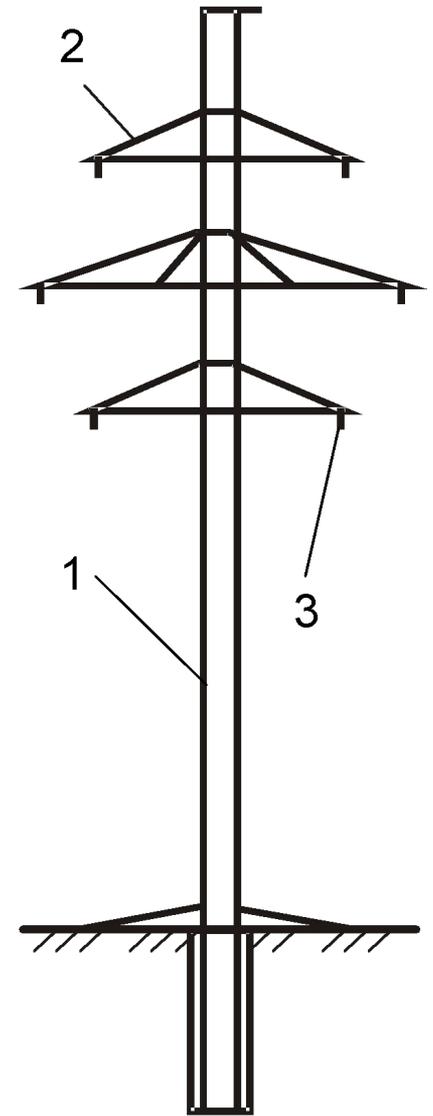
Стойки 1 деревянных опор соединяются с железобетонными приставками 2 с помощью бандажей из стальной проволоки или стальных хомутов 3.

Деревянные опоры для ВЛ напряжением 35 кВ и выше поставляются отдельными элементами (стойки 1, траверса 6, раскосы 5), сборка которых между собой выполняется с помощью болтовых соединений.

В стойках и траверсах опор устанавливаются элементы цепной арматуры 4 и 7.



- **Сборка железобетонных опор.** На стойках 1 железобетонных опор с помощью специальных хомутов монтируются стальные траверсы 2.
- Для ВЛ напряжением до 10 кВ траверсы имеют штыри, на которые с помощью полиэтиленовых колпачков армируются штыревые изоляторы.
- Для ВЛ напряжением 35 кВ и выше на концы траверс 2 устанавливаются элементы цепной арматуры 3.

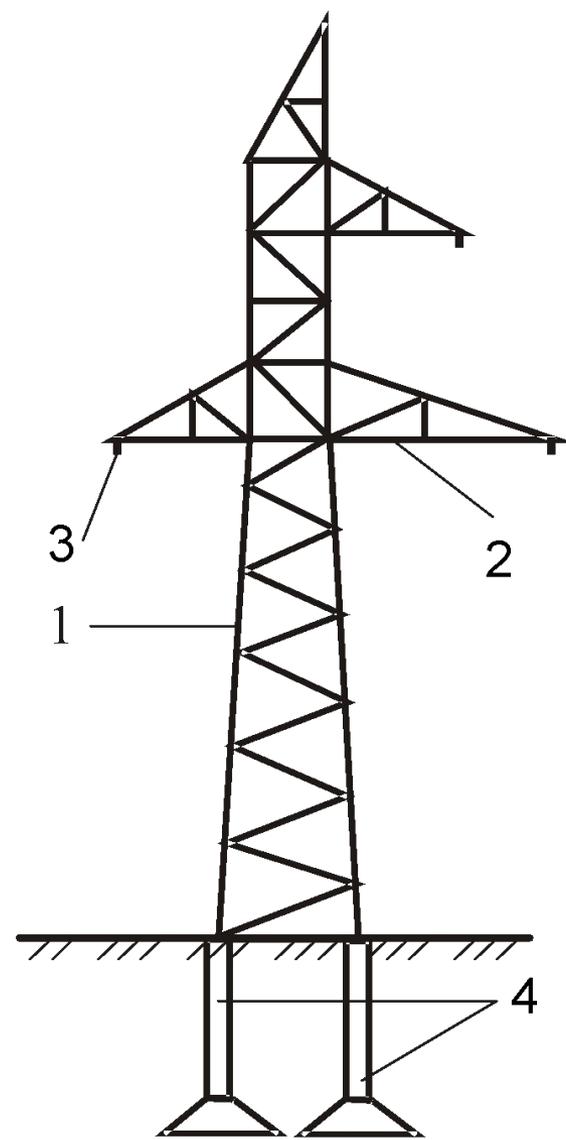


- **Сборка стальных опор.**

Металлические опоры поставляются отдельными элементами, сборка которых между собой выполняется с помощью болтовых соединений.

- После завершения сборки металлических опор производится восстановление их антикоррозийного покрытия в местах его повреждения при транспортировке и сборке.

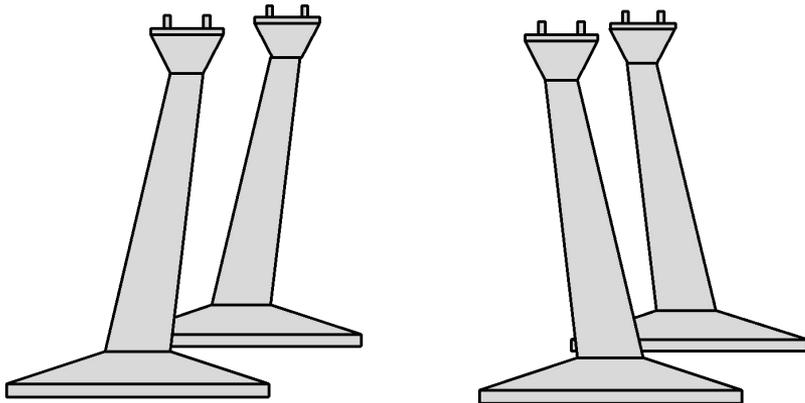
- Сборка опор выполняется по возможности ближе к месту ее будущей установки. При сборке применяются автокраны, домкраты и другие механизмы и инструменты.



- Сборка стальных опор



- **Фундаменты опор.** Металлические опоры устанавливаются на железобетонные фундаменты (подножки) или сваи. Котлованы под фундаменты металлических опор разрабатываются экскаваторами.
- Одновременно с устройством фундаментов выполняется **монтаж заземляющих устройств.**
- Верхние части железобетонных фундаментов нивелируются по горизонтали и на них устанавливается жесткий **шаблон**, соответствующий размерам нижней части металлической опоры. Шаблон снимается после засыпки котлованов.



- Железобетонные и деревянные опоры устанавливаются без фундаментов.
- Котлованы для деревянных и железобетонных опор разрабатываются специальными буровыми машинами.



- **Установка опор.** Опоры устанавливаются с помощью подъемного крана соответствующих грузоподъемности и вылета стрелы.



- При установке опоры выверяется ее вертикальное положение.

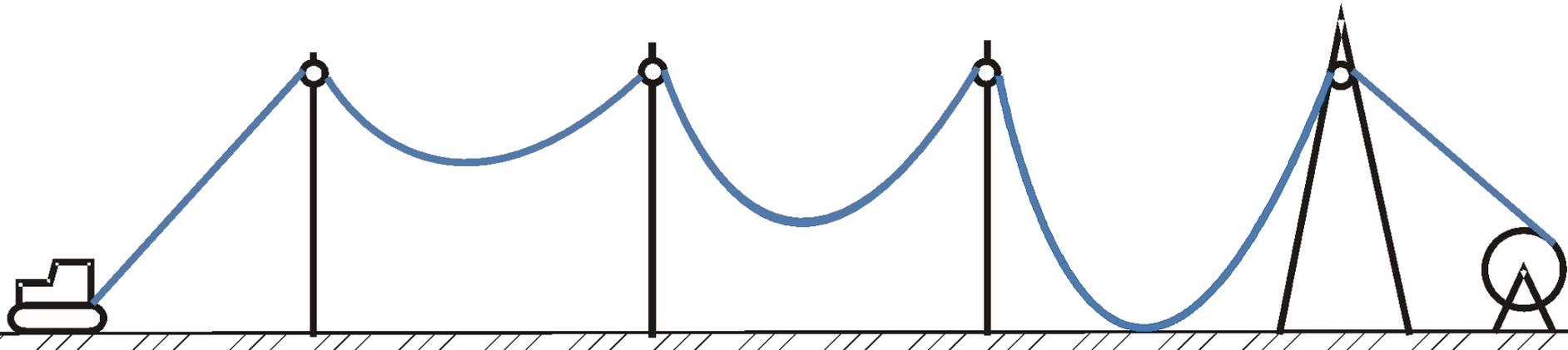
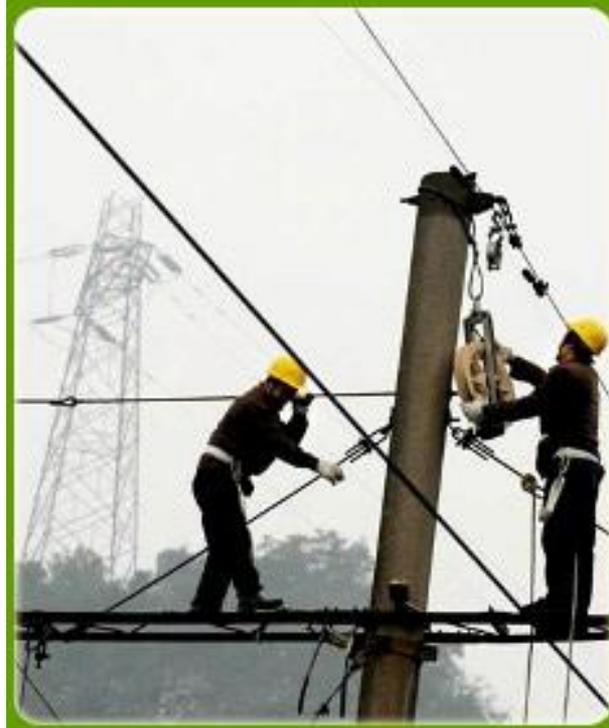


# Монтаж проводов

- Монтаж проводов (тросов) выполняется отдельно в каждом анкерном пролете ВЛ и состоит из следующих основных операций:
  - ❖ раскатки проводов, включая их соединения и подъем на опоры;
  - ❖ натяжения проводов с регулировкой стрелы провеса;
  - ❖ крепления проводов к изоляторам.



- Перед раскаткой проводов к опорам крепятся монтажные ролики, на которые вывешивается провод в процессе раскатки.



- **Монтаж проводов ВЛ**



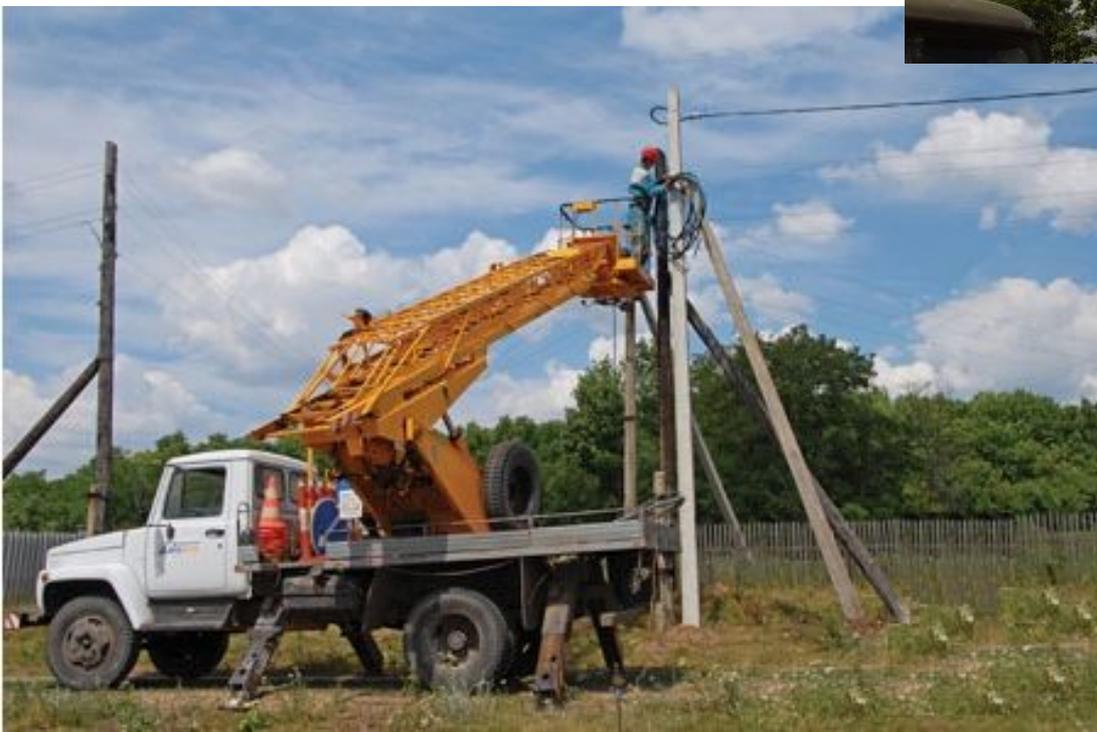
- **Монтаж проводов ВЛ-10 кВ**



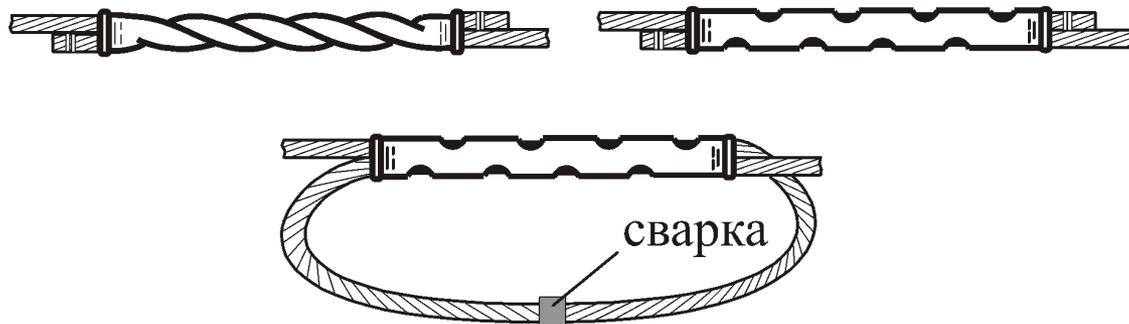
- При монтаже СИП не следует допускать повреждения изолирующего покрытия.
- 



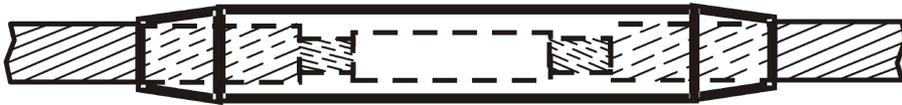
- **Монтаж СИП**



- При раскатке проводов производится их **соединение**.
- Алюминиевые и сталеалюминиевые провода сечением **до 185 мм<sup>2</sup>** соединяются с помощью **овальных соединителей**.



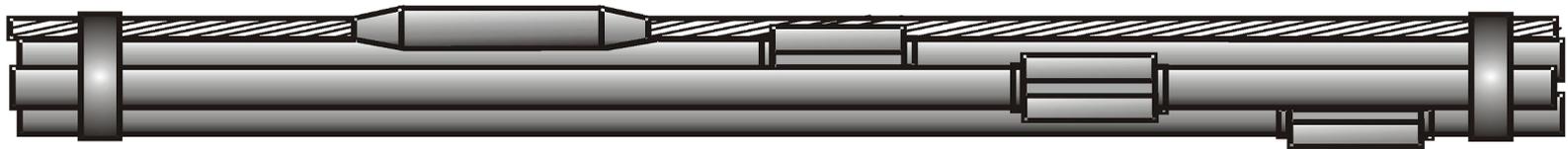
- Сталеалюминиевые провода сечением  $240 \text{ мм}^2$  и более соединяются с помощью **прессуемых соединителей**.



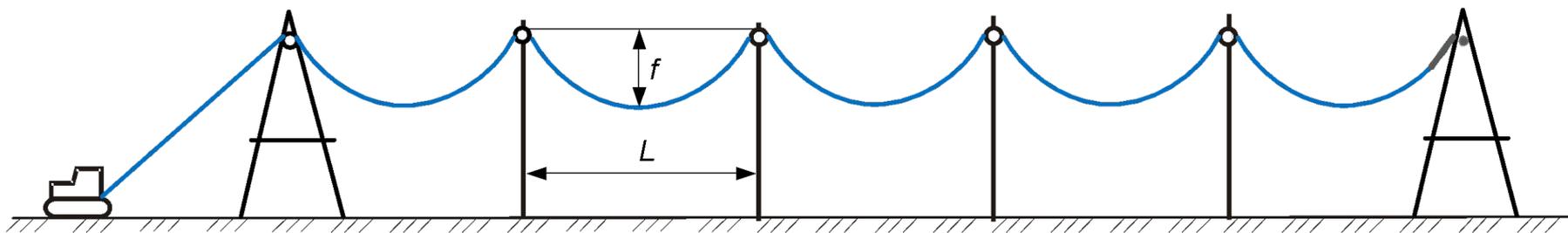
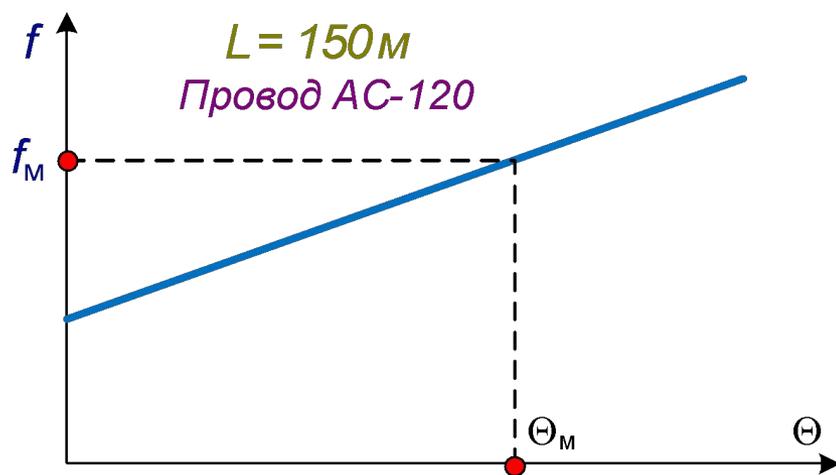
- В одном пролете ВЛ допускается не более одного соединения на провод каждой фазы.



- Для соединения СИП применяются, как правило, прессуемые соединители.
- Места соединения защищают изолирующими предохранительными футлярами из стойкой к атмосферным воздействиям и ультрафиолетовому излучению пластмассы.



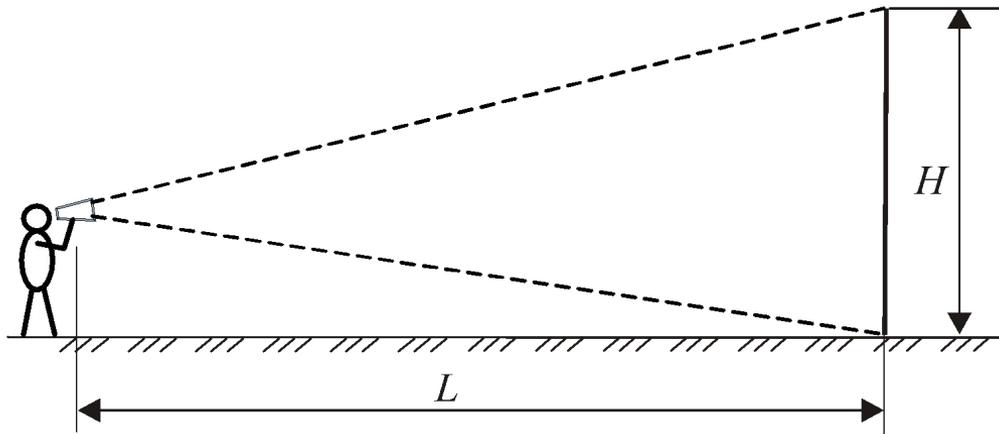
- **Натяжение проводов** выполняют с помощью тягового механизма (трактора, лебедки).
- При натяжении проводов регулируются их стрела провеса  $f$  в соответствии с монтажным графиком.



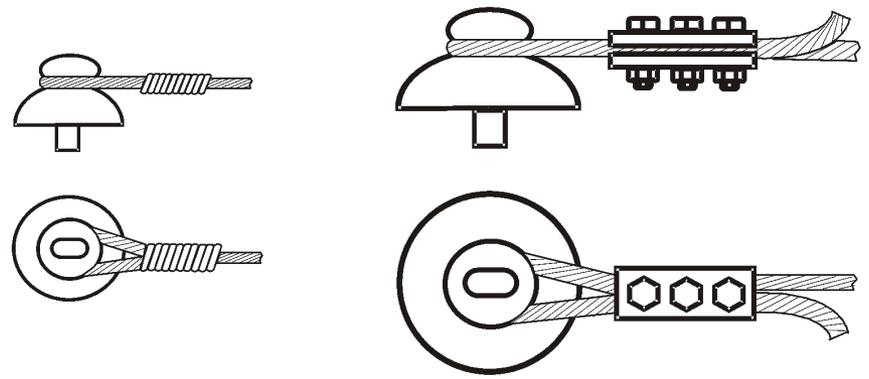
- Измерение стрел провеса проводов может выполняться различным образом, в частности, карманным высотомером.



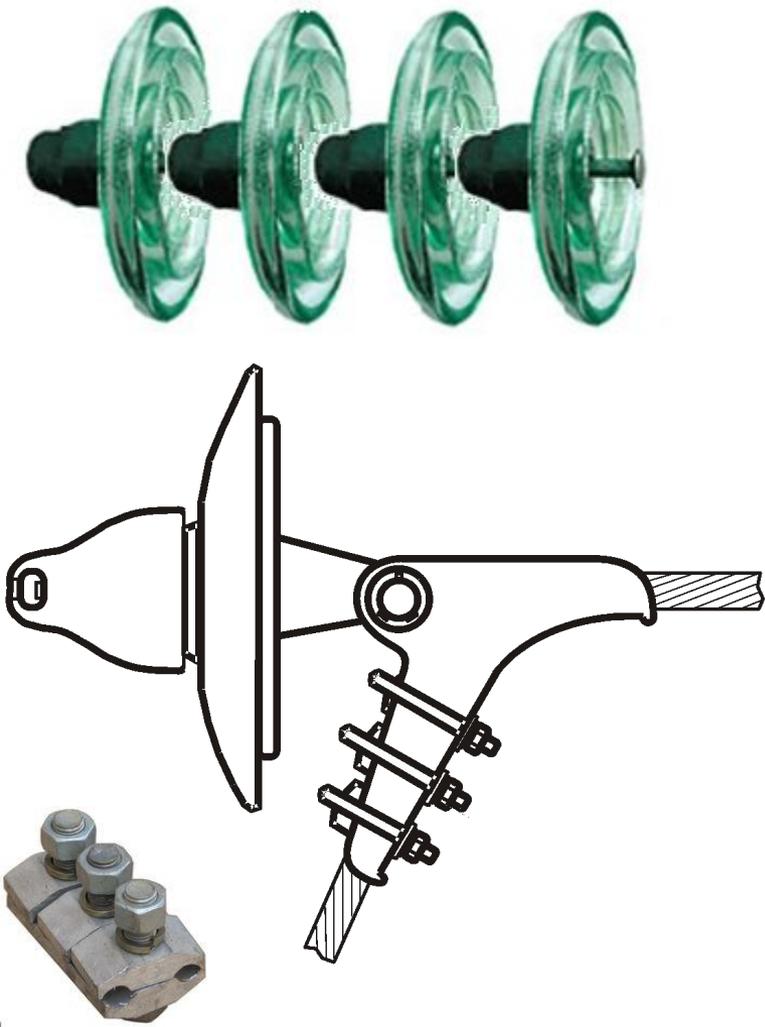
- Для определения высоты измеряемого объекта  $H$  наблюдатель удаляется от него, держа высотомер у глаз, на такое расстояние  $L$ , при котором верхняя риска совпадает с вершиной объекта, а нижняя — с его основанием.
- Геометрические размеры прибора и риски на стекле выполнены так, что  $H = L / 2$ . Измерение расстояния  $L$  проблем не представляет.



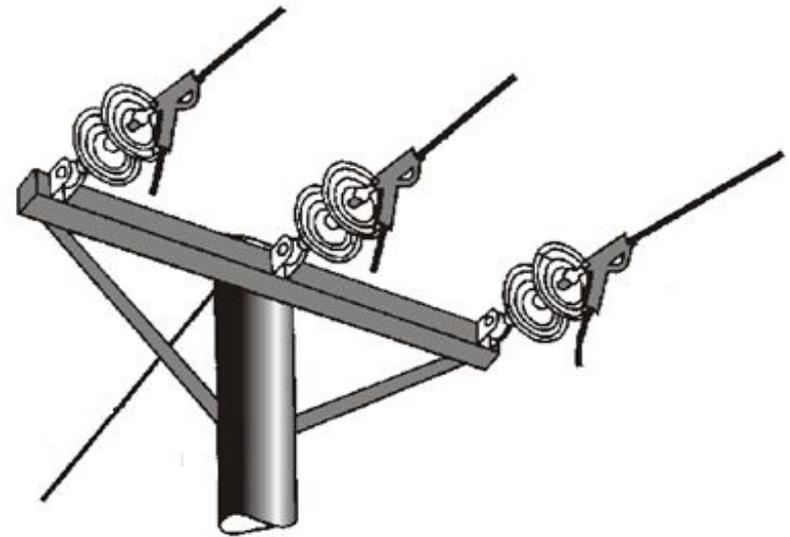
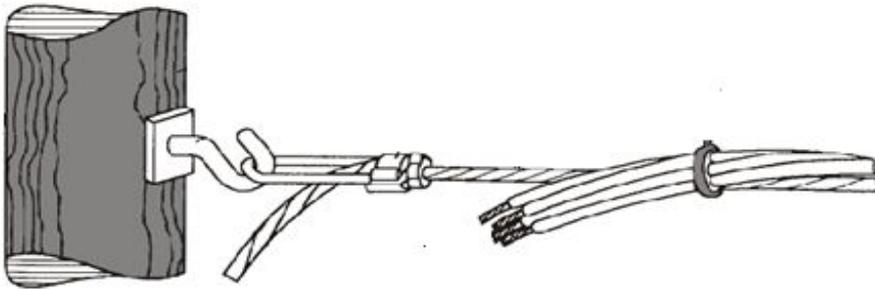
- *Крепление голых проводов на анкерных опорах ВЛ со штыревыми изоляторами осуществляется закручиванием проводов так называемой «заглушкой» или петлей, образованной с помощью болтового зажима.*



- Крепление проводов на анкерных опорах с подвесными изоляторами осуществляется с помощью натяжных зажимов.
- На анкерных опорах короткие концы проводов (шлейфы), идущие от двух натяжных зажимов одной фазы, соединяются болтовыми зажимами или свариваются с помощью термитного патрона.

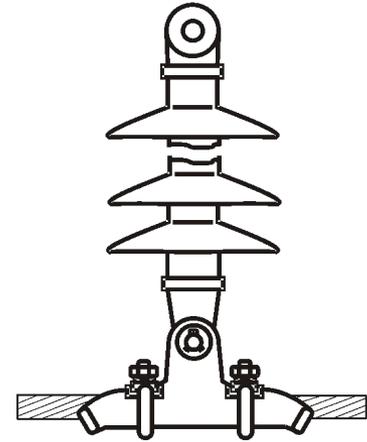
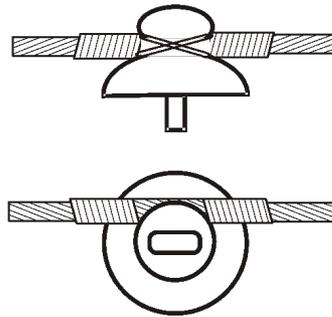


- Крепление СИП на анкерных опорах ВЛ напряжением до 1 кВ выполняется без изоляторов с помощью анкерных зажимов, фиксирующих несущую нулевую жилу.
- Крепление СИП на анкерных опорах ВЛ напряжением выше 1 кВ выполняется через подвесные изоляторы и натяжные болтовые зажимы.

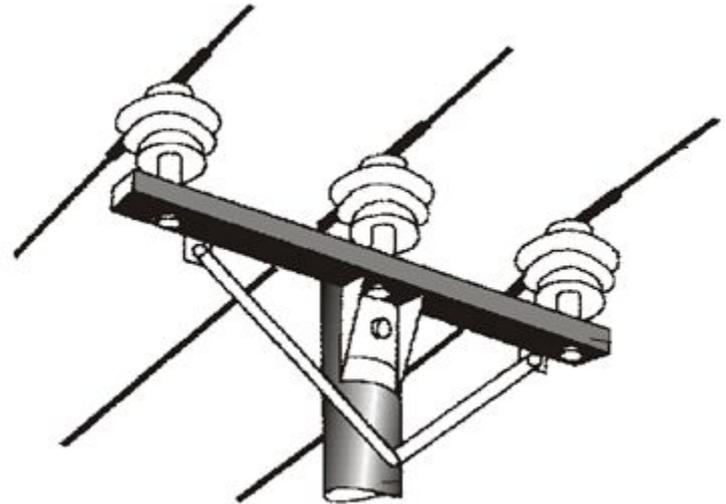
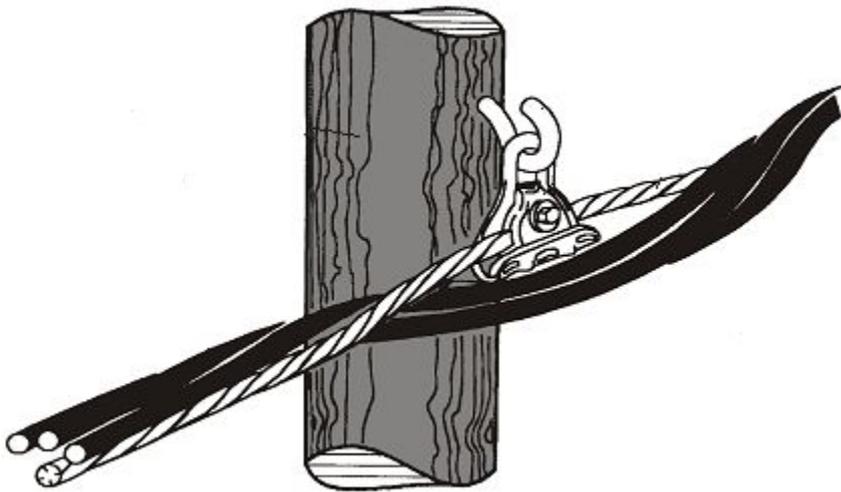


← Арматура СИП

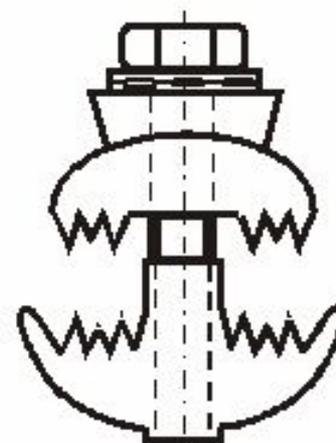
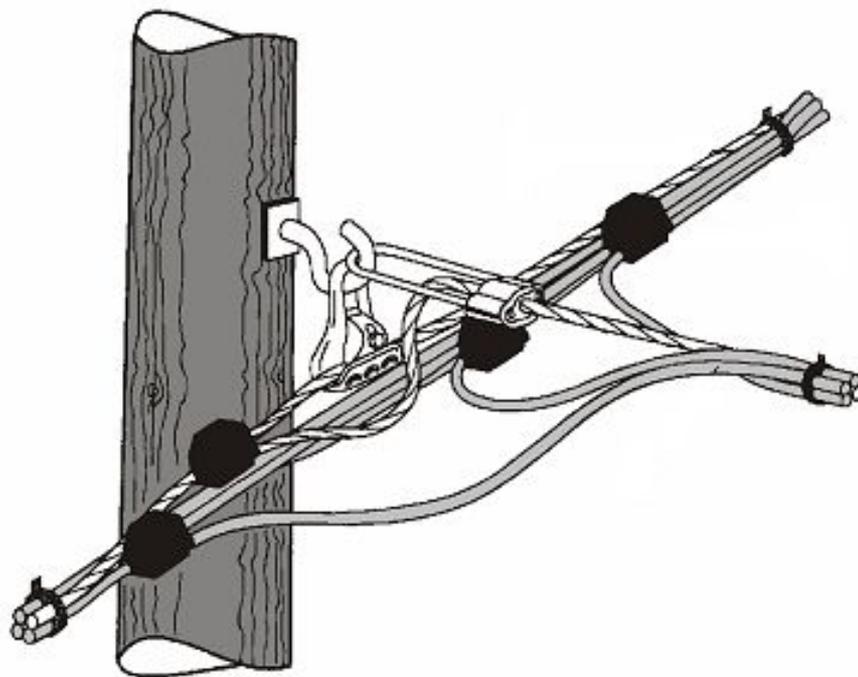
- *Крепление голых проводов на промежуточных опорах* со стержневыми изоляторами осуществляется вязкой из алюминиевых проволок.
- На промежуточных опорах с подвесными изоляторами провод с монтажных роликов переключается в поддерживающий зажим.



- Крепление СИП на промежуточных опорах ВЛ напряжением до 1 кВ выполняется с помощью укладки нулевой жилы в поддерживающий болтовой зажим.
- Крепление СИП на промежуточных опорах ВЛ напряжением выше 1 кВ со штыревыми изоляторами осуществляется вязкой провода к изолятору.



- *Ответвления от линии с СИП* выполняются с помощью болтовых прокалывающих зажимов без снятия изоляции с провода.
- После монтажа отвления на зажимы устанавливаются изолирующие предохранительные футляры.



- Большинство работ по монтажу проводов и тросов связано с подъемами на опоры.
- На ВЛ напряжением до 10 кВ монтажники поднимаются на опоры, как правило, с помощью **монтажных когтей и поясов**. На ВЛ более высокого напряжения используются **телескопические вышки и гидроподъемники**.



- После окончания всех монтажных работ на опоры ВЛ на высоте 2...3 м наносятся следующие знаки:
  - порядковые номера опор;
  - номер ВЛ или ее условное обозначение;
  - информационные знаки с указанием ширины охранной зоны;
  - предупредительные плакаты на всех опорах в населенной местности.

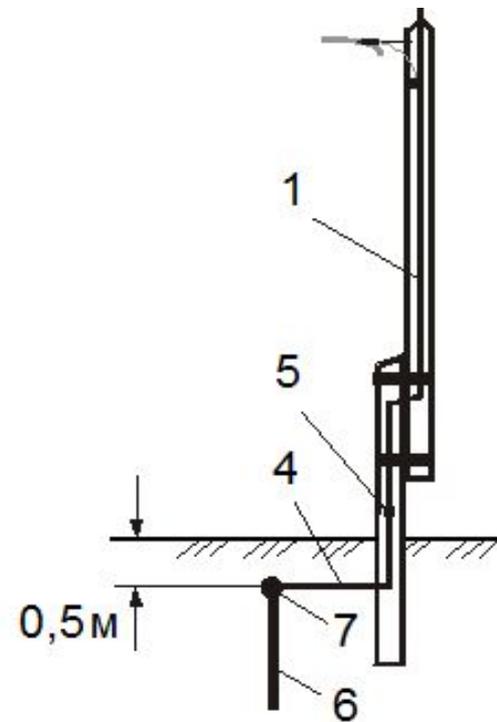
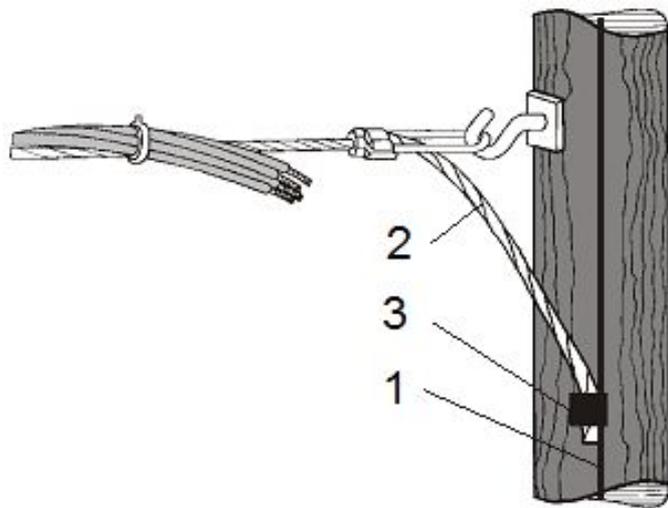


# Монтаж оборудования ВЛ

- *Трубчатые разрядники* крепятся закрытым концом к элементам опор. Закрытый конец разрядника заземляется. Поскольку срабатывание разрядника сопровождается сильным выхлопом генерированного электрической дугой газа, открытый конец разрядника должен располагаться так, чтобы выхлопные газы не вызвали междофазных перекрытий или перекрытий на землю.



- При монтаже ВЛ напряжением до 1 кВ выполняются *заземляющие устройства* для повторного заземления нулевого провода.
- Заземляющий спуск 1 присоединяется к нулевому проводу 2 болтовым зажимом 3. Присоединение заземляющего спуска к заземлителю 6 выполняется заземляющим проводником 4.
- Заземляющий проводник соединяется с заземлителем сваркой 7, а с заземляющим спуском – сваркой или болтовым зажимом 5.



- У железобетонных опор нулевой провод соединяется со стальной арматурой, у металлических опор — с телом опоры.

---

- При монтаже ВЛ напряжением выше 1 кВ заземляющие устройства выполняются у опор:
  - ❖ имеющих грозозащитный трос;
  - ❖ имеющих трубчатые разрядники, разъединители и прочее оборудование;
  - ❖ железобетонных и металлических при напряжении 6...35 кВ.

# Приемка ВЛ в эксплуатацию

- До сооружения ВЛ будущий эксплуатационный персонал изучает проектно-техническую документацию, а в период сооружения ВЛ ведет технический надзор за производством строительных и монтажных работ.
- По окончании работ подрядчик в письменной форме извещает заказчика о готовности ВЛ к сдаче в эксплуатацию. Заказчик организует **рабочую комиссию**, в которую входят представители заказчика (председатель), подрядчика, проектной организации, органов государственного надзора.



□ Рабочая комиссия:

- проверяет соответствие объемов выполненных строительномонтажных работ проекту, смете, нормативным документам;

---

- производит детальный осмотр ВЛ с выборочной проверкой скрытых работ;
- проверяет качество выполненных работ и дает им оценку;
- составляет протоколы измерений, в частности протоколы измерений сопротивлений заземляющих устройств ВЛ;
- составляет ведомость выявленных при осмотре ВЛ дефектов и недоделок.

- 
- Подрядчик предоставляет рабочей комиссии следующую документацию:
- перечень организаций (субподрядчиков), участвовавших в производстве строительного-монтажных работ;
  - проект ВЛ с комплектом рабочих чертежей;
  - паспорт ВЛ;
  - трехлинейную схему ВЛ с расцветкой фаз и номерами всех опор;
  - журналы работ по строительной части ВЛ и по монтажу проводов и тросов;
  - протоколы осмотров и измерений переходов и пересечений ВЛ, составленные подрядчиком совместно с представителями заинтересованных организаций;
  - протоколы измерений заземляющих устройств ВЛ.

- 
- По устранению подрядчиком выявленных дефектов и недоделок рабочая комиссия готовит акты по приемке ВЛ в эксплуатацию.
  - Для приемки ВЛ в эксплуатацию назначается **приемочная комиссия**, которой подрядчик дополнительно предоставляет:
    - утвержденную проектно-сметную документацию;
    - акты рабочей комиссии по приемке ВЛ;
    - документацию по отводу земель под трассу ВЛ;
    - справку о соответствии фактической стоимости строительства ВЛ, предусмотренной в утвержденном проекте.
  - Приемочная комиссия проверяет переданную ей документацию, рассматривает акты рабочей комиссии, осматривает ВЛ, определяет качество выполненных работ, соответствие их проекту, проверяет устранение замеченных рабочей комиссией дефектов и недоделок и определяет готовность ВЛ к передаче в эксплуатацию.

- 
- При полной готовности ВЛ приемочная комиссия дает письменное разрешение на включение ВЛ.
  - При безотказной работе ВЛ под нагрузкой в течение суток приемочная комиссия оформляет акт передачи ВЛ в эксплуатацию.
  - Дата подписания акта передачи считается датой ввода ВЛ в эксплуатацию.
  - Линия переходит в ведение заказчика, который и несет дальнейшую ответственность за линию.

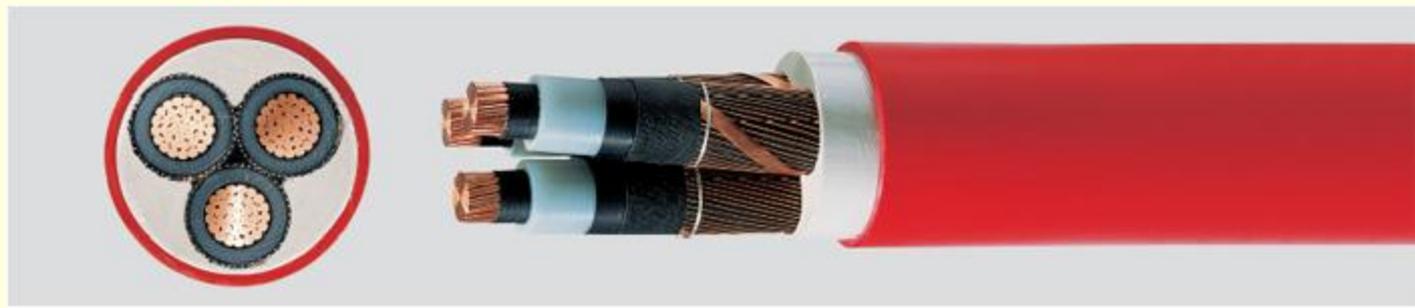
# Вопросы для самопроверки

- Каков состав подготовительных работ при монтаже ВЛ?
- Каковы основные этапы монтажа ВЛ?
- Как осуществляется сборка опор?
- Каковы основные этапы монтажа проводов ВЛ?
- Каковы особенности монтажа изолированных проводов?
- Как осуществляется соединение проводов?
- Что такое стрела провеса провода?
- Как осуществляется крепление проводов на промежуточных опорах?
- Как осуществляется крепление проводов на анкерных опорах?
- На каких опорах ВЛ выполняются заземляющие устройства?



# Монтаж кабельных линий

- ❑ **Подготовительные работы.**
- ❑ **Прокладка кабелей в земляной траншее.**
- ❑ **Прокладка кабелей в блоках.**
- ❑ **Прокладка кабелей в кабельных сооружениях.**
- ❑ **Открытая прокладка кабелей в производственных помещениях.**
- ❑ **Монтаж кабельных муфт.**
- ❑ **Приемка кабельной линии в эксплуатацию.**



# Подготовительные работы

- На место монтажа кабель поставляется на специальных барабанах. Для погрузки-разгрузки барабанов должны использоваться автокраны.
- При прокладке КЛ в земле предварительно оформляется разрешение на проведение земляных работ и выполняется разметка кабельной трассы.
- При пересечении кабельной трассой других подземных коммуникаций выполняются согласования будущих пересечений с организациями, эксплуатирующими эти коммуникации.



- При открытой прокладке кабеля **проверяются кабельные сооружения, производственные помещения и установленные в них опорные конструкции для кабелей.**
- Перед монтажом производится **осмотр кабеля на барабанах.** По результатам осмотра кабеля составляется соответствующий акт.

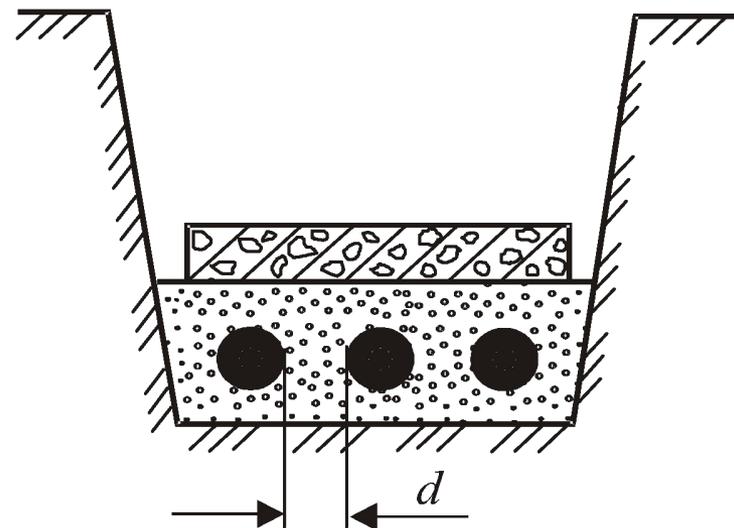


# Прокладка кабелей в земляной траншее

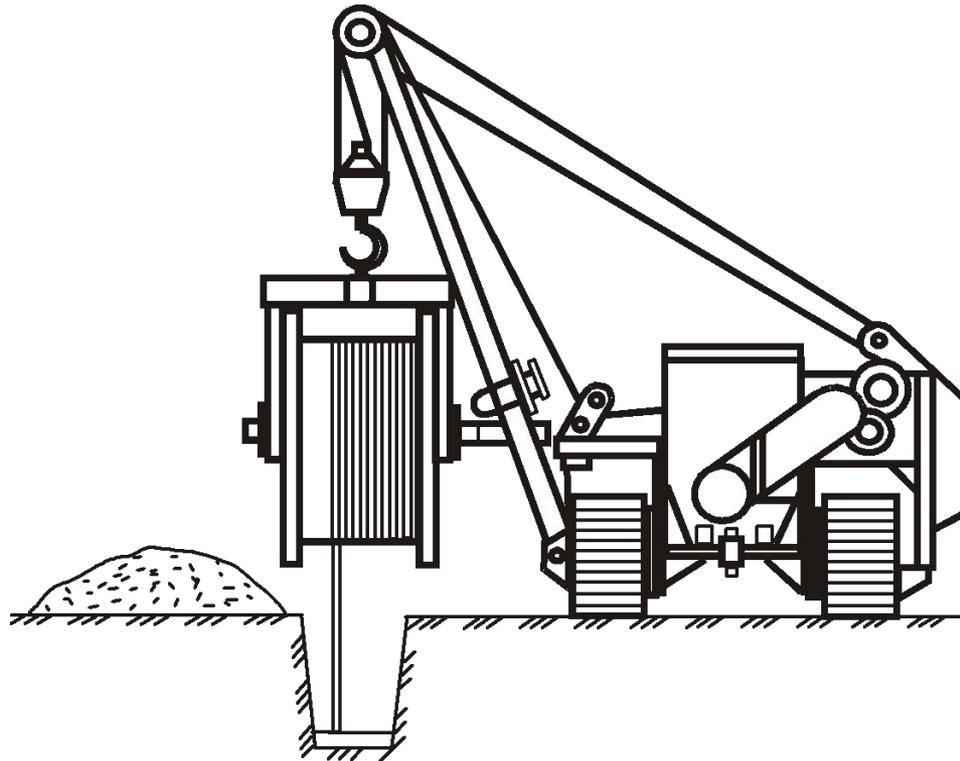
- Для рытья траншей используются экскаваторы.
- В стесненных условиях траншеи роятся в ручную.



- Глубина заложения КЛ должна быть не менее 0,7 м для кабелей напряжением до 20 кВ и не менее 1 м для кабелей напряжением 35 кВ.
- Кабели, укладываемые в траншею, должны иметь снизу подсыпку, а сверху засыпку слоем мелкой земли, не содержащей камней, строительного мусора и шлака.



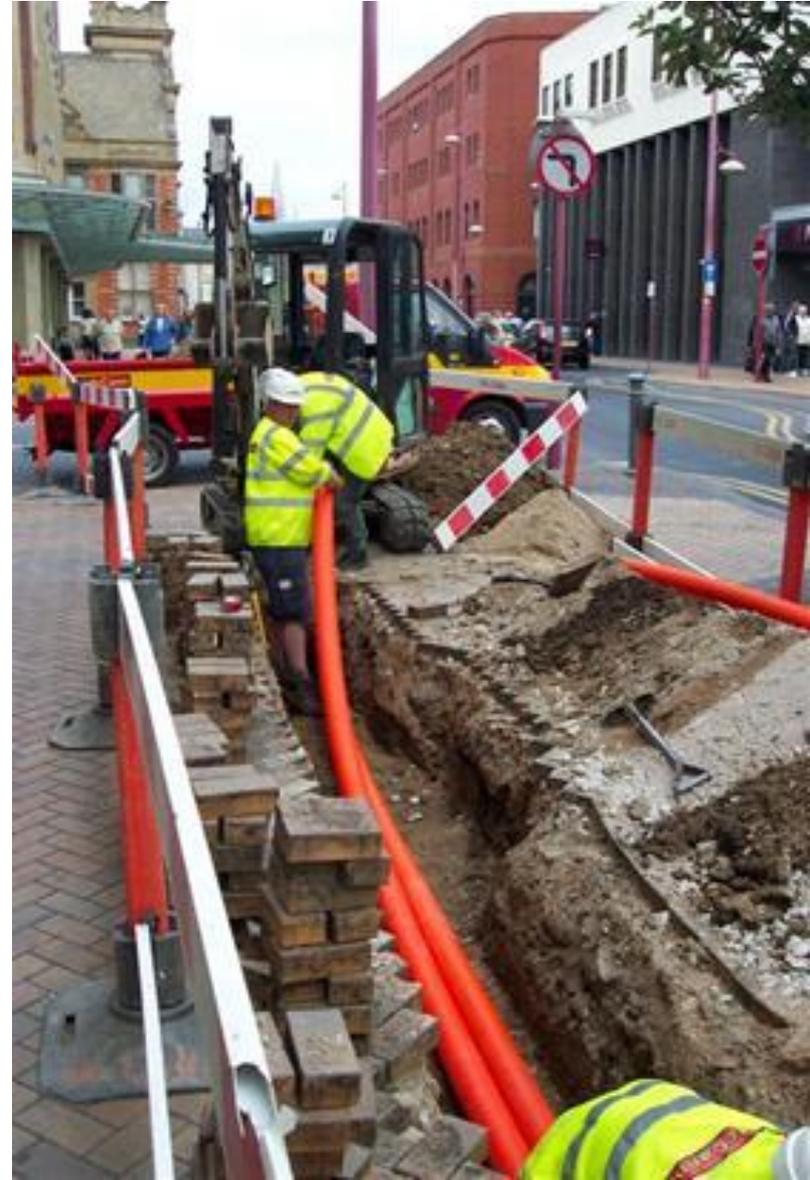
- Одной из операций, выполняемых при монтаже кабеля, является его *раскатка*.
- Если на трассе нет пересечений с подземными коммуникациями, кабель укладывают непосредственно на дно траншеи с **кабельного транспортера**, движущегося вдоль трассы



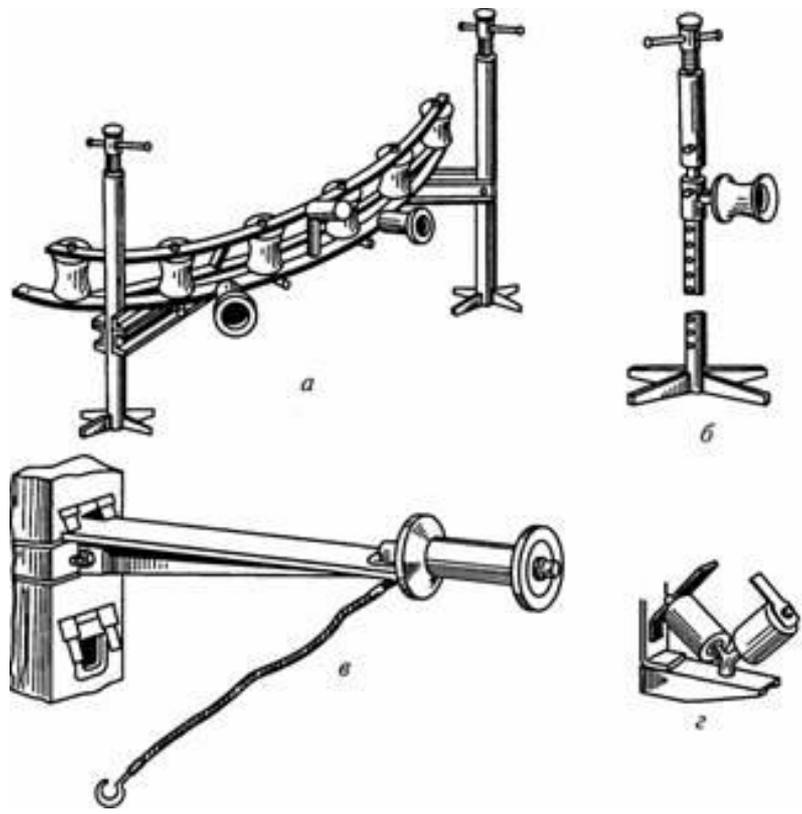
- При наличии пересечений барабан с кабелем устанавливают в одном конце трассы и раскатывают кабель с помощью тягового механизма, например, лебедки с канатом емкостью, соответствующей строительной длине кабеля.
- Предварительно трос лебедки разматывают по дну траншеи, протаскивают под пересекаемыми коммуникациями и сцепляют с кабелем.
- Размотка кабеля должна идти с верхней части кабельного барабана.



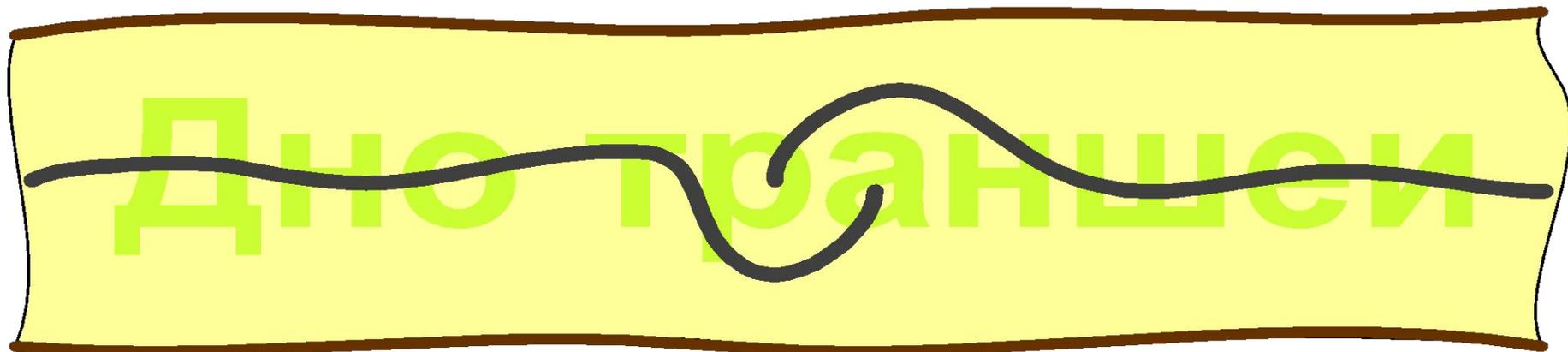
- При раскатке кабеля с помощью тягового механизма следует принимать меры по его защите от механических повреждений.
- Тяжение СПЭ-кабелей и кабелей с алюминиевой оболочкой выполняется за оболочку или за жилы.
- Тяжение кабелей со свинцовой оболочкой допускается только за жилы.



- Для уменьшения усилия тяжения используются специальные раскаточные ролики, устанавливаемые через 3...5 м на дно траншеи. В местах поворота трассы устанавливаются угловые ролики.



- Кабели в траншее укладываются «змейкой» для уменьшения растягивающих усилий при возможных смещениях почвы и температурных изменениях длины кабеля.
- При прокладке кабелей у концов, предназначенных для последующего соединения, оставляется запас не менее 2 м, необходимый для монтажа соединительной муфты, а также для обеспечения возможности повторного монтажа муфты в случае ее повреждения при эксплуатации.
- Укладывать запас кабеля в виде колец не допускается.



- При изменении направления трассы кабели изгибаются.
- Установлены предельно допустимые радиусы изгиба:
  - для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией в алюминиевой оболочке радиусы изгиба должны быть не менее  $25D$ ;
  - для кабелей с бумажной изоляцией в свинцовой оболочке – не менее  $15D$ ;
  - для кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией – не менее  $15D$ .



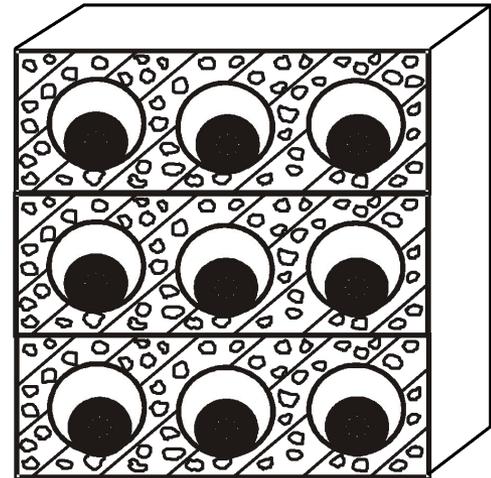
- Перед засыпкой траншеи изоляция КЛ испытывается повышенным напряжением.
- При положительных результатах испытаний представители монтажной организации совместно с представителями заказчика производят осмотр кабельной трассы с составлением акта на скрытые работы. После этого траншея засыпается грунтом.



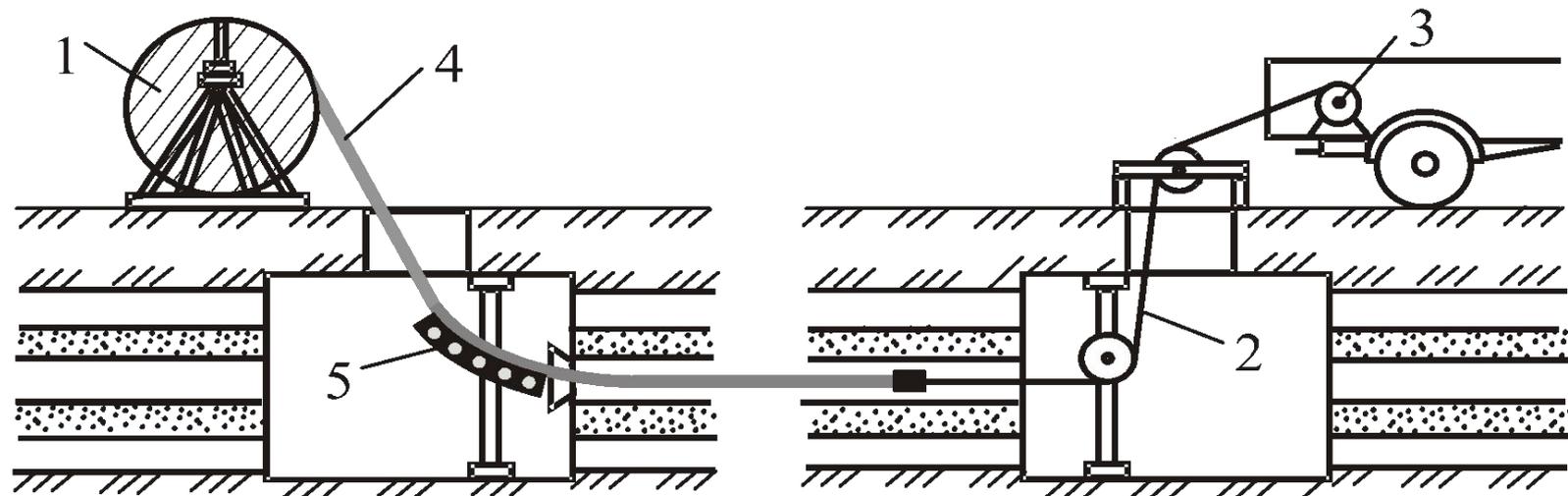
- Передвижная высоковольтная лаборатория

# Прокладка кабелей в блоках

- Блок представляет собой заглубляемую в землю конструкцию, выполненную из труб различного материала или железобетонных панелей. Стыки труб и панелей заделываются кирпичной кладкой или заливаются бетоном.
- Блочная прокладка используется при большой стесненности кабельной трассы, пересечениях инженерных сооружений, при прокладке кабелей в агрессивных грунтах.

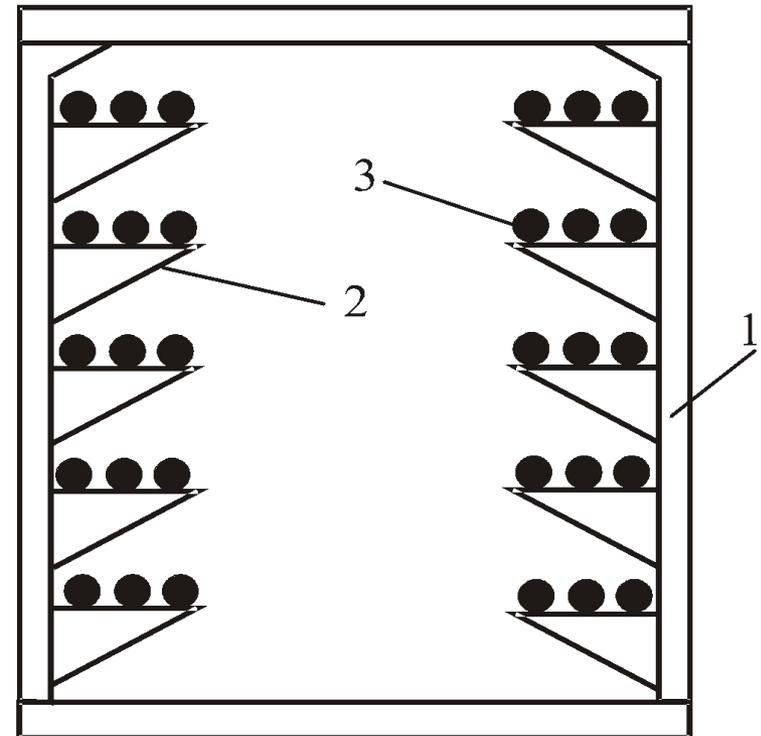


- При прокладке кабелей в блоках через определенные расстояния сооружаются кабельные колодцы, в которых осуществляется соединение кабелей, и через которые выполняется монтаж кабелей.
- Перед монтажом кабелей блочные каналы предварительно прочищают с помощью стальных ершей. Непосредственной перед прокладкой кабелей их поверхность обильно покрывают смазкой, (солидол, тавот).
- Прокладку кабелей в блоках производят, как правило, механизированным способом, поочередно затягивая их в кабельные каналы на участке между двумя соседними колодцами.



# Прокладка кабелей в кабельных сооружениях

- При прокладке в одном направлении большого количества кабелей используются кабельные сооружения: *тоннели, галереи, эстакады, каналы.*
- Галереи и эстакады принципиально отличаются от тоннелей тем, что располагаются над поверхностью земли на железобетонных стойках



- Кабельный туннель и кабельная эстакада

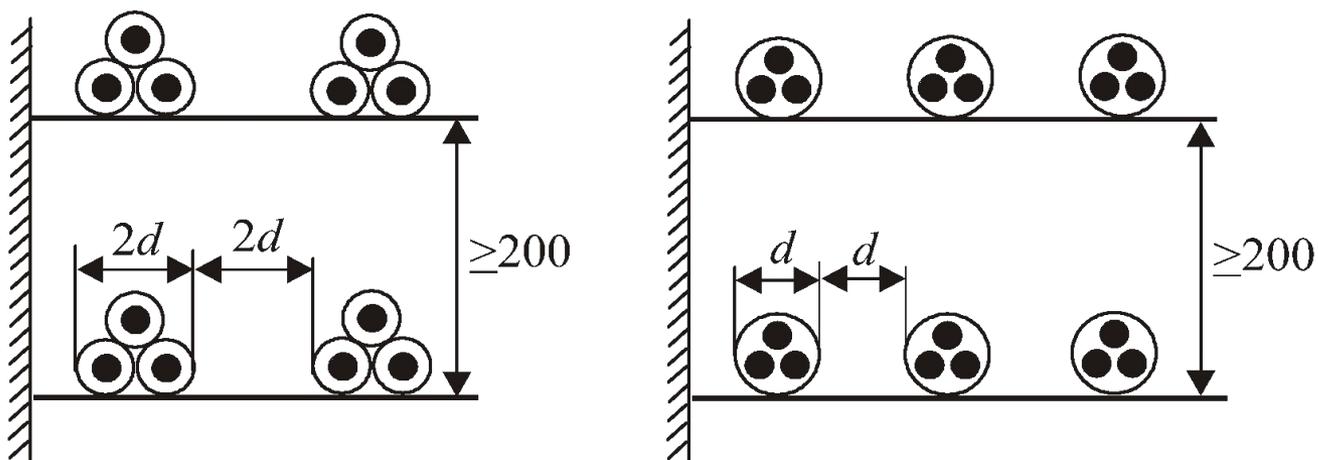


- На территории промышленных предприятий, подстанций кабели могут прокладываться в каналах. Верхняя плита канала выполняется съемной, что обеспечивает удобное обслуживание кабелей при эксплуатации.



# Открытая прокладка кабелей в производственных помещениях

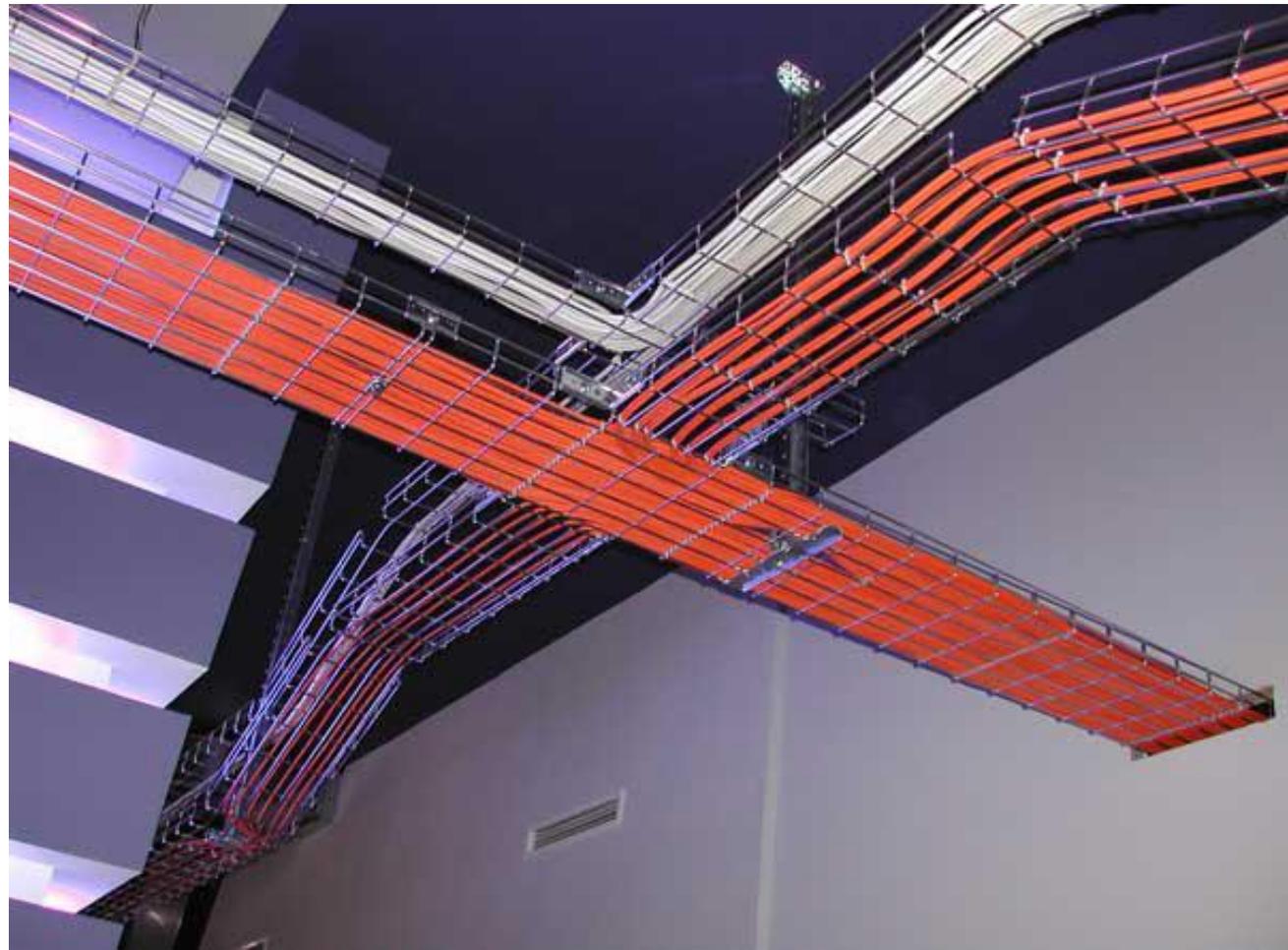
- Открытая прокладка кабелей в цехах промышленных предприятий выполняется по опорным конструкциям в виде: стальных стоек с полками или лотками; стоек со скобами или кронштейнами; настенных полок и лотков.
- Кабели закрепляются скобами (хомутами) в конечных точках, у соединительных и концевых муфт, на поворотах трассы.



- Все опорные металлические конструкции должны быть электрически соединены между собой и подключены к заземляющему устройству не менее чем в двух местах.

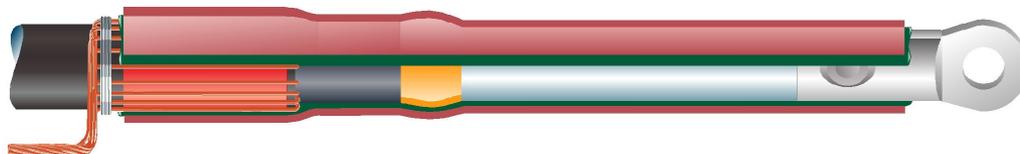


- Открыто прокладываемые кабели обозначаются бирками с указанием реквизитов кабельной линии; на бирках соединительных муфт указываются номер муфты и дата ее монтажа.

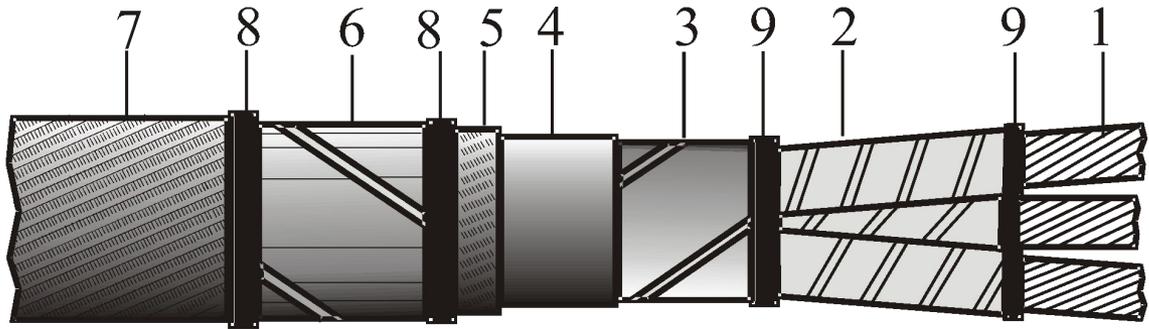


# Монтаж кабельных муфт

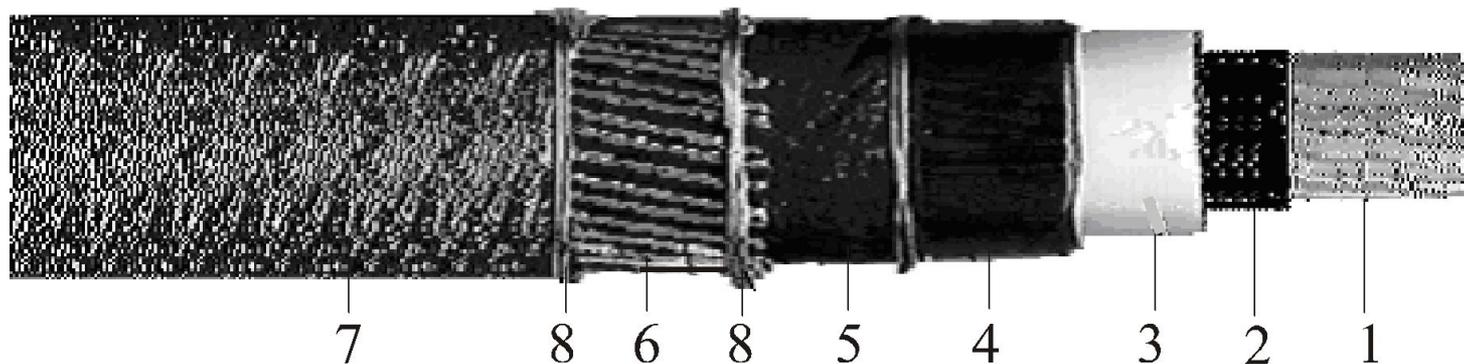
- **Оконцевание** кабелей с целью их подключения к оборудованию выполняется с помощью концевых муфт; **соединение** отдельных кусков кабелей — с помощью соединительных кабельных муфт.
- Основным требованием, предъявляемым к кабельной муфте, является **надежность**. Муфта должна быть герметичной, влагостойкой, обладать механической и электрической прочностью, стойкостью к воздействию окружающей среды.
- В наибольшей степени требованиям надежности удовлетворяют **муфты горячей и холодной усадки**.



- Перед монтажом концевой или соединительной муфты конец кабеля разделяется. **Разделка кабеля** заключается в последовательном удалении с некоторым сдвигом всех слоев кабеля от наружной защитной оболочки до фазной изоляции токоведущей жилы.



1 – токопроводящие жилы; 2 – фазная изоляция; 3 – общая (поясная) изоляция; 4 – герметичная оболочка; 5 – подушка под броней; 6 – броня из стальных лент; 7 – наружный защитный покров; 8 – проволочный бандаж; 9 – бандаж из ниток.



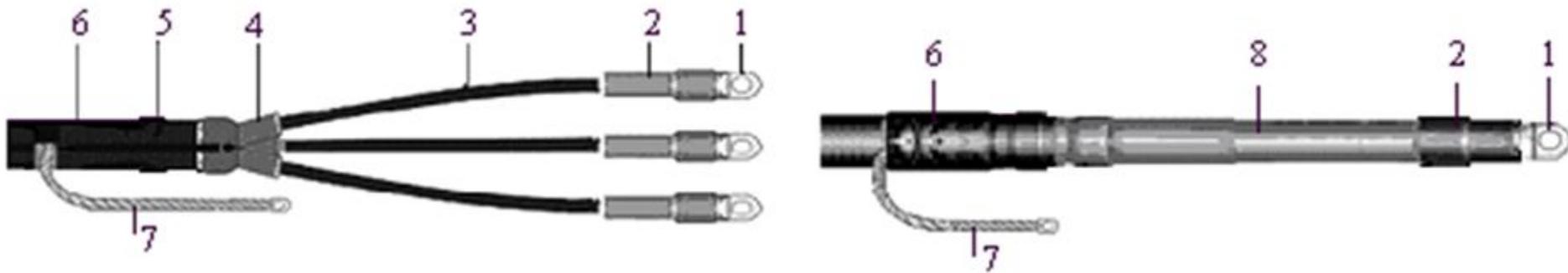
1 – токопроводящая жила; 2 – экран из полупроводящей пластмассы; 3 – СПЭ изоляция; 4 – экран из полупроводящей пластмассы; 5 – водонабухающий слой; 6 – экран из медных проволок; 7 – наружная защитная пластмассовая оболочка; 8 – проволочный бандаж.

# Термоусаживаемые муфты

- Эти муфты используются при любом способе прокладки кабелей, надежны в эксплуатации, характеризуются простотой монтажа.
- Широкий диапазон термоусадки позволяет использовать всего два типоразмера для всего диапазона сечений кабелей (один типоразмер - для сечений 70-120 мм<sup>2</sup>, второй — для сечений 150–240 мм<sup>2</sup>).

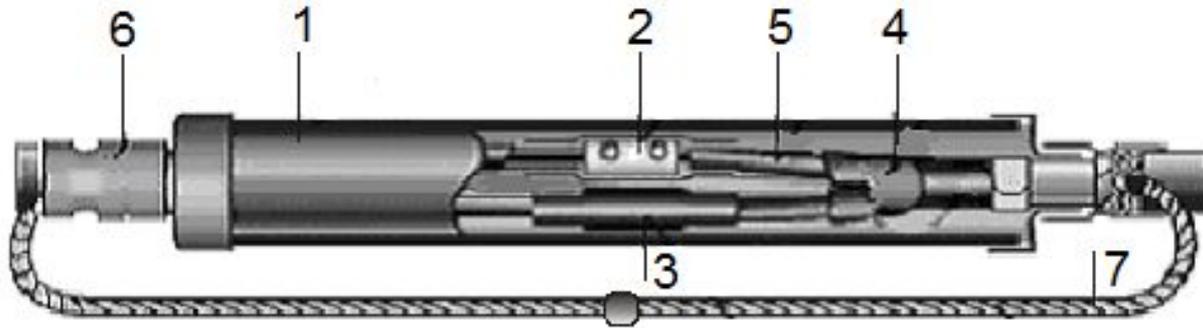


# Конструкции термоусаживаемых концевых муфт



1 – наконечник; 2 – манжета концевая; 3 – трубка жильная; 4 – пальцевые манжеты и перчатка; 5 – лента регулятор для выравнивания электрического поля; 6 – манжета поясная; 7 – проводник заземления; 8 – шланг

# Конструкция термоусаживаемой соединительной муфты



1 – защитный корпус; 2 – болтовое контактное соединение жил; 3 – манжета, изолирующая контактное соединение; 4 – перчатка; 5 – фазная трубка; 6 – манжета для герметизации корпуса муфты; 7 – проводник, обеспечивающий непрерывность цепи заземления

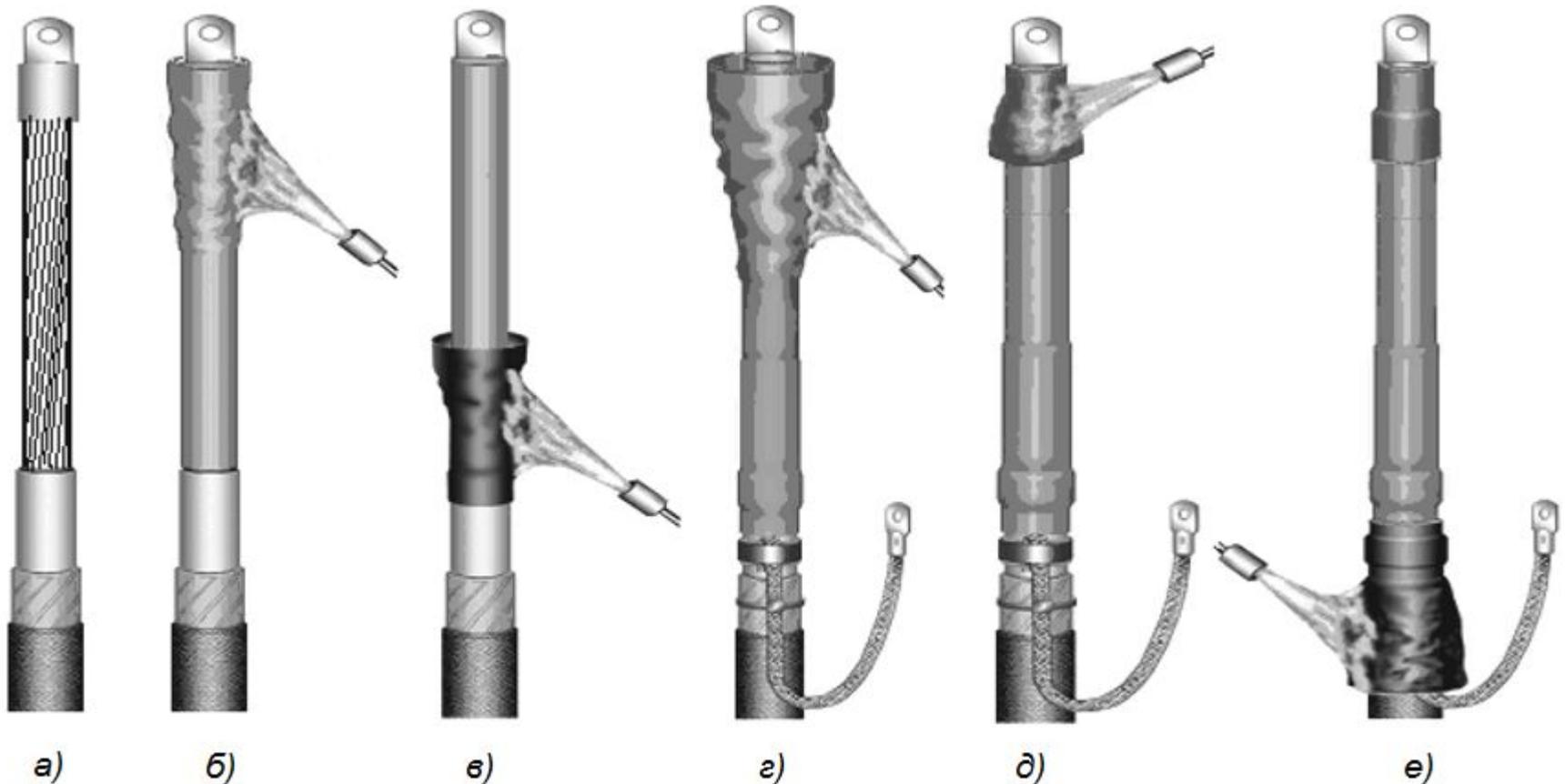
- В комплект термоусаживаемой муфты входят элементы (трубки, манжеты, перчатки, шланги и другие), поставляемые в растянутом состоянии, что позволяет легко их надеть на элементы разделанного кабеля.
- При нагревании газовой горелкой или строительным феном происходит усадка этих деталей и плотный охват элементов кабеля, чем создается герметичная и механически прочная конструкция.
- Температура усадки составляет 120–150°С и не является опасной для изоляции кабеля.



- Надежную герметизацию обеспечивают специальные герметики на внутренних поверхности элементов муфты.
- Герметизирующие материалы за счет специальных добавок обладают полупроводящими свойствами и, следовательно, выравнивают электрическое поле. За счет этого полностью исключается причина разрядов в областях повышенной напряженности электрического поля (в контактных соединениях жил, на срезе экрана).

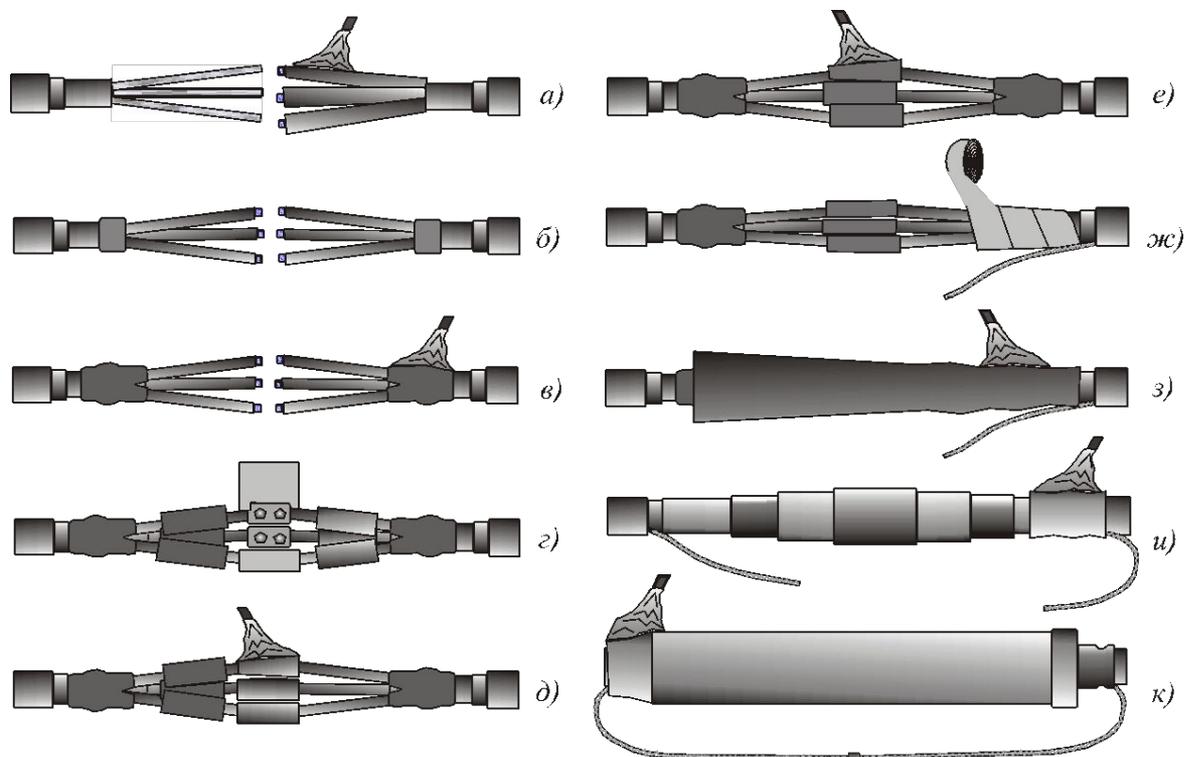


# Монтаж термоусаживаемой концевой муфты



а – разделанный кабель с наконечником; б – усаживание трубки регулятора, выравнивающей электрическое поле; в – усаживание жильной манжеты; г – установка проводника заземления и усаживание шланга; д – усаживание концевой манжеты; е – усаживание поясной манжеты

# Монтаж термоусаживаемой соединительной муфты



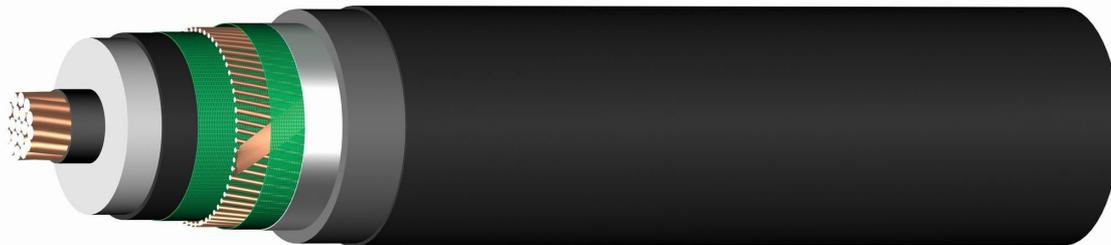
а – усаживание жильных трубок; б – наматывание ленты-регулятора; в – усаживание перчаток; г – соединение жил болтовыми соединителями и оборачивание их пластинами-регуляторами; д – усаживание подкладных манжет; е – усаживание изолирующих манжет; ж – закрепление проводника перемычки и обмотка экранной лентой; з – усаживание шланга; и – наматывание ленты герметика и усаживание поясных манжет; к – установка защитного кожуха (усаживание концевых переходников)

- Проводник заземления концевых муфт, обеспечивающий непрерывность цепи заземления, монтируются с помощью системы непаянного заземления, поставляемого в комплекте муфты.
- Контактное соединение заземляющего проводника с металлической оболочкой (экраном) кабеля закрывается герметизирующей лентой, обеспечивающей защиту этого соединения от коррозии.
- Проводники заземления муфт выполняются гибким медным проводом.
- При монтаже термоусаживаемых муфт удается уйти от таких экологически вредных операций, как пайка при монтаже свинцовых муфт, битумное наполнение муфт.
- При термоусадке отсутствуют экологически опасные газовые выделения.

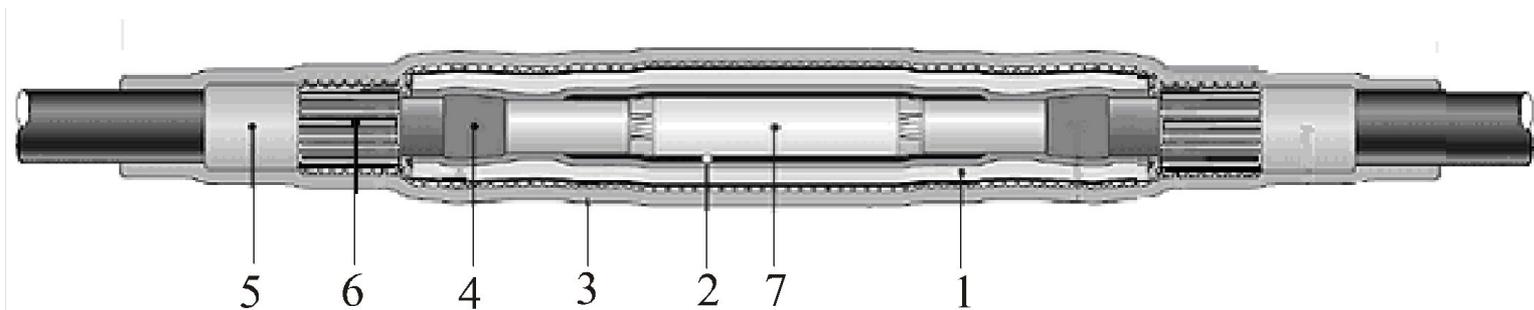


## Муфты холодной усадки

- Монтаж муфты холодной усадки не требует операции нагрева, что позволяет сократить время монтажа.
- Муфта холодной усадки состоит из EPDM-резины, предварительно натянутой на удаляемую при монтаже спираль. При удалении спиралевидного корда за специально оставленные с обеих сторон муфты свободные концы корда муфта легко усаживается, обеспечивая полную герметизацию кабеля.
- Толстые стенки муфты создают дополнительную защиту от механических воздействий. Кроме того, EPDM-резина устойчива к воздействию влаги, кислот, щелочей и ультрафиолетового излучения.

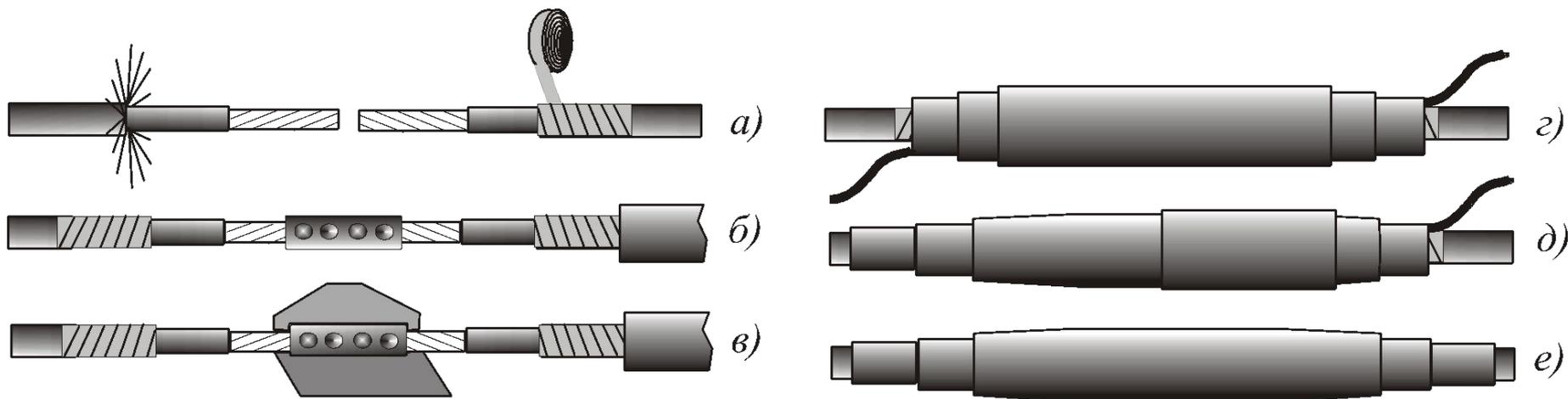


# Конструкция муфты холодной усадки



1 – экструдированный двухслойный силиконовый корпус; 2 – полупроводящая пластина; 3 – общий защитный кожух из ЕПДМ-резины; 4 – мастика для выравнивания электрического поля; 5 – герметизирующая мастика; 6 – медная сетка и соединитель экрана; 7 – соединительная гильза

# Монтаж муфты холодной усадки



а – подготовка экранов соединяемых кабелей; б – соединение жил опрессованием; в – наложение на место контактного соединения жил пластины с полупроводящим слоем для выравнивания электрического поля; г – закрытие муфтой места соединения жил кабелей; д – вытягивание спиралевидного корда с той и другой стороны муфты; е – муфта, готовая для подачи напряжения на кабель.

- Термоусаживаемые муфты и муфты холодной усадки сохраняют гибкость кабеля, не разрушаются при циклических температурных нагрузках и смещениях грунта при смене времен года.
- Продольное усилие на разрыв муфты составляет 60% от усилия на разрыв кабеля.
- Стопорные свойства муфт позволяют увеличить допустимую разность уровней кабельной трассы для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией.



# Приемка кабельной линии в эксплуатацию

- Организация и порядок приемки КЛ в эксплуатацию такие же, как у ВЛ. Отличие в программе приемо-сдаточных испытаний и документах, передаваемых строительной-монтажной организацией (подрядчиком) эксплуатирующей организации (заказчику).
- В программу приемо-сдаточных испытаний КЛ входит:
  - ❖ проверка целостности жил и фазировка КЛ;
  - ❖ измерение сопротивления изоляции мегаомметром;
  - ❖ испытания изоляции повышенным напряжением;
  - ❖ измерение рабочей емкости жил и активных сопротивлений жил (для КЛ напряжением 20-35 кВ);
  - ❖ измерение сопротивлений заземляющих устройств.

- При сдаче в эксплуатацию кабельных линий должны быть оформлены и переданы эксплуатирующей организации:
  - ❖ проект КЛ;
  - ❖ паспорт КЛ;
  - ❖ исполнительный чертеж трассы с привязкой к постоянным ориентирам и указанием мест установки соединительных муфт;
  - ❖ чертеж профиля КЛ в местах пересечения с инженерными коммуникациями;
  - ❖ акты состояния кабелей при поступлении на место монтажа;
  - ❖ кабельный журнал;
  - ❖ инвентарная опись всех элементов кабельной линии;
  - ❖ акты скрытых работ с указанием пересечений кабелей с подземными коммуникациями;
  - ❖ акты приемки траншей, блоков и кабельных сооружений под монтаж;
  - ❖ акты на монтаж кабельных муфт;
  - ❖ протокол измерения сопротивления изоляции;
  - ❖ протокол испытания изоляции кабельной линии;
  - ❖ протокол прогрева кабелей на барабанах перед прокладкой при низких температурах.

# Вопросы для самопроверки

- Каков состав подготовительных работ при монтаже кабельных линий?
- ~~Назовите основные способы прокладки кабелей.~~
- Какое количество кабелей укладывается в одну земляную траншею?
- Какие допускаются радиусы изгиба кабелей?
- В каких случаях кабели прокладывают в трубах и блоках?
- Каковы основные требования к кабельным сооружениям?
- Как осуществляется открытая прокладка кабелей?
- Что такое разделка кабеля?
- Как осуществляется монтаж термоусаживаемой муфты?
- Как осуществляется монтаж муфты холодной усадки??



# Монтаж трансформаторов

- ❑ Подготовительные работы.
- ❑ Монтаж трансформаторов.
- ❑ Монтаж отдельных узлов трансформатора.
- ❑ Включение трансформатора.



# Подготовительные работы

- В ходе выполнения общестроительных работ готовятся подъездные пути к месту установки трансформатора, фундамент под трансформатор и маслоприемник с гравийной засыпкой.
- В ходе подготовительных работ должны быть подготовлены в необходимом количестве трансформаторное масло, емкости для его хранения, силикагель для термосифонных фильтров и воздухоосушителей.



- Трансформаторы мощностью до 1600 кВ·А поставляются полностью собранными и залитыми маслом. Трансформаторы большей мощности в зависимости от габаритных размеров и массы поставляются с демонтированными узлами, залитые маслом или без масла.
- При транспортировке большая ось трансформатора должна совпадать с направлением движения. Крепление трансформатора при транспортировке должно быть выполнено в соответствии с чертежом завода-изготовителя.



- Разгрузка трансформатора на монтажной площадке выполняется подъемным краном соответствующей грузоподъемности.
- При поступлении трансформатора на монтажную площадку организуются требуемые условия хранения трансформатора и его отдельных узлов до начала монтажа.
- Все операции по транспортировке, разгрузке и хранению трансформатора до его монтажа должны оформляться соответствующими актами.



# Монтаж трансформаторов

- На подстанциях напряжением 35 кВ и более применяется, как правило, открытая установка трансформаторов.
- Трансформатор устанавливается на фундамент таким образом, чтобы его крышка имела подъем по направлению к расширителю не менее 1%. Это необходимо для обеспечения прохождения газов из бака к газовому реле.



- Нормативные документы предусматривают монтаж трансформатора без ревизии его активной части, если не нарушались условия транспортировки, разгрузки и хранения трансформатора.
- Ревизия активной части допускается лишь в случае, когда внешние признаки или результаты измерений указывают на возможные внутренние повреждения.
- Разгерметизация трансформатора выполняется в сухую ясную погоду. Температура активной части должна быть выше температуры окружающего воздуха.



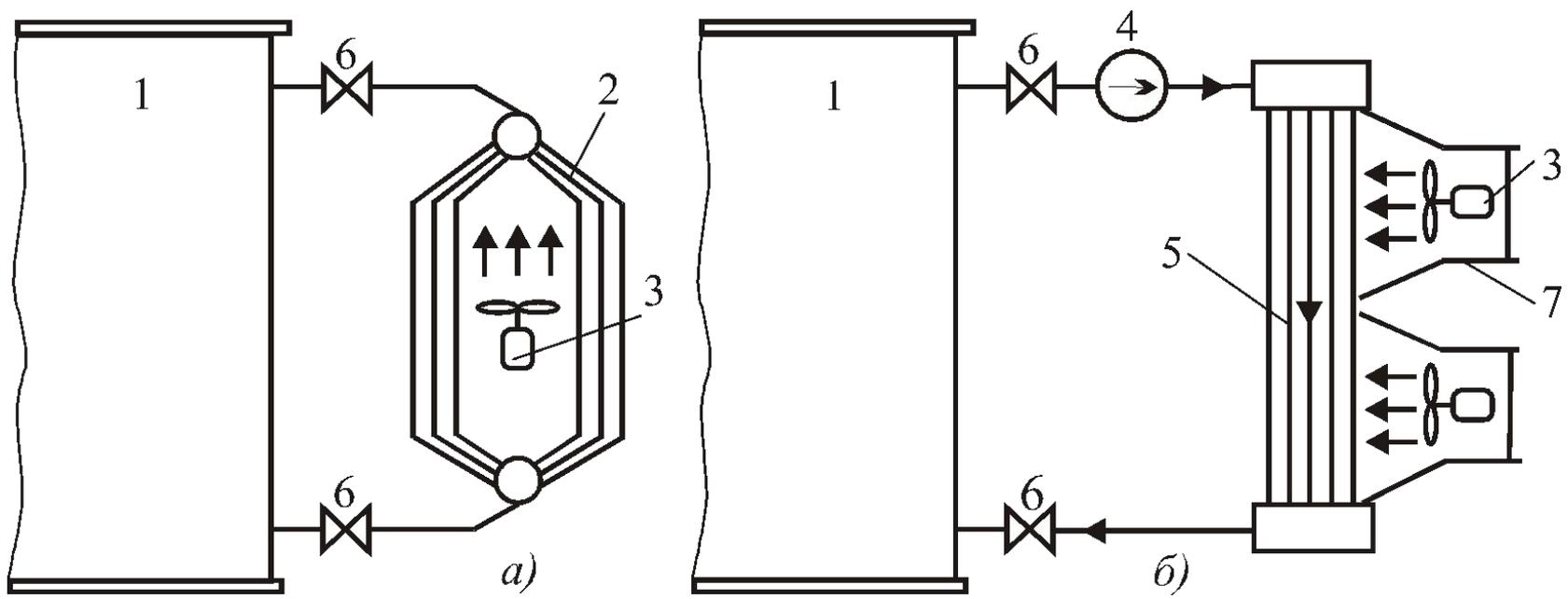
- При ревизии активной части выполняются:
  - ❖ проверка состояния болтовых креплений;
  - ❖ подпрессовка обмоток;
  - ❖ осмотр и проверка состояния изоляции обмоток;
  - ❖ проверка схемы заземления;
  - ❖ проверка сопротивления изоляции магнитопровода и его частей.
- После проведения всех работ по ревизии активной части ее промывают сухим маслом, устанавливают в бак, после чего уплотняют все места соединений крышки с баком (герметизируют трансформатор).



# Монтаж отдельных узлов трансформатора

- Трансформаторы с естественным масляным охлаждением мощностью до 1600 кВ·А транспортируются вместе с радиаторами охлаждения, трансформаторы большей мощности – с демонтированными радиаторами.
- У трансформаторов с принудительной циркуляцией воздуха и масла системы охлаждения на время транспортировки демонтируются и устанавливаются на месте монтажа трансформатора.

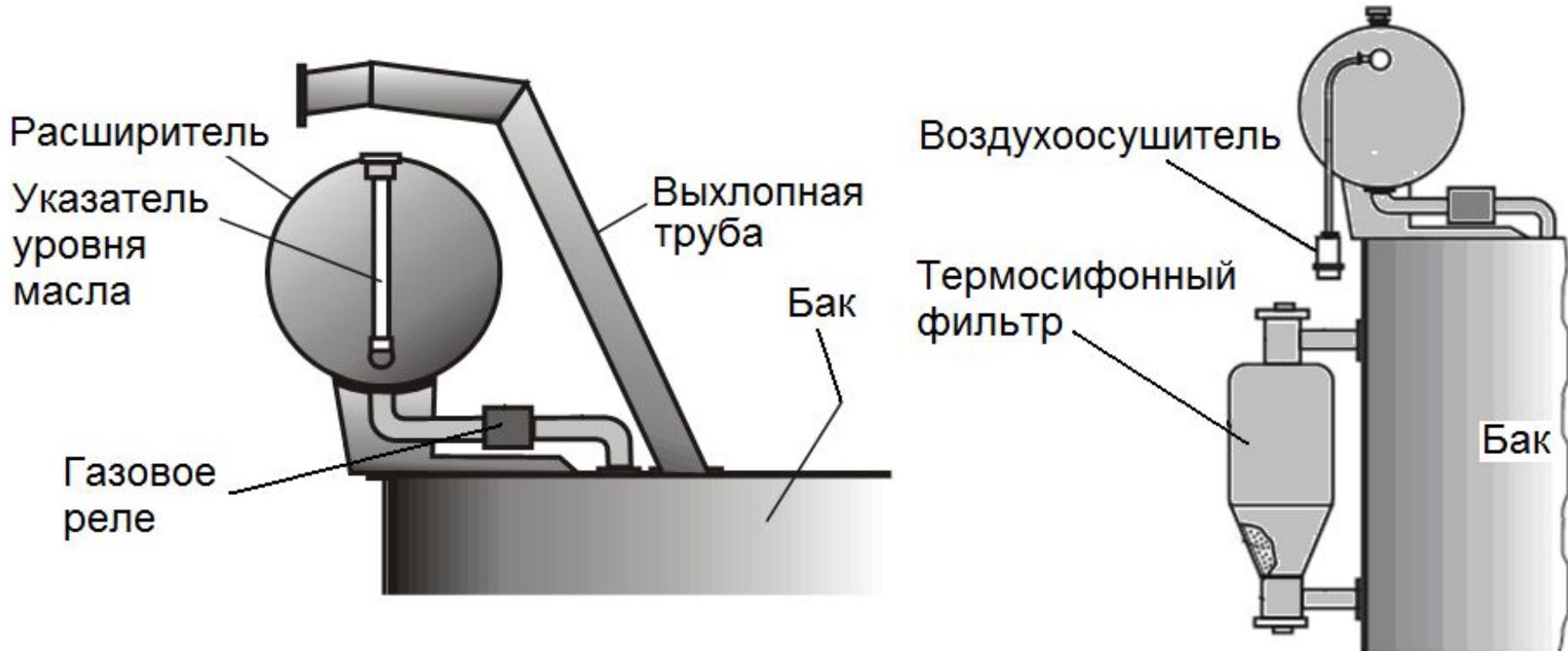




Принципиальные схемы систем охлаждения Д (а) и ДЦ (б)

1 – бак трансформатора; 2 – радиатор; 3 – вентилятор; 4 – масляный электронасос; 5 – калорифер; 6 – фланец; 7 – диффузор

- Одновременно с монтажом системы охлаждения монтируются остальные узлы, поставляемые отдельно от трансформатора:
  - ❖ вводы к обмоткам;
  - ❖ расширитель с указателем уровня масла и воздухоосушителем;
  - ❖ выхлопная труба;
  - ❖ газовое реле, реле уровня масла;
  - ❖ термосифонный фильтр;
  - ❖ измерительные приборы.



- После окончания монтажа всех узлов доливают сухое масло в бак трансформатора с заполнением его системы охлаждения и термосифонного фильтра. Температура заливаемого масла должна быть не ниже  $10^{\circ}\text{C}$ . При этом температура активной части должна быть выше температуры масла. Масло под давлением подается через вентиль, расположенный в нижней части бака трансформатора.



# Включение трансформатора

- Перед включением трансформатора проводятся его испытания, предусмотренные нормативными документами:
  - ❖ измерение характеристик изоляции обмоток;
  - ❖ измерение тангенса угла диэлектрических потерь;
  - ❖ испытание изоляции обмоток повышенным напряжением промышленной частоты;
  - ❖ измерение сопротивления обмоток постоянному току;
  - ❖ проверка коэффициента трансформации;
  - ❖ проверка группы соединений обмоток;
  - ❖ измерение потерь холостого хода;
  - ❖ испытания трансформаторного масла;
  - ❖ испытания бака на герметичность;
  - ❖ проверка переключающего устройства (РПН), устройств охлаждения и средств защиты масла.
- Результаты измерений, испытаний и проверок оформляются соответствующими актами и протоколами.

- Первое включение трансформатора под напряжение допускается проводить не ранее чем через 12 ч после последней доливки масла.
- Включение трансформатора производят толчком на номинальное напряжение на время не менее 30 мин для прослушивания трансформатора и наблюдения за его состоянием.

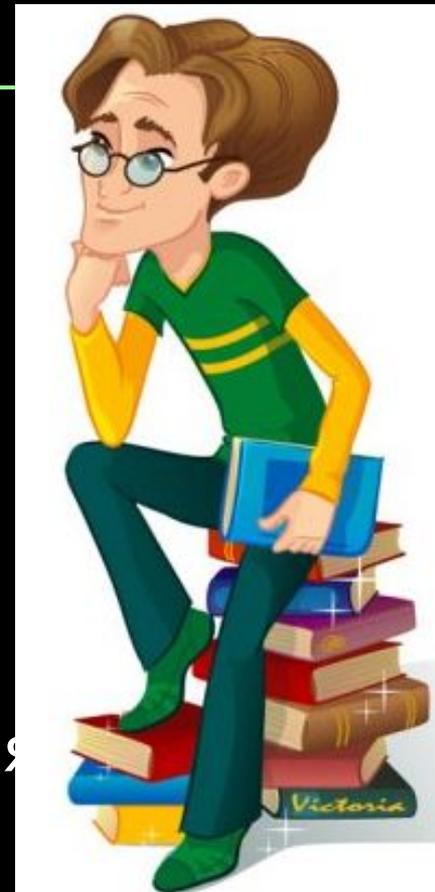


- При нормальной работе трансформатора издаваемый им гул должен быть умеренным и равномерным. Не должны прослушиваться потрескивания внутри бака трансформатора.
- Трансформатор отключают в случае сильного или неравномерного гудения; потрескиваний внутри бака трансформатора; ненормально возрастающей температуры масла; выброса масла из расширителя или разрыва диафрагмы выхлопной трубы; течи масла и при других признаках нарушения нормальной работы.
- При удовлетворительных результатах пробных включений трансформатор включается под нагрузку и сдается в эксплуатацию.



# Вопросы для самопроверки

- Каков состав подготовительных работ при монтаже трансформаторов?
- Назовите основные конструктивные узлы трансформатора.
- Трансформаторы какой мощности поставляются полностью собранными и залитыми маслом.
- В каких случаях допускается ревизия активной части трансформатора?
- В каких случаях используется закрытая установка трансформаторов?
- С какой целью трансформатор устанавливают с небольшим отклонением от горизонтали?
- Какова программа испытаний трансформатора?



# Монтаж оборудования распределительных устройств

- ❑ Шины распределительных устройств.
- ❑ Коммутационные аппараты.
- ❑ Измерительные трансформаторы, аппараты защиты от перенапряжений, конденсаторные установки.
- ❑ Заземляющие устройства.
- ❑ Комплектные распределительные устройства.

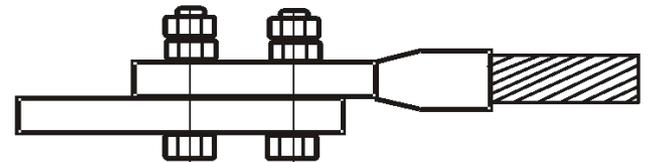
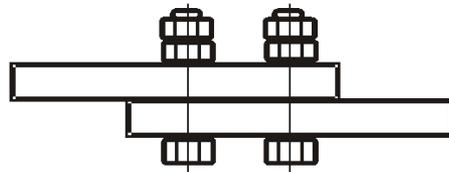
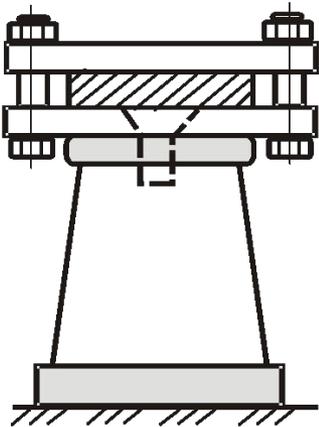


# Шины распределительных устройств

- Шины распределительных устройств (РУ) выполняются гибкими и жесткими. Проводниковый материал – алюминий.
- Гибкие шины – сталеалюминевые провода, подвешиваемые к опорным конструкциям с помощью гирлянд изоляторов.



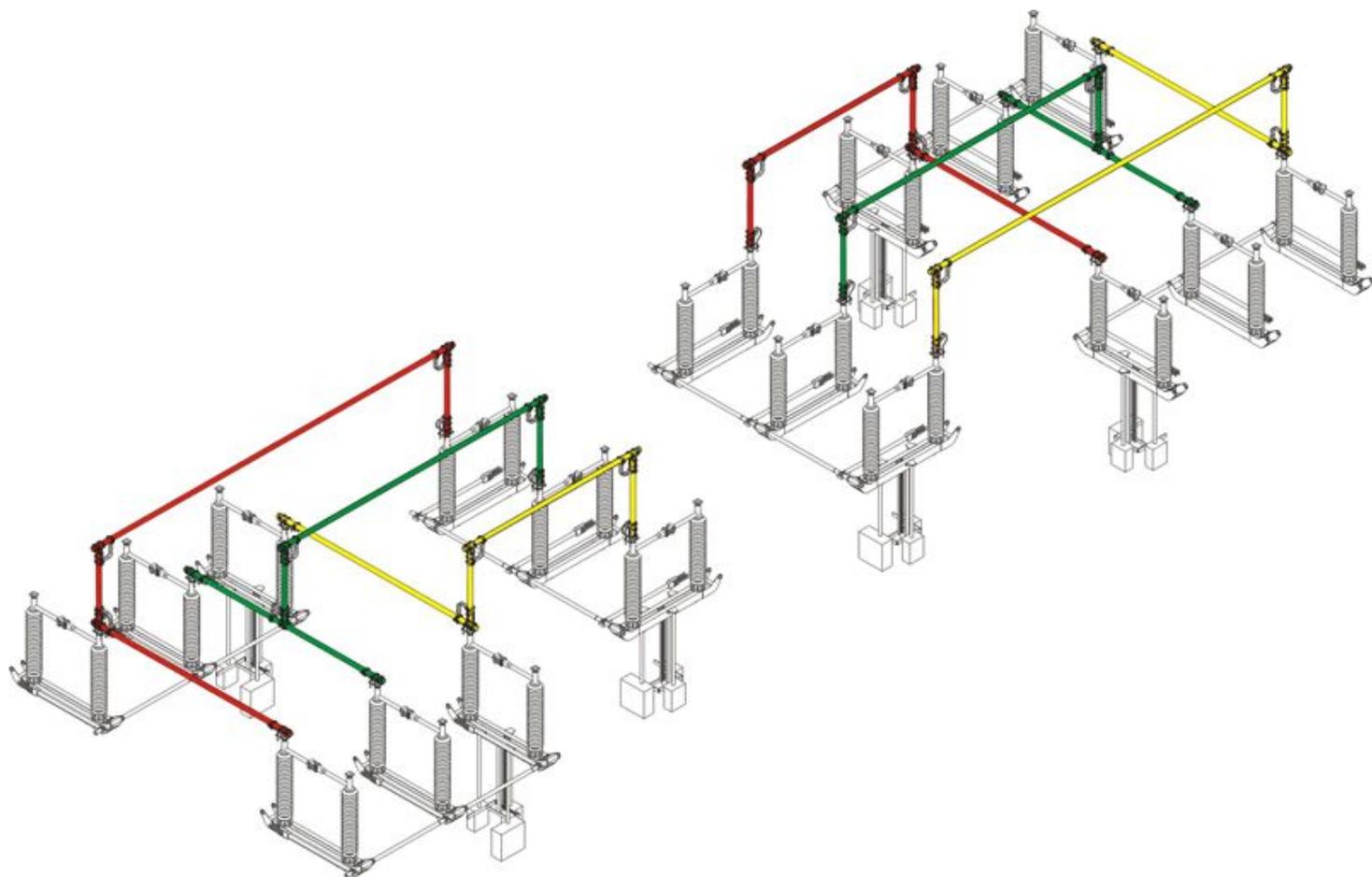
- Жесткие шины прокладываются по опорным изоляторам, устанавливаемым на различных конструкциях.



# Распределительное устройство с гибкими шинами



- **Распределительное устройство с жесткими шинами**



- 
- Радиус изгиба шины на плоскость должен быть не менее двойной толщины шины, при изгибе на ребро — не менее двойной ширины шины. При изгибе шины в штопор длина изгибаемой части должна быть не менее 2,5-кратной ширины шины.
  - Жесткие шины соединяют между собой сваркой или болтовым контактным соединением.
  - В сварных контактных соединениях шин не должно быть трещин, прожогов, непроваров шва более 10% его длины.
  - Гибкие шины не должны иметь перекруток, расплеток, лопнувших проволок. Соединения между смежными аппаратами должны быть выполнены одним отрезком шины (без разрезания). Присоединение ответвлений в шинном пролете должно быть выполнено без разрезания гибкой шины.

# Коммутационные аппараты

- Коммутационные аппараты (выключатели, разъединители) поставляются на монтажную площадку в собранном виде с комплектом металлоконструкций, позволяющих производить монтаж аппаратов, исключая сварочные работы.
- Перед монтажом коммутационные аппараты осматриваются: проверяется состояние изоляторов, армировочных швов, прочность крепления отдельных элементов.
- Монтаж и регулировка коммутационных аппаратов производится в соответствии с монтажными инструкциями заводов-изготовителей.



- Выключатели устанавливаются на опорные конструкции (фундамент). Выверяется вертикальность и горизонтальность установки аппарата. На опорную конструкцию устанавливается привод, проверяется и регулируется совместная работа привода и коммутационного аппарата.
- Металлические части аппаратов, нормально не находящиеся под напряжением, подсоединяются к заземляющему устройству.



масляный, воздушный и элегазовый выключатели

- Особое внимание при монтаже разъединителей уделяется работе контактной системы. Оси контактов каждого полюса должны совпадать; полюса разъединителя должны замыкаться и размыкаться одновременно; контактное давление должно соответствовать заводским нормам.
- Дефекты в работе контактной системы устраняются специально предусмотренными в конструкции разъединителя регулировками.
- Проверяется работа блокировок от неправильных операций с главными и заземляющими ножами разъединителя.



# **Измерительные трансформаторы, аппараты защиты от перенапряжений, конденсаторные установки**

- Перед монтажом измерительных трансформаторов проводится их осмотр. Ревизия (вскрытие) допускается лишь при наличии признаков, указывающих на возможные внутренние повреждения.
- При монтаже измерительных трансформаторов должна быть обеспечена вертикальность и горизонтальность их установки на опорной конструкции.
- В период монтажа измерительных трансформаторов напряжения их первичные и вторичные обмотки с целью безопасности закорачиваются.
- Все вторичные обмотки измерительных трансформаторов заземляются.
- Высоковольтные вводы смонтированного трансформатора напряжения должны быть закорочены до его включения под напряжение. Корпус трансформатора должен быть заземлен.

# • Трансформаторы тока



- Трансформаторы напряжения



- Перед монтажом *разрядников и ограничителей перенапряжений* осматривается их фарфоровая покрывка, в которой не должно быть трещин и сколов, проверяется состояние швов армировки и положение герметизирующих прокладок. Легкое встряхивание или покачивание аппарата не должны вызывать внутреннего шума или позвякивания.
- После установки аппарата на опорную конструкцию выполняется его ошиновка и подключение к заземляющему устройству.



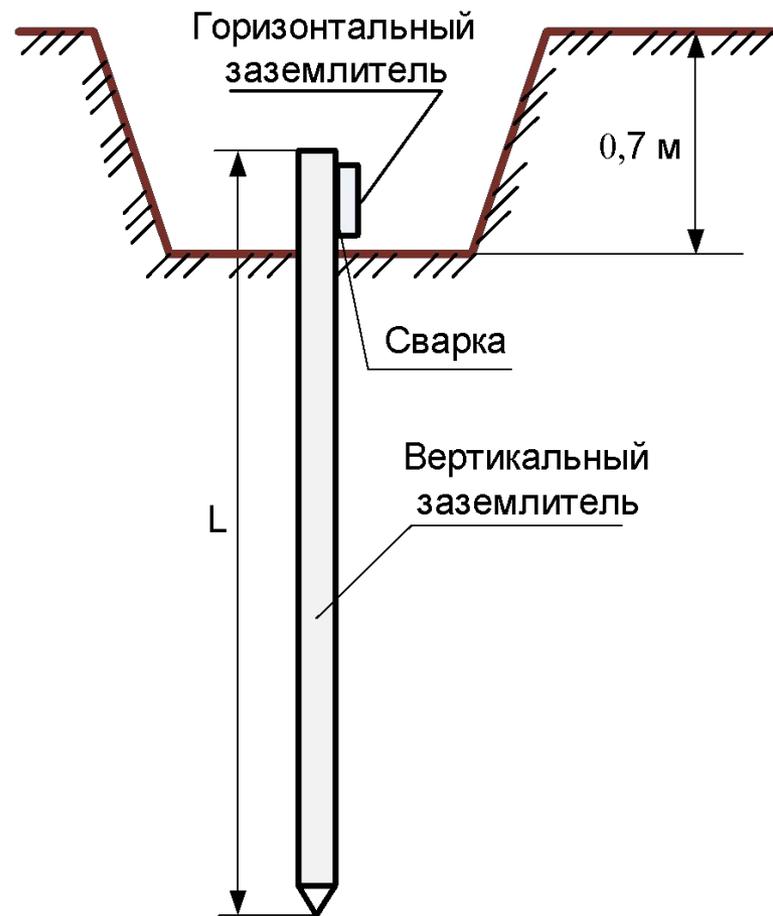
- При монтаже *конденсаторных установок* должна быть обеспечена горизонтальная установка каркасов и вертикальная установка конденсаторов. Расстояние между дном конденсаторов нижнего яруса и полом помещения должно быть не менее 100 мм.
- Токоведущие шины и заземляющие проводники должны монтироваться таким образом, чтобы обеспечить удобство смены любого конденсатора во время эксплуатации.
- Ошиновка не должна создавать изгибающих усилий в выводных изоляторах конденсаторов.



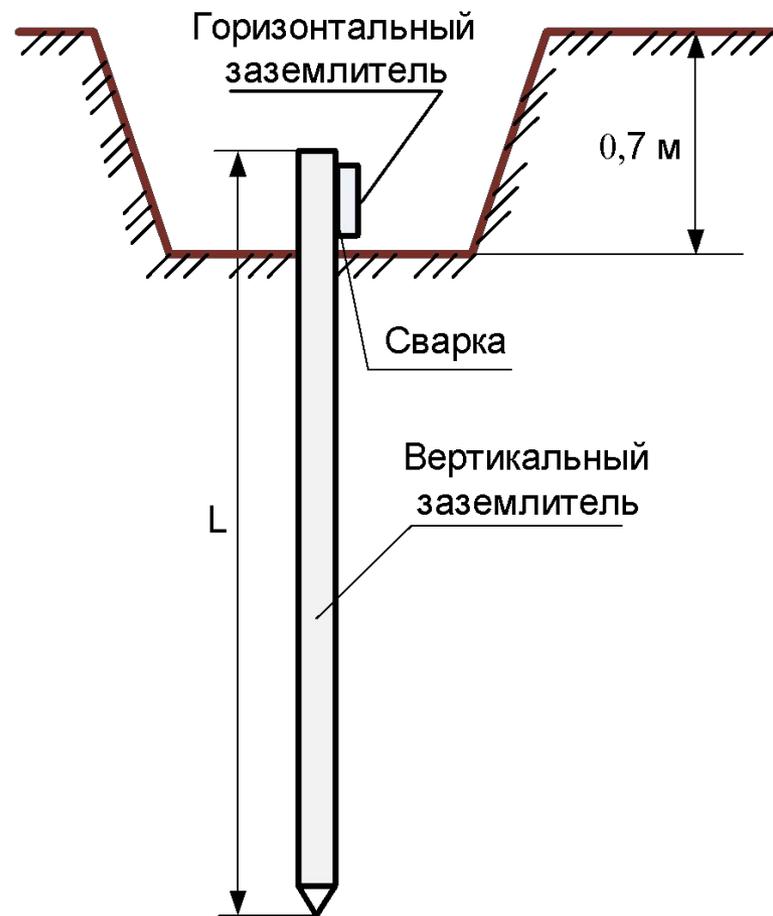
# Заземляющие устройства

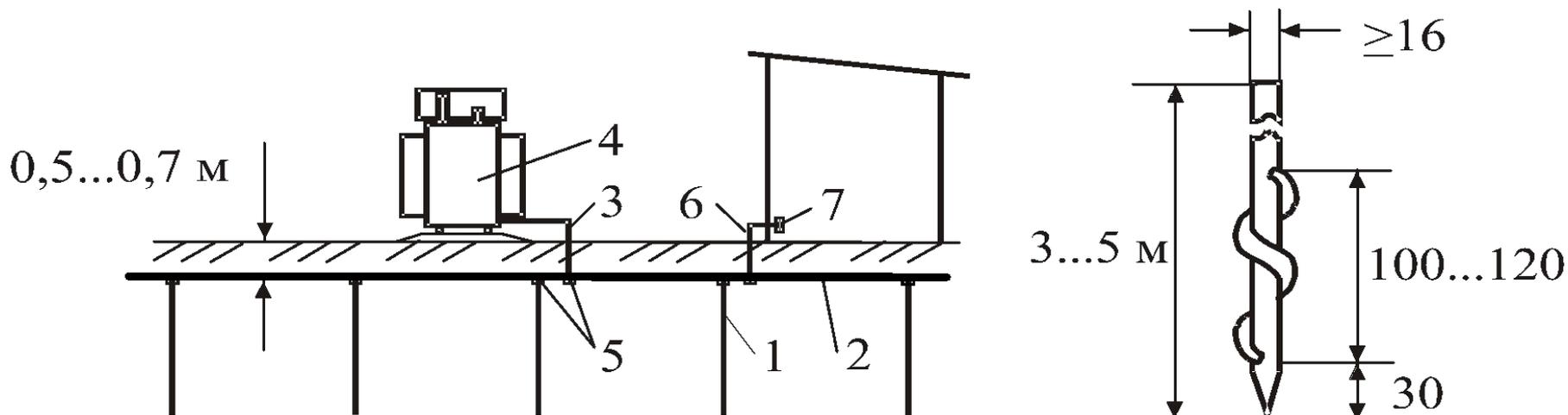
- Монтаж заземляющих устройств (ЗУ) состоит из следующих операций:
  - ❖ подготовки земляной траншеи;
  - ❖ установки заземлителей (вертикальных и горизонтальных) и соединения их между собой;
  - ❖ прокладки заземляющих проводников;
  - ❖ соединений заземляющих проводников с заземлителями и заземляемыми частями оборудования.
- В качестве заземлителей используются в первую очередь естественные заземлители.
- Не допускается использовать в качестве естественных заземлителей трубопроводы горючих жидкостей и газов, трубопроводы канализации, алюминиевые оболочки кабелей.

- При недостаточном сопротивлении естественных заземлителей устанавливают искусственные заземлители. С этой целью по периметру объекта (подстанции) роется траншея глубиной 0,7...0,8 м.
- В дно траншеи заглубляются вертикальные заземлители (электроды) длиной 3...5 м, в качестве которых используется стальной прокат.



- Заглубление электродов в грунт выполняется ударным способом, вдавливанием или вкручиванием. Нижнему концу электродов придается форма бурава.
- Верхние концы электродов соединяются между собой горизонтальными заземлителями. Соединения выполняются сваркой.
- В качестве горизонтальных заземлителей используется, как правило, полосовая сталь сечением не менее  $100 \text{ мм}^2$  или проволока диаметром не менее  $10 \text{ мм}$ .





- 1 — заземлитель вертикальный (электрод); 2 — заземлитель горизонтальный; 3 — заземляющий проводник; 4 — металлические части оборудования, подлежащие заземлению; 5 — места сварки; 6 — ввод заземляющих проводников в здание; 7 — заземляющая шина

- Для выравнивания электрического потенциала на территории РУ дополнительно прокладываются продольные и поперечные горизонтальные заземлители, объединенные между собой в заземляющую сетку.
- Каждая металлическая часть электроустановки, присоединяется к заземлителям с помощью отдельного заземляющего проводника. Присоединение заземляющих проводников к заземлителям выполняется сваркой, а к металлическим частям оборудования с помощью болтового соединения.
- По окончании монтажа ЗУ составляется акт скрытых работ с указанием привязки ЗУ к стационарным ориентирам.



- **Прибор для измерения сопротивлений заземляющих устройств Ф4103**

- 
- Заземление оборудования, находящегося внутри зданий, выполняется присоединением этого оборудования с помощью заземляющих проводников к заземляющей шине. Эта шина должна быть соединена с наружным контуром заземления не менее чем двумя заземляющими проводниками в разных точках.
  - Заземляющая шина крепится непосредственно к стенам зданий и сооружений с помощью дюбелей и строительного монтажного пистолета. Крепление выполняется на высоте 0,4...0,6 м от уровня пола через 1,5 м.
  - Соединения отдельных полос заземляющей шины выполняются сваркой внахлестку. Длина нахлеста должна быть не менее двойной ширины шины.
  - После монтажа все открыто проложенные элементы ЗУ окрашиваются чередующимися продольными или поперечными полосами желтого и зеленого цвета.

# Комплектные распределительные устройства

- Распределительные устройства (РУ) на напряжение 6...10 кВ собираются, как правило, из комплектных ячеек полной заводской готовности. Силовое оборудование ячеек может располагаться на выкатных тележках (ячейки КРУ) или стационарно в сборных камерах одностороннего обслуживания (камеры КСО).



- Монтаж комплектных РУ выполняется в два этапа.
- *На первом этапе* в ходе выполнения общестроительных работ устраиваются предусмотренные строительными чертежами проемы, ниши, кабельные каналы, устанавливаются закладные детали и опорные конструкции под оборудование, выполняется монтаж заземляющего устройства и сети общего освещения.



- *На втором этапе* на опорные конструкции устанавливаются комплектные ячейки РУ, выполняются соединения сборных шин, проверяется совпадение разъединяющих контактов первичных и вторичных цепей и заземляющих контактов путем медленного вкатывания тележек в рабочее положение.



- Прокладку силовых и контрольных кабелей в соответствии с кабельным журналом выполняют после установки ячеек на место.
- На фазах каждой секции сборных шин РУ предусматривают места для наложения переносного заземления и наносят условный знак заземления. Шины в этих местах зачищают и смазывают тонким слоем технического вазелина.
- На дверях, выходящих из помещения РУ наружу или в другое помещение, с внешней стороны делают надписи с наименованием РУ и закрепляют предупредительные плакаты.



- У выкатных тележек выполняется проверка механизма доводки и блокировки в рабочем и испытательном положениях.
- При вкатывании-выкатывании тележек не должно быть перекосов и заеданий.
- Проверяется действие защитных шторок, обеспечивающих безопасность при производстве ремонтных работ.
- Проверяется работа механических блокировок.



- Измеряются переходные сопротивления первичных разъединяющих контактов, болтовых контактных соединений сборных шин, связи заземления выкатной тележки с корпусом.
- Переходное сопротивление контактов сборных шин не должно превышать более чем в 1,2 раза сопротивления целого участка шины такой же длины.
- Переходное сопротивление связи заземления выкатной тележки с корпусом не должно превышать 100 мкОм.



- Сопротивление изоляции первичных цепей, измеренное мегаомметром на напряжение 2500 В, должно быть не ниже 100 МОм. Сопротивления изоляции вторичных цепей, измеренное мегаомметром на напряжение 500–1000 В, должно быть не ниже 0,5 МОм.



- Мегаомметры стрелочный ЭС0202 и цифровой ЦС0202

- Испытания изоляции первичных цепей производится повышенным напряжением промышленной частоты в течение 1 мин. Величина испытательного напряжения для керамической изоляции РУ-10 кВ составляет 42 кВ; для твердой органической изоляции — 37,8 кВ.
- Испытания изоляции вторичных цепей производится напряжением промышленной частоты 1 кВ в течение 1 мин.



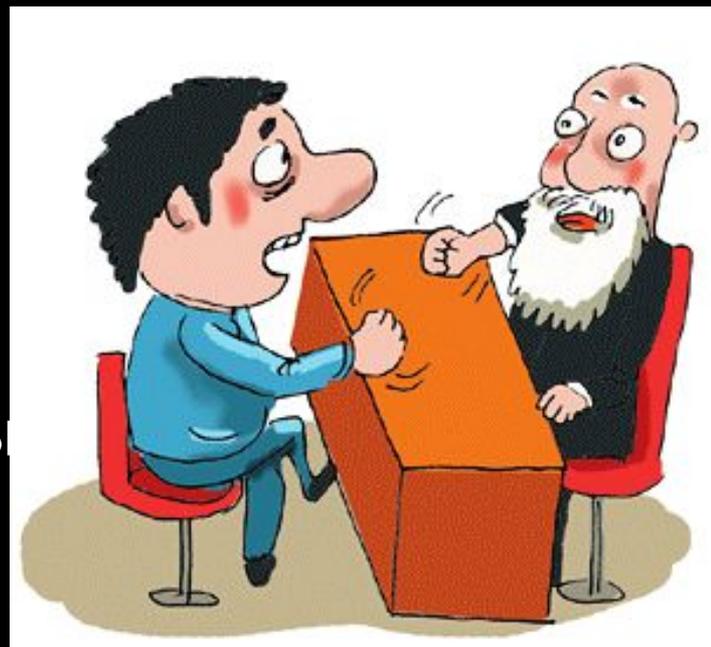
- **Передвижная испытательная высоковольтная лаборатория**

- **Монтаж городских ТП 10/0,4 кВ**



# Вопросы для самопроверки

- Как осуществляется соединение шин?
- Каковы особенности монтажа разъединителей?
- С какой целью при монтаже закорачиваются обмотки трансформаторов напряжения?
- Поясните термины «естественный и искусственный заземлитель».
- Как осуществляется соединение между собой отдельных заземлителей?
- Как окрашиваются открыто проложенные элементы заземляющего устройства?
- Поясните этапы монтажа комплектных распределительных устройств.



# Раздел 2. Эксплуатация электрооборудования

---

- Эксплуатация воздушных линий
- Эксплуатация кабельных линий
- Эксплуатация трансформаторов
- Эксплуатация оборудования распределительных устройств

**ПРАВИЛА  
ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК  
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

# Эксплуатация воздушных линий

- ❑ **Осмотры ВЛ.**
- ❑ **Профилактические измерения и испытания.**
- ❑ **Определение мест повреждения.**
- ❑ **Борьба с гололедом.**
- ❑ **Ремонт ВЛ.**



# Осмотры ВЛ

- **Осмотр** — это обход ВЛ с визуальной проверкой состояния трассы и всех элементов ВЛ.
- **Осмотр ВЛ по всей длине** — не реже 1 раза в год.
- **Внеочередные осмотры** участков ВЛ должны проводиться при образовании на проводах гололеда, пляске проводов, после стихийных бедствий в зоне ВЛ, после отключения ВЛ релейной защитой и неуспешного АПВ

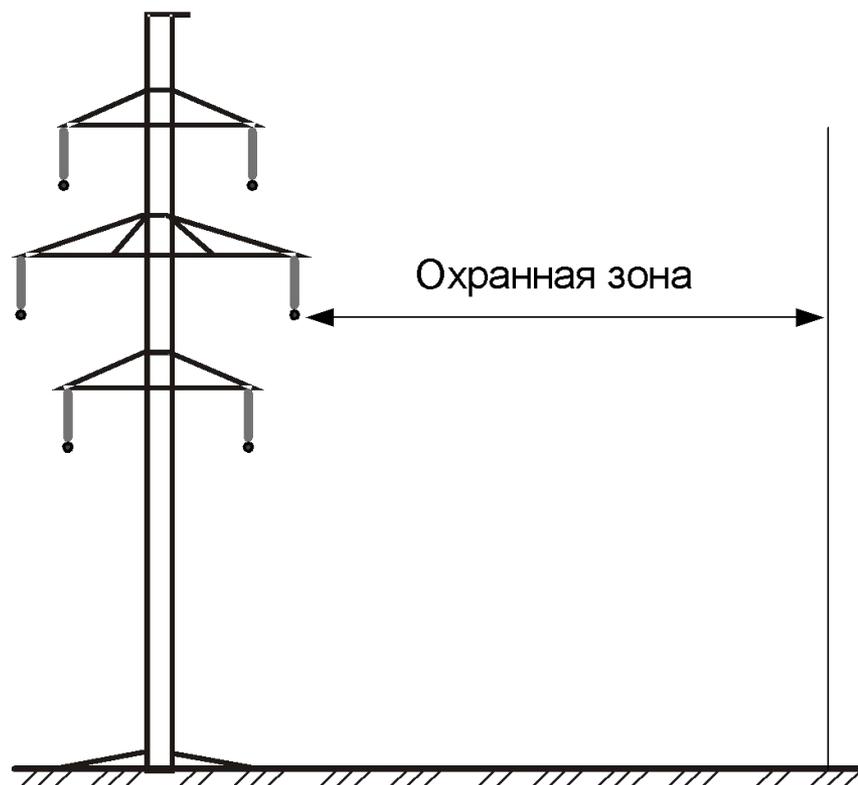


## Трасса ВЛ

- При осмотрах ВЛ, проходящих в лесных массивах, обращают внимание на зарастание просек, их ширину и противопожарное состояние.
- ВЛ с СИП не критичны к состоянию просек.



- Правилами охраны электрических сетей для ВЛ устанавливается охранная зона в виде земельного участка и воздушного пространства, ограниченная мнимыми вертикальными плоскостями, отстоящими по обе стороны линии от крайних проводов на расстоянии:
  - для линий до 1000 В — 2 м;
  - линий до 20 кВ — 10 м;
  - линий 35 кВ — 15 м;
  - линий 110 кВ — 20 м;
  - линий 220 кВ — 25 м.



- В охранной зоне без письменного согласования с организацией, эксплуатирующей ВЛ, не должны проводиться какие-либо работы, складирование материалов, свалки мусора и др.
- При прохождении ВЛ в населенной местности расстояния по горизонтали от крайних проводов до ближайших зданий и сооружений должны быть не менее:
  - ❖ 2 м — для ВЛ напряжением до 20 кВ;
  - ❖ 4 м — для ВЛ напряжением 35...110 кВ;
  - ❖ 6 м — для ВЛ напряжением 220 кВ.

# Опоры

- При осмотре опор обращают внимание на их отклонения от вертикального положения. В местах заглубления опор не должно быть проседания или вспучивания грунта.
- На опорах должны присутствовать их порядковые номера, информационные знаки с указанием ширины охранной зоны, а в населенной местности – предупредительные плакаты безопасности.



- У деревянных опор не должно быть видимого загнивания деревянных частей, следов обгорания или расщепления.
- Внешнее загнивание опор определяется визуально, наличие внутреннего загнивания — путем простукивания древесины молотком в сухую погоду. Звонкий звук указывает на здоровую древесину, глухой — на наличие в ней внутреннего загнивания.



- У металлических опор проверяются сварные швы и болтовые соединения, состояние антикоррозийного покрытия и степень поражения элементов опор коррозией. Не допускается сквозное поражение коррозией металлических элементов опор, появление трещин в металле и сварных швах.



- У железобетонных опор особое внимание уделяется осмотру железобетонной стойки опоры, в которой не должно быть трещин и других повреждений бетона. Трещины способствуют коррозии арматуры и, следовательно, уменьшению прочности опоры.



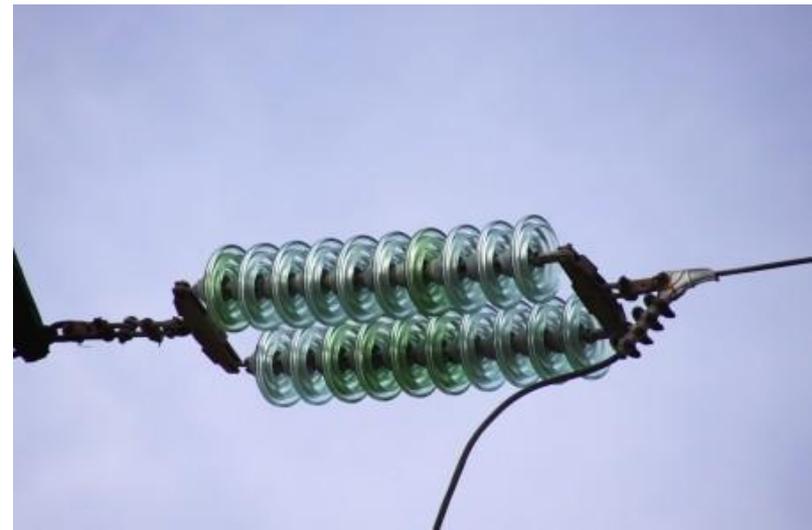
# Провода и тросы

- У проводов и тросов не должно быть обрывов и оплавлений отдельных проволок, набросов на провода посторонних предметов.
- У ВЛ с изолированными проводами проверяется состояние изоляции проводов в местах их соприкосновения с деревьями и отдельными сучьями.



## Изоляторы и арматура

- Изоляторы ВЛ не должны иметь трещин, ожогов от перекрытия и других видимых повреждений глазури. Изоляторы в гирляндах должны быть чистыми и целыми. У ВЛ со штыревыми изоляторами не должно быть срывов изоляторов со штырей или крючьев, обрыва вязки провода к изолятору.
- При оценке состояния сцепной арматуры обращают внимание на ее комплектность (наличие всех болтов, гаек, шплинтов, замков), отсутствие трещин, деформации, видимых следов коррозии.
- На поверхности овальных и опрессованных соединителей не должно быть следов коррозии, трещин и других механических повреждений.
- Гасители вибрации должны быть на установленном при монтаже месте.



# Трубчатые разрядники и заземляющие устройства

- У разрядников проверяется направление зоны выхлопа, состояние поверхности разрядника, которая не должна иметь ожогов электрической дугой, трещин, расслоений и глубоких царапин.
- У заземляющих устройств проверяется состояние (целостность и степень поражения коррозией) заземляющих проводников и их соединений с заземлителями.



- При оценке состояния проводов, изоляторов, арматуры и других элементов ВЛ, расположенных достаточно высоко, целесообразно использовать бинокль.

- Все замеченные при осмотрах дефекты и неисправности ВЛ заносятся в листок осмотра.
- Все дефекты и неисправности в зависимости от их характера устраняются при ближайшем техническом обслуживании или плановом ремонте ВЛ.
- Повреждения аварийного характера должны быть устранены немедленно.

Предприятие \_\_\_\_\_  
Район (участок) \_\_\_\_\_

### ЛИСТОК ОСМОТРА

ВЛ \_\_\_\_\_ кВ наименование линии \_\_\_\_\_

Вид осмотра \_\_\_\_\_

Номер опоры, пролета	Замеченные неисправности

Осмотр произведен от опоры № \_\_\_\_\_ до опоры № \_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

ф.и.о. подпись

Листок осмотра принял дата подпись

# Профилактические измерения и испытания

---

- При техническом обслуживании ВЛ периодически проводятся проверки, измерения и испытания, объем и периодичность которых регламентируются ПТЭ.
-

## Опоры

- Отклонение от вертикального положения металлических, железобетонных и деревянных опор должно быть не более 1:200, 1:150 и 1:100 соответственно.
- Допустимый коррозионный износ поперечного сечения металлических элементов опор не должен превышать 10% от площади первоначального сечения.
- У стоек железобетонных опор измеряется ширина раскрытия трещин. Трещины шириной до 0,3 мм должны закрашиваться влагостойкой краской; 0,3...0,6 мм — затираться полимерцементным раствором.
- Стойка деревянной опоры бракуется и подлежит замене при диаметре здоровой части менее:
  - ❖ 12 см (ВЛ до 35 кВ);
  - ❖ 15 см (35 кВ и выше с проводами сечением до 120 мм<sup>2</sup>);
  - ❖ 18 см (35 кВ и выше с проводами сечением более 120 мм<sup>2</sup>).

# Провода

- Стрелы провеса проводов и тросов должны отличаться от проектных значений не более чем на 5%.

---

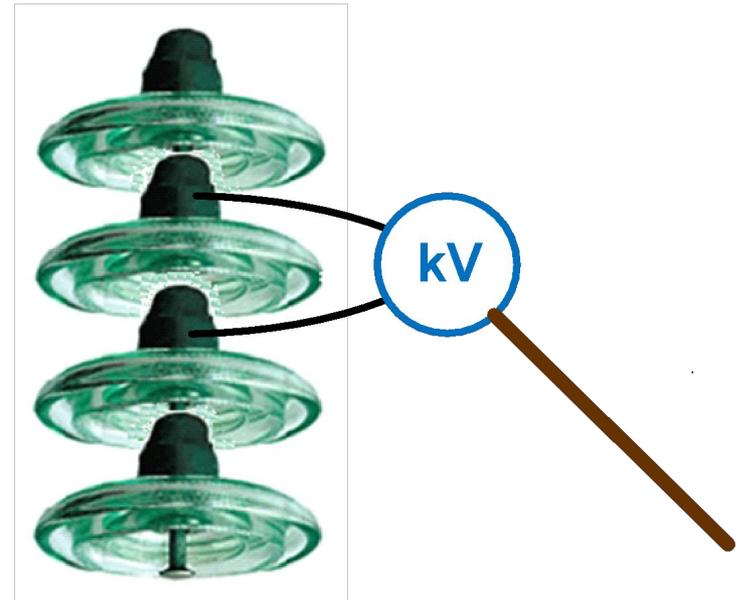
- Расстояния от проводов ВЛ до поверхности земли должны быть не менее установленных ПУЭ:
  - ❖ 5 м — для ВЛ до 1 кВ с самонесущими изолированными проводами;
  - ❖ 6 м — то же, но с голыми проводами;
  - ❖ 6 м — для ВЛ выше 1 кВ с изолированными проводами;
  - ❖ 7 м — для ВЛ до 110 кВ в населенной местности;
  - ❖ 6 м — то же, но в ненаселенной местности;
  - ❖ 5 м — то же, но в труднодоступной местности;
  - ❖ 8 м — для ВЛ напряжением 220 кВ в населенной местности;
  - ❖ 7 м — то же, но в ненаселенной местности;
  - ❖ 6 м — то же, но в труднодоступной местности.

- ❑ Расстояния от проводов ВЛ до различных объектов и сооружений в местах пересечений и сближений ВЛ с этими объектами должны быть не менее установленных ПУЭ.
- ❑ При уменьшении площади поперечного сечения проводов вследствие обрыва, истирания или оплавления отдельных проволок более чем на 16% (алюминиевые провода) и более чем на 33% (сталеалюминиевые провода) дефектный участок провода должен быть заменен.



# Изоляторы и арматура

- Сопротивление одного фарфорового изолятора гирлянды, измеренное мегомметром, должно быть не менее 300 МОм. Измерения могут выполняться только на отключенной линии.
- Без отключения линии измеряется распределение напряжения по изоляторам гирлянды. Для этого используется измерительная изолирующая штанга. Напряжения на фарфоровых изоляторах гирлянды составляют от 5 до 20 кВ на одном изоляторе. Наибольшее напряжение приложено к изолятору со стороны провода, а наименьшие напряжения — к изоляторам в середине гирлянды.



- Испытания и измерения установленных на ВЛ стеклянных изоляторов и полимерных изоляторов не производятся; их контроль осуществляется только внешним осмотром.

- Стеклянные изоляторы бракуются и подлежат замене при появлении на поверхности стекла волосяных трещин.
- Сцепная арматура бракуется, если ее поверхность сплошь поражена коррозией, на поверхности есть трещины, следы оплавления и механической деформации, шарнирные соединения имеют износ более 10%.

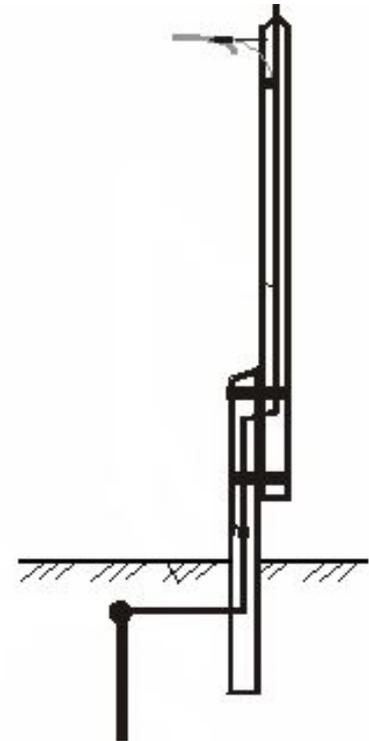
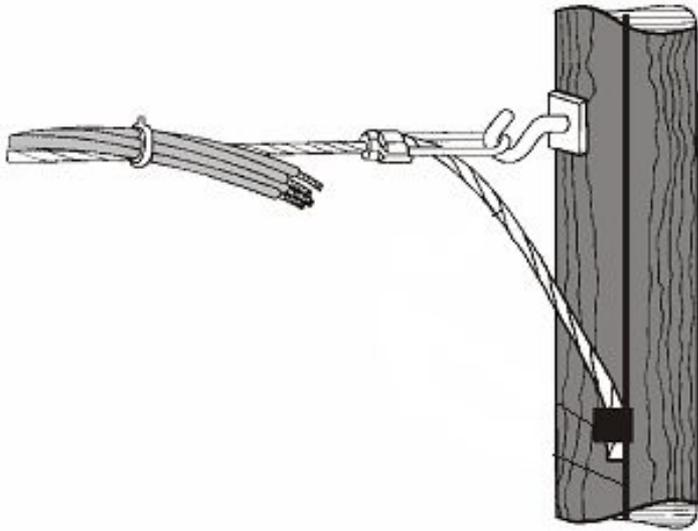
## Трубчатые разрядники

- У разрядников измеряются внешний и внутренний искровые промежутки и диаметр дугогасительного канала.
- Длина внешнего искрового промежутка должна соответствовать проектному значению, длина внутреннего искрового промежутка не должна отличаться от проектного более чем на 5 мм.
- Диаметр дугогасительного канала не должен превышать начальный диаметр более чем в 1,3...1,5 раза.



## Заземляющие устройства

- Измерения сопротивлений ЗУ выполняются ежегодно в период наибольшего высыхания грунта.
- Сопротивления повторных заземлений нулевого провода ВЛ напряжением до 1 кВ должны быть не более 30 Ом.



- На ВЛ напряжением выше 1 кВ сопротивления ЗУ устанавливаются в зависимости от удельного сопротивления грунта  $\rho$  и должны быть:
  - ❖ не более 10 Ом при  $\rho$  до 100 Ом·м;
  - ❖ не более 15 Ом при  $\rho$  от 100 до 500 Ом·м;
  - ❖ не более 20 Ом при  $\rho$  от 500 до 1000 Ом·м;
  - ❖ не более 30 Ом при  $\rho$  от 1000 до 5000 Ом·м.
- Результаты измерений сопротивлений ЗУ должны оформляться соответствующими протоколами.
- Проверка ЗУ со вскрытием грунта производится не менее чем у 2% опор от общего числа опор с заземлителями. Указанную проверку следует проводить в населенной местности и на участках с наиболее агрессивными и плохо проводящими грунтами.
- Элемент заземлителя должен быть заменен, если коррозией разрушено более 50% его сечения.

# Определение места повреждения

- В практической эксплуатации всегда имеют место случайные повреждения ВЛ: однофазные и многофазные замыкания, обрывы проводов и другие повреждения.
- Одной из важных задач эксплуатации ВЛ является быстрое определение места повреждения и проведение ремонтно-восстановительных работ.

## Линии 110-220 кВ

- Характеризуются достаточно **большой протяженностью**. В таких сетях используются, как правило, двусторонние методы отыскания повреждений, основанные на фиксации токов и напряжений аварийного режима по концам ВЛ.
- Для измерения и запоминания токов и напряжений используются микропроцессорные фиксирующие приборы. Обработка результатов измерения выполняется уже после отключения линии релейной защитой.
- Погрешность определения расстояния до места повреждения не превышает 5 %.

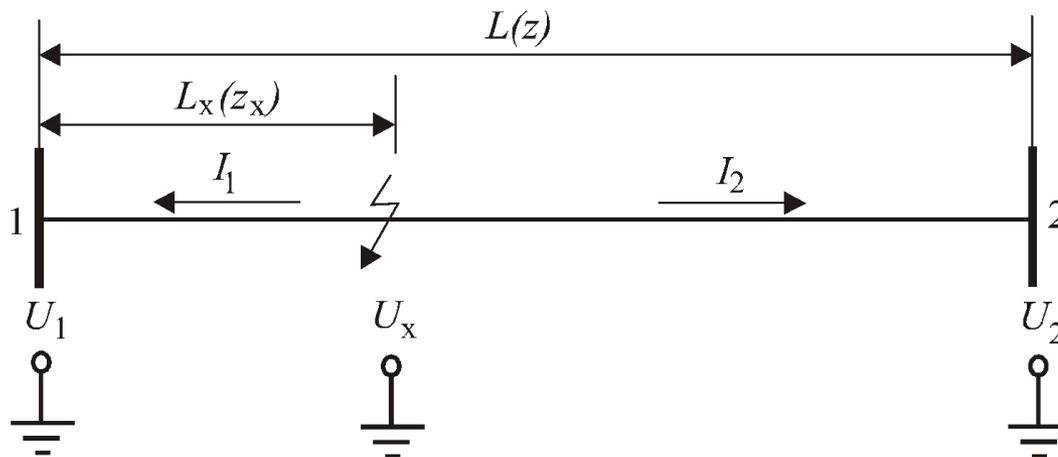
- Параметры аварийного режима связаны соотношениями

$$U_1 + I_1 z_x = U_x; \quad U_2 + I_2 (z - z_x) = U_x,$$

где  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_x$  — напряжения по концам линии и в месте повреждения;

$I_1$ ,  $I_2$  — токи по концам линии;

$z$ ,  $z_x$  — сопротивления линии и участка до места повреждения.



- Приравнивая левые части выражений, получим

$$z_x = \frac{I_2 z + U_2 - U_1}{I_1 + I_2}$$

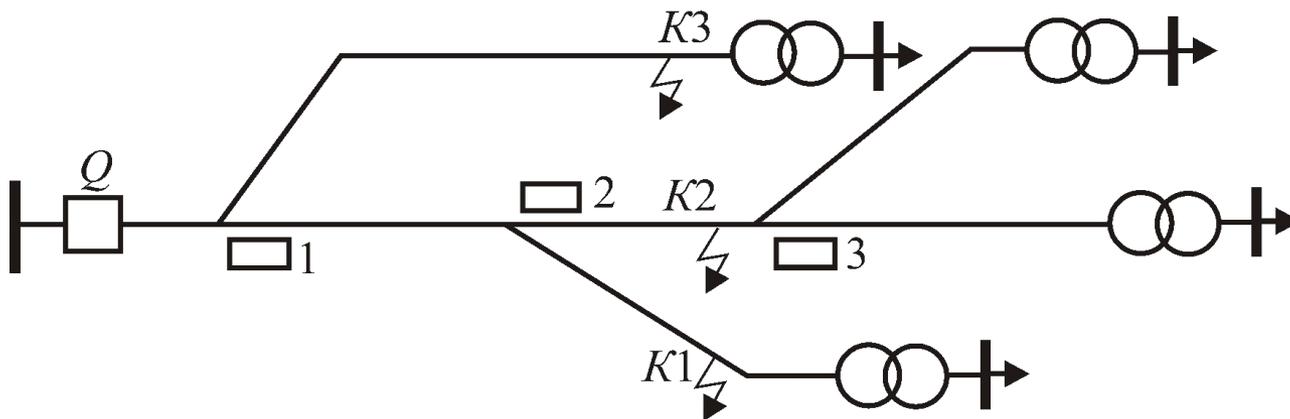
- Поделив правую и левую части последнего выражения на удельное сопротивление проводов линии  $z_0$ , получим искомое расстояние до места повреждения:

$$L_x = \frac{I_2 z + U_2 - U_1}{z_0 (I_1 + I_2)}$$

- Параметры линии  $z$  и  $z_0$  вводятся с клавиатуры прибора. Величина  $L_x$  в километрах выдается на дисплей прибора.
- Отсутствие в последнем выражении напряжения  $U_x$  показывает независимость результата от сопротивления в месте повреждения.

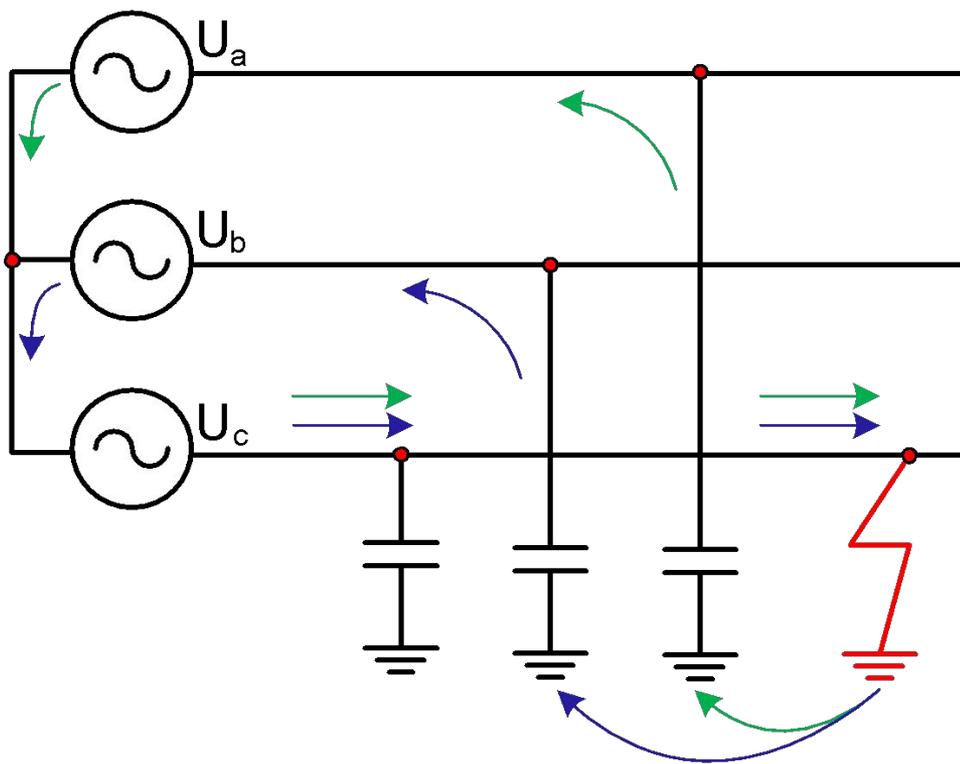
# Сети 6-35 кВ, многофазные замыкания

- Существенной особенностью сетей 6...35 кВ является их разветвленность.
- После отключения короткого замыкания выключателем  $Q$  возникает задача определения аварийного участка разветвленной сети.
- Для ориентирования при поиске места повреждения в местах разветвления сети устанавливаются **указатели поврежденного направления** 1, 2 и 3, фиксирующие факт протекания тока короткого замыкания.

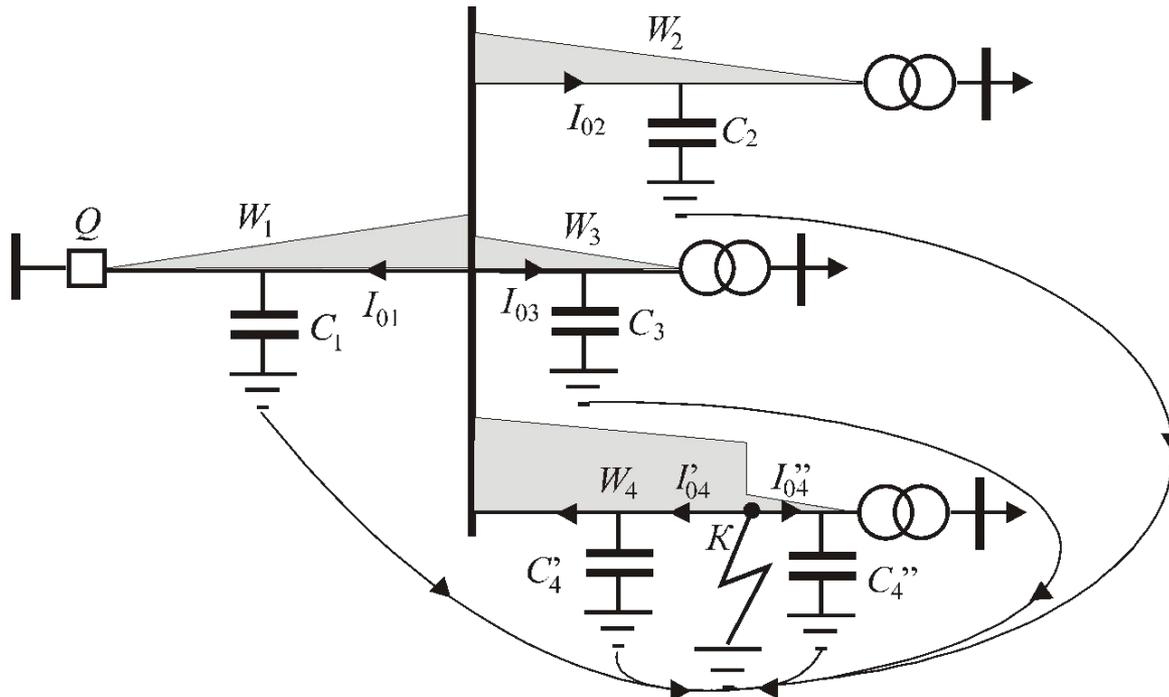


## Сети 6-35 кВ, однофазные замыкания

- Сети такого напряжения работают с **изолированной нейтралью**.
- В этих сетях ток однофазного замыкания на землю имеет емкостной характер, а по величине значительно меньше тока нагрузки.
- Отыскание места однофазных замыканий на землю осуществляется с помощью переносных приборов, измеряющих вблизи ВЛ уровень магнитного поля токов нулевой последовательности.



- Принцип определения места замыкания на землю в разветвленной сети иллюстрируется схемой (см. рис.), состоящей из линий  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$  и  $W_4$ .
- При замыкании на землю в точке  $K$  через место повреждения протекают емкостные токи нулевой последовательности, замыкающиеся через распределенные емкости линий, представленные на рис. сосредоточенными емкостями  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  и  $C_4'$ .
- Распределение этих токов в линиях сети показано на рис. эпюрами токов.



- Величины токов, растекающихся по линии  $W_4$  влево ( $I_{04}'$ ) и вправо ( $I_{04}''$ ) от места замыкания, пропорциональны суммарным емкостям на землю:

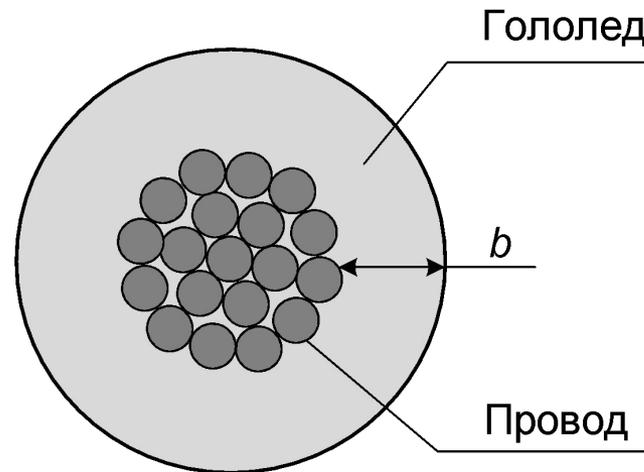
$$I_{04}' = k(C_4' + C_1 + C_2 + C_3);$$
$$I_{04}'' = k(C_4''),$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности.

- Наибольший уровень емкостных токов нулевой последовательности имеет место в поврежденной линии до места замыкания, после которого уровень этих токов резко уменьшается.
- Применение переносных приборов, реагирующих на магнитные поля основной частоты (50 Гц), затруднено вследствие значительного влияния на измерения рабочих токов линий. Поэтому при поиске мест замыканий на землю используют приборы, реагирующие на высшие гармонические составляющие магнитного поля токов нулевой последовательности.

# Борьба с гололедом

- Гололедно-изморозевые отложения на элементах ВЛ происходят при температуре воздуха около  $-5^{\circ}\text{C}$  и скорости ветра  $5...10$  м/с.
- Полная масса гололедно-изморозевых отложений приводится к форме полого цилиндра льда с толщиной стенки, равной  $b$ .



- Гололед обуславливает дополнительные механические нагрузки на все элементы ВЛ. При значительных гололедных отложениях возможны обрывы проводов, тросов, разрушения арматуры, изоляторов и даже опор ВЛ.

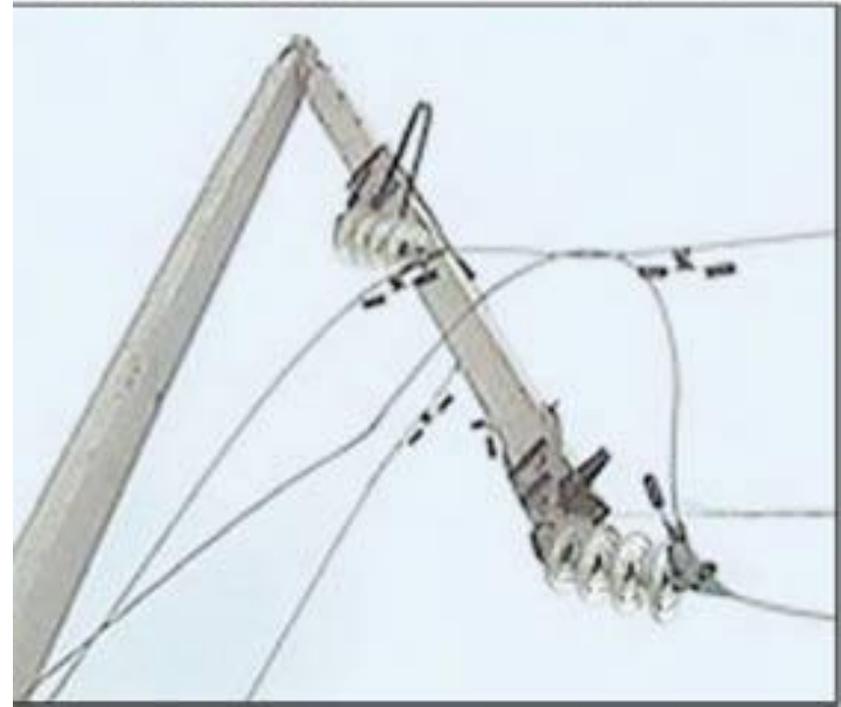


- **Гололед на воздушных линиях электропередачи**

## *Гололед на проводах ВЛ*

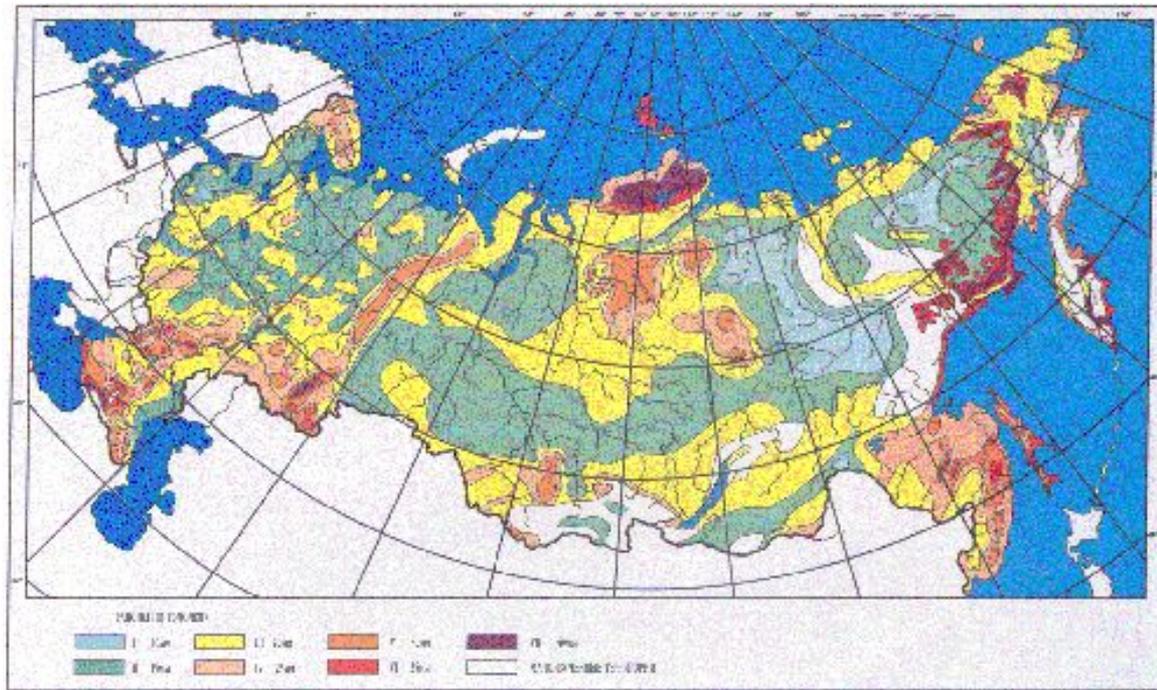


## *Последствия гололеда*



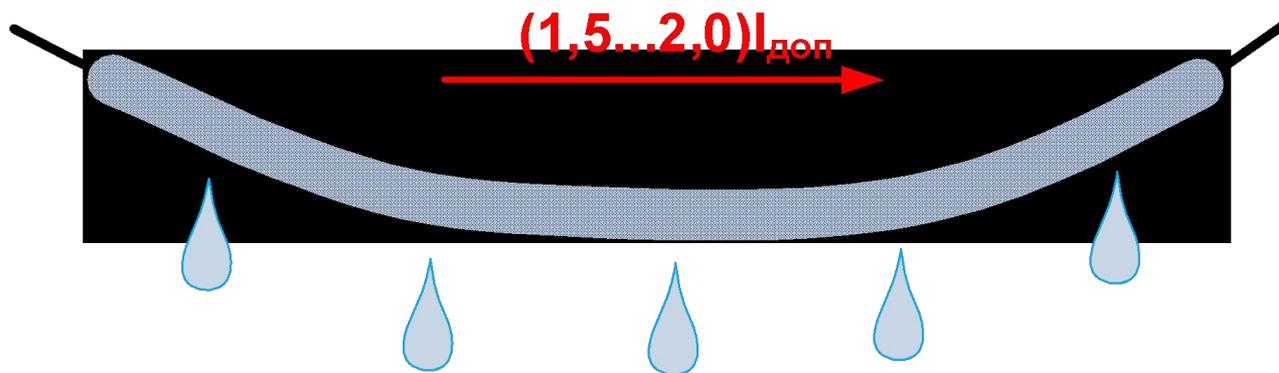
- По толщине стенки гололеда при повторяемости 1 раз в 25 лет территория страны делится на 8 районов:

- ❖ I район  $b = 10$  мм;
- ❖ II район  $b = 15$  мм;
- ❖ III район  $b = 20$  мм;
- ❖ IV район  $b = 25$  мм;
- ❖ V район  $b = 30$  мм;
- ❖ VI район  $b = 35$  мм;
- ❖ VII район  $b = 40$  мм;
- ❖ особый  $b \geq 45$  мм.

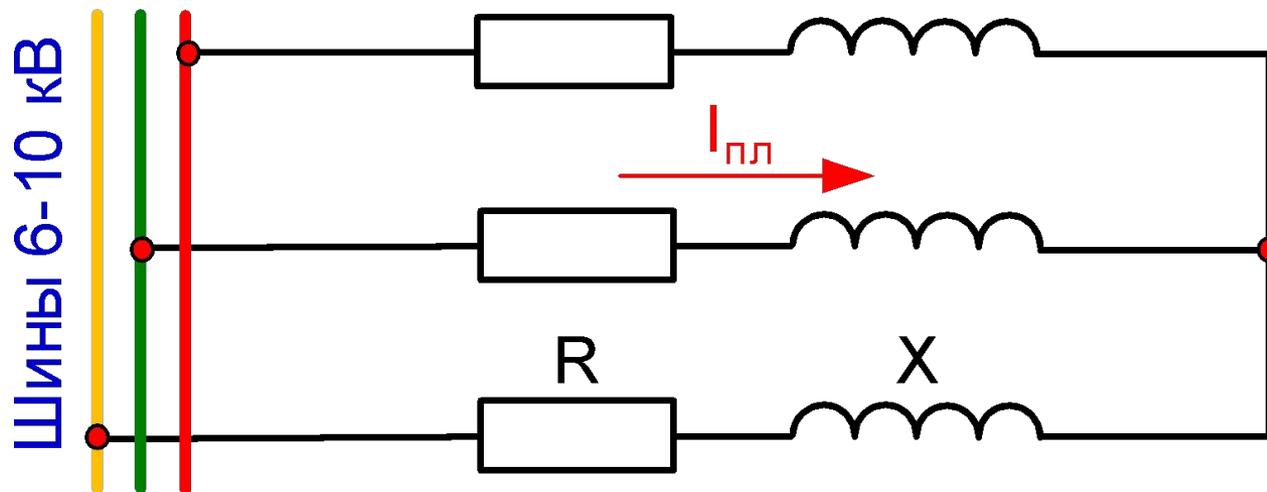


- Карты районирования страны по гололеду приводятся в ПУЭ

- Основным методом борьбы с гололедом при эксплуатации протяженных ВЛ является его **плавка** за счет нагревания проводов протекающим по ним током искусственного КЗ (трехфазного, однофазного) при пониженном напряжении.
- Напряжение и мощность источника для плавки гололеда выбираются таким образом, чтобы обеспечить протекание по проводам ВЛ тока в 1,5...2 раза превышающего длительно допустимый ток  $I_{\text{доп}}$ , приводимый в справочных данных для температуры воздуха 25°C.
- Превышение током плавки допустимого длительного тока оправдано кратковременностью процесса плавки (~ 1 час), а также более интенсивным охлаждением провода в зимний период.

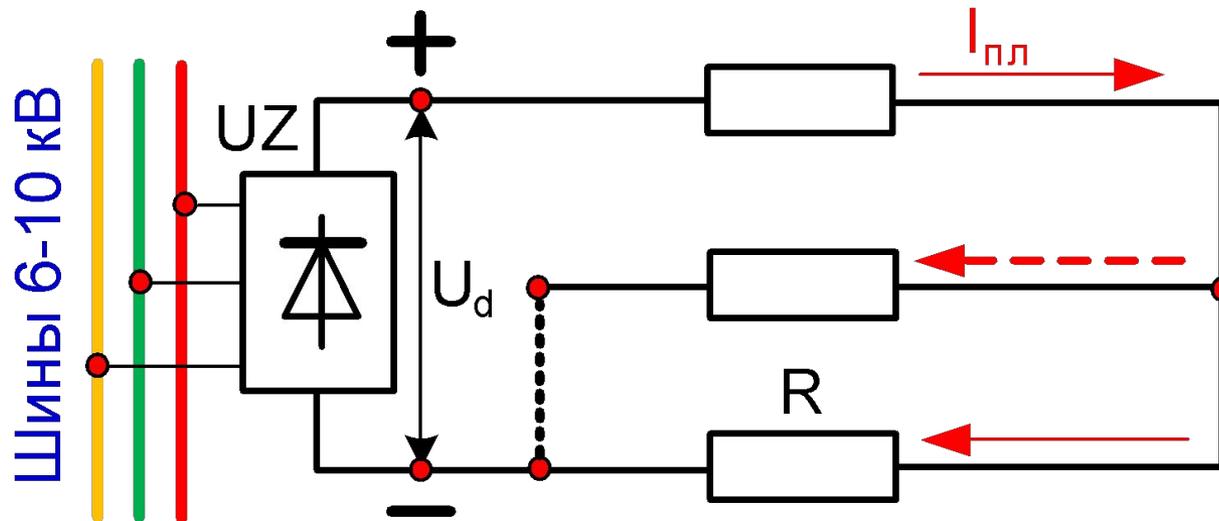


## Схема плавки гололеда переменным током



- Линия на одном конце замыкается.
- С другого конца подается напряжение от шин 6–10 кВ подстанции или отдельного трансформатора.
- Применяется для линий напряжением до 110 кВ с проводами небольшого сечения.

# Схема плавки гололеда выпрямленным током



- Выпрямитель  $UZ$  подключается к шинам 6–10 кВ подстанции или отдельному трансформатору.
- Используются две схемы плавки гололеда выпрямленным током: «фаза — фаза» и «фаза — две фазы».
- Применяется для линий напряжением 220 кВ и выше с проводами сечением 240 мм<sup>2</sup> и более.

# Ремонт воздушных линий

- При ремонтах ВЛ выполняется комплекс мероприятий, направленных на поддержание или восстановление первоначальных эксплуатационных характеристик ВЛ.

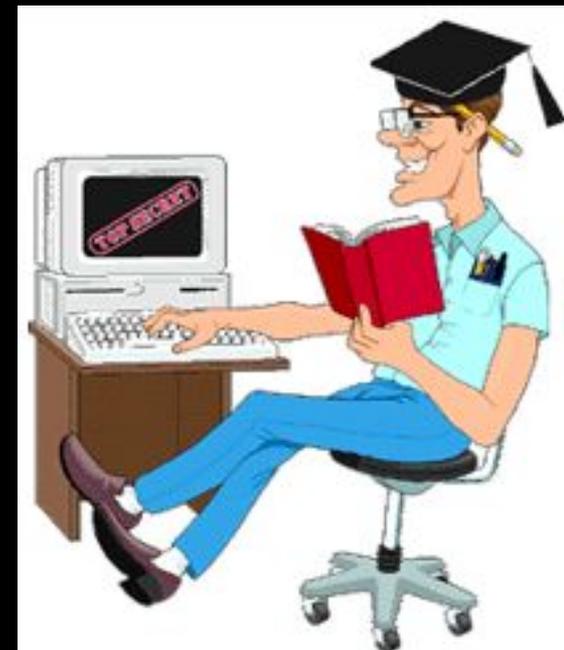
---

- Для ВЛ напряжением до 10 кВ структура ремонтного цикла представляет собой чередование текущего и капитального ремонтов: Т-К-Т-К... Продолжительность ремонтного цикла для ВЛ на деревянных опорах составляет 5 лет, на железобетонных опорах — 10 лет.
- Для ВЛ напряжением 35 кВ и выше предусматриваются только капитальные ремонты с периодичностью:
  - ❖ не реже 1 раза в 5 лет для ВЛ на деревянных опорах;
  - ❖ не реже 1 раза в 10 лет для ВЛ на железобетонных и металлических опорах.
- Таким образом, при эксплуатации ВЛ используется система планово-предупредительного ремонта (система ППР).

- Перечень работ, относящихся к текущим и капитальным ремонтам ВЛ, устанавливается типовыми инструкциями по эксплуатации ВЛ.
- По форме организации капитальный ремонт ВЛ может выполняться децентрализованно, централизованно и по смешанной форме.
- При децентрализованной форме ремонт выполняется силами самого предприятия, эксплуатирующего ВЛ.
- Наиболее прогрессивной формой капитального ремонта ВЛ является централизованный ремонт, выполняемый по договору подряда строительной-монтажной организацией, специализирующейся на строительстве ВЛ.

# Вопросы для самопроверки

- Какова периодичность осмотров линий?
- Поясните понятие «охранная зона линии».
- Поясните термин «габарит ВЛ».
- Как распределяется напряжение по гирлянде изоляторов?
- Каково должно быть сопротивление повторных заземлений нулевого провода ВЛ?
- Каково должно быть сопротивление изолятора в гирлянде?
- Приведите схемы плавки гололеда на линии.
- Оцените величину тока плавки гололеда.
- Какая система ремонта характерна для ВЛ?
- Какова периодичность ремонта ВЛ?



# Эксплуатация кабельных линий

---

- ❑ Осмотры КЛ.
- ❑ Допустимые нагрузки.
- ❑ Профилактические измерения и испытания.
- ❑ Характеристика методов контроля изоляции.
- ❑ Определение мест повреждения.
- ❑ Ремонт КЛ.



# Осмотры КЛ

- При техническом обслуживании КЛ периодически проводят их осмотры с целью визуального обнаружения неисправностей и дефектов.
- 
- КЛ на напряжение до 35 кВ, проложенные открыто, должны осматриваться не реже 1 раза в 6 месяцев;
  - КЛ, проложенные в земле, должны осматриваться не реже 1 раза в 3 месяца.

- При осмотрах трасс КЛ, проложенных в земле, проверяется наличие знаков привязки линии к постоянным ориентирам (или пикетов на незастроенной территории), обозначающих трассу.

- На трассе КЛ не должно быть вспучивания или проседания грунта, не должно производиться каких-либо работ, раскопок, складирования строительных материалов, свалок мусора.
- Правилами охраны электрических сетей для КЛ, проложенной в земле, устанавливается охранная зона в размере 1 м с каждой стороны от крайних кабелей. Любые работы в охранной зоне КЛ должны выполняться с разрешения и под наблюдением организации, эксплуатирующей КЛ.
- В местах выхода кабеля из земли, например на стену здания или опору ВЛ, должна быть защита кабеля от механических повреждений.

- Осмотры КЛ, проложенных в кабельных сооружениях, должны проводить два человека. В первую очередь проверяется с помощью газоанализатора отсутствие в кабельных сооружениях газов, состояние освещения и вентиляции.

- Проверяется общее состояние кабельных сооружений, наличие средств пожаротушения, отсутствие посторонних предметов. Все металлические конструкции кабельных сооружений должны быть покрыты негорючим антикоррозийным составом.
- Кабельные туннели должны быть оборудованы средствами для отвода ливневых и почвенных вод. Эти средства должны находиться в исправном состоянии.
- По температуре внутри кабельных сооружений косвенно контролируется тепловой режим кабелей. Температура воздуха внутри сооружений должна превышать температуру наружного воздуха не более чем на 10°C.

- На открыто проложенных кабелях должны быть стойкие к воздействию окружающей среды бирки, где указываются: марка и сечение кабеля, напряжение и обозначение линии. На бирках муфт указываются номер муфты и дата монтажа.

- Проверяется состояние антикоррозийного покрова металлических оболочек кабелей, расстояния между кабелями, состояние соединительных и концевых кабельных муфт.
- Все замеченные при осмотрах дефекты и неисправности КЛ заносятся в **листок осмотра**. Эти дефекты и неисправности в зависимости от их характера устраняются при текущем техническом обслуживании.
- Повреждения аварийного характера должны быть устранены немедленно.

# Допустимые нагрузки

- Допустимая нагрузка КЛ определяется длительно допустимой температурой жилы  $\Theta_{\text{доп}}$ .
- Для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией величина  $\Theta_{\text{доп}}$  зависит от номинального напряжения:
  - ❖  $U_{\text{ном}}$  до 3 кВ  $\Theta_{\text{доп}} = 80^\circ\text{C}$ ;
  - ❖  $U_{\text{ном}} = 6$  кВ  $\Theta_{\text{доп}} = 65^\circ\text{C}$ ;
  - ❖  $U_{\text{ном}} = 10$  кВ  $\Theta_{\text{доп}} = 60^\circ\text{C}$ ;
  - ❖  $U_{\text{ном}} = 35$  кВ  $\Theta_{\text{доп}} = 50^\circ\text{C}$ .
- Для кабелей с изоляцией:
  - ❖ из полиэтилена (поливинилхлорида)  $\Theta_{\text{доп}} = 70^\circ\text{C}$ ;
  - ❖ из сшитого полиэтилена (СПЭ)  $\Theta_{\text{доп}} = 90^\circ\text{C}$ ;
  - ❖ с резиновой изоляцией  $\Theta_{\text{доп}} = 65^\circ\text{C}$ .

- Перегрев изоляции кабеля выше  $\Theta_{\text{доп}}$  заметно ускоряет процесс ее старения и, следовательно, сокращает срок службы кабеля.
- В практической эксплуатации КЛ пользуются длительно допустимым током  $I_{\text{доп}}$ , приводимым в справочной литературе.
- Длительный режим работы кабеля с током нагрузки  $I$  считается допустимым при выполнении условия

$$I \leq k \cdot k_n \cdot I_{\text{доп}},$$

где  $k$  — поправочный коэффициент,

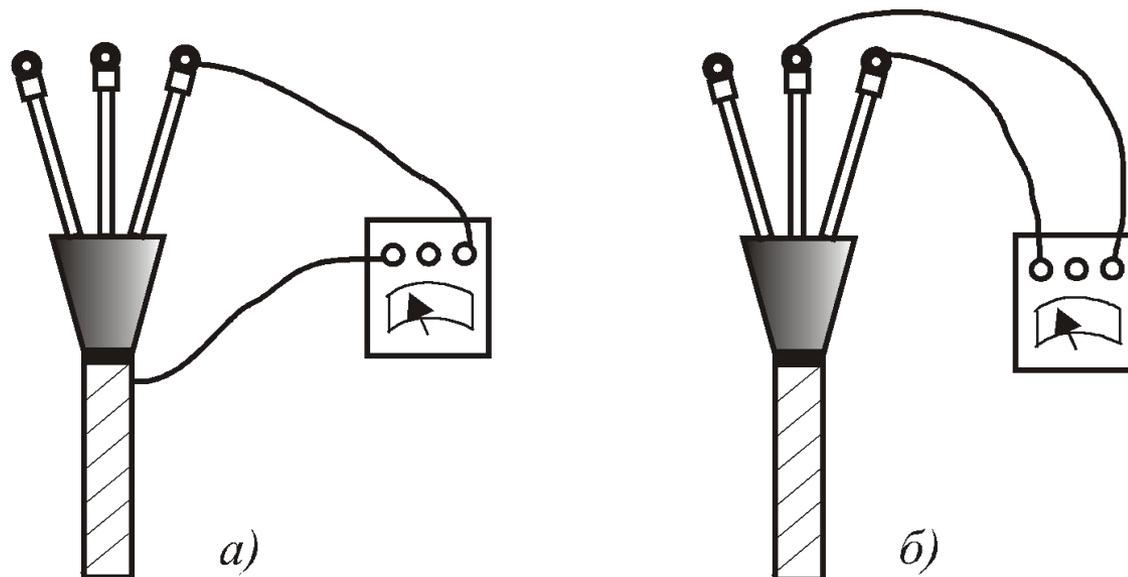
$k_n$  — коэффициент допустимой перегрузки.

- Принимаемые по справочным данным поправочные коэффициенты учитывают:
  - ❖ температуру охлаждающей среды;
  - ❖ количество кабелей в земляной траншее;
  - ❖ удельное тепловое сопротивление грунта;
  - ❖ срок службы кабеля и другие факторы.

- Допустимые перегрузки кабелей напряжением до 10 кВ:
  - ❖  $k_n = 1,3$  для кабелей с бумажной изоляцией;
  - ❖  $k_n = 1,15$  для кабелей с изоляцией из полиэтилена и поливинилхлорида;
  - ❖  $k_n = 1,18$  для кабелей с резиновой изоляцией;
  - ❖  $k_n = 1,23$  для СПЭ-кабелей (в земле) и  $k_n = 1,27$  (в воздухе);
- для кабелей со всеми видами изоляции, находящихся в эксплуатации более 15 лет, перегрузки должны быть снижены до 10%.
- Указанные перегрузки допускаются продолжительностью не более 6 часов в сутки в течение 5 суток. Суммарная продолжительность перегрузки в год не должна превышать 100 ч.
- Для кабелей напряжением 20-35 кВ с бумажной изоляцией перегрузки не допускаются.

# Профилактические измерения и испытания

- Измерение сопротивления фазной и междуфазной изоляции осуществляется мегаомметром.
- Отсчет величины сопротивления изоляции осуществляется приблизительно через 1 минуту после начала процесса измерения.
- Сопротивление изоляции кабелей на напряжение до 1 кВ должно быть не менее 0,5 МОм.
- Сопротивление изоляции кабелей на напряжение выше 1 кВ не нормируется.



- Мегаомметры стрелочный ЭС0202 и цифровой ЦС0202



- Испытание изоляции повышенным выпрямленным напряжением.
- Величина испытательного напряжения  $U_{исп}$  и длительность его приложения  $t$  зависят от вида кабельной изоляции и номинального напряжения  $U_{НОМ}$

$U_{НОМ}$ , кВ	до 1	6	10	20	35
$U_{исп}$ , кВ / t, мин	Бумажная пропитанная изоляция				
	2,5/5	36/5	60/5	100/5	175/5
$U_{исп}$ , кВ / t, мин	Пластмассовая изоляция				
	2,5/5	36/5	60/5		
$U_{исп}$ , кВ / t, мин	Резиновая изоляция				
		12/5	20/5		



- Передвижная высоковольтная

- Испытательное напряжение прикладывается поочередно к каждой жиле кабеля, при этом две другие жилы кабеля и металлическая оболочка (экран) должны быть заземлены.
- Испытательное напряжение поднимается плавно со скоростью 1...2 кВ/с до требуемого значения и поддерживается неизменным в течение заданного времени.
- При проведении испытаний измеряются токи утечки и их несимметрия по фазам.
- Изоляция кабеля считается удовлетворительной, если не произошло ее пробоя, а токи утечки и коэффициент несимметрии этих токов по фазам не превысили значений, регламентируемых ПТЭ.

- У кабелей с пластмассовой защитной оболочкой (шлангом) дополнительным испытаниям повышенным выпрямленным напряжением подвергается защитная оболочка.

---

- Испытательное выпрямленное напряжение — 10 кВ в течение 1 мин подается между металлической оболочкой (экраном) и землей.
- У одножильных кабелей, собранных в трехфазную группу, измеряется токораспределение по фазам.
- Неравномерность распределения токов по фазам должна быть не более 10%.

# Характеристика методов контроля изоляции

- Измерения мегаомметрами дают самое общее представление о состоянии кабеля, не обеспечивают необходимой точности измерения сопротивления изоляции, не позволяют локализовать дефект (определить его место расположения). Мегаомметры непригодны для организации мониторинга состояния кабеля при его длительной эксплуатации.
- При испытании повышенным напряжением происходит пробой изоляции на дефектном участке кабеля, поэтому такие испытания относят к *разрушающим методам* контроля изоляции. Очевидно, что лучше пробить ослабленную изоляцию кабеля при испытаниях, чем иметь внезапный пробой изоляции (отказ кабеля) при эксплуатации. Этот факт можно отнести к достоинствам метода испытаний изоляции повышенным напряжением.
- Испытания изоляции кабеля повышенным напряжением имеют ряд недостатков:

- 
- ❖ испытания дают грубую (двухбалльную) оценку состояния изоляции;
  - ❖ пробой изоляции при испытаниях влечет за собой необходимость выполнения ремонтно-восстановительных работ в полном объеме с обязательным повторением испытаний повышенным напряжением;
  - ❖ испытания могут привести к ухудшению состояния изоляции кабеля и появлению в ней новых слабых мест;
  - ❖ испытания достаточно эффективно выявляют локальные (сосредоточенные) дефекты изоляции, связанные с ее увлажнением из-за механических повреждений, коррозии металлических оболочек, разгерметизации муфт; распределенные дефекты, обусловленные старением изоляции в результате воздействия эксплуатационных факторов, выявляются малоэффективно.

- 
- В настоящее время для эффективной диагностики кабельных линий. разрабатываются *неразрушающие методы*, при которых к изоляции кабеля прикладывается не опасное напряжение.
  - Такие методы, основанные на периодическом измерении наиболее информативных характеристик изоляции, позволяют получить не только информацию о состоянии изоляции кабелей, но могут быть использованы для прогнозирования остаточного ресурса длительно эксплуатируемых кабелей.



□ Основные требования, предъявляемые к неразрушающим методам диагностики кабелей:

- ❖ безопасность для изоляции кабелей;

---

- ❖ электробезопасность проведения диагностики;
- ❖ возможность определения степени развития распределенных дефектов;
- ❖ возможность определения места расположения локальных дефектов;
- ❖ возможность проведения диагностики без отключения кабеля.

□ Указанным требованиям в той или иной степени отвечают следующие методы диагностики изоляции кабелей:

- ❖ регистрация частичных разрядов в изоляции;
- ❖ измерение возвратного напряжения и др.

## Регистрация частичных разрядов

- Основной причиной старения изоляции являются *частичные разряды*, то есть такие микроразрядные процессы в изоляции, которые распространяются только на часть изоляционного промежутка.
- ЧР возникают в ослабленных местах изоляции: в газовых включениях, местах резкого усиления напряженности электрического поля. С течением времени, периодически повторяющиеся ЧР разрушают изоляцию, приводя в конечном итоге к ее пробое.



Карта распределения ЧР по длине кабельной линии для трех фаз

- Обнаружение ЧР основано на регистрации их внешних проявлений. Разработаны методы и приборы для обнаружения и измерения ЧР.
- Основные проблемы при регистрации ЧР в условиях эксплуатации связаны с различного рода помехами, величина которых может превышать сигналы от ЧР.



Гистограмма распределения количества ЧР по длине кабельной линии для трех фаз

- В ряде стран Европы разработаны критерии оценки результатов диагностики кабелей по характеристикам ЧР.
- В частности, в Германии предельным значением уровня ЧР считается 1000 пКл, в Италии — 1200 пКл. При превышении указанных значений кабельная линия подлежит ремонту.
- Применение таких критериев в России пока представляется не целесообразным, так как для России характерна эксплуатация силовых КЛ до их предельного состояния. При этом уровень ЧР в силовых КЛ нередко достигает 5000-10 000 пКл и более.

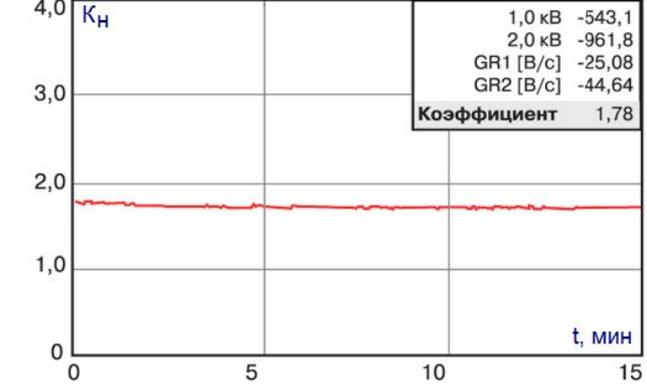
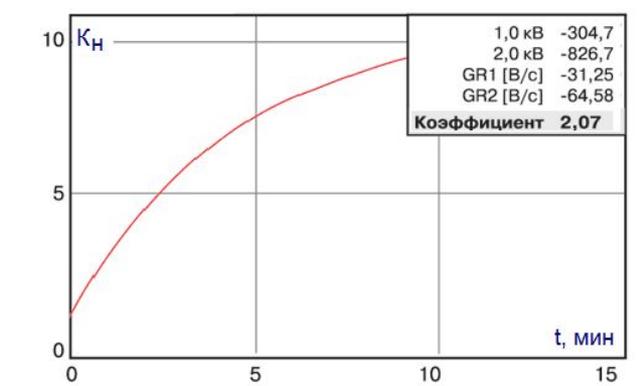
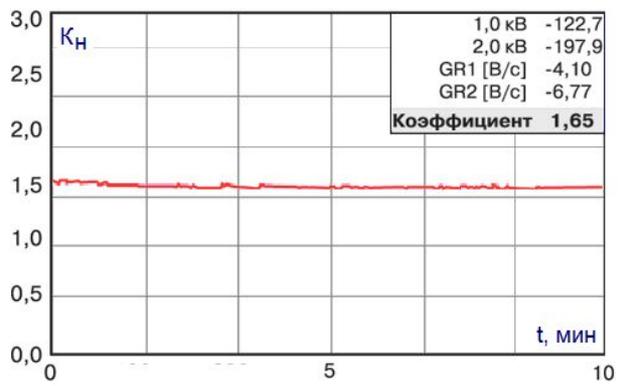
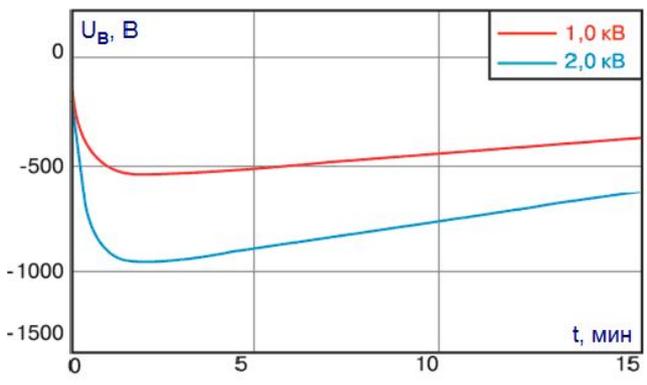
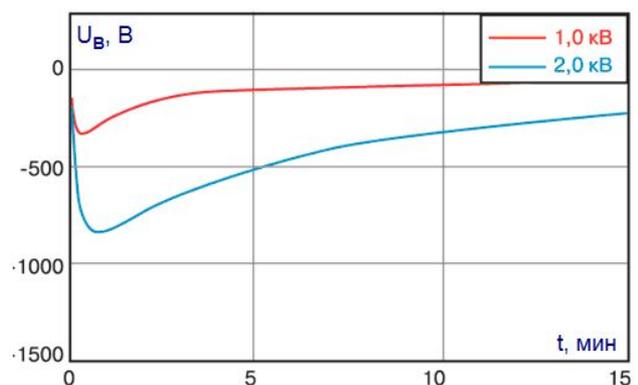
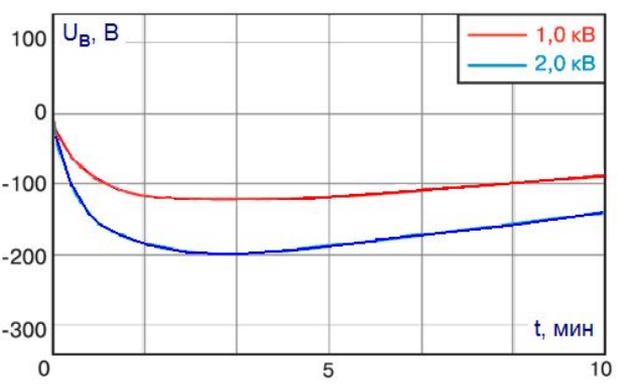
## Измерение возвратного напряжения

- Появление в кабелях распределенных дефектов изоляции приводит к изменению интенсивности процессов поляризации (абсорбции) и проводимости.

---

- Наиболее информативной временной характеристикой состояния изоляции кабеля является **возвратное напряжение**, полученное после длительного заряда (не менее 30 минут) и кратковременного разряда (2-5 секунд) емкости кабеля.
- По кривым возвратного напряжения, характеризующим состояние и степень старения изоляции диагностируемого кабеля, определяются следующие характеристики:
  - максимальная величина возвратного напряжения;
  - время достижения максимальной величины возвратного напряжения;
  - скорость нарастания возвратного напряжения.
  - коэффициент нелинейности – отношение максимальных величин и скоростей нарастания возвратного напряжения при двух значениях зарядного напряжения (2 и 1 кВ).

- Чем больше коэффициенты нелинейности (диагностический фактор) отличаются от величин, характерных для «новой» изоляции, тем выше степень старения изоляции диагностируемого кабеля.
- Кабельная линия А введена в эксплуатацию в 2005 году, кабельные линии (В и С) – в восьмидесятых годах прошлого столетия.
- Состояние линии С лучше, чем линии В.



Линия А

Линия В

Линия С

# Определение мест повреждения

- При эксплуатации имеют место повреждения КЛ. Как правило, это пробой изоляции, реже — разрыв фаз.

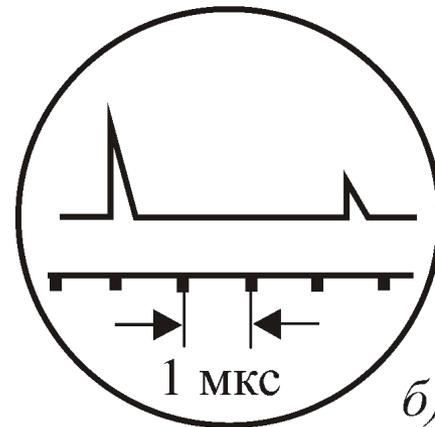
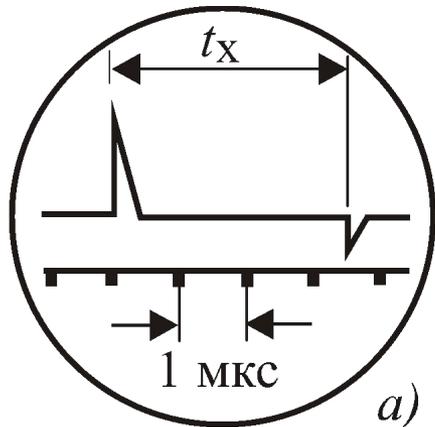
---

- Поврежденный кабель отсоединяется с обоих концов от оборудования и с помощью мегаомметра определяется **характер повреждения**: измеряется сопротивление изоляции между каждой фазой и заземленной металлической оболочкой и между каждой парой фаз. Измерения проводят с одного конца кабеля. Фазные жилы другого конца кабеля разомкнуты (для определения замыканий) или замкнуты и заземлены (для определения обрывов).
- Результаты измерений могут не выявить характер повреждения, поскольку переходное сопротивление в месте повреждения может быть достаточно высоким, в частности, из-за затекания места пробоя изоляции маслоканифольным составом (заплывающий пробой) в кабелях с бумажной пропитанной изоляцией.

- Для снижения переходного сопротивления изоляция кабеля в месте повреждения прожигается. Для этого на кабель подается напряжение, достаточное для пробоя изоляции в месте повреждения. Изоляция прожигается током разряда, переходное сопротивление в месте повреждения уменьшается.
- По точности определения места повреждения различают относительные и абсолютные методы.
- *Относительные методы* имеют определенную погрешность и позволяют определить лишь зону повреждения. Это импульсный, петлевой и емкостной методы.
- Точное место повреждения позволяют найти *абсолютные методы* такие, как индукционный и акустический.

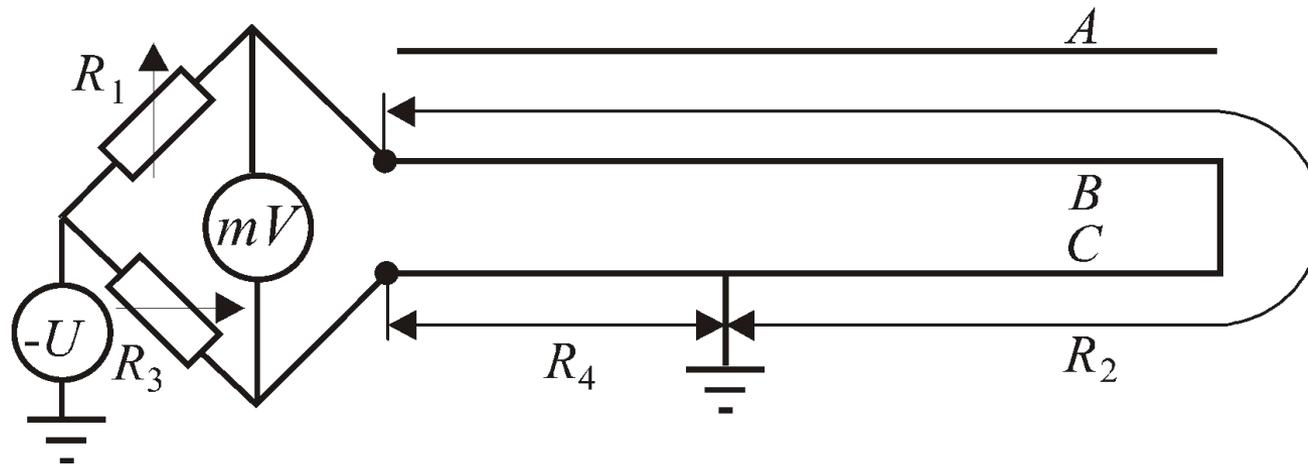
# Импульсный метод

- Определяется зона однофазного или многофазного замыкания, зона обрыва любого количества фазных жил.
- В поврежденную линию посылается электрический импульс. По экрану осциллографа, проградуированному в микросекундах, измеряется интервал времени  $t_x$  между моментом подачи импульса и моментом прихода импульса, отраженного от места повреждения.
- Поскольку скорость распространения электромагнитных волн в кабелях составляет около 160 м/мкс, расстояние до места повреждения вычисляется как  $L_x = 80t_x$ , м.
- Если посланный и отраженный импульс разного знака — повреждение типа замыкание, если одного знака — повреждение типа обрыв.



# Петлевой метод

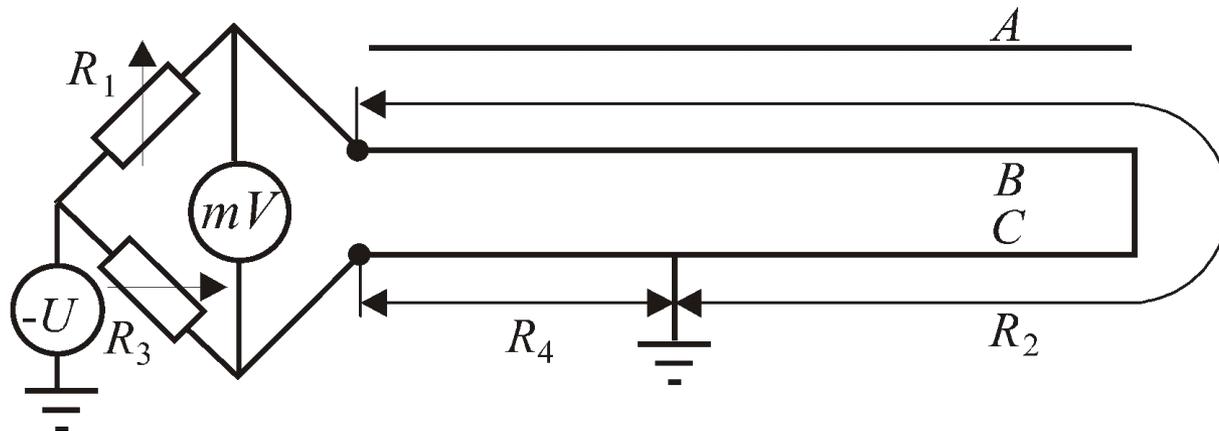
- Определяется зона однофазных и двухфазных замыканий на землю.
- Измеряется омическое сопротивление жил кабеля до места повреждения.
- На одном конце кабеля замыкаются нормальная и поврежденная жилы (образуется петля). Измерения проводятся с другого конца кабеля. Для измерения сопротивлений  $R_2$  и  $R_4$  может использоваться, например, мост постоянного тока.
- В одну диагональ моста включается источник постоянного напряжения  $-U$ , в другую — измерительный прибор, например милливольтметр  $mV$ .



- Регулируемыми сопротивлениями  $R_1$  и  $R_3$  достигается равновесие моста — нулевое показание милливольтметра, которое имеет место при соотношении

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

- где  $R_2$  — сопротивление нормальной жилы и участка поврежденной жилы от конца кабеля до места повреждения;
- $R_4$  — сопротивление участка поврежденной жилы от начала кабеля до места повреждения.
- Поскольку сопротивление жилы кабеля пропорционально его длине, зона повреждения определяется несложными вычислениями.



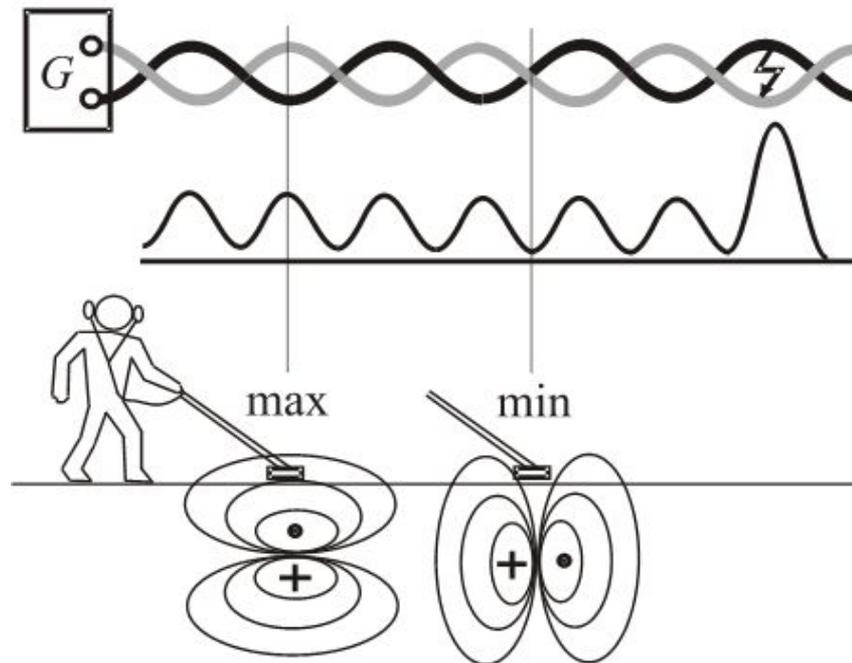
## Емкостной метод

- Определяется зона обрыва фазных жил кабеля.
- Метод базируется на измерении емкости между каждой жилой и заземленной металлической оболочкой кабеля.
- Если измеренная емкость оборванной жилы составляет  $C_x$ , а измеренная емкость целой жилы —  $C$ , то расстояние до места обрыва составит

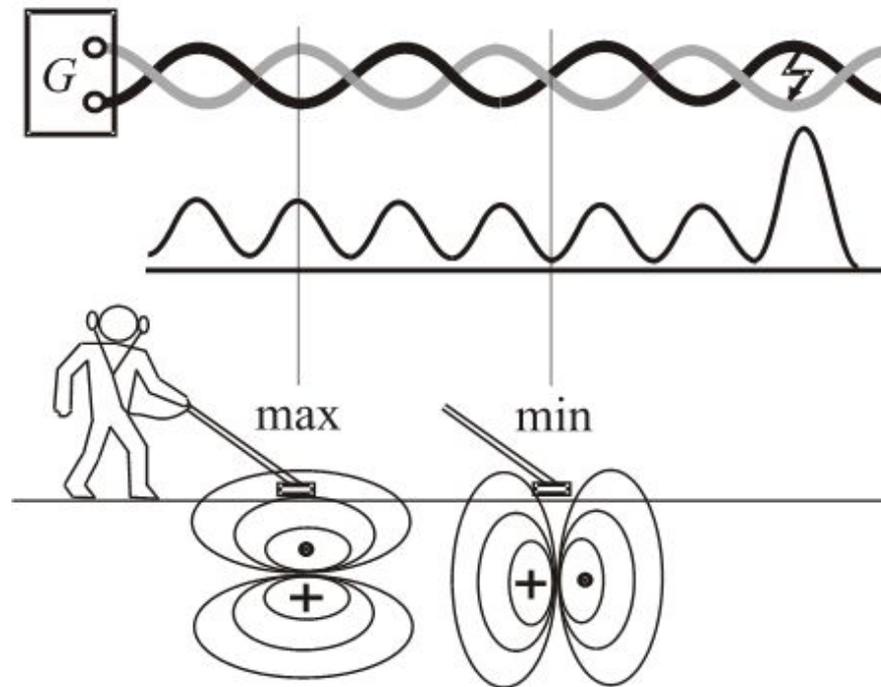
$$L_x = L \frac{C_x}{C}.$$

# Индукционный метод

- Определяется место многофазных замыканий в кабеле.
- Метод основан на улавливании электромагнитного поля тока высокой частоты (800...1000 Гц) от генератора  $G$ .
- Вокруг кабеля образуется магнитное поле. Поместив в это поле поисковую катушку, соединенную через усилитель с наушниками, можно прослушивать звуковой сигнал.
- Обслуживающий персонал, продвигаясь по трассе КЛ, прослушивает этот сигнал.



- Слышимость сигнала вдоль кабельной линии будет периодически изменяться от max до min.
- В месте короткого замыкания ток от генератора  $G$  меняет свое направление, интенсивность магнитного поля и, следовательно, слышимость сигнала в этом месте усиливаются. За местом повреждения звукового сигнала не будет.
- Использование тока высокой частоты необходимо для отстройки звукового сигнала от фона промышленной частоты 50 Гц соседних кабелей.



## Акустический метод

- Определяется место однофазных и многофазных замыканий в кабеле при заплывающем пробое.
- В поврежденную жилу (жилы) периодически подаются импульсы постоянного высокого напряжения.
- В месте повреждения возникают разряды, вызывающие акустический шум.
- Уровень шума прослушивается с поверхности земли, например, с помощью стетоскопа или прибора с пьезодатчиком-преобразователем механических колебаний в электрические.

# Ремонт кабельных линий

- При эксплуатации КЛ характерна система аварийно-восстановительного ремонта (система АВР).
- Основной операцией при ремонте КЛ является установки новой или замена существующей кабельной муфты.
- При повреждении кабеля обслуживающий персонал должен отыскать место повреждения, а при прокладке кабеля в земляной траншее — раскопать участок траншеи в этом месте. Раскопки должны вестись осторожно, а при глубине более 0,4 м — только лопатами.
- Объем работ при текущих и капитальных ремонтах КЛ определяется по результатам предшествующих осмотров, испытаний и измерений.

- При капитальном ремонте КЛ выполняются следующие основные работы:
  - ❖ выборочное шурфление кабельных траншей с оценкой состояния кабелей и муфт;
  - ❖ полное вскрытие кабельных каналов с исправлением раскладки кабелей, устранением коррозии оболочек, чисткой каналов, заменой или ремонтом конструкций для крепления кабелей;
  - ❖ переразделка дефектных муфт;
  - ❖ частичная или полная замена участков КЛ;
  - ❖ ремонт заземляющих устройств;
  - ❖ окраска металлических конструкций в кабельных сооружениях.
- При окончании ремонтных работ проводятся испытания КЛ.

# Вопросы для самопроверки

- Какова периодичность осмотров кабельных линий?
- Какой фактор определяет допустимую нагрузку кабеля?
- Какая перегрузка допускается для кабелей с различной изоляцией?
- Для каких кабелей перегрузка не допустима?
- Как испытывается изоляция кабелей?
- Как измеряется сопротивление изоляции кабеля?
- Каково должно быть сопротивление изоляции кабеля напряжением до 1 кВ?
- Как определить характер повреждения кабеля?
- Охарактеризуйте методы отыскания повреждений кабельных линий.
- Какая система ремонта характерна для кабельных линий?



# Эксплуатация трансформаторов

- ❑ **Осмотры трансформаторов.**
- ❑ **Режимы работы.**
- ❑ **Режим перегрузки.**
- ❑ **Эксплуатация трансформаторного масла.**
- ❑ **Ремонт трансформаторов**
- ❑ **Испытания трансформаторов**
- ❑ **Характеристики изоляции обмоток трансформатора**



# Осмотр трансформаторов

- Осмотры трансформаторов являются средством визуального контроля их состояния при эксплуатации. Осмотры проводятся без отключения трансформаторов со следующей периодичностью:
  - ❖ главных понижающих трансформаторов подстанций с постоянным дежурством персонала — 1 раз в сутки;
  - ❖ остальных трансформаторов электроустановок с постоянным и без постоянного дежурства персонала — не реже 1 раза в месяц.



- Внеочередные осмотры трансформаторов производятся:
  - ❖ после неблагоприятных климатических воздействий, например после резкого изменения температуры окружающего воздуха;
  - ❖ после срабатывания газовой защиты на сигнал;
  - ❖ после отключения трансформатора газовой или дифференциальной защитой.



- При осмотрах трансформаторов проверяются:
  - ❖ показания всех измерительных приборов;
  - ❖ состояние внешней изоляции трансформатора (отсутствие трещин и сколов фарфора, степень загрязнения поверхности);
  - ❖ состояние ошиновки, кабельных вводов и доступных для наблюдения контактных соединений;
  - ❖ состояние фланцевых соединений маслопроводов и отсутствие течи масла;
  - ❖ наличие и уровень масла в расширителе и маслонаполненных вводах;
  - ❖ состояние контура заземления;
  - ❖ состояние маслоприемных устройств (гравийной засыпки);
  - ❖ при закрытой установке трансформаторов проверяется состояние помещения, исправность вентиляции, наличие средств пожаротушения.
- Одним из показателей состояния трансформатора служит характер издаваемого им гула. Не должно быть потрескиваний, связанных с разрядами в баке трансформатора; гудение должно быть равномерным без периодических изменений уровня или тона.

# Режимы работы

- **Номинальным режимом** трансформатора называется режим его работы при номинальных напряжении, частоте, нагрузке и температуре охлаждающего воздуха  $+20^{\circ}\text{C}$ .
- Длительно номинальный режим существовать не может. Однако считается, что в таком режиме трансформатор способен проработать установленный заводом-изготовителем срок службы.
- **Нормальным режимом** называется режим работы трансформатора, при котором его параметры отклоняются от номинальных в пределах, допустимых стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами.
- **Режим повышения напряжения.** При нагрузке, не превышающей номинальную, допускается продолжительная работа трансформатора при повышении напряжения на любом ответвлении любой обмотки на 10% сверх номинального напряжения данного ответвления.
- **Режим параллельной работы.**

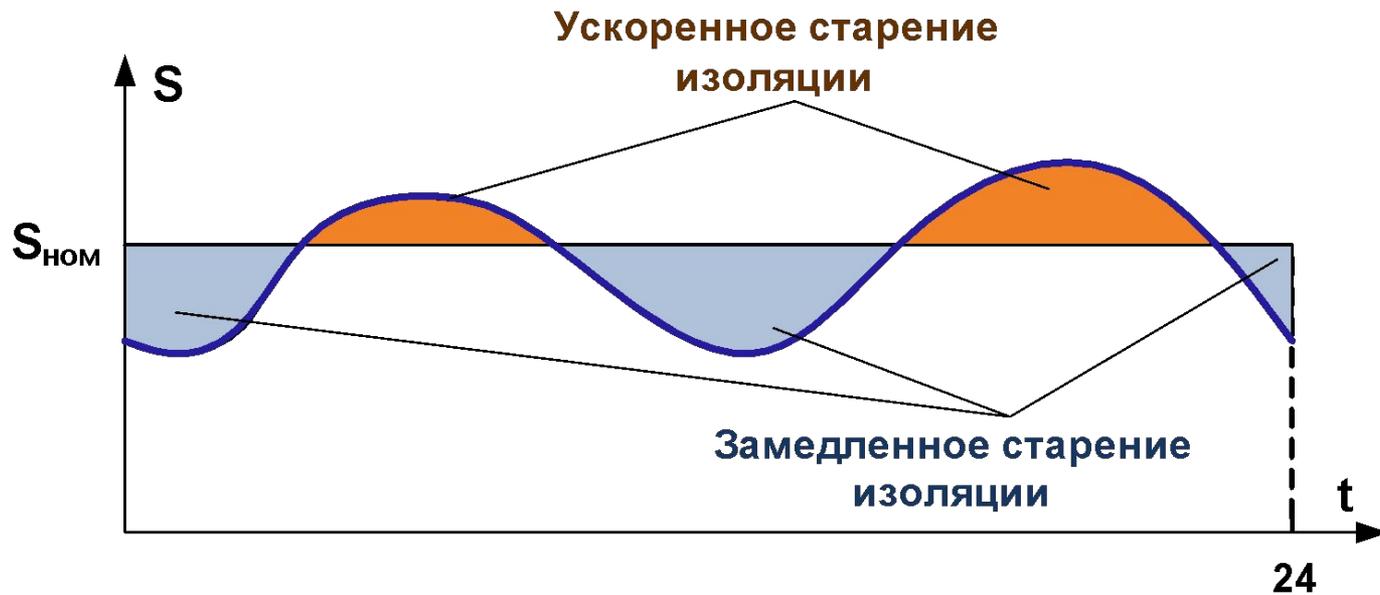
- **Режим регулирования напряжения.** Устройства регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) должны работать, как правило, в автоматическом режиме. Допускается дистанционное переключение РПН с пульта управления.
- На трансформаторах с переключением без возбуждения (ПБВ) правильность выбора коэффициента трансформации должна проверяться два раза в год — перед зимним максимумом и летним минимумом нагрузки.
- **Аварийные режимы.** При отключении трансформатора защитой, не связанной с его внутренними повреждениями, например, максимальной токовой защитой, трансформатор может быть вновь включен в работу.
- При отключении трансформатора защитами от внутренних повреждений (**газовой, дифференциальной**) этот трансформатор включается в работу только после осмотра, испытаний, анализа масла, анализа газа из газового реле и устранения выявленных дефектов.

# Режим перегрузки трансформаторов

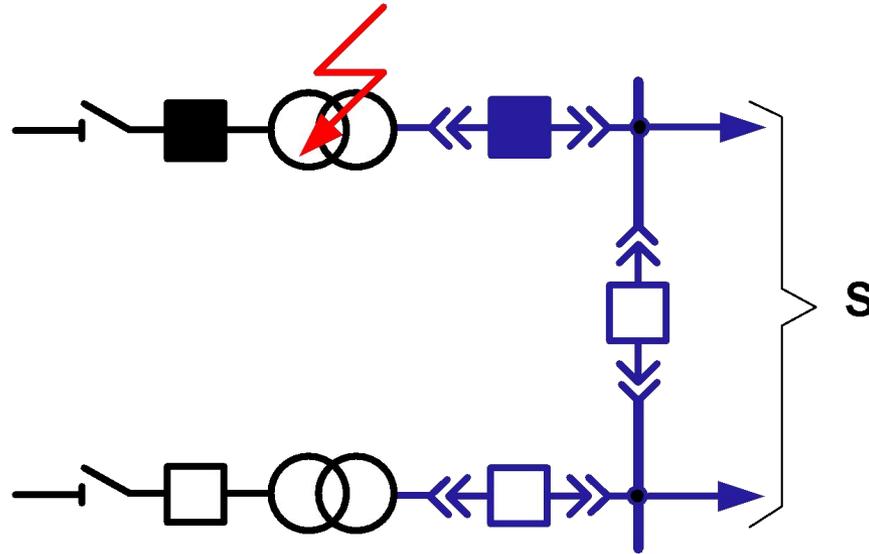
- Наиболее подверженным процессу старения элементом трансформатора является целлюлозная изоляция обмоток, фактически определяющая срок службы трансформатора.
- Основным фактором, влияющим на старение изоляции, является ее нагрев, обуславливающий термический износ изоляции.
- Существует так называемое 6-градусное правило, справедливое в рабочем диапазоне температур 80...140°C:  

изменение температуры изоляции на 6°C изменяет срок ее службы вдвое.
- Наиболее интенсивный нагрев изоляции обмоток происходит при перегрузке трансформаторов.
- Допустимость перегрузок трансформаторов при их эксплуатации регламентируется Руководством по нагрузке силовых масляных трансформаторов (ГОСТ 14209-97).

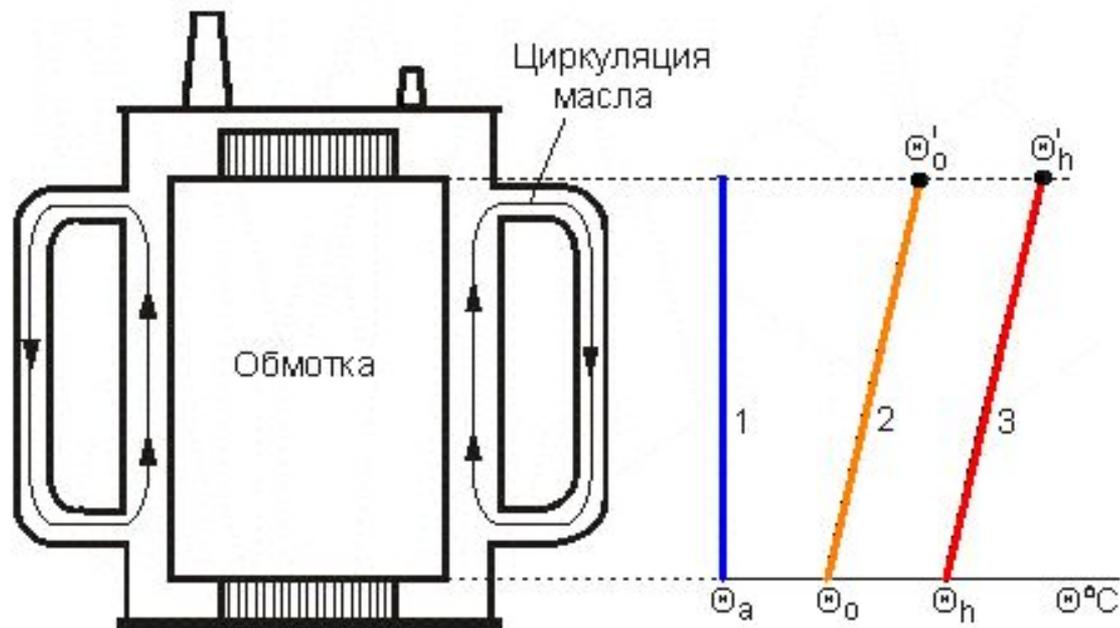
- **Режим систематической нагрузки** – это такой режим, в течение части суток которого перегрузка, обуславливающая ускоренный износ изоляции, компенсируется в течение другой части суток недогрузкой с меньшей скоростью износа изоляции.
- Такой режим важен для оценки допустимости нагрузки трансформаторов на однострансформаторных подстанциях.



- **Режим аварийной перегрузки** – это такой режим, который возникает при выходе из строя некоторых элементов электрической сети. Предполагается, что такой режим трансформатора будет возникать редко, но будет достаточно длительным и вызовет значительный термический износ изоляции.
- Такой режим важен для оценки допустимости нагрузки трансформаторов двухтрансформаторных подстанций, на которых один из трансформаторов может аварийно отключиться, а оставшийся в работе трансформатор возьмет на себя всю нагрузку подстанции.



- На тепловой диаграмме трансформатора (рис.) температура воздуха  $\Theta_a$  принята неизменной (вертикальная прямая 1). Температура масла  $\Theta_o$  и температура обмотки  $\Theta_h$  увеличиваются практически линейно по высоте обмотки (прямые 2 и 3). В верхней части трансформатора температуры масла и обмотки достигают значений  $\Theta'_o$  и  $\Theta'_h$ .
- Оценка допустимости работы трансформатора в каком-либо режиме определяется сопоставлением температуры масла  $\Theta'_o$  и обмотки  $\Theta'_h$  в верхней части трансформатора с их предельными значениями  $\Theta_{o \max}$  и  $\Theta_{h \max}'$ , установленными ГОСТ 14209-97.



# Предельные перегрузки для трансформаторов

Предельная перегрузка о.е., обуславливающая предельные температуры, указана для температуры окружающего воздуха 20°C

Параметры	Трансформаторы		
	Распредел и-тельные	Средней мощности	Большой мощност и
Режим систематических перегрузок: предельная перегрузка, о.е. предельная температура обмотки в верхних слоях $\Theta_{h \max}'$ °C предельная температура масла в верхних слоях $\Theta_{o \max}'$ °C	1,5  140  105	1,5  140  105	1,3  120  105
Режим аварийных перегрузок: предельная перегрузка, о.е. предельная температура обмотки в верхних слоях $\Theta_{h \max}'$ °C предельная температура масла в верхних слоях $\Theta_{o \max}'$ °C	1,8  150  115	1,5  140  115	1,3  130  115

- Трансформаторы делятся на **три класса**:
  - ❖ **распределительные трансформаторы** – трехфазные трансформаторы номинальной мощностью не более 2500 кВ · А классов напряжения до 35 кВ включительно;
  - ❖ **трансформаторы средней мощности** – трехфазные трансформаторы номинальной мощностью до 100 МВ · А;
  - ❖ **трансформаторы большой мощности** – трехфазные трансформаторы мощностью более 100 МВ · А.

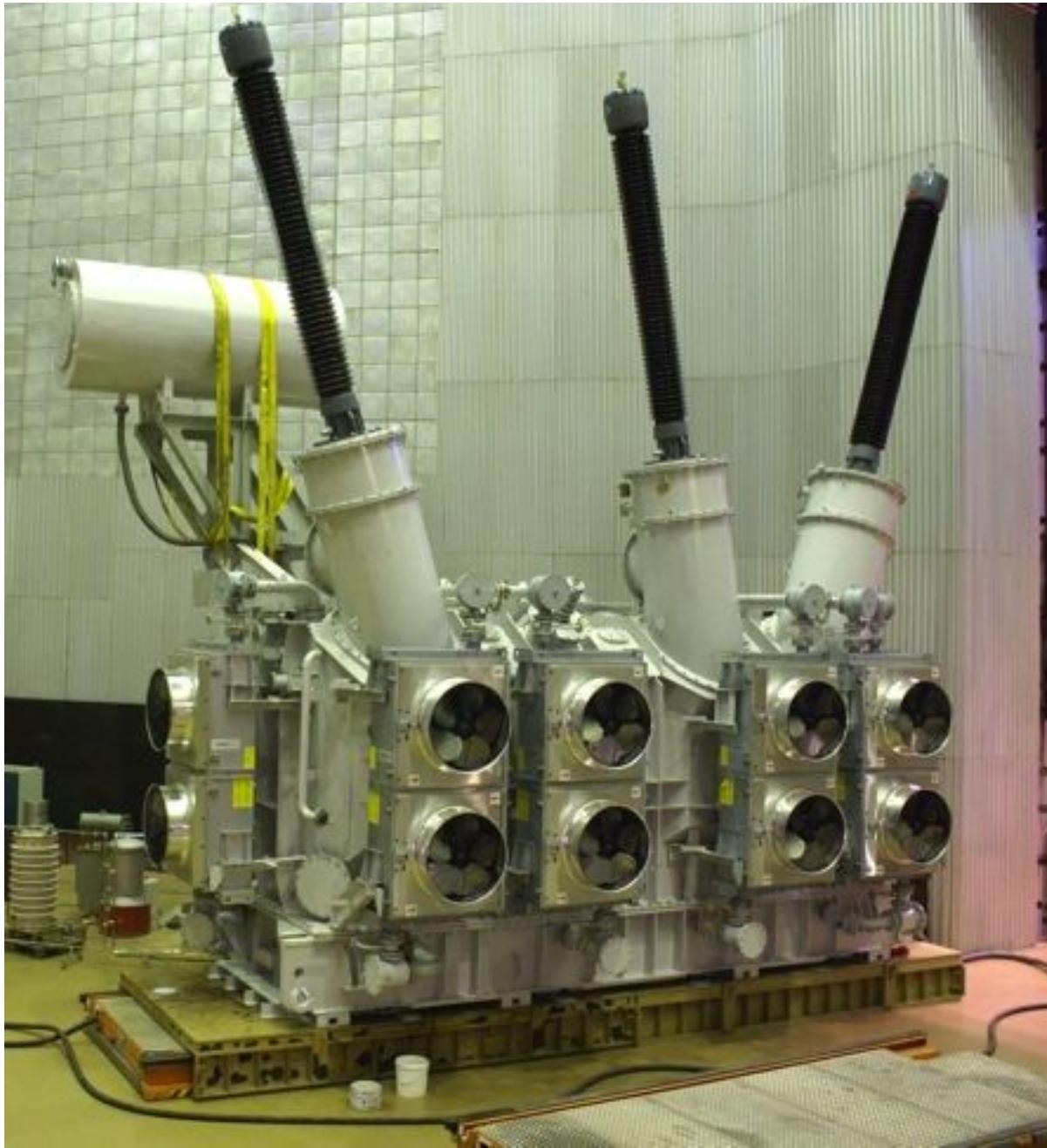


**Распределительные трансформаторы ТМ, ТМЗ и ТМЛ**

*Трансформатор средней мощности  
ТРДТН-40000/110/35/10*

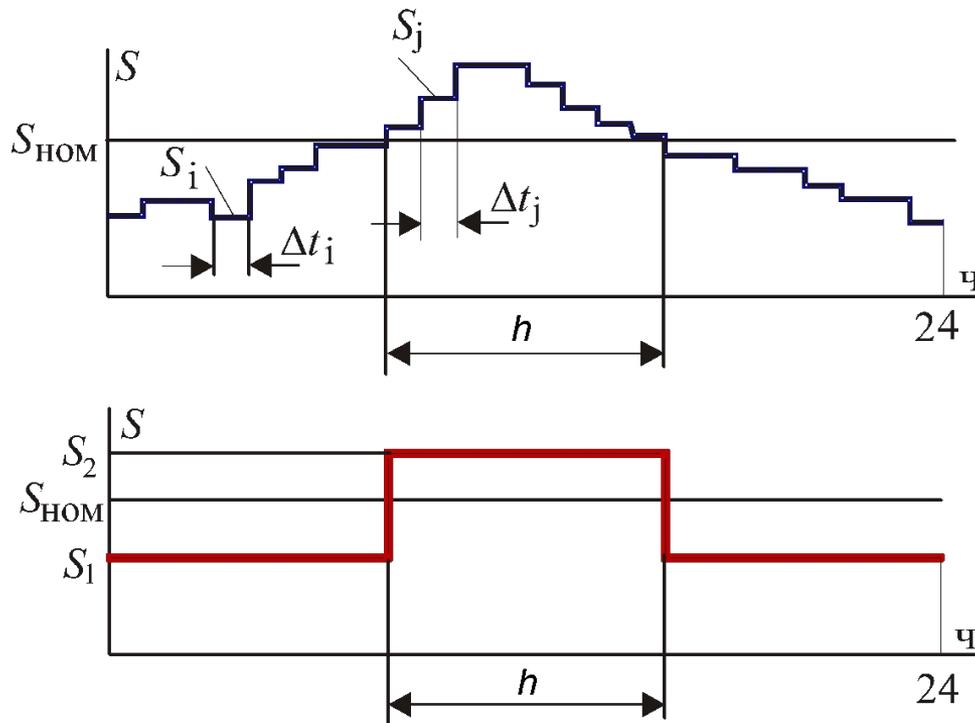


# Трансформатор большой мощности ТДЦ-225000/500



- При инженерных расчетах режимов перегрузки трансформаторов используется **эквивалентная температура воздуха**. Это условно постоянная температура, которая в течение рассматриваемого периода времени вызывает такой же износ изоляции, как и действительная температура за тот же период времени.
- Для разных районов страны эквивалентные сезонные (летние и зимние) и годовые температуры приведены в справочных материалах.
- Практическое снятие суточного графика нагрузки трансформатора осуществляется с некоторым интервалом времени, внутри которого нагрузка считается неизменной. График нагрузки представляет собой ступенчатый вид.
- Для оценки допустимости перегрузки трансформатора ступенчатый суточный график нагрузки преобразуется в **эквивалентный по тепловому воздействию на изоляцию** двухступенчатый график.

- На исходном графике проводится линия номинальной нагрузки  $S_{\text{НОМ}}$ . Пересечением этой линии с исходным графиком выделяется участок перегрузки продолжительностью  $h$ .
- Часть графика нагрузки, расположенная ниже линии  $S_{\text{НОМ}}$ , состоит из интервалов  $\Delta t_i$  с нагрузкой  $S_i$  на каждом интервале.
- Другая часть графика нагрузки, расположенная выше линии  $S_{\text{НОМ}}$ , состоит из интервалов  $\Delta t_j$  с нагрузкой  $S_j$  на каждом интервале.



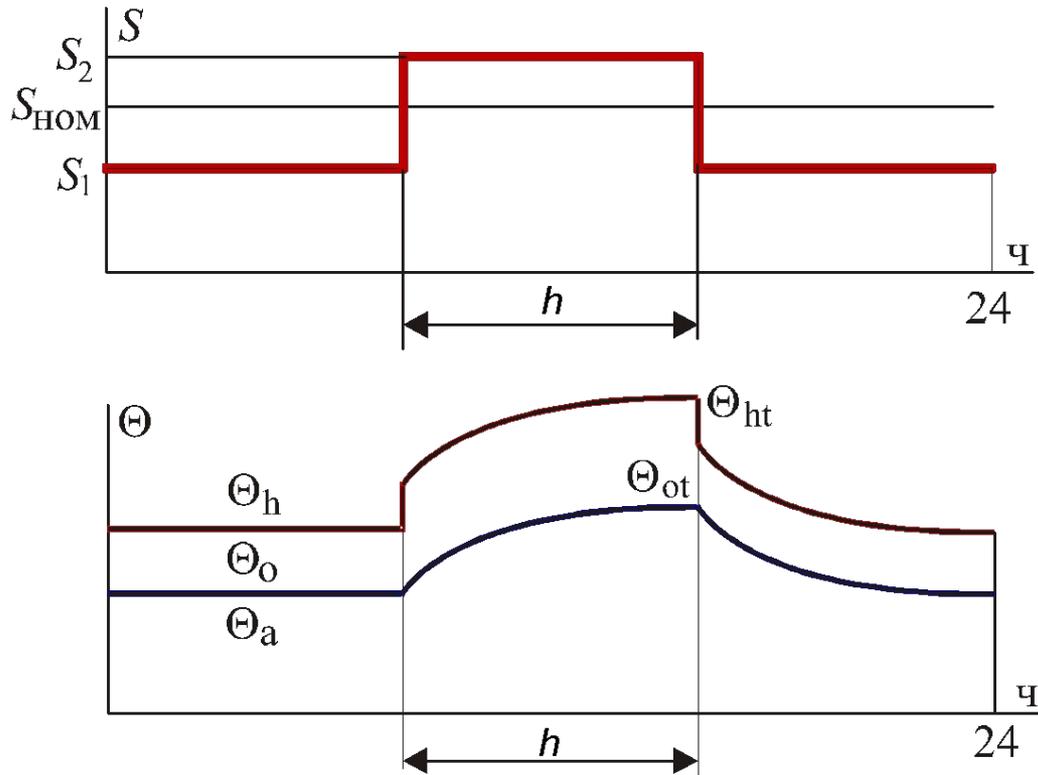
- Эквивалентная неизменная на интервале  $(24 - t)$  предшествующая нагрузка  $S_1$
- 

$$S_1 = \sqrt{\frac{S_1^2 \Delta t_1 + S_2^2 \Delta t_2 + \dots + S_m^2 \Delta t_m}{24 - t}};$$

- Эквивалентная неизменная на интервале  $t$  перегрузка  $S_2$

$$S_2 = \sqrt{\frac{S_1^2 \Delta t_1 + S_2^2 \Delta t_2 + \dots + S_n^2 \Delta t_n}{t}}.$$

- Для расчета теплового режима трансформатора в ГОСТ 14209-97 приводятся расчетные формулы, по которым строится график переходного теплового процесса в трансформаторе.
- В результате расчетов получаются температуры масла  $\Theta_{ot}$  и наиболее нагретой точки обмотки  $\Theta_{ht}$  к концу интервала перегрузки  $h$ .



- Для оценки допустимости перегрузки трансформатора проверяются условия

$$\Theta_{ot} < \Theta_{omax}; \quad \Theta_{ht} < \Theta_{hmax}'$$

---

где  $\Theta_{omax}$  и  $\Theta_{hmax}$  – предельные температуры масла и обмотки, приводимые в ГОСТ 14209-97.

- Кроме расчетных формул теплового режима в ГОСТ 14209-97 приводятся таблицы и зависимости, позволяющие без расчетов оценить допустимость перегрузки трансформаторов.
- В качестве исходных данных требуется знать класс трансформатора, температуру воздуха  $\Theta_a$  и параметры двухступенчатого графика:

- $K_1 = S_1 / S_{ном}; \quad K_2 = S_2 / S_{ном}; \quad h.$

## Термический износ витковой изоляции

- В номинальном режиме трансформатора температура обмотки составляет  $\Theta_h = 98^\circ\text{C}$ .

- В установившемся тепловом режиме с нагрузкой  $K$  и температурой наиболее нагретой точки обмотки  $\Theta_{hk}$  износ витковой изоляции за сутки в соответствии с 6-градусным правилом составит

$$V = 2^{(\Theta_{hk} - 98)/6},$$

- Размерность износа витковой изоляции — нормальные сутки (н.с.).
- Например, для неизменной в течение суток нагрузки  $K$ , при которой температура обмотки  $\Theta_{hk} = 86^\circ\text{C}$ , износ витковой изоляции составит:

$$V = 2^{(86-98)/6} = 0,25 \text{ н.с.}$$

- За одни сутки при нагрузке  $K$  изоляция изнашивается так же как за 0,25 суток при нагрузке, обуславливающей температуру наиболее нагретой точки обмотки  $\Theta_h = 98^\circ\text{C}$ .

- В переходном тепловом режиме, когда температура наиболее нагретой точки обмотки является функцией времени  $\Theta_h(t)$ , износ изоляции за сутки определяется как
- 

$$V = \frac{1}{24} \int_0^{24} 2^{[\Theta_h(t) - 98]/6} dt.$$

- В практических расчетах зависимость  $\Theta_h(t)$  разбивается на  $n$  участков  $\Delta t_i$ , на каждом из которых изменение  $\Theta_h(t)$  можно считать линейным. На каждом  $i$ -м участке величина  $\Theta_h(t)$  заменяется средним значением температуры  $\Theta_{hi}$ . Износ изоляции определяется как

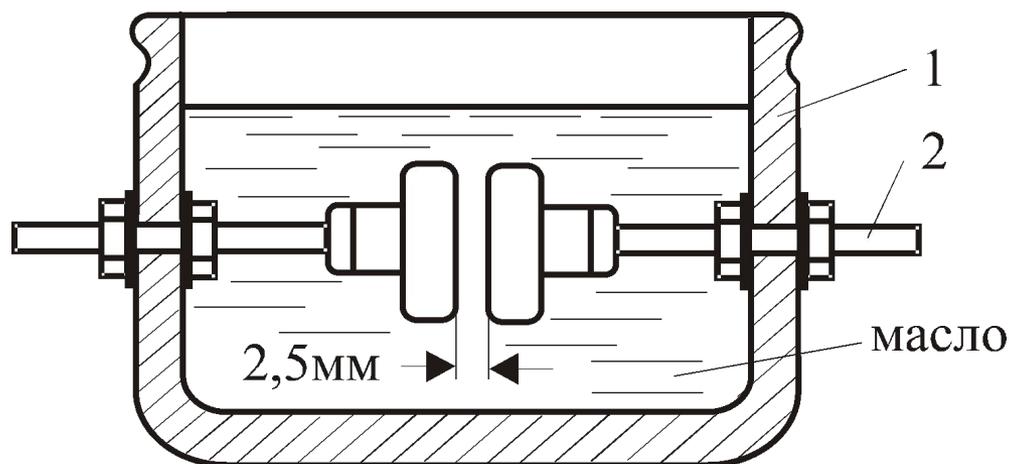
$$V = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^n \Delta t_i 2^{(\Theta_{hi} - 98)/6}.$$

# Эксплуатация трансформаторного масла

- Трансформаторное масло выполняет в трансформаторе три функции:
  - ❖ изолирует находящиеся под напряжением узлы активной части;
  - ❖ охлаждает нагревающиеся при работе узлы активной части;
  - ❖ предохраняет твердую изоляцию обмоток от увлажнения.
- Эксплуатационные свойства масла определяются его химическим составом.
- При каждом осмотре трансформаторов проверяется температура верхних слоев масла, которая не должна превышать 95°C.
- Состояние масла оценивается по результатам испытаний, которые в зависимости от объема делятся на три вида:
  - ❖ испытание масла на электрическую прочность;
  - ❖ сокращенный анализ масла;
  - ❖ полный анализ масла.

# Испытание масла на электрическую прочность

- Определяется пробивное напряжение масла  $U_{пр}$ .
- Испытания проводятся в *стандартном маслоробойнике*.
- Масло заливается и отстаивается в течение 20 минут для удаления из него воздушных включений.
- Напряжение на электродах 2 плавно повышается до пробоя масла.
- С интервалом 10 минут выполняются шесть пробоев. Первый пробой не учитывается, а среднее арифметическое пяти других пробоев принимается за пробивное напряжение масла.



- Установка для испытания масла АИМ-80



## Сокращенный анализ масла

- Определяются пробивное напряжение масла, температура вспышки и кислотное число.
- **Температура вспышки** паров масла в закрытом тигле характеризует фракционный состав масла и служит для обнаружения в трансформаторе процессов разложения масла.
- **Кислотное число** — это количество едкого кали (KOH), выраженное в мг и необходимое для нейтрализации кислот, содержащихся в 1 г масла.
- Старение масла сопровождается увеличением в нем содержания кислотных соединений, поэтому кислотное число характеризует степень старения масла.

# Полный анализ масла

- Здесь дополнительно определяются:
  - ❖ количественное содержание влаги,
  - ❖ количественное содержание механических примесей,
  - ❖ тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$ ,
  - ❖ содержание водорастворимых кислот и щелочей,
  - ❖ содержание антиокислительных присадок,
  - ❖ температура застывания,
  - ❖ содержание растворенных газов и другие показатели.

**ПРАВИЛА  
ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК  
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

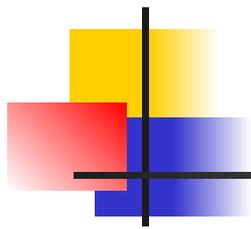
*Утверждены приказом Минэнерго РФ*

- Различают масло свежее, регенерированное и эксплуатационное.
- Характеристики свежего и регенерированного масла практически не отличаются.
- Для эксплуатационного масла установлены **нормально допустимые и предельно допустимые показатели** качества.
- Нормально допустимые показатели гарантируют нормальную работу оборудования.
- При показателях масла, приближающихся к предельно допустимым, необходимо принять меры по восстановлению эксплуатационных свойств масла или провести его замену.

# Основные показатели трансформаторного масла

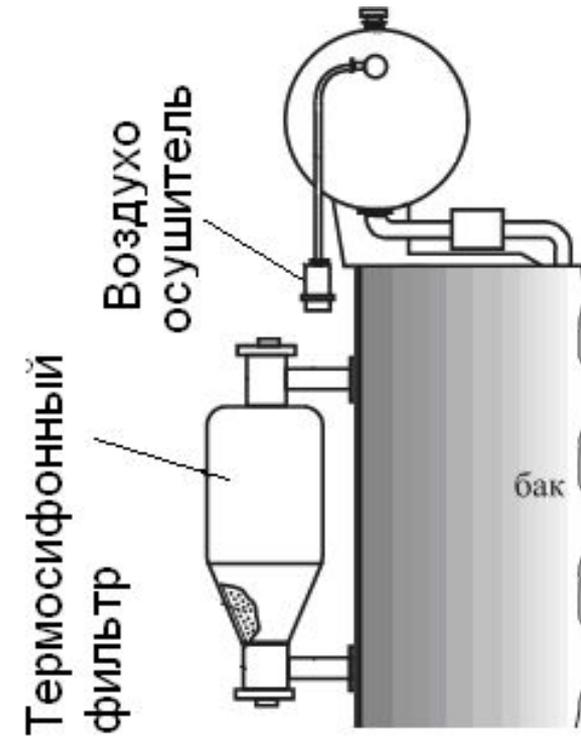
Показатель масла	Оборудование, $U_{ном}$ , кВ	Свежее масло	Регенерир. масло	Эксплуатационное масло	
				Норм. доп.	Пред. доп.
$U_{пр}$ , кВ	до 35	35	35	-	25
	до 150	60	60	40	35
	220	65	65	60	55
Кислотное число, мг КОН/г	до 220	0,02	0,05	0,1	0,25
Темп-ра вспышки, °С	до 220	135	130	*	125

\* - уменьшение не более чем на 5°С по сравнению с предыдущим анализом



- Для замедления процессов старения масла в него добавляют антиокислительные присадки, а в конструкции трансформатора предусматривают специальные устройства: термосифонные фильтры, воздухоосушители и др.
- **Антиокислительные присадки** способствуют поддержанию требуемого качества масла длительное время. Срок службы масла с такими присадками увеличивается в 2...3 раза. Добавку присадок выполняют один раз в 4...5 лет.

- **Воздухоосушитель** препятствует попаданию влаги в масло.
- **Термосифонный фильтр** предназначен для поглощения влаги и продуктов окисления и старения масла в процессе эксплуатации.
- Наполнение воздухоосушителя и термосифонного фильтра – **силикагель**.
- Трансформаторы мощностью 1000 кВ·А и более должны эксплуатироваться с постоянно включенными термосифонными фильтрами.



■ При приближении показателей масла к предельно допустимым его заменяют или подвергают регенерации:

---

- ❖ центрифугированию;
- ❖ фильтрации;
- ❖ сушке;
- ❖ дегазации.

■ Стоимость регенерированного масла не превышает 50-60% от стоимости нового масла.

- В настоящее время альтернативой трансформаторному маслу являются жидкие диэлектрики **Midel 7131**, **Софексил ТСЖ** и другие.
- Экологически чистый диэлектрик **Midel 7131** (пробивное напряжение 55 кВ, кислотное число 0,02 мг КОН/г, температура вспышки 257°C) применяется там, где требуется высокая пожаробезопасность.
- Экологически чистый диэлектрик **Софексил ТСЖ** (пробивное напряжение 35 кВ, температура вспышки 300°C, температура застывания -75°C (у масла -45°C)) является пожаробезопасным.
- Трансформаторы с жидкими диэлектриками дороже традиционных масляных трансформаторов, но дешевле сухих трансформаторов и успешно конкурируют с последними в части пожарной безопасности в распределительных сетях 6...35 кВ.

## Хроматографический анализ газов, растворенных в масле

- Хроматография, представляет собой метод разделения сложных смесей на отдельные компоненты и их количественное определение.
- Хроматографический анализ газов, растворенных в масле, позволяет выявить дефекты трансформатора на ранней стадии их развития, предполагаемый характер дефекта и степень имеющегося повреждения.
- Состояние трансформатора оценивается сопоставлением полученных при анализе количественных данных с граничными значениями концентрации газов и по скорости роста концентрации газов в масле.
- Этот анализ для трансформаторов напряжением **110 кВ и выше** должен осуществляться **не реже 1 раза в 6 месяцев**.

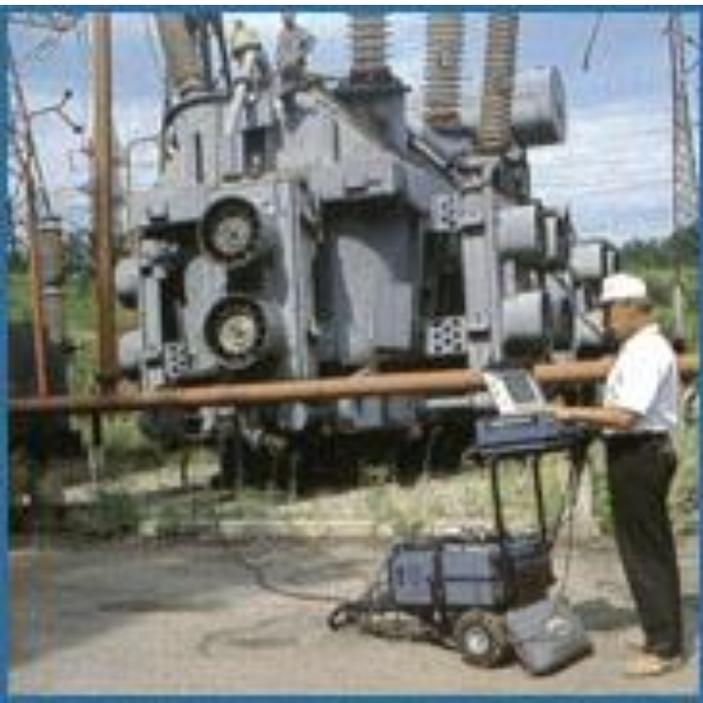
- **Водород** характеризует дефекты электрического характера (частичные, искровые и дуговые разряды в масле); **ацетилен** — перегрев активных элементов; **этан** — термический нагрев масла и твердой изоляции обмоток в диапазоне температур до 300°C; **этилен** — высокотемпературный нагрев масла и твердой изоляции обмоток выше 300°C; **окись и двуокись углерода** — перегрев и разряды в твердой изоляции обмоток.



- Установка для хроматографии трансформаторного масла

# Ремонт трансформаторов

- Текущие и капитальные ремонты трансформаторов систем электроснабжения проводят в соответствии с их действительным техническим состоянием (система РТС).
- Для оценки состояния трансформатора периодически проводятся профилактические проверки, измерения, испытания, диагностирование. При обнаружении развивающихся дефектов, которые могут привести к отказу трансформатора, планируется вывод его в ремонт.
- Любой ремонт трансформатора, связанный с разгерметизацией и выемкой активной части относится к капитальному.



- Ремонт трансформаторов мощностью до 6300 кВ·А выполняется, как правило, на специализированных ремонтных предприятиях.
- Ремонт трансформаторов большей мощности, у которых затраты на транспортировку могут превосходить стоимость ремонта, выполняется непосредственно на подстанциях.

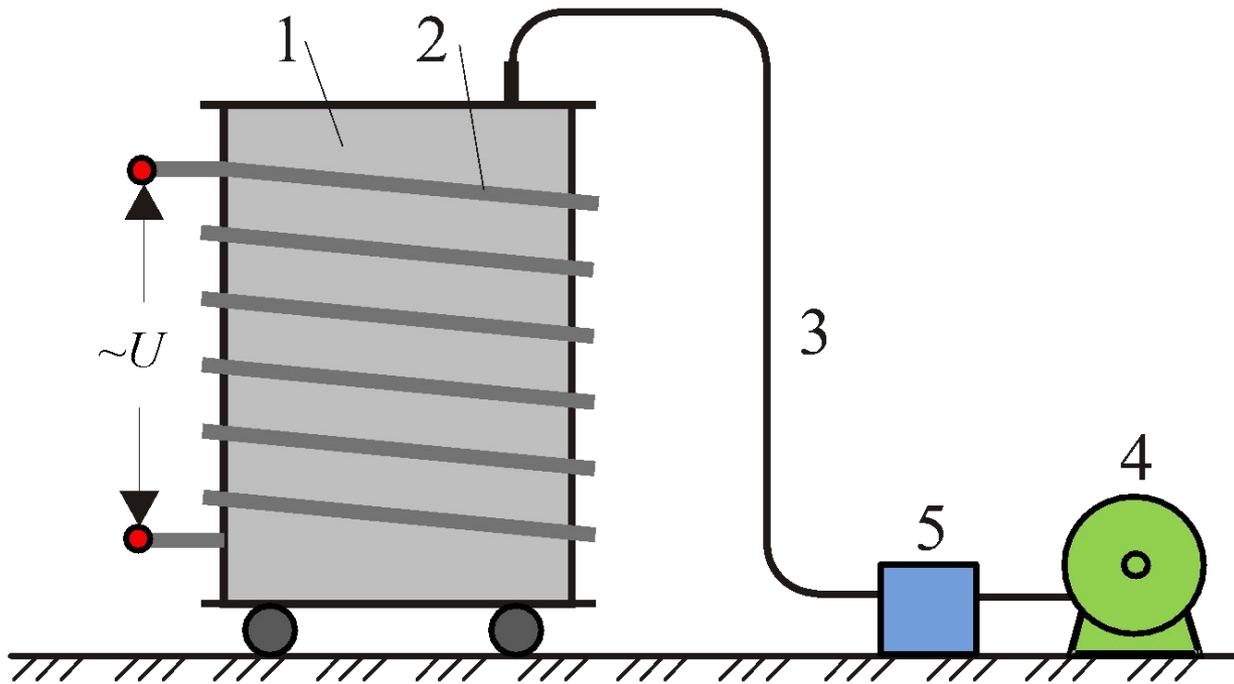


# Сушка изоляции обмоток трансформатора

- Твердая изоляция обмоток трансформатора обладает гигроскопичностью, Поэтому по окончании ремонта возникает вопрос о необходимости **сушки** изоляции обмоток трансформатора.
- Трансформаторы, у которых при ремонте выполнялась полная или частичная замена обмоток, подлежат обязательной сушке.
- Трансформаторы, прошедшие ремонт без замены обмоток, могут быть включены в работу без сушки изоляции при условиях, что характеристики изоляции не выходят за пределы нормированных значений.



- ❖ 1 – бак трансформатора без масла;
- ❖ 2 – намагничивающая обмотка;
- ❖ 3 – вытяжная трубка;
- ❖ 4 – вакуум-насос;
- ❖ 5 – приемник конденсата.

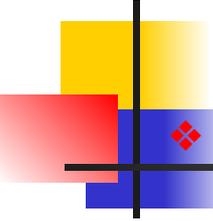


- Температура активной части трансформатора должна быть  $95...105^{\circ}\text{C}$ .
- В процессе сушки периодически измеряются характеристики изоляции.
- Сушка заканчивается, если характеристики изоляции на протяжении 6-8 часов остаются неизменным.

# Испытания трансформаторов

- При эксплуатации наиболее полные измерения и испытания трансформатора проводятся после выполнения капитального ремонта.
- **Программа испытаний трансформаторов:**
  - ❖ Определение характеристик изоляции обмоток.
  - ❖ Испытания изоляции обмоток повышенным напряжением. Испытательные напряжения регламентируются ПТЭ. Длительность испытания 1 мин.



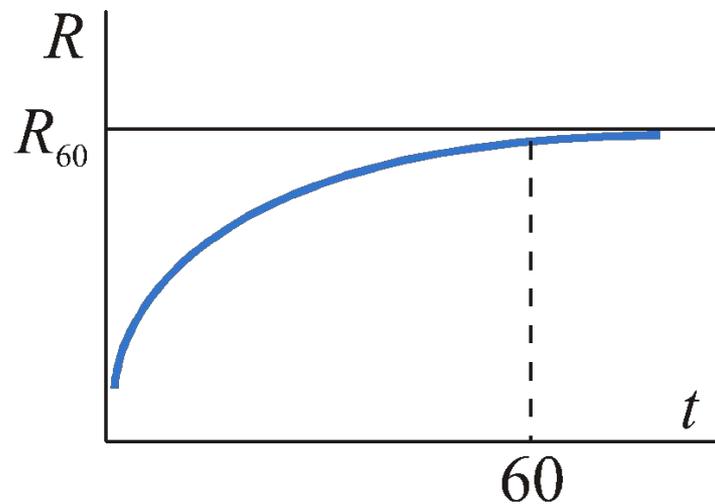
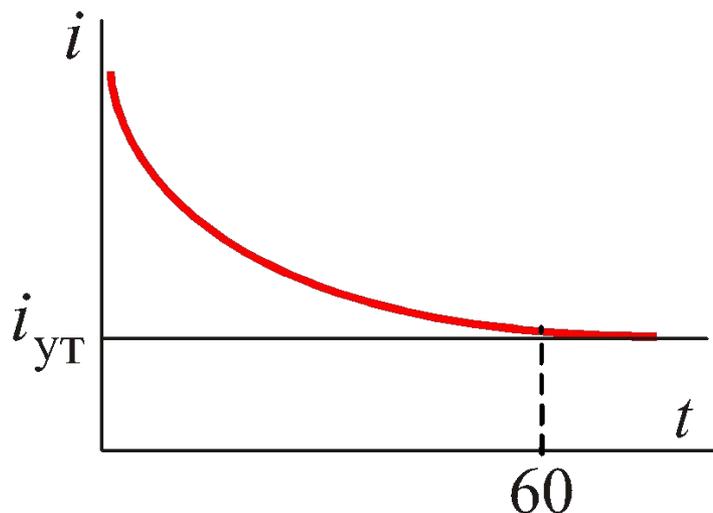
- 
- ❖ Испытания повышенным напряжением изоляции магнитопровода и вторичных цепей напряжением 1 кВ в течение 1 мин.
  - ❖ Измерения сопротивлений обмоток постоянному току для выявления дефектов в паяных соединениях обмоток и контактах переключающих устройств.
  - ❖ Проверка коэффициентов трансформации и группа соединения обмоток.
  - ❖ Опыт холостого хода у трансформаторов мощностью более 1000 кВ·А.
  - ❖ Испытание бака трансформатора на герметичность.
  - ❖ Испытания трансформаторного масла.
  - ❖ Испытание трансформатора включением толчком на номинальное напряжение (3...5 раз).
  - ❖ Испытания трансформатора под нагрузкой в течение 24 ч.

# Характеристики изоляции обмоток трансформатора

- При приложении к изоляции напряжения в ней происходят процессы поляризации и проводимости, имеют место диэлектрические потери. Эти процессы определяют характеристики изоляции, ее состояние. Для достоверной оценки состояния изоляции измеряется совокупность ее характеристик.
- *Поляризация* — это ограниченное смещение находящихся в изоляции связанных противоположных зарядов, происходящее под действием электрического поля.
- Замедленный (инерционный) вид поляризации, продолжающийся десятки секунд, называется *абсорбцией*, а сопровождающий это явление ток — током абсорбции.

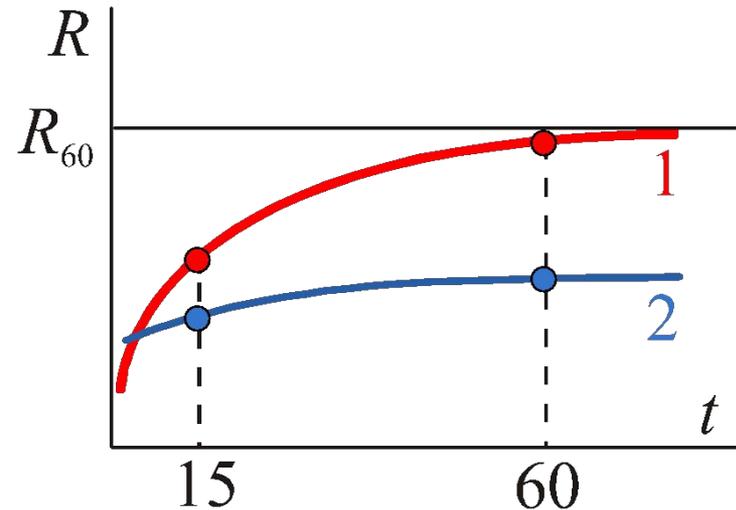
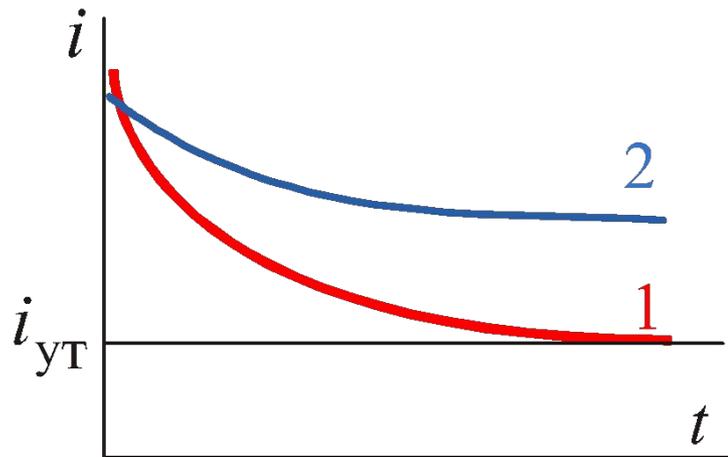


- При приложении к изоляции постоянного напряжения ток абсорбции спадает во времени. Через некоторое время ток через изоляцию определяется только током утечки  $i_{\text{ут}}$ .
- Процесс спада тока абсорбции можно представить увеличением сопротивления изоляции во времени. Сопротивление изоляции измеряется мегаомметром. Отсчет сопротивления производится приблизительно через 60 секунд.
- Сопротивление изоляции  $R_{60}$  – одна из характеристик изоляции.



- Допустимые сопротивления изоляции обмоток:
  - $R_{60} = 300$  МОм — для трансформаторов напряжением до 35 кВ;
  - $R_{60} = 600$  МОм — для трансформаторов напряжением 110 кВ;
  - $R_{60}$  — не нормируется для трансформаторов напряжением 220 кВ.

- Допустим, что кривые 1 соответствуют нормальной изоляции. При увлажнении (загрязнении, старении) изоляции ее характеристики ухудшаются: ток утечки возрастает, сопротивление изоляции  $R_{60}$  уменьшается (кривые 2).
- По отношению сопротивлений изоляции для двух моментов времени  $t_1$  и  $t_2$  получают другую характеристику изоляции  $R_{60}/R_{15}$ , называемую коэффициентом абсорбции.



- Для нормальной изоляции коэффициент абсорбции должен быть не менее 1,3.

- Реальную изоляцию можно представить емкостно-омическим двухполюсником.
- При приложении к изоляции переменного напряжения  $U$  по ней протекает полный ток  $I$ , состоящий из активной  $I_R$  и емкостной  $I_C$  составляющих.
- Отношение  $I_R/I_C = \operatorname{tg}\delta$  называется тангенсом угла диэлектрических потерь и характеризует увлажнение изоляции и общее ее старение.

- Мост Р-5026 для измерения  $\operatorname{tg}\delta$  →



- Допустимые значения  $\operatorname{tg}\delta$ , % изоляции обмоток трансформаторов:
  - $\operatorname{tg}\delta=2,5\%$  — для трансформаторов напряжением 35 кВ;
  - $\operatorname{tg}\delta=2,5\%$  — для трансформаторов напряжением 110 кВ;
  - $\operatorname{tg}\delta=1,3\%$  — для трансформаторов напряжением 220 кВ.

# Вопросы для самопроверки

- Какова периодичность осмотра трансформаторов?
- Назовите основные режимы работы трансформатора.
- ~~Приведите тепловую диаграмму трансформатора.~~
- Нагрев каких частей трансформатора ограничивает его перегрузку?
- При каком изменении температуры изоляции обмоток (в рабочем диапазоне температуры) срок службы изоляции изменяется вдвое?
- Назовите основные функции трансформаторного масла.
- Охарактеризуйте виды испытаний трансформаторного масла.
- Поясните термины «нормально допустимые» и «предельно допустимые» показатели трансформаторного масла.
- Какова функция термосифонного фильтра?
- Назовите основные операции, выполняемые при регенерации масла.
- Поясните термин «хроматография».
- Какая система ремонта характерна для трансформаторов?
- Какая изоляция сушится в трансформаторе после его ремонта?
- Назовите основные характеристики изоляции трансформатора.



# Эксплуатация оборудования распределительных устройств

- ❑ Осмотры распределительных устройств (РУ).
- ❑ Измерения и испытания оборудования РУ.
- ❑ Тепловизионный контроль оборудования.



# Осмотры распределительных устройств

- Периодичность осмотров:
  - ✓ на объектах с постоянным дежурством персонала — не реже 1 раза в сутки и не реже 1 раза в месяц в темное время суток;
  - ✓ на объектах без дежурства персонала — не реже 1 раза в месяц.

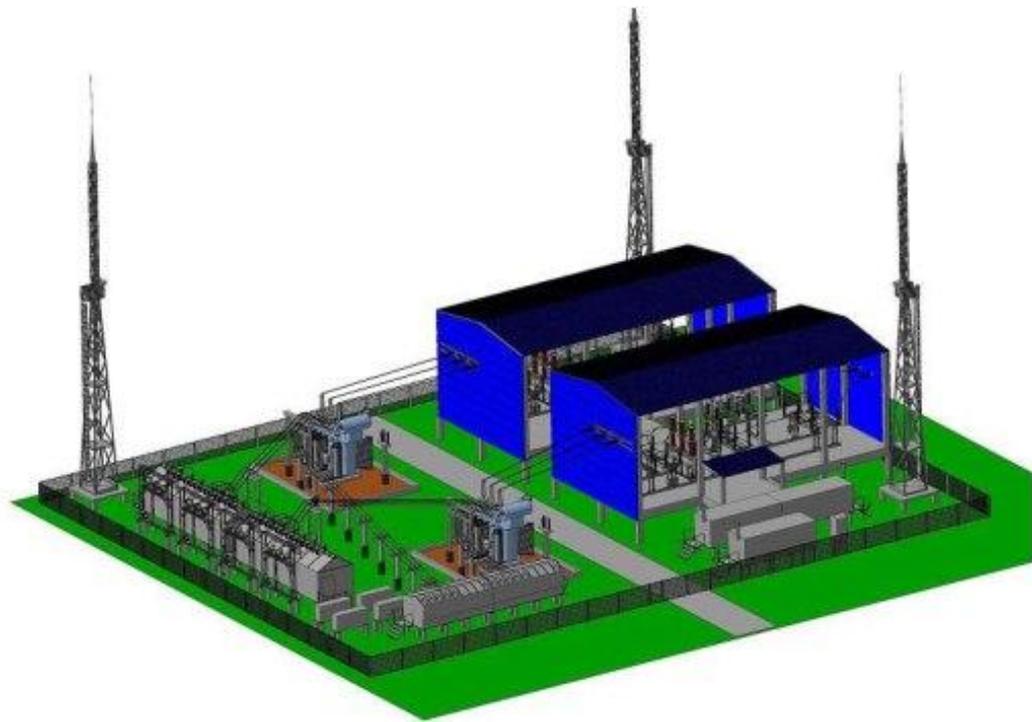


- При осмотрах РУ проверяют:
  - ✓ уровень масла, его температуру и отсутствие течи в маслонаполненном оборудовании;

---

  - ✓ состояние контактных соединений ошиновки;
  - ✓ состояние изоляции (загрязненность, наличие трещин, сколов, следов выпадения росы);
  - ✓ соответствие указателей положения коммутационных аппаратов их действительному положению;
  - ✓ состояние открыто проложенных проводников ЗУ;
  - ✓ действие устройств подогрева оборудования в холодное время года;
  - ✓ наличие средств пожаротушения, переносных заземлений и других защитных средств.

- При осмотрах ЗРУ дополнительно проверяют:
  - ✓ состояние помещения, отопления, вентиляции, освещения;
  - ✓ состояние кровли или междуэтажных перекрытий;
  - ✓ наличие и исправность дверей и замков.
- В РУЭ дополнительно проверяют влажность и давление элегаза в оборудовании, концентрацию элегаза в помещении закрытых РУ.
- Замеченные при осмотрах дефекты и неисправности должны быть устранены при ближайшем ремонте, дефекты аварийного характера должны устраняться в кратчайшие сроки.



# Измерения и испытания оборудования

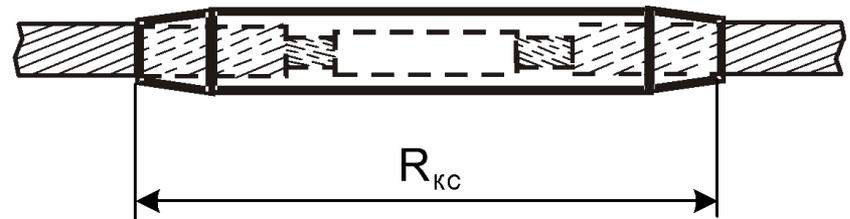
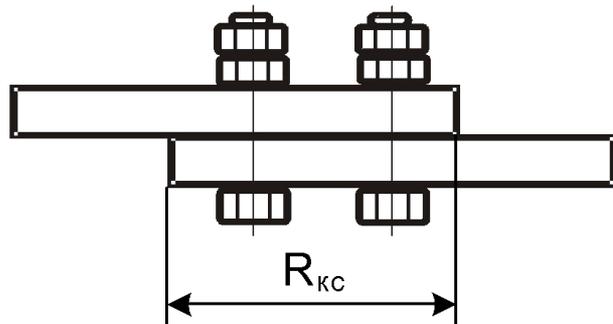
- ❖ Сопротивление изоляции первичных цепей, измеряемое мегаомметром на 2500 В должно быть не меньше следующих значений:

---

  - ✓  $U_{\text{ном}} \leq 10 \text{ кВ}$        $R_{60} \geq 300 \text{ Мом};$
  - ✓  $U_{\text{ном}} = 20-150 \text{ кВ}$      $R_{60} \geq 1000 \text{ Мом};$
  - ✓  $U_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ}$          $R_{60} \geq 3000 \text{ Мом}.$
- ❖ Сопротивления изоляции вторичных цепей, измеренное мегаомметром на 1000 В, должно быть не меньше 1 МОм.
- ❖ Основная изоляции оборудования испытывается повышенным напряжением в течение 1 мин.
- ❖ Изоляции вторичных цепей испытывается напряжением 1 кВ в течение 1 мин.
- ❖ Тепловизионный контроль оборудования.

# Шины

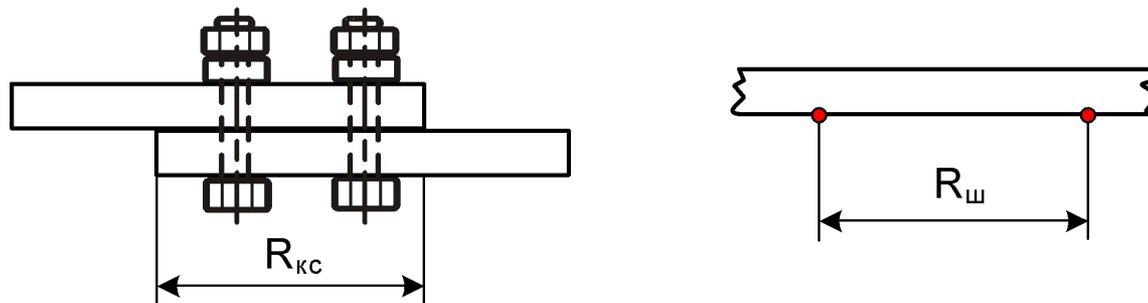
- Непосредственно у шин главное внимание уделяется контактным соединениям.
- Переходные сопротивления болтовых контактных соединений  $R_{\text{КС}}$  увеличиваются вследствие окисления поверхностей соприкосновения и ослабления контактного давления под воздействием окружающей среды, механических и токовых нагрузок.
- При возрастании переходного сопротивления температура контактного соединения увеличивается, окислительные процессы ускоряются, вызывая еще большее увеличение переходного сопротивления. В конечном итоге происходит выгорание контактного соединения.



- Состояние контактного соединения может определяться визуально.
- Более точно состояние контактного соединения определяют путем измерения переходного сопротивления  $R_{\text{КС}}$  или температуры контактного соединения  $\Theta_{\text{КС}}$ .
- Для болтовых контактных соединений шин должно выполняться условие

$$R_{\text{КС}} \leq 1,2R_{\text{Ш}}$$

- Температура  $\Theta_{\text{КС}}$  не должна превышать  $90^{\circ}\text{C}$ .
- Для температурного контроля контактных соединений применяют термопленки, пирометры, тепловизоры и другие средства измерения.
- При неудовлетворительном состоянии разборного контактного соединения его подвергают ревизии.



## Силовые выключатели

- Внеочередные осмотры проводятся после отключения тока КЗ.
- При осмотрах обращают внимание на нагрев и состояние наружных контактных соединений, крепление выключателя и привода, состояние и степень загрязнения изоляции, исправность цепи заземления.
- У масляных выключателей контролируются уровень масла, отсутствие его утечек, температура и степень загрязненности масла.
- У воздушных выключателей контролируются утечки и давление сжатого воздуха; у элегазовых выключателей — утечки, давление и влажность элегаза.



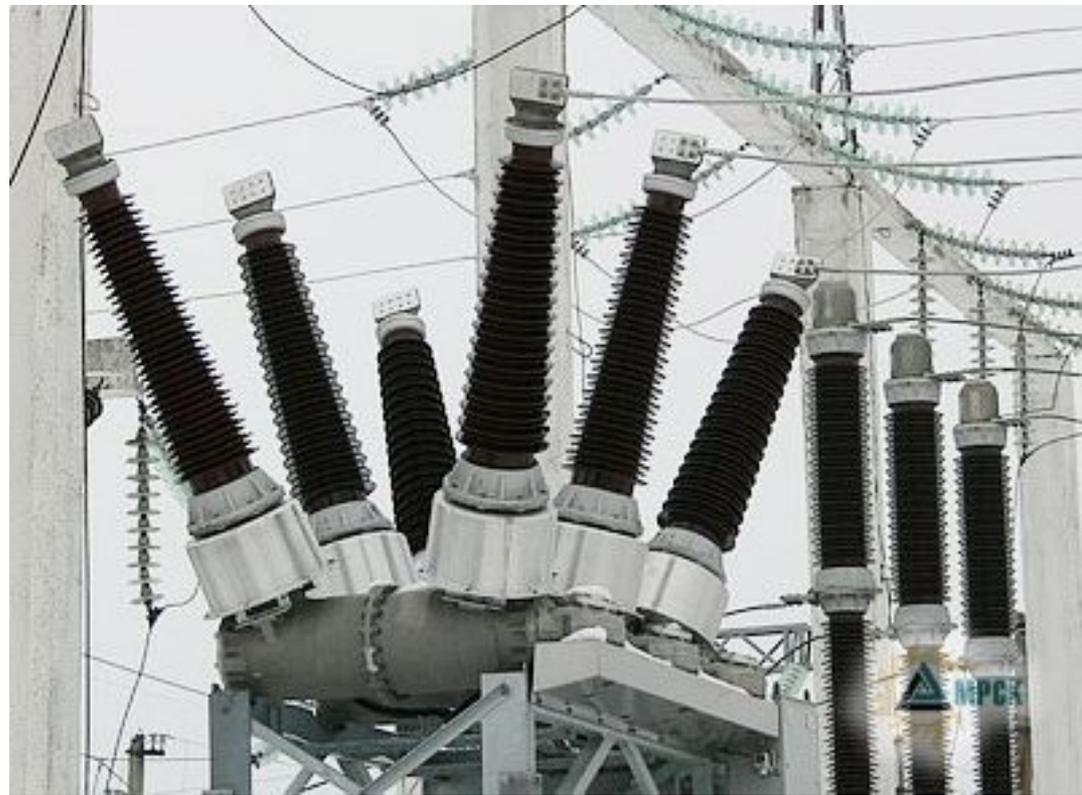
- Масляные и воздушные выключатели имеют низкую надежность, небольшой коммутационный ресурс, пожароопасность (у масляных выключателей), высокую трудоемкость ремонта и обслуживания.



- *Масляные выключатели*

- *Воздушный выключатель*

- В настоящее время при строительстве новых и реконструкции существующих объектов устанавливаются элегазовые и вакуумные выключатели, обладающие более высокими техническими характеристиками.



- ***Вакуумный и элегазовый выключатели***

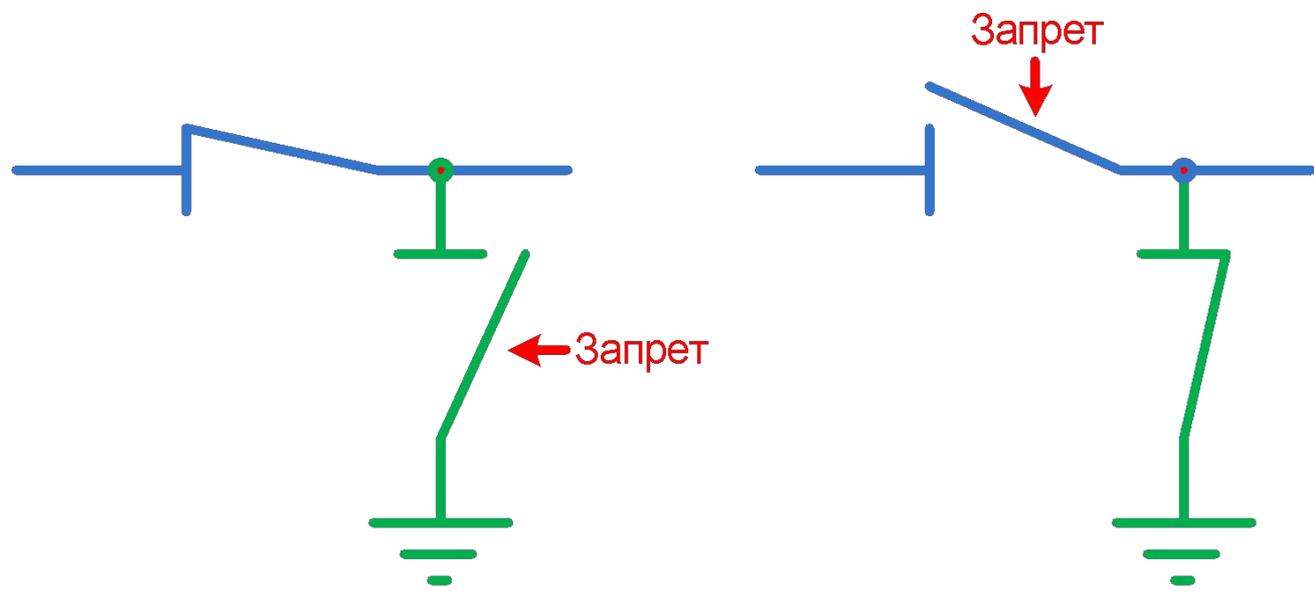
- Измерения и испытания выключателей:
  - измерение сопротивления постоянному току контактной системы;
  - проверка срабатывания привода при пониженном напряжении; минимальное напряжение срабатывания электромагнитов управления должно быть не менее  $0,65U_{\text{НОМ}}$  ( $0,7U_{\text{НОМ}}$ ) при переменном (постоянном) токе;
  - измерение скоростных характеристик выключателя (времени включения и отключения);
  - опробование в циклах О-В и О-В-О выключателей, предназначенных для работы в цикле АПВ.

# Разъединители

- При осмотрах разъединителей обращают внимание на состояние контактов и изоляции.
- Проверяются общее состояние контактов, их соосность и одновременность замыкания и размыкания. При наличии отмеченных недостатков выполняется ревизия контактов и их регулировка.
- Загрязнение поверхности изоляторов разъединителей увеличивает вероятность ее перекрытия особенно в сырую погоду. При обнаружении трещин и сколов на изоляторах аппарат следует вывести в ремонт.



- Измерения и испытания разъединителей:
  - измерение сопротивления постоянному току контактной системы разъединителей;
  - измерение усилия вытягивания одного контакта из другого;
  - проверка работы многократным включением и отключением при номинальном напряжении;
  - проверка работы механических блокировок.



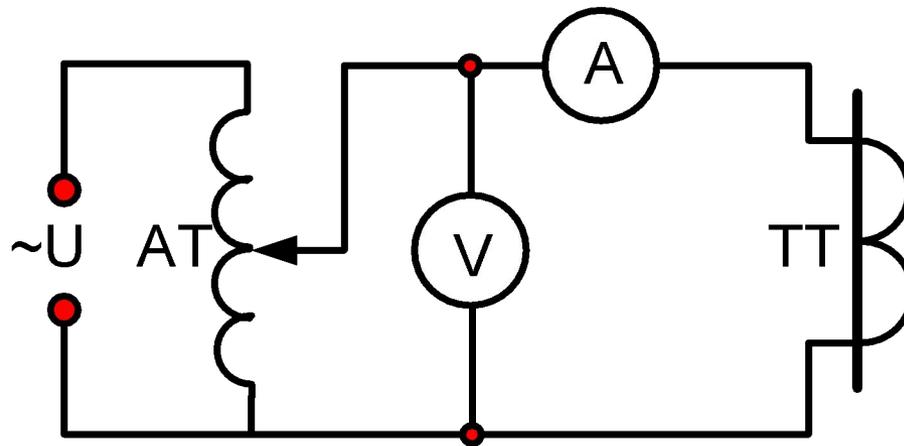
# Измерительные трансформаторы тока

- При осмотрах проверяется состояние контактных соединений, изоляции, заземления вторичных обмоток, уровень и отсутствие течи масла у маслонаполненных ТТ.
- **Заземление вторичных обмоток** необходимо для защиты обслуживающего персонала от первичного напряжения при пробое изоляции между первичной и вторичной обмотками.
- Нормальный режим работы ТТ близок к короткому замыканию вторичной обмотки. **Разрыв вторичной цепи** под нагрузкой приводит к перенапряжению на вторичной обмотке и повреждению ее изоляции.



- Измерения и испытания ТТ:

- измерение  $\text{tg}\delta$ ;
- для контроля изоляции витков вторичной обмотки ТТ снимается характеристика намагничивания; при отсутствии витковых замыканий во вторичной обмотке ток намагничивания отличается от контрольного тока не более чем на 10%;
- измерение коэффициента трансформации;
- для маслонаполненных ТТ проводится сокращенный анализ масла.



# Измерительные трансформаторы напряжения

- При осмотрах проверяют уровень масла и отсутствие его течи, состояние фарфоровых изоляторов, исправность армировочных швов, заземление вторичных обмоток.
- **Заземление вторичных обмоток** необходимо для защиты обслуживающего персонала от первичного напряжения при пробое изоляции между первичной и вторичной обмотками.



## □ Измерения и испытания ТН:

---

- Для контроля изоляции витков вторичной обмотки измеряется ток холостого хода: на вторичную обмотку ТН подается номинальное напряжение и измеряется ток этой обмотки при разомкнутой первичной обмотке. Отличие результата измерений от паспортных данных более чем на 20% свидетельствует о наличии витковых замыканий. В этом случае ТН выводится в ремонт.
  - Измерение коэффициента трансформации.
  - Состояние масла ТН оценивается по результатам сокращенного анализа.
-

# Конденсаторные установки

- При осмотрах КУ проверяют целостность и степень загрязнения изоляции, состояние контактных соединений ошиновки, отсутствие течи из корпусов конденсаторов; состояние проводников заземления.
- Контроль режима работы КУ выполняется измерением напряжения, тока, неравномерности нагрузки фаз.
- При повышении напряжения на КУ свыше 110% от номинального установка должна быть отключена. Токи в фазах должны отличаться не более чем на 5%.
- Перед обслуживанием отключенной КУ производится **контрольный разряд** конденсаторов.
- Конденсаторы испытываются повышенным напряжением.



## Аппараты защиты от перенапряжений

- При осмотрах РВ и ОПН, имеющих фарфоровые покрышки, особое внимание обращают на герметичность конструкции. При наличии повреждений фарфоровой покрышки или армировочных швов аппарат выводится в ремонт.
- Измерения и испытания РВ и ОПН:
  - измерение сопротивления РВ и ОПН;
  - измерения тока проводимости РВ и ОПН;
  - измерение пробивного напряжения РВ.
- Измерение сопротивления и тока проводимости позволяет выявить увлажнение внутренних деталей, обрывы цепи шунтирующих резисторов, ухудшение характеристик нелинейных резисторов ОПН .
- Измерение пробивного напряжения РВ производится с целью определения соответствия защитных характеристик разрядника требуемым нормам.



## Заземляющие устройства

- Осмотры видимой части ЗУ должны проводиться не реже 1 раза в 6 месяцев. При осмотре оценивается состояние открыто проложенных заземляющих проводников, болтовых контактных соединений.
- Осмотры с выборочным вскрытием грунта проводятся в местах ЗУ, наиболее подверженных коррозии, а также у мест заземления нейтралей трансформаторов, присоединений РВ и ОПН. Такие осмотры проводятся не реже 1 раза в 12 лет. Элемент ЗУ бракуется, если коррозией поражено более 50% его сечения.

- Измерения:

- сопротивлений болтовых соединений должны быть не более 0,05 Ом;
- напряжения прикосновения;
- удельного сопротивления грунта и ЗУ.



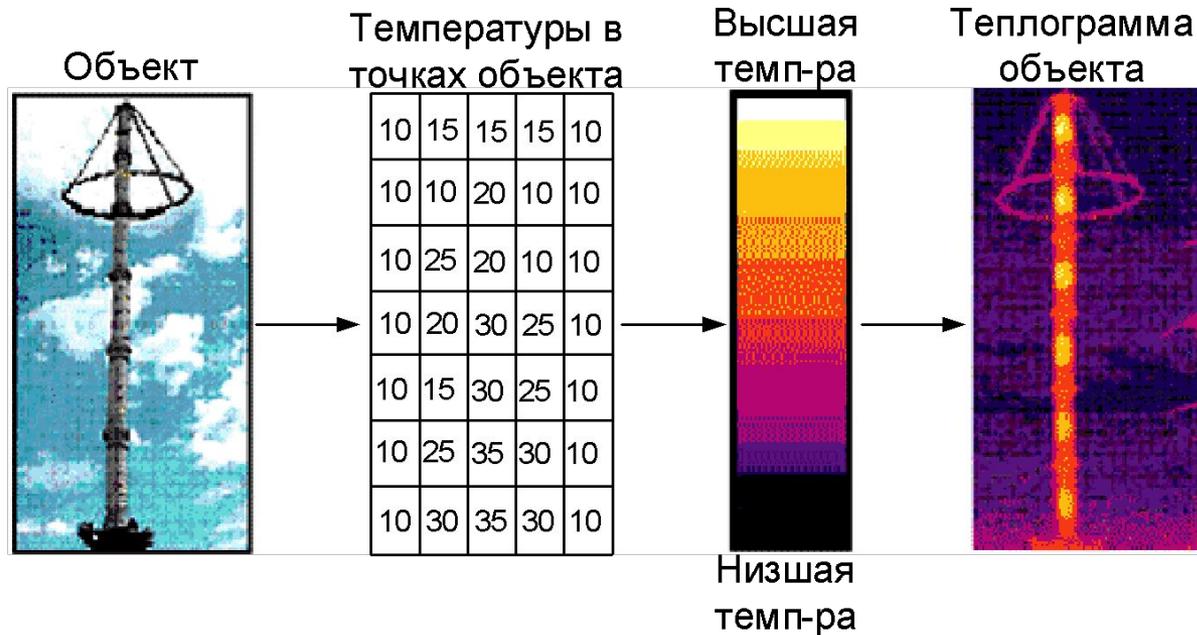
- Прибор для измерения сопротивлений заземляющих устройств Ф4103

# Тепловизионный контроль оборудования

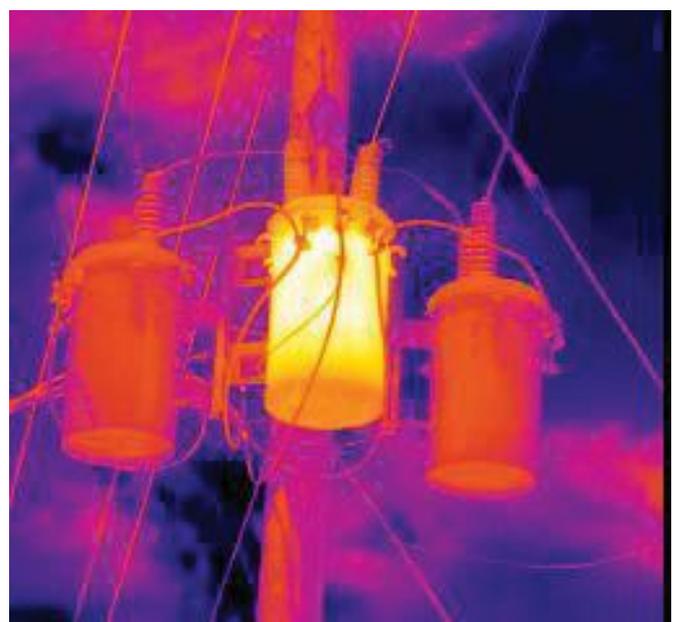
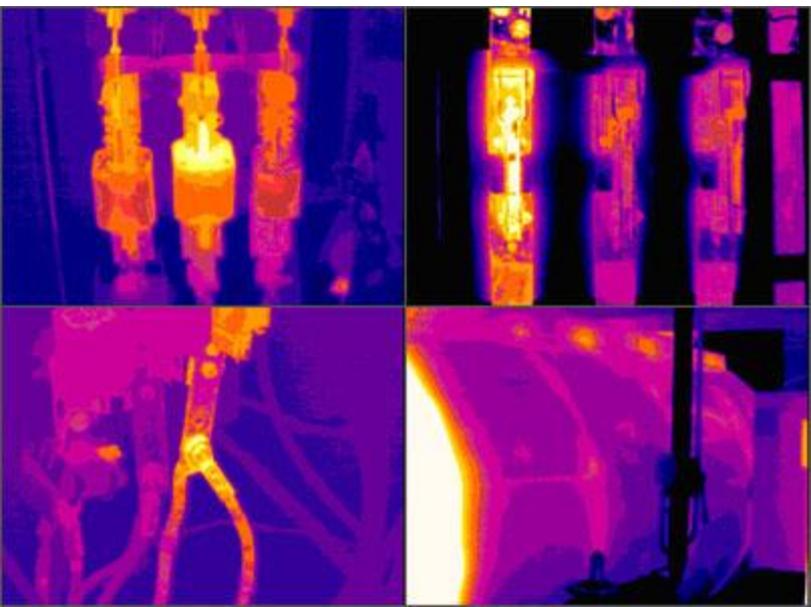
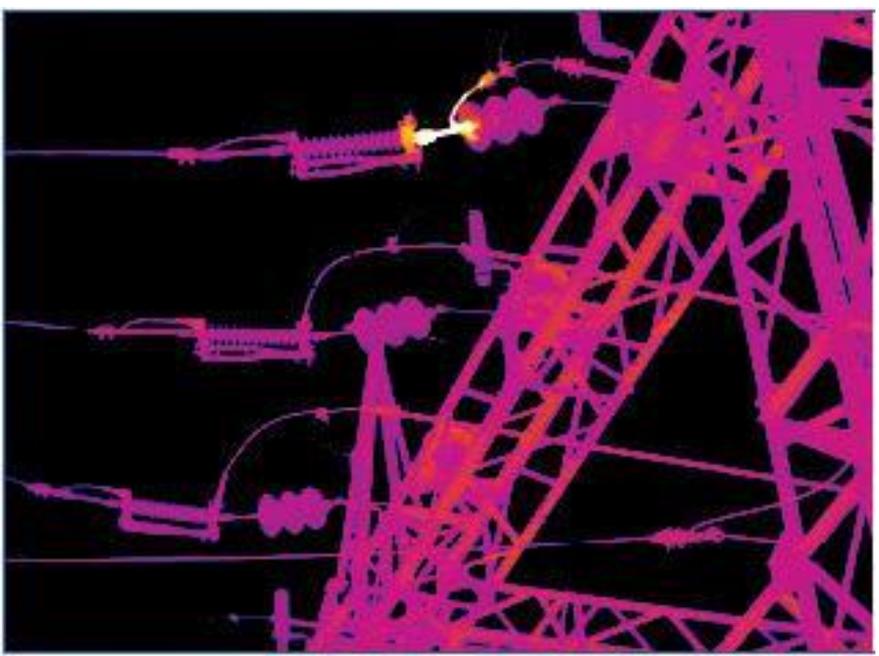
- Тепловизионный контроль оборудования РУ на напряжение до 35 кВ должен проводиться не реже 1 раза в 3 года, для оборудования напряжением 110...220 кВ — не реже 1 раз в 2 года.
- Тепловизионный контроль всех видов соединений проводов ВЛ должен проводиться не реже 1 раза в 6 лет.
- Для тепловизионного контроля оборудования применяются специальные приборы – тепловизоры с разрешающей способностью 0,1...0,2°С, с температурным диапазоном от 0°С до 200 °С.



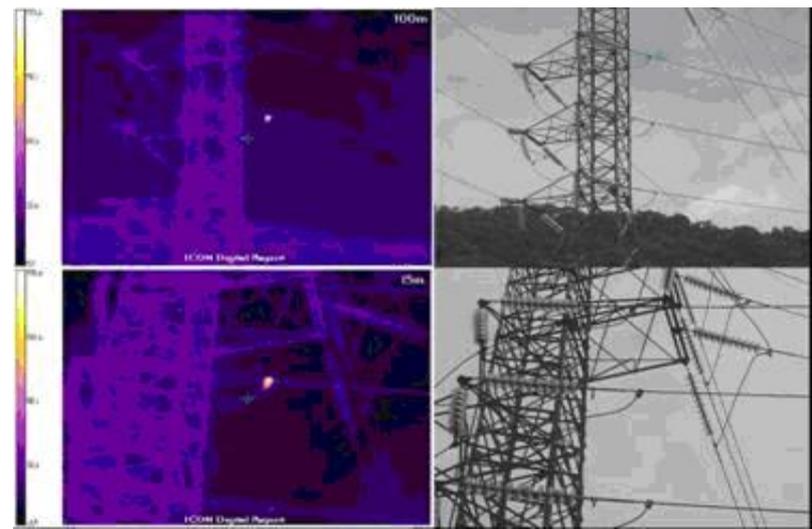
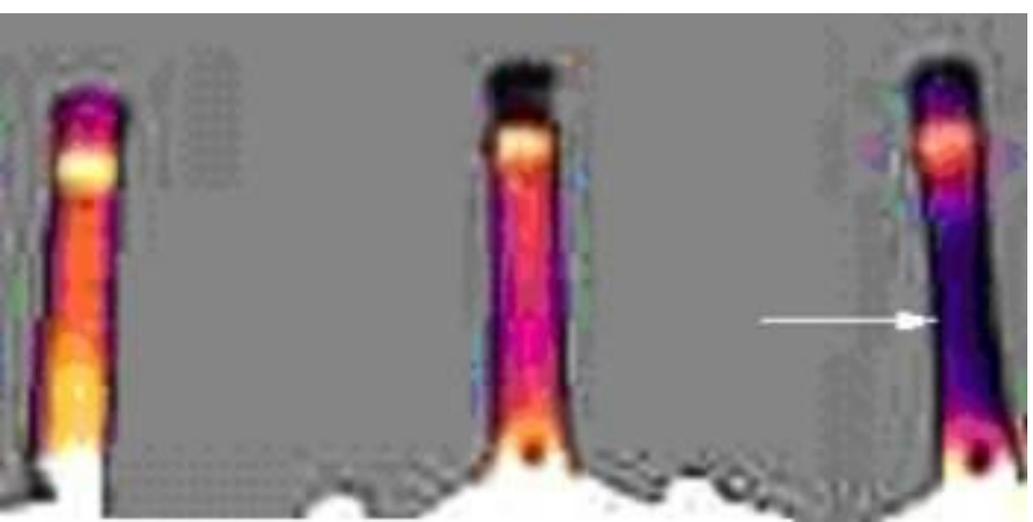
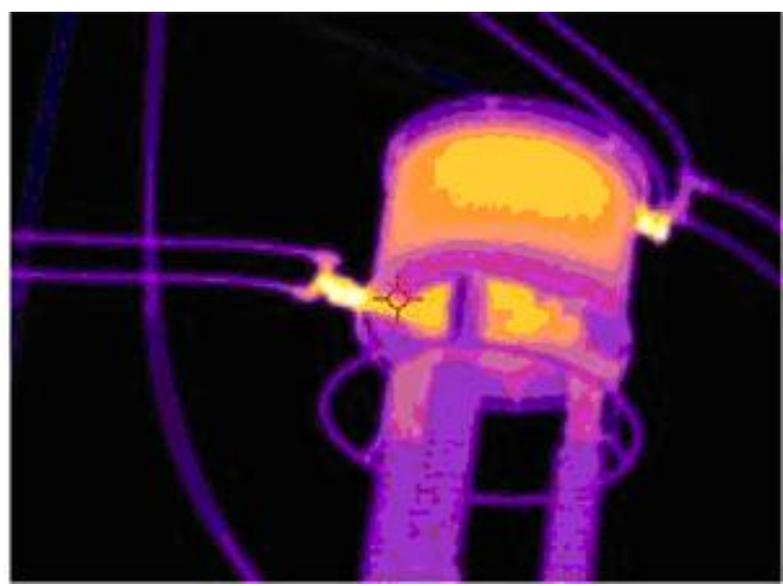
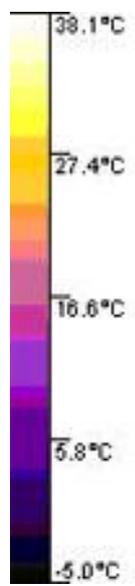
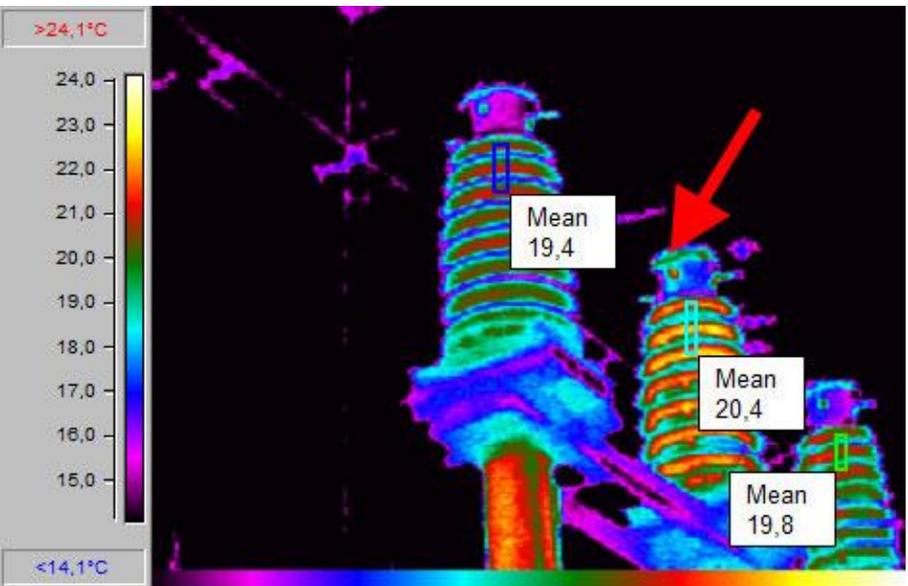
- В тепловизоре чувствительный элемент быстро и автоматически перемещается по вертикали и горизонтали. В оперативной памяти тепловизора создается таблица с температурами точек объекта.
- После записи в память тепловизора информации о температурах точек объекта происходит создание изображения, в котором каждой точке с определенной температурой присваивается свой цвет.
- Изображение передается на дисплей. Это изображение, напоминающее естественное изображение объекта, называется **теплогаммой** объекта.



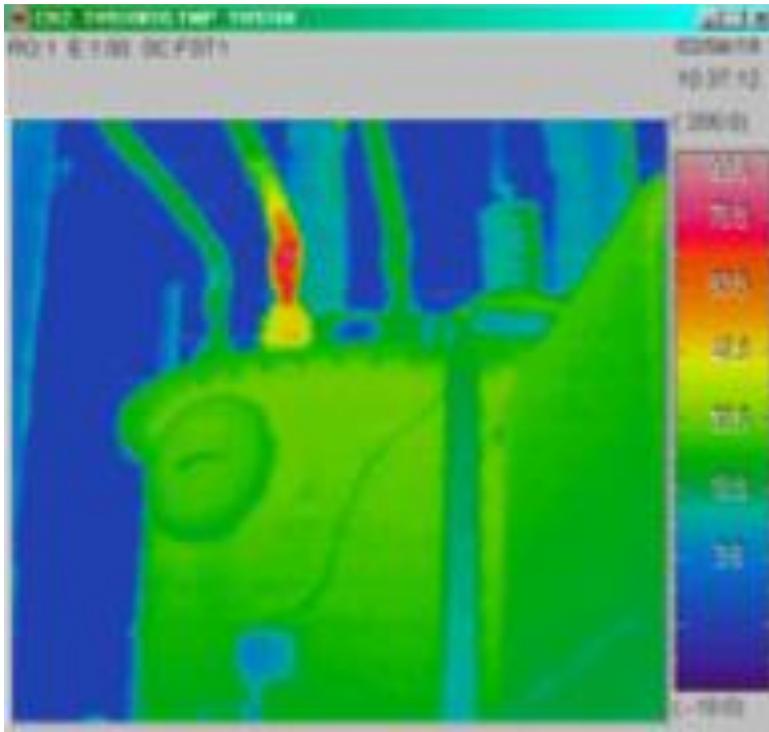
- Характерные теплограммы оборудования



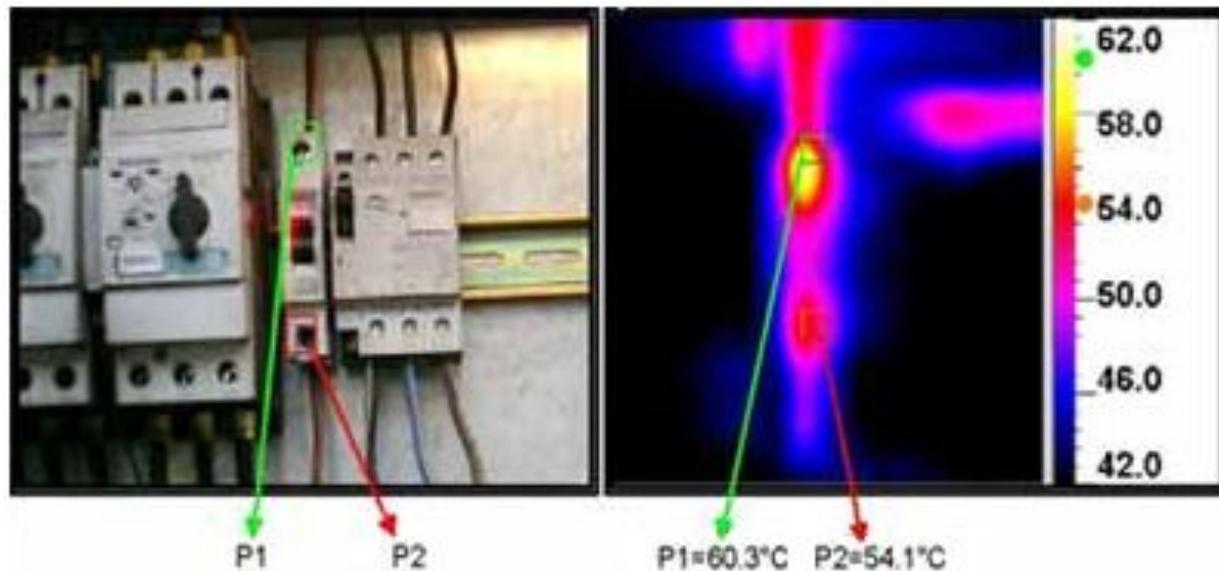
• Характерные теплограммы оборудования



- Оценка состояния электрооборудования осуществляется:
  - ✓ по допустимым температурам нагрева;
  - ✓ превышениям температуры;
  - ✓ избыточной температуре.
  - ✓ коэффициенту дефектности;
  - ✓ динамике изменения температуры во времени;
  - ✓ сравнением температуры объекта с другим, заведомо исправным оборудованием.



- **Превышение температуры** — разность между измеренной температурой нагрева и температурой окружающего воздуха.
- **Избыточная температура** — превышение измеренной температуры контролируемого узла над температурой аналогичных узлов других фаз, находящихся в одинаковых условиях.
- **Коэффициент дефектности** — отношение измеренного превышения температуры контактного соединения к превышению температуры, измеренному на целом участке шины (провода), отстоящем от контактного соединения на расстоянии не менее 1 м.
- Наибольшие допустимые температуры нагрева  $\Theta_d$  и превышения температуры  $\Delta\Theta_d$  для оборудования приводятся в справочной литературе.



# Вопросы для самопроверки

- Какова периодичность осмотров распределительных устройств?
- ~~Как оценить состояние контактного соединения?~~
- Назовите основные пункты испытаний выключателей.
- С какой целью заземляются вторичные обмотки измерительных трансформаторов?
- С какой целью снимается характеристика намагничивания ТТ?
- С какой целью измеряется ток холостого хода ТН?
- Когда производится контрольный разряд конденсаторов?
- С какой целью проверяется герметичность Р?
- Периодичность осмотров видимой части ЗУ?
- В каких местах производится осмотр ЗУ со вскрытием грунта?
- Поясните термин "тепловизионный контроль"
- Что представляет собой термограмма объекта?
- Что такое разрешающая способность тепловизора?
- Какова периодичность тепловизионного контроля электрособорования?



# Заключение

- При изучении дисциплины главное внимание должно уделяться вопросам организации электромонтажных работ, организации технического обслуживания и ремонта оборудования, методам его испытаний, диагностики состояния, нормативной технической документации.
- Знание указанных вопросов позволит будущему специалисту быстро и успешно адаптироваться в современных условиях производства электромонтажных работ и эксплуатации электрооборудования как на промышленных предприятиях, так и в энергосистемах.
- Совершенствование знаний студентов в области монтажа и эксплуатации оборудования систем электроснабжения достигается изучением специальной нормативно-технической литературы, далеко не полный перечень которой приведен в библиографическом списке.
- Специалист должен следить за появлением новых материалов, конструкций, технологий в выбранной сфере деятельности, в частности, с помощью таких средств информации, как Интернет. Совершенствование знаний специалиста достигается участием в технических семинарах, конференциях, посещением отраслевых выставок, систематически организуемых в области электроэнергетики и электротехнической промышленности.