



# РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА

**ЦИРКУЛЯРНОЕ ПИСЬМО**

**№ 315-23-1877ц**

от 14.12.2022

Касательно:

изменений к Правилам классификации и постройки морских судов, 2022, НД № 2-020101-152

Объект(ы) наблюдения:

светильники; электрооборудование на напряжение выше 15 кВ

Дата вступления в силу:<sup>1</sup>

**01.01.2023**

Отменяет/изменяет/дополняет циркулярное письмо №

от

Количество страниц: 1 + 41

Приложения:

Приложение 1: информация об изменениях, внесенных циркулярным письмом

Приложение 2: текст изменений к части XI «Электрическое оборудование»

Генеральный директор

К.Г. Пальников

Текст ЦП:

Настоящим информируем, что в Правила классификации и постройки морских судов вносятся изменения, приведенные в приложениях к настоящему циркулярному письму.

Необходимо выполнить следующее:

1. Довести содержание настоящего циркулярного письма до сведения инспекторского состава подразделений РС, заинтересованных организаций и лиц в регионе деятельности подразделений РС.
2. Применять положения настоящего циркулярного письма при рассмотрении и одобрении технической документации на суда, контракт на постройку или переоборудование которых заключен 01.01.2023 или после этой даты, при отсутствии контракта — при рассмотрении и одобрении технической документации на суда, заявка на рассмотрение которой поступила 01.01.2023 или после этой даты.

Перечень измененных и/или дополненных пунктов/глав/разделов:

часть XI: пункты 1.2.1, 1.3.2.1.13 и 6.1.8 и разделы 19 — 26

Исполнитель: М.А. Юхнев

315

+7 (812) 605-05-17

Система «Тезис» № 22-211803

<sup>1</sup> Служебные отметки для ГУР (*ненужное зачеркнуть*): ~~связано~~ / не связано с вступлением в силу обязательных международных / национальных требований / ~~требуется срочное внедрение~~ / ~~требуется отложенное внедрение~~.

**Информация об изменениях, внесенных циркулярным письмом  
(для включения в Перечень изменений к соответствующему Изданию РС)**

| № | Изменяемые пункты/главы/разделы | Информация по изменениям <sup>1</sup>   | № и дата циркулярного письма, которым внесены изменения | Дата вступления в силу |
|---|---------------------------------|---|---|------------------------|
| 1 | Пункт 1.2.1                     | Введено новое определение «Переносной светильник»   | 315-23-1877ц от 14.12.2022                              | 01.01.2023             |
| 2 | Пункт 1.3.2.1.13                | Уточнены требования к освидетельствованию на судне освещения  | 315-23-1877ц от 14.12.2022                              | 01.01.2023             |
| 3 | Пункт 6.1.8                     | Введен новый пункт, содержащий требования к светильникам хозяйственного и бытового освещения  | 315-23-1877ц от 14.12.2022                              | 01.01.2023             |
| 4 | Разделы 19 — 26                 | * Введен новый раздел 19, содержащий требования к подводным силовым кабелям и электрооборудованию судов, для которых используется этот вид энергообеспечения, а также к электрооборудованию на напряжение выше 15 кВ; нумерация существующих разделов 19 — 25 (с пунктами и ссылками на них) заменена на 20 — 26 соответственно | 315-23-1877ц от 14.12.2022                              | 01.01.2023             |

<sup>1</sup> Символом «\*» помечаются изменения существенного характера, требующие учета в Дайджесте основных изменений к Правилам РС.

## ПРАВИЛА КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ МОРСКИХ СУДОВ, 2022,

### НД № 2-020101-152

## ЧАСТЬ XI. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

### 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1 **Пункт 1.2.1.** После определения «Отводящий провод» вводится новое определение «Переносной светильник» следующего содержания:

«Переносной светильник — светильник, который при нормальном использовании можно легко перемещать без отключения от электрической сети.»

2 **Пункт 1.3.2.1.13** заменяется следующим текстом:

«**13** освещение (основное освещение согласно 6.1.1, аварийное освещение согласно 9.3.1 и 19.1.2.1.1);».

### 6 ОСВЕЩЕНИЕ

3 Вводится **новый пункт 6.1.8** следующего содержания:

«**6.1.8** Переносные светильники хозяйственного и бытового назначения не входят в перечень объектов технического наблюдения.»

4 Вводится **новый раздел 19 с приложением 1** следующего содержания:

### «19 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ОБОРУДОВАНИЮ НА НАПРЯЖЕНИЕ ОТ 15 КВ ДО 220 КВ

#### 19.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

##### 19.1.1 Область распространения.

Настоящие требования применимы к трехфазным системам переменного тока с номинальным напряжением от 15 кВ до 220 кВ, где под номинальным напряжением понимается напряжение между фазами.

Требования к конструкции и установке для низковольтного электрического оборудования (до 1000 В), изложенные в настоящей части, применимы также и для высоковольтного электрического оборудования, если в настоящем разделе не указано иное.

##### 19.1.2 Номинальное напряжение системы.

**19.1.2.1** Номинальные напряжения систем распределения электрической энергии не должны превышать значений, указанных в табл. 19.1.2.1.

Таблица 19.1.2.1

| Номинальные межфазные напряжения, кВ | Номинальная частота, Гц |
|--------------------------------------|-------------------------|
| 15                                   | 50 (60)                 |
| 20                                   | 50 (60)                 |
| 35                                   | 50 (60)                 |
| 110                                  | 50 (60)                 |
| 150                                  | 50 (60)                 |
| 220                                  | 50 (60)                 |

### 19.1.3 Разделение высоковольтного и низковольтного оборудования.

**19.1.3.1** Электрическое оборудование на напряжение свыше 1000 В не должно устанавливаться в те же корпуса (оболочки), где установлено низковольтное оборудование, если не обеспечено соответствующее разделение или не приняты соответствующие меры, обеспечивающие безопасный доступ для обслуживания низковольтного оборудования.

**19.1.3.2** Изоляционные материалы, применяемые для электрического оборудования, должны обеспечивать во время длительной эксплуатации установки сопротивление изоляции, соответствующее условиям эксплуатации оборудования.

**19.1.3.3** У входа в специальные электрические помещения должны находиться предостерегающие надписи, указывающие величину напряжения. Корпуса электрического оборудования, установленного вне специальных электрических помещений, должны снабжаться предостерегающими надписями, указывающими величину напряжения.

## 19.2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

### 19.2.1 Системы распределения.

Для высоковольтных установок переменного трехфазного тока допускается применение следующих систем распределения электрической энергии:

- трехпроводной изолированной системы;
- трехпроводной системы с нейтралью, соединенной с корпусом судна через высокоомный резистор или реактор;
- трехпроводной системы с эффективно заземленной нейтралью;
- трехпроводной системы с глухо заземленной нейтралью.

Для высоковольтных установок постоянного тока допускается применение двухпроводной системы распределения электрической энергии.

**19.2.1.1** Конфигурация сети 15—35 кВ для обеспечения бесперебойности питания.

Конструкция ГРЩ для распределительных устройств напряжением 15, 20, 35 кВ должна предусматривать возможность его разделения, как минимум, на две независимых половины секций посредством межсекционного автоматического выключателя или разъединителя.

К каждой половине секций должен быть подключен, как минимум, один источник электроэнергии соответствующего напряжения.

Если предусматриваются два независимых ГРЩ, соединяемых между собой кабельными перемычками, то автоматические выключатели должны быть предусмотрены на обеих ее сторонах. Все дублированные электрические приводы должны получать питание от различных ГРЩ или разделенных секций ГРЩ.

**19.2.1.2** Конфигурация сети 35—220 кВ для обеспечения бесперебойности питания.

Для комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией (КРУЭ), как правило, применяются те же схемы, что и для открытых распределительных устройств соответствующего напряжения кроме случаев, когда отклонение в схеме вызвано необходимостью технологического процесса, увеличения надежности и т.д.

В КРУЭ основные элементы, из которых собирается схема, в том числе, аппараты (выключатели, разъединители, заземлители, измерительные аппараты и др.) и сборные шины должны быть заключены в газоплотные кожухи из алюминиевых сплавов,

представляющих собой законченные монтажные единицы-модули. Отдельные аппаратные модули (блоки) должны быть соединены между собой газоплотными фланцевыми соединениями. Набор указанных модулей, представляющий законченную цепочку схемы, называется ячейкой. Из ячеек и отдельных модулей собирается РУ (КРУЭ).

Для организации распределительного устройства 110 кВ должны применяться следующие схемы, указанные в приложении 1 к настоящему разделу:

блок (линия — трансформатор) с разъединителем (см. рис. 1 (схема 110-1));

блок (линия — трансформатор) с выключателем (см. рис. 2 (схема 110-3Н));

два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий (см. рис. 3 (схема 110-4Н));

мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий (см. рис. 4 (схема 110-5Н));

мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов (см. рис. 5 (схема 110-5АН));

заход — выход (см. рис. 6 (схема 110-6));

треугольник (см. рис. 7 (схема 110-6Н));

четыреугольник (см. рис. 8 (схема 110-7));

шестиугольник (см. рис. 9 (схема 110-8));

одна рабочая секционированная выключателем система шин (см. рис. 10 (схема 110-9));

одна рабочая секционированная по числу трансформаторов система шин, с подключением трансформаторов к секциям шин через развилку выключателей (см. рис. 11 (схема 110-9Н));

две рабочие системы шин (см. рис. 12 (схема 110-13)).

Должны применяться следующие схемы для организации распределительного устройства 220 кВ (см. приложение 1):

блок (линия — трансформатор) с разъединителем (см. рис. 13 (схема 220-1));

блок (линия — трансформатор) с выключателем (см. рис. 14 (схема 220-3Н));

два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий (см. рис. 15 (схема 220-4Н));

мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий (см. рис. 16 (схема 220-5Н));

мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов (см. рис. 17 (схема 220-5АН));

заход-выход (см. рис. 18 (схема 220-6));

треугольник (см. рис. 19 (схема 220-6Н));

четыреугольник (см. рис. 20 (схема 220-7));

шестиугольник (см. рис. 21 (схема 220-8));

одна рабочая секционированная выключателем система шин (см. рис. 22 (схема 220-9));

одна рабочая секционированная по числу трансформаторов система шин, с подключением трансформаторов к секциям шин через развилку выключателей (см. рис. 23 (схема 220-9Н));

две рабочие системы шин (рис. 24 (схема 220-13));

трансформатор-шины с полуторным присоединением линий (см. рис. 25 (схема 220-16));

полуторная схема (см. рис. 26 (схема 20-17)).

На линейных вводах в КРУЭ необходимо применять быстродействующие заземлители.

Связь КРУЭ с трансформаторами целесообразно выполнять кабелями или закрытыми элегазовыми токопроводами, с целью исключения воздушных вводов.

Необходимость применения ограничителя перенапряжений (ОПН) в схемах с КРУЭ определяется расчетами перенапряжений при проектировании.

#### **19.2.1.3 Системы заземления нейтрали.**

Сеть 20 кВ рекомендуется выполнять с нейтралью, заземленной через резистор. При этом используется понижающий трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда — звезда» с включением резистора в нейтраль обмотки напряжением 20 кВ или

используется присоединенный к шинам РУ 20 кВ специальный трансформатор «звезда-треугольник» с включением в нейтраль «звезды» заземляющего резистора.

Для обеспечения селективности работы релейной защиты сопротивление заземляющего резистора выбирается таким, чтоб значение тока при однофазном замыкании в сети 20 кВ было не ниже 1000 А.

Допускается выполнять схему РУ 20, 35 кВ с заземлением нейтрали через дугогасящий реактор.

**19.2.1.4** Системы с заземленной нейтралью.

**19.2.1.4.1** Должны иметь глухое заземление нейтралей:

.1 трансформаторы 110 — 150 кВ с устройствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) с уровнем изоляции нейтрали 35 кВ (испытательное напряжение нейтрали частоты 50 Гц равно 85 кВ);

.2 трансформаторы, имеющие генерирующие источники питания со стороны низкого или среднего напряжения, независимо от класса изоляции нейтрали. Допускается часть нейтралей таких трансформаторов не заземлять, если в ремонтных или в аварийных режимах невозможно их выделение для работы с участком сети, не имеющим трансформаторов с заземленными нейтральями, или обеспечивается при замыканиях на землю отключение трансформаторов с изолированной нейтралью до отключения трансформаторов с заземленной нейтралью.

При этом, нейтрали, имеющие неполную изоляцию, должны быть защищены соответствующими разрядниками/ограничителями перенапряжений.

**19.2.1.4.2** Защита нейтрали обмотки 110 и 150 кВ трансформаторов должна осуществляться вентильным разрядником: РВС35 + РВС15 или РВМ35 + РВМ15 для трансформаторов 110 кВ и РВС 60 (2РВС20 + РВС15) или 2РВМ35 (четыре элемента) для трансформаторов 150 кВ. Вентильные разрядники для защиты нейтралей рекомендуется устанавливать непосредственно у трансформаторов.

**19.2.1.4.3** Должна быть обеспечена работа как минимум одного устройства заземления нейтрали, когда система находится под напряжением.

Электрическое оборудование, работающее в системах с глухо заземленной нейтралью или с нейтралью, соединенной с корпусом через высокоомный резистор или реактор, должно выдерживать без повреждения токи однофазного замыкания на корпус в течение времени, необходимого для срабатывания устройства защиты.

**19.2.1.5** Отключение нейтрали.

При производстве операций по включению и отключению трансформатора, имеющего неполную изоляцию нейтрали, необходимо, на время операции его нейтраль заземлять. Все вновь вводимые силовые трансформаторы с уровнем изоляции нейтрали в соответствии со стандартом МЭК 60076-3 должны предусматривать работу, как с изолированной, так и заземленной нейтралью, для чего в их нейтральных должны быть смонтированы ЗОН-110 (заземлитель нейтрали трансформатора) и разрядник.

**19.2.2 Степени защиты оболочек.**

**19.2.2.1** Каждая часть электрооборудования должна быть изготовлена в оболочках, защитное исполнение которых должно соответствовать расположению оборудования и влиянию окружающих условий. Требования стандарта МЭК 60092-201 могут рассматриваться как минимальные.

**19.2.2.3** Степень защиты оболочек трансформаторов должна быть не ниже, чем IP23.

Для трансформаторов, устанавливаемых в помещениях, доступных для неквалифицированного персонала, степень защиты оболочки должна быть не ниже, чем IP4X.

Для трансформаторов, не заключенных в оболочку, распространяются требования 18.7.1.

**19.2.2.4** Степень защиты металлических оболочек распределительных щитов, щитов управления, шкафов статических преобразователей должна быть не ниже, чем IP32. Для щитов, устанавливаемых в помещениях, доступных неквалифицированному персоналу, степень защитной оболочки должна предусматриваться не ниже, чем IP4X.

**19.2.3 Изоляционные расстояния.**

**19.2.3.1** Изоляционные расстояния по воздуху.

Изоляционные расстояния по воздуху между частями, находящимися под напряжением с разными потенциалами, или между частями под напряжением и заземленными металлическими частями, или наружным кожухом должны быть не менее указанных в табл. 19.2.3.1.

Таблица 19.2.3.1

| Номинальные межфазные напряжения, кВ | Минимальное расстояние по воздуху, мм |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 15                                   | 160                                   |
| 20                                   | 180                                   |
| 35                                   | 290                                   |
| 110                                  | 700                                   |
| 150                                  | 1100                                  |
| 220                                  | 1700                                  |

Минимальные расстояния для промежуточных значений рабочих напряжений выбираются как для следующего большего значения стандартного напряжения.

При выборе меньших расстояний должны быть предусмотрены специальные импульсные высоковольтные испытания, подтверждающие допустимость такого выбора.

#### **19.2.3.2** Изоляционные расстояния по материалу.

Изоляционные расстояния по поверхности материалов между частями под разными потенциалами и между частями под напряжением и корпусом должны выбираться на основе национальных или международных стандартов.

#### **19.2.4** Устройства защиты.

##### **19.2.4.1** Замыкание на корпус.

**19.2.4.1.1** При любых замыканиях на корпус в системе (на панелях управления) должна срабатывать звуковая и световая сигнализация.

**19.2.4.1.2** В низкоимпедансных (глухо заземленных) системах при замыканиях на корпус должна срабатывать защита, автоматически отключающая поврежденную цепь.

**19.2.4.1.3** В высокоимпедансных заземленных системах (в системах с заземленной через высокоомный резистор нейтралью), если отходящие от ГРЩ фидеры не могут быть отключены в случае замыкания на корпус, изоляция электрооборудования, получающего питание от этих фидеров, должна быть рассчитана на линейное напряжение системы.

Примечания: 1. Система должна классифицироваться как эффективно заземленная (низкоимпедансная), если коэффициент заземления менее 0,8, и не эффективно заземленная (высокоимпедансная), если коэффициент заземления более 0,8.

2. Коэффициент заземления определяется как отношение между напряжением «фаза — корпус» в исправной, т.е. неповрежденной системе и линейным («фаза — фаза») напряжением.

##### **19.2.4.2** Силовые трансформаторы.

Силовые трансформаторы должны быть защищены от короткого замыкания и от перегрузки автоматическими коммутационными аппаратами (выключателями).

Если трансформаторы предназначены для параллельной работы, то срабатывание защиты на первичной стороне должно приводить к их автоматическому отключению также на вторичной стороне.

**19.2.4.3** Трансформаторы напряжения для систем управления и измерительных приборов.

Трансформаторы, предназначенные для питания цепей управления и приборов, должны быть защищены от перегрузки и короткого замыкания на вторичной стороне.

##### **19.2.4.4** Предохранители.

Плавкие предохранители должны применяться для защиты от коротких замыканий. Для защиты от перегрузки применение предохранителей не допускается.

##### **19.2.4.5** Низковольтные системы.

Низковольтные системы распределения (до 1000 В), получающие питание от высоковольтных трансформаторов (систем), должны иметь защиту от перенапряжений, связанных с попаданием высокого напряжения на вторичную (низковольтную) сторону.

Это может быть реализовано следующими мерами:

применением заземленной низковольтной системы;  
соответствующими ограничителями напряжения нейтрали;  
заземлением экрана между первичной и вторичной обмотками трансформатора.

#### **19.2.4.6 Защитные заземления.**

Металлические корпуса электрического оборудования должны быть заземлены наружными медными гибкими проводниками сечением, рассчитанным на ток однофазного короткого замыкания, но не менее 16 мм<sup>2</sup>. Заземляющие провода должны быть маркированы.

Заземляющие проводники могут соединяться сваркой или болтами диаметром не менее 10 мм.

### **19.3 СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ**

#### **19.3.1 Общие требования.**

**19.3.1.1** Сухие трансформаторы должны соответствовать требованиям стандарта МЭК 60076-11.

Применяемые сухие трансформаторы должны иметь заземленные экраны между обмотками высшего и низшего напряжений.

Трансформаторы с жидкостным охлаждением должны соответствовать требованиям стандарта МЭК 60076-1.

Трансформаторы, погруженные в охлаждающее масло, должны быть оборудованы, как минимум, устройствами АПС и защиты по следующим параметрам:

«Минимальный уровень жидкости» — АПС и автоматическое отключение;

«Максимальная температура жидкости» — АПС и автоматическое отключение, или снижение нагрузки;

«Высокое давление газа в оболочке» — автоматическое отключение.

**19.3.1.2** Трансформаторы, устанавливаемые в помещениях, доступных неквалифицированному персоналу, должны иметь степень защиты оболочки не ниже, чем IP4X.

**19.3.1.3** Для защиты трансформаторного оборудования от грозовых перенапряжений на стороне ВН, а также на стороне 6 — 10 кВ устанавливаются ограничители перенапряжения (ОПН). Количество комплектов ОПН 35 — 220 кВ и место их установки выбираются в соответствии с требованиями национальных стандартов, уровнем испытательных напряжений защищаемого оборудования, исходя из принятых на расчетный период схем электрических соединений, количества кабельных линий (КЛ) и трансформаторов (автотрансформаторов).

**19.3.1.4** Режим заземления нейтрали обмоток ВН Т 110 — 150 кВ выбирается с учетом класса изоляции нейтрали, обеспечения в допустимых пределах коэффициента заземления, допустимых значений токов однофазного КЗ по условиям выбора оборудования, действия релейной защиты и автоматики (РЗА).

**19.3.1.5** Постоянное заземление нейтрали должны иметь все АТ и обмотки 220 кВ. Нейтрали обмоток 110 кВ Т, которые в процессе эксплуатации могут быть изолированы от земли, должны быть защищены ограничителями перенапряжений типа ОПНН или ОПН-110 с уровнем ограничения, скоординированным с уровнем изоляции защищаемой нейтрали.

**19.3.1.6** Для снижения однофазных токов КЗ допускается заземление нейтрали АТ 220 кВ через низкоомные токоограничивающие резисторы или реакторы.

**19.3.1.7** Должны быть предусмотрены эффективные средства (например, подогрев) для предотвращения конденсации и накопления влаги внутри трансформаторов, когда они выключены.

### **19.4 КАБЕЛИ**

#### **19.4.1 Общие требования.**

Кабели должны быть изготовлены в соответствии с требованиями стандартов МЭК 60840 и МЭК 62067 или других соответствующих национальных стандартов.

**19.4.1.1** Кабельная сеть трехфазного тока должна выполняться трехжильными кабелями с многопроволочными жилами.

**19.4.2 Требования к подводным кабелям.**

**19.4.2.1** Токопроводящие жилы должны быть класса 1 или класса 2, из непокрытой или покрытой металлом отожженной меди согласно стандарту МЭК 60228. Все токопроводящие жилы требуют принятия мер для достижения продольной водонепроницаемости.

**19.4.2.2** Изоляция кабелей на напряжение 15 — 220 кВ должна быть из выполнена из сшитого полиэтилена или этиленпропиленовой резины с нормальным режимом эксплуатации не выше 90 °С.

**19.4.2.3** Номинальная толщина изоляции кабелей должна соответствовать требованиям стандартов МЭК 60502-2, МЭК 62067, МЭК 60840 или устанавливаться изготовителем.

**19.4.2.4** Экранирование отдельных жил одно- и трехжильных кабелей должно состоять из экрана токопроводящей жилы и экрана изоляции.

**19.4.2.5** Экран токопроводящей жилы должен быть неметаллическим и должен состоять из экструдированного полупроводящего состава, который может быть нанесен на полупроводящую ленту. Экструдированный полупроводящий состав должен иметь адгезию с изоляцией.

**19.4.2.6** Экран изоляции должен состоять из неметаллического полупроводящего слоя в сочетании с металлическим экраном.

**19.4.2.7** Для оптимального сопротивления механическим напряжениям во время прокладки кабеля полупроводящие экраны подводных кабелей должны быть адгезионно связанными.

**19.4.2.8** Слой полупроводящей ленты или полупроводящего состава может быть нанесен отдельно на каждую жилу или на пучок жил.

**19.4.2.9** Металлический экран должен наноситься на отдельные жилы или на пучок жил и состоять из одной или нескольких лент, оплетки, или концентрического слоя проволоки, или комбинации проволоки и ленты (лент), или металлической оболочки.

**19.4.2.10** Броня силовых кабелей должна быть выполнена из круглой или плоской проволоки; проволока должна быть из оцинкованной или нержавеющей стали, меди, луженой меди или иного коррозионностойкого металлического сплава. При выборе материала брони необходимо учитывать возможность коррозии не только из соображений механической надежности, но также и из соображений электробезопасности.

**19.4.2.11** Наружное покрытие кабелей должно быть изготовлено из текстиля или выполнено в виде экструдированного слоя.

**19.4.3 Требования к прокладке подводных морских кабелей напряжением 15 кВ — 220 кВ при подключении потребителей морских стационарных платформ от внешних источников электроснабжения.**

**19.4.3.1** Прокладка подводных морских силовых кабельных линий (КЛ) в зонах регулярных стоянок судов является недопустимой.

**19.4.3.2** В зависимости от конкретных условий проектирования объекта, проектными решениями могут быть предусмотрены варианты прокладки кабеля непосредственно по дну водоема (как с защитой кабеля с помощью трубных изделий, каменной наброски и т.д., так и без указанной защиты), с заглублением кабеля в грунт, с использованием дополнительной брони.

Вариант прокладки кабеля и глубина заложения кабелей определяется проектом с учетом данных о глубине, скорости и стиле перемещения воды в месте перехода, господствующих ветрах, профиле и химическом составе дна, химическом составе воды. Минимальная глубина заглубления на участках прибрежных зон и мелководных участках должна составлять не менее 1 м.

**19.4.3.3** Прокладка кабельных линий должна производиться по дну таким образом, чтобы в неровных местах они не оказались на весу; острые выступы должны быть устранены. Отмели, каменные гряды и другие подводные препятствия на трассе следует обходить или предусматривать в них траншеи или проходы.

**19.4.3.4** Вновь сооружаемые подводные кабельные линии должны прокладываться на расстоянии от действующих кабельных линий не менее 1,25

глубины, но не менее 20 м. Допускается уменьшение данного расстояния при соответствующем обосновании при разработке проектной документации.

**19.4.3.5** Расстояние по горизонтали от кабелей, заглубляемых в дно водоемов, до трубопроводов (нефтепроводов, газопроводов и т.п.) должно определяться проектом в зависимости от вида дноуглубительных работ, выполняемых при прокладках трубопроводов и кабелей, и быть не менее 50 м. Допускается уменьшение этого расстояния до 15 м по согласованию с организациями, в ведении которых находятся кабельные линии и трубопроводы.

**19.4.3.6** На берегах без усовершенствованных набережных в месте подводного кабельного перехода должен быть предусмотрен резерв длиной не менее 30 м при морской прокладке, который укладывается восьмеркой. Усовершенствованные набережные кабели должны прокладываться в трубах. В месте выхода кабелей должны быть устроены кабельные колодцы. Верхний конец трубы должен входить в береговой колодец, а нижний находиться на глубине не менее 1 м от наименьшего уровня воды. На береговых участках трубы должны быть прочно заделаны.

**19.4.3.7** В местах выхода кабелей на берег, подверженный размыву, необходимо принять меры против обнажения кабелей при ледоходах и наводнениях путем укрепления берегов (замощение, отбойные дамбы, сваи, шпунты, плиты и т. д.).

**19.4.3.8** Пересечение подводных морских кабелей между собой на подводных участках запрещается.

**19.4.3.9** Обоснование выбора технологии строительства кабельных линий определяется проектом и должно быть обосновано как с точки зрения безопасной технологии строительства, так и с позиции наименьшего техногенного влияния на экологическую систему водоема.

**19.4.3.10** Кабельные линии должны выполняться так, чтобы в процессе монтажа и эксплуатации было исключено возникновение в них опасных механических напряжений и повреждений, для чего:

кабели должны быть уложены с запасом по длине, достаточным для компенсации возможных смещений грунта и температурных деформаций самих кабелей и конструкций, по которым они проложены. Укладывать запас кабеля в виде колец (витков) запрещается;

необходимо предусмотреть запас по длине КЛ для переразделки или замены кабельных муфт;

кабели, проложенные горизонтально или вертикально по конструкциям, стенам и перекрытиям должны быть жестко закреплены в конечных точках, непосредственно у муфт, с обеих сторон изгибов, а на прямых участках согласно проекту, но не реже, чем через 1 м (по согласованию с заводом-изготовителем это расстояние может быть изменено);

не допускается совместная прокладка в кабельных сооружениях КЛ 110 — 220 кВ с КЛ ниже 110 кВ за исключением кабелей 0,4 кВ для технологических нужд;

не допускается совместная прокладка КЛ 110 — 220 кВ с теплопроводами и другими инженерными коммуникациями.

**19.4.3.11** При прокладке КЛ кабели трех фаз должны прокладываться параллельно и располагаться треугольником или в одной плоскости. Возможны иные способы расположения, которые должны быть обоснованы и согласованы с предприятием-изготовителем кабеля.

**19.4.3.12** Отдельные кабели (не связанные в треугольник) должны прокладываться так, чтобы вокруг каждого из них не было замкнутых металлических контуров из магнитных материалов. В этой связи, запрещается использование магнитных материалов для бандажей, крепежных или иных изделий (скоб, хомутов, манжет, экранов), охватывающих кабель по замкнутому контуру. Запрещается прокладывать отдельные кабели внутри труб из магнитных материалов (например, стальных или чугунных). Бирки на кабель необходимо крепить капроновыми, пластмассовыми нитями или проволоками из немагнитных металлов (например, из нержавеющей стали или меди).

**19.4.3.13** Во время монтажа кабели не должны подвергаться механическим нагрузкам, превышающим пределы конструкции кабелей, включая растяжение, изгиб, кручение и раздавливание.

**19.4.3.14** Средства защиты подводных кабельных линий могут включать в себя такие средства (а также их комбинацию), как дополнительная броня, заглубление, защита без заглубления, включая трубные изделия, маты и каменную наброску.

**19.4.3.15** Рекомендации по проходу кабелей сквозь стенки и палубу. В дополнение к общим требованиям по организации кабельных трасс следует учитывать:

целостность: проходы должны отвечать требованиям в отношении огне- и водонепроницаемости стенки или палубы;

теплоизоляция: участки кабеля не должны монтироваться в теплоизоляцию или покрываться теплоизоляцией, однако они могут проходить через такую изоляцию;

механические опоры для проходов: за исключением системы подвешивания кабеля, проходы должны проектироваться таким образом, чтобы они не воспринимали силы, возникающие в результате движений, вибраций или колебаний температуры морской установки.

**19.4.4 Выбор кабеля по нагрузкам, выбор площади сечения на допустимое падение напряжения.**

**19.4.4.1** Расчет номинальной токовой нагрузки кабеля следует производить в соответствии со стандартом МЭК 60287-1-1. При этом учитываются род передаваемого электрического тока (постоянный, переменный), климатические условия прокладки кабеля и характер грунта.

Расчет необходимо вести по значениям максимально допустимой температуры токопроводящей жилы, электрического сопротивления токопроводящей жилы, потерь и тепловых удельных сопротивлений. Далее осуществляется сравнение номинальной токовой нагрузки, полученной по расчету, с номинальным значением токовой нагрузки проектируемого потребителя/установки и делается вывод о пригодности выбранного кабеля, либо о необходимости осуществления перерасчета, исходя из соотношения:

$$I_{\text{дл.н.расч.}} > I_{\text{дл.н.уст.}},$$

где  $I_{\text{дл.н.расч.}}$  — номинальная токовая нагрузка для кабельной линии, полученная по расчету МЭК 60287-1-1;

$I_{\text{дл.н.уст.}}$  — номинальное значение токовой нагрузки проектируемого потребителя/установки.

Расчет необходимо скорректировать при наличии условий, перечисленных в 19.4.4.2 и 19.4.4.3.

При расчете отклонение напряжения на потребителе/принимателем устройстве не должно превышать 10 % от нормированного уровня напряжения электропотребителя по стандарту МЭК 60038. Необходимость уменьшения отклонения напряжения обосновывается технологическими условиями, а также национальными стандартами.

**19.4.4.2** Расчет потерь, обусловленных вихревыми токами, в металлических оболочках одножильных кабелей, расположенных в одной плоскости в двух параллельных трехфазных сетях, следует производить в соответствии со стандартом МЭК 60287-1-2. Данный расчет необходим для оценки уменьшения допустимой токовой нагрузки для параллельно проложенных цепей. При этом учитывается тип оболочки кабелей, чередование фаз, геометрические параметры трассы кабельной линии.

**19.4.4.3** Расчет распределения токов между фазными жилами одножильных кабелей, расположенных параллельно, а также потерь вследствие циркулирующих токов, необходимо производить в соответствии со стандартом МЭК 60287-1-3. При этом учитывается тип оболочки кабелей, чередование фаз, геометрические параметры трассы кабельной линии.

**19.4.4.4** Расчет тепловых сопротивлений окружающей среды для различных вариантов прокладки кабеля (тепловое сопротивление между одной жилой и оболочкой, тепловое сопротивление между оболочкой и броней, тепловое сопротивление наружного защитного покрытия) следует производить в соответствии со стандартами МЭК 60287-2-1 и МЭК 60287-2-2. Указанные данные использовать при расчете номинальной токовой нагрузки кабеля в соответствии с требованиями 19.4.4.1.

**19.4.4.5** Эталонные условия эксплуатации, отклонения от данных условий и выбор кабеля необходимо осуществлять с учетом требований, изложенных в стандарте МЭК 60287-3-1.

**19.4.4.6** Расчет кабелей на устойчивость к циклическим и аварийным нагрузкам следует производить в соответствии со стандартами МЭК 60853-1 и МЭК 60853-2. При осуществлении такого расчета производится проверка способности кабеля выбранного размера выдерживать потенциально возможные токи короткого замыкания и замыкания на землю соответствующей длительности.

**19.4.4.7** Расчет термически допустимых токов короткого замыкания с учетом неадиабатического/адиабатического нагрева, а также температуры при коротком замыкании необходимо выполнять в соответствии со стандартом МЭК 60949. По завершению расчета сравнивается максимально допустимая температура нагрева жилы кабеля при рассматриваемом типе изоляции кабеля и расчетное значение температуры жилы кабеля, исходя из условия:

$$\theta_{f,\text{расч.}} < \theta_{f,\text{макс.}},$$

где  $\theta_{f,\text{расч.}}$  – конечная температура токопроводящей жилы при установившемся КЗ, °С;  
 $\theta_{f,\text{макс.}}$  – максимально допустимая температура токопроводящей жилы при установившемся КЗ для данного типа кабеля, °С.

**19.4.4.8** Расчет экономического сечения кабеля и его выбор по экономическим критериям следует производить в соответствии со стандартом МЭК 60287-3-2. Указанный расчет и выбор осуществляются после расчета номинальной токовой нагрузки кабеля, падения напряжения в соответствии с требованиями 19.4.4.1 и проверки соответствия кабеля по термической и динамической стойкости в соответствии с 19.4.4.6 для уточнения экономической составляющей проектных решений.

## 19.5 РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И ЩИТЫ УПРАВЛЕНИЯ

### 19.5.1 Общие требования.

Распределительные щиты и щиты управления должны быть изготовлены в соответствии с требованиями стандарта МЭК 60298. КРУЭ 110 — 220 кВ должны быть изготовлены в соответствии со стандартом МЭК 62271-203 и следующими дополнительными требованиями.

### 19.5.2 Конструкция.

#### 19.5.2.1 Механическая конструкция.

Распределительные щиты должны быть изготовлены из металла и быть закрытого типа — в соответствии со стандартом МЭК 60298, или должны быть изготовлены из изолирующих материалов и быть закрытого типа — в соответствии со стандартом МЭК 60466 или в соответствии с требованиями национальных стандартов.

**19.5.2.1.1** Распределительные щиты должны закрываться специальным ключом, отличным от ключей распределительных щитов и устройств низкого напряжения. Открывание дверей или выдвижение отдельных элементов должно быть возможно только после отключения от электрической сети данной панели или распределительного щита.

**19.5.2.1.2** Вдоль распределительных щитов (до 35 кВ включительно) следует обеспечить проходы для осмотра щита и электрической аппаратуры шириной не менее 1000 мм между перегородкой и щитом и 1200 мм между параллельно установленными секциями щита. Если такие проходы предназначены для обслуживания, их ширина должна быть увеличена до 1200 и 1500 мм соответственно.

Указанная ширина этих проходов требуется независимо от рода применяемых средств защиты от прикосновения, выполненных в виде дверей, сетки или изоляционных поручней.

Двери, сплошные перегородки и перегородки из сетки должны быть высотой не менее 1800 мм.

Перфорированные перегородки или перегородки из сетки должны обеспечивать степень защиты не менее IP2X.

С передней стороны распределительных щитов должны быть установлены изолированные поручни. В случае необходимости доступа к задней части таких щитов

для их эксплуатации, либо технического обслуживания, на задней стороне таких щитов должны быть установлены изолированные поручни.

Компоновка элегазового РУ должна быть симметричной, то есть, все три фазы одной ячейки должны располагаться рядом друг с другом, предусматривать возможность расширения КРУЭ в обе стороны до двух ячеек, если заданием на проектирование не предусмотрено иное.

Ширина прохода вдоль полюсов ячеек (достаточно со стороны фасада ячеек) для транспортировки газотехнологического, испытательного оборудования и демонтированных элементов КРУЭ должна быть не менее 3 м для РУ 110 кВ и 4 м - для РУ 220 кВ и выше. Для размещения высоковольтной испытательной установки, производства демонтажных и технологических работ на оборудовании в зале КРУЭ должна быть предусмотрена площадка.

**19.5.2.1.3** Части электрической установки, находящиеся под напряжением, должны быть расположены на расстоянии от защитных ограждений не менее указанного в табл. 19.5.2.1.3.

Таблица 19.5.2.1.3

| Номинальное напряжение, кВ | Минимальная высота прохода | Минимальное расстояние электрических частей под напряжением от разных видов защитных ограждений, мм |                              |                      |
|----------------------------|----------------------------|---|------------------------------|----------------------|
|                            |                            | Сплошные двери и перегородки  | Сетчатые двери и перегородки | Изоляционные поручни |
| 15                         | 2500                       | 160   | 240                          | 800                  |
| 20                         | 2500                       | 210   | 280                          | 900                  |
| 35                         | 2500                       | 320   | 390                          | 1000                 |
| 110                        | 2500                       | 730   | 800                          | 1500                 |
| 150                        | 2500                       | 1130  | 1200                         | 1800                 |
| 220                        | 2500                       | 1730  | 1800                         | 2000                 |

### 19.5.2.2 Блокировочные устройства.

Автоматические выдвижные выключатели, применяемые в распределительных щитах, должны иметь устройство, которое фиксирует их как в рабочем, так и в выдвинутом положении. Для обеспечения безопасного обслуживания выдвижных выключателей и других аппаратов должны быть предусмотрены блокировочные ключи и блокируемые разъединители.

Выдвижные автоматические выключатели должны фиксироваться в рабочем положении таким образом, чтобы исключались относительные перемещения между подвижными и неподвижными частями.

### 19.5.2.3 Шторки (заслонки).

Должно предусматриваться автоматическое закрытие неподвижных токоведущих контактов разъема при помощи изоляционных перегородок в выдвинутом положении автоматического выключателя.

### 19.5.2.4 Устройства заземления и междуфазного замыкания.

С целью обеспечения безопасного обслуживания высоковольтных распределительных устройств для сборных шин и отходящих фидеров должно быть предусмотрено определенное количество аппаратов для принудительного замыкания шин между собой и на корпус.

Устройство должно быть рассчитано на максимальный ток короткого замыкания.

## 19.5.3 Вспомогательная система питания распределительных устройств.

### 19.5.3.1 Источник питания.

Если для привода механизмов автоматических и других выключателей, а также для устройств защиты требуется отдельный вспомогательный электрический или иной источник энергии, то кроме основного такого источника должен быть предусмотрен резервный источник, запас энергии которого должен быть достаточным для минимум двукратного действия всех аппаратов.

В то же время расцепители автоматических выключателей, срабатывающие от перегрузки, от короткого замыкания или от «нулевого» напряжения, должны быть независимыми от любых электрических источников энергии.

Это требование не запрещает применения шунтовых, т.е. срабатывающих при подаче оперативного напряжения, расцепителей при условии, что будет обеспечен контроль целостности (непрерывности) отключающих цепей и их системы питания, т.е. в случае нарушения целостности цепей или при неисправности (исчезновении) их питания на панелях управления будет срабатывать аварийно-предупредительная сигнализация.

#### **19.5.4 Высоковольтные испытания.**

Каждый главный и другие распределительные щиты должны быть испытаны высоким напряжением стандартной частоты. Процедура испытаний и величины испытательного напряжения должны соответствовать требованиям соответствующего национального стандарта или стандартов МЭК 60298 и МЭК 62271-203.

### **19.6 КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ С ЭЛЕГАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ (КРУЭ) 110 — 220 КВ**

#### **19.6.1 Общие требования.**

Комплектные распределительные устройства в металлической оболочке с элегазовой изоляцией (КРУЭ) 110 — 220 кВ должны быть изготовлены в соответствии с требованиями стандарта МЭК 62271-203 и следующими дополнительными требованиями.

#### **19.6.2 Конструкция.**

**19.6.2.1** КРУЭ должно быть выполнено таким образом, чтобы обеспечивалась безопасность персонала при нормальной эксплуатации, а также при аварийных ситуациях и ремонтных работах, в том числе при обслуживании коммутационных аппаратов, при заземлении подсоединяемых кабелей, определении повреждения кабеля, испытаниях напряжением подсоединяемых кабелей или других аппаратов и устранении опасных электростатических зарядов, а также при проверке последовательности фаз после установки или расширения.

**19.6.2.2** Конструкцией устройства должно быть предусмотрено, чтобы согласованные допустимые смещения фундамента и механические или термические воздействия не влияли на параметры оборудования. Компенсаторы механических смещений и расширений размещаются там, где необходимо для обеспечения механической гибкости КРУЭ. Все элементы с одинаковыми номинальными данными и конструкцией, которые могут потребовать замены, должны быть взаимозаменяемыми.

**19.6.2.3** КРУЭ должно быть разделено на отсеки таким образом, чтобы были соблюдены нормальные рабочие условия и обеспечены меры по ограничению воздействия дуги на внутренние полости. Для этой цели используют перегородки, конструкция которых должна соответствовать следующим требованиям:

перегородки, используемые для разделения отсеков КРУЭ, должны быть газонепроницаемыми, чтобы загрязнение не могло проникать в соседний отсек;

перегородки необходимо изготавливать из материала с такими изоляционными и механическими свойствами, которые обеспечивают их надлежащее функционирование в течение всего срока службы КРУЭ;

перегородки должны сохранять свои диэлектрические характеристики под действием рабочего напряжения при загрязнении их продуктами разложения элегаза, возникающими при коммутационных операциях.

**19.6.2.4** Перегородки (изоляторы) КРУЭ должны быть рассчитаны:

на разность давлений при вакуумировании газа из отсека (элемента) с одной стороны перегородки при нормальном рабочем давлении на другой стороне перегородки;

на увеличенное давление на одной стороне перегородки при нормальном рабочем давлении на другой ее стороне во время электрического испытания оборудования цепей;

для несимметричных перегородок на наихудшее направление давления;

на дополнительные нагрузки и вибрацию;

на возможность обслуживания элемента, выполняемого с перегородкой, находящейся под давлением.

**19.6.2.5** Элементы КРУЭ, устанавливаемые в оболочках, должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов.

Ввиду малых габаритов, увеличенных сроков службы и межремонтных периодов, в конструкциях элементов КРУЭ должны быть предусмотрены устройства, позволяющие контролировать параметры оборудования в процессе его эксплуатации и обеспечивать повышенную надежность функционирования:

в коммутационных аппаратах счетчики срабатывания;

в ОПНЭ датчики контроля тока проводимости;

в измерительных трансформаторах исполнение отдельной обмотки для учета электроэнергии.

Элементы КРУЭ должны быть оснащены вспомогательными средствами (подогрев, вентиляция, защитные меры и т.п.), обеспечивающими нормальную работу оборудования во всем диапазоне фактических условий эксплуатации.

Органы управления включением и отключением коммутационных аппаратов и органы управления аварийным прекращением работы сети должны располагаться на высоте от 0,4 м до 1,8 м выше уровня обслуживания.

**19.6.2.6** Кабельные соединения.

Составные части КРУЭ, которые остаются соединенными с кабелем, должны выдерживать испытательные напряжения, установленные в соответствующих стандартах для кабелей на то же номинальное напряжение.

Во время испытаний электрической прочности кабелей соседние части КРУЭ должны быть отключены и заземлены, чтобы предотвратить влияние пробивных разрядов в кабеле на части КРУЭ, находящиеся под напряжением. Для этого в кабельном присоединении КРУЭ должен быть установлен технологический разъединитель (разъем).

Ввод для проведения диагностики и испытания кабеля напряжениями постоянного и переменного тока должен быть предусмотрен на оболочке кабельного соединения или на КРУЭ для каждой фазы (МЭК 62271-209).

При применении КРУЭ 35 — 220 кВ или КЛ и кабельных вставок для их защиты от грозовых перенапряжений должны применяться ОПН. Выбор места установки и параметров ОПН определяется на основании расчетов, выполненных в проектной документации.

**19.6.2.7** Прямые соединения КРУЭ с трансформатором выполняются в соответствии со стандартом МЭК 62271-211. Для возможности проведения профилактических испытаний трансформаторов в элегазовом токопроводе КРУЭ у входа в трансформатор должен быть установлен технологический разъединитель (разъем).

**19.6.2.8** Вводы «элегаз — воздух» («воздух — газ») должны соответствовать климатическому исполнению, установленному для условий эксплуатации.

**19.6.2.9** В конструкциях токопроводов для внутриподстанционных связей преимущественно должны использоваться оболочки, токоведущие части, контактные узлы, перегородки и опорные изоляторы, применяемые в основных элементах КРУЭ. Конструкции токопроводов должны удовлетворять всем испытательным нормам, распространяющимся на КРУЭ — МЭК 62271-203.

**19.6.2.10** Изолирующие устройства.

Для обеспечения возможности испытания КРУЭ повышенным напряжением, нормируемым для соединения с трансформатором и вводов, также как для кабельного соединения, должна быть предусмотрена возможность создания изоляционного разрыва от сопрягаемого оборудования. Для воздушных вводов может быть достаточным отсоединения провода с внешней (воздушной) стороны.

Для возможности проведения проверки электрического сопротивления главной токоведущей цепи в конструкции КРУЭ должна быть предусмотрена возможность доступа к главной токоведущей цепи без демонтажа элементов КРУЭ.

**19.6.2.11** Защита от коррозии.

Выбор материалов и защитных покрытий деталей и сборочных единиц КРУЭ должен определяться условиями эксплуатации, стандартами Единой системы защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС) и указываться в эксплуатационной документации.

Все болтовые или резьбовые соединения оболочки должны оставаться легко разбираемыми. Непрерывность цепей заземления должна гарантироваться с учетом коррозии болтовых и резьбовых соединений.

Количество точек заземления и схема заземления КРУЭ должны быть выполнены таким образом, чтобы исключить какие-либо проявления электрохимической коррозии металла токопроводов КРУЭ в местах перехода их через перекрытия.

#### 19.6.2.12 Газовая система КРУЭ.

В КРУЭ не должна применяться управляемая система давления, в которой объем газа автоматически подпитывается от внешнего источника сжатого газа или от внутреннего источника газа.

В КРУЭ используются автономная система давления и замкнутая система давления. Должны быть предусмотрены средства, дающие возможность безопасной и удобной подпитки газовых систем при нахождении оборудования в эксплуатации. Применение внешних трубок для подпитки газа недопустимо.

Автономные системы давления газа.

Рекомендуемый уровень утечки одиночного отсека КРУЭ в атмосферу и между отсеками для автономной системы давления — не более 0,5 % в год.

Замкнутые системы давления.

В замкнутой системе давления для выполнения требования к ожидаемому сроку службы принимается уровень утечки газа — 0,1 % в год.

Координация давления приведена в стандарте МЭК 62271-203. Изготовитель должен выбрать минимальное допустимое давление элегаза для изоляции и коммутационной способности  $P_{me}$  и давление срабатывания предупредительной сигнализации снижения давления.

Сброс давления. В целях безопасности и ограничения последствий для КРУЭ необходимо в каждый отсек установить устройство для сброса давления, кроме отсеков с большим объемом, где избыточное давление само ограничивается до значений, которые не превышают давление типового испытания.

Устройства для сброса давления (клапаны, имеющие давления открытия и закрытия, и устройства для сброса давления без повторного закрытия отверстия сброса, диафрагмы и разрывные мембраны) должны иметь дефлектор, чтобы направлять выброс и обеспечивать отсутствие опасности для работы оператора в местах его возможного нахождения.

#### 19.6.2.13 Конструкция оболочек.

Конструкция оболочек должна соответствовать требованиям ПБ 03-576-03 «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

Оболочка должна быть способной выдерживать нормальные и переходные давления, которым она подвергается в эксплуатации, а также возможные воздействия при возникновении внутреннего дугового перекрытия.

Должны быть предусмотрены меры для уменьшения последствий внутренней дуги для оборудования КРУЭ и сокращения временного интервала перерыва в энергопитании. Дуга не должна проникать в соседние газовые отсеки. Последствия внутренней дуги должны быть локализованы в пределах того же отсека, в котором возникла дуга.

Рекомендованные критерии защиты по стандарту МЭК 62271-203 при различной длительности дуги согласно настройке систем защиты приводятся в табл. 19.6.2.13.1.

Таблица 19.6.2.13.1

| Номинальный ток короткого замыкания | Степень защиты | Длительность тока | Критерии состояния   |
|-------------------------------------|----------------|-------------------|--|
| ≤ 40 кА<br>(действующее значение)   | 1              | 0,2 с             | Без внешних эффектов, кроме работы устройств сброса давления |
|                                     | 2              | ≤ 0,5 с           | Без фрагментации (допустим прожог)                           |
| ≥ 40 кА<br>(действующее значение)   | 1              | 0,1 с             | Без внешних эффектов, кроме работы устройств сброса давления |
|                                     | 2              | ≤ 0,3 с           | Без фрагментации (допустим прожог)                           |

#### **19.6.2.14** Блокировки.

Автономные и замкнутые системы давления, заполненные сжатым газом для изоляции и/или функционирования, и имеющие минимальное рабочее давление для изоляции и/или функционирования выше 0,2 МПа (абсолютное давление), должны быть снабжены контролирующими устройствами давления (или плотности) для постоянного или, по крайней мере, периодического контроля как части программы обслуживания с учетом требований соответствующих стандартов.

Для элементов КРУЭ и аппаратуры управления, имеющих минимальное рабочее давление не выше 0,2 МПа (абсолютное давление), такие средства должны быть предметом соглашения между изготовителем и потребителем.

Плотность газа или давление газа, скомпенсированное по температуре, в каждом отсеке должны постоянно контролироваться. Контролирующее устройство индикаторного типа должно обеспечивать не менее двух уставок уровня давления или плотности (давление/плотность сигнализации и минимальные функциональные давление или плотность).

Контролирующие устройства газа должны быть доступны для проверки и замены при нахождении оборудования высокого напряжения в эксплуатации.

Для главных цепей обязательны следующие устройства блокировки, которые используются при создании изоляционных промежутков и заземлении:

блокировки для предотвращения включения — на аппаратах, установленных в главной цепи, которые используются для обеспечения изоляционного промежутка при работах по обслуживанию;

блокировки для предотвращения отключения — на заземлителях.

Элементы блокировок КРУЭ (промежуточные реле блокировок разъединителей/заземлителей, контакторы блокировок разъединителей/заземлителей), выполненных предприятием (изготовителем), должны иметь дополнительные блок-контакты состояния для сбора в контроллеры присоединения в виде дискретных сигналов информации о состоянии указанных элементов.

В цепях электрической блокировки КРУЭ должны быть предусмотрены реле блокировки с нормально замкнутыми контактами для реализации дополнительных условий блокировки (программные блокировки в контроллерах присоединений).

Заземлители, имеющие включающую способность при коротком замыкании, меньшую номинального пика выдерживаемого тока короткого замыкания, должны быть механически заблокированы с соответствующими разъединителями так, чтобы при высоком напряжении на главной токоведущей цепи было невозможно включение заземляющей цепи, а при включенном положении заземляющей цепи не допускалось включение главной токоведущей цепи.

Быстродействующие заземлители должны иметь блокировку от включения при наличии напряжения на главной токоведущей цепи и механическую блокировку привода в отключенном и включенном положениях.

Выключатели нагрузки с включающей способностью при коротком замыкании менее, чем номинальный пик выдерживаемого тока короткого замыкания или с отключающей способностью, менее номинального рабочего тока, и разъединители должны быть сблокированы с соответствующим выключателем, чтобы предотвратить отключение или включение выключателя нагрузки или разъединителя, если выключатель не отключен.

**19.6.2.15** Во время работы КРУЭ уровень шума, производимого оборудованием, не должен превышать установленное производителем значение.

#### **19.6.2.16** Заземление КРУЭ и аппаратуры управления.

Оболочки элементов КРУЭ и вспомогательного оборудования должны быть снабжены надежным заземляющим выводом, имеющим зажимной винт или болт для соединения с заземляющим проводником.

Части металлических оболочек, подсоединенных к системе заземления, могут рассматриваться как заземляющий провод.

Допускается заземление КРУЭ выполнять в соответствии с инструкцией предприятия (изготовителя).

Должна быть предусмотрена возможность заземления всех частей главных токоведущих цепей для обеспечения безопасности обслуживающего персонала во время ремонтных работ.

Заземлители, устанавливаемые на сборных шинах и на отходящих линиях, должны обладать быстродействием и включающей способностью на ток короткого замыкания.

Кроме того, после открытия оболочки на время проведения ремонтных работ должна быть обеспечена возможность подсоединения переносных заземлений к тем элементам цепи, которые ранее были заземлены через заземлители.

Оболочки и все металлические части, не входящие в главную или вспомогательную цепь, должны быть заземлены. Выполнение соединений оболочек, рамы и других металлических частей с целью обеспечения непрерывности цепи возможно болтовым соединением или сваркой.

При пофазной конструкции КРУЭ для обеспечения протекания наведенных токов должны устанавливаться петлевые цепи, соединяющие между собой оболочки трех фаз. Каждая из этих петлевых цепей должна быть напрямую связана, насколько это возможно, с общей системой заземления при помощи проводника, способного проводить ток короткого замыкания.

#### **19.6.2.17 Степени защиты.**

Степени защиты согласно стандарту МЭК 60529 должны быть определены для аппаратуры управления, допускающей проникновение снаружи, и для оболочек (шкафов) соответствующих цепей управления и /или вспомогательных цепей низкого напряжения и приводов управления всех коммутационных аппаратов высокого напряжения, аппаратуры управления и коммутационных устройств.

#### **19.6.2.18 Электромагнитная совместимость (ЭМС).**

Для главной цепи коммутационной аппаратуры в нормальном режиме работы без коммутационных операций уровень эмиссии проверяется путем измерения напряжения радиопомех, если это применимо. Методика проведения испытаний с определением радиопомех должна соответствовать стандарту МЭК 60060-1.

Требования к электромагнитной совместимости предъявляются к интерфейсам и вводам вспомогательных цепей, цепей управления, вспомогательных сборок, имеющим электронные компоненты, воздействие помех на которые может привести к неправильному функционированию. Предельные значения радиопомех при испытаниях не должны превышать нормированных значений, указанных в стандартах на электрооборудование отдельных видов.

#### **19.6.2.19 Указатели положения.**

В коммутационных аппаратах в случае, если контакты невидимы, должен быть предусмотрен ясный и надежный указатель положения контактов главной цепи, механически связанный с этими контактами. Должна быть предусмотрена возможность легко контролировать указатель положения при регламентных работах с оборудованием.

Цвета и маркировка положений указательного устройства в отключенном, включенном или, где предусмотрено, заземленном положении должны соответствовать стандарту МЭК 62271-203.

Определение отключенного положения разъединителя или заземлителя обеспечивается, если выполнено одно из следующих условий:

виден изоляционный промежуток;

положение подвижного контакта, гарантирующее изоляционное расстояние или промежуток, показывается визуальным индикаторным устройством.

#### **19.6.3 Требования к электрической прочности изоляции.**

Изоляция главных цепей КРУЭ, цепей управления, вспомогательных цепей должна соответствовать требованиям стандарта МЭК 60071-1.

Нормированные испытательные напряжения главных цепей КРУЭ должны соответствовать данным стандарта МЭК 60071-1.

Изоляция цепей управления и вспомогательных цепей КРУЭ относительно земли должна выдерживать испытательное кратковременное (одноминутное) переменное напряжение в соответствии со стандартом МЭК 60071-1.

Длина пути утечки внешней изоляции вводов «элегаз — воздух» («воздух — газ») должна соответствовать степени загрязнения не менее II\* по требованиям стандарта МЭК/TS 60815-1 и МЭК 60694.

#### **19.6.4 Требования к стойкости при сквозных токах короткого замыкания.**

КРУЭ должны выдерживать воздействие номинального кратковременного тока и пикового значения номинального тока (токов термической и электродинамической

стойкости) при коротких замыканиях без повреждений, препятствующих его дальнейшей исправной работе. Значение тока электродинамической стойкости  $i_d$  должно быть не менее  $2,5It$ .

Цепи заземления КРУЭ должны быть устойчивы к воздействию сквозных токов короткого замыкания при длительности их протекания.

#### **19.6.5 Требования к нагреву при нормальных режимах и коротких замыканиях.**

КРУЭ по нагреву, при длительной работе в нормальном режиме должны удовлетворять требованиям стандарта МЭК 60694.

Температура нагрева частей оболочек КРУЭ в нормальных условиях обслуживания оборудования, доступных для прикосновения не должна превышать 70 °С, недоступных для прикосновения не должна превышать 80 °С.

Допустимые превышения температуры нагрева вторичных цепей оборудования КРУЭ должны соответствовать стандарту МЭК 60694.

#### **19.6.6 Требования к газам.**

Изготовитель должен указать тип, требуемое качество, количество и плотность газа (смеси газов), используемого в элементах КРУЭ и аппаратуре управления, и дать потребителю необходимые указания по обновлению газа и поддержанию его требуемого количества и качества.

Изготовитель должен указать требования к новому и использованному газу, применяемому в КРУЭ. Новый элегаз для применения в КРУЭ должен соответствовать стандарту МЭК 60376. При применении нового элегаза следует использовать рекомендации стандарта МЭК 62271-203, в случае подготовки к вводу в эксплуатацию оборудования и стандарта МЭК 60376 при контроле свойств газа и обслуживании КРУЭ в процессе эксплуатации.

В качестве изоляционной и дугогасящей среды в элементах КРУЭ могут использоваться смеси газов: азота особой чистоты, четырехфтористого углерода.

Методика приготовления смесей, заполнения смесями оборудования и поддержания состава смесей в процессе эксплуатации должна соответствовать инструкции предприятия-изготовителя оборудования.

#### **19.6.7 Испытания.**

КРУЭ должны подвергаться испытаниям головных образцов изделий, а также испытаниям изделий при установившемся производстве на месте установки. Объектом испытаний по согласованию между изготовителем и заказчиком может являться как КРУЭ в сборе, так и его отдельные части.

Испытаниям головных образцов изделий подвергается оборудование после освоения технологии производства, а также при изменении конструкции, материалов и технологии изготовления и технических характеристик. Испытаниям изделий при установившемся производстве подвергаются каждое КРУЭ при выпуске с предприятия (изготовителя), а также для подтверждения стабильности технических характеристик КРУЭ в процессе их серийного выпуска.

Указанные испытания проводятся в соответствии со стандартом МЭК 62271-203.

Испытания на месте установки проводятся после окончания монтажа КРУЭ на объекте применения. Объем и порядок проведения испытаний на месте установки согласуются с потребителем.

## **19.7 ТОКОПРОВОДЫ НА НАПРЯЖЕНИЕ 6 — 220 КВ**

### **19.7.1 Общие положения.**

**19.7.1.1** Для напряжений 6 — 35 кВ включительно необходимо применять токопроводы с литой (твердой) изоляцией или экранированные токопроводы, для напряжений 110 — 220 кВ — элегазовые токопроводы.

**19.7.1.2** Требования к контактными соединениям, металлическим покрытиям, их виды, толщины, а также требования к качеству покрытий должны выполняться в соответствии со стандартами МЭК 60999-1 и МЭК 60999-2.

## **19.7.2 Токопроводы с литой (твердой) изоляцией 6 — 35 кВ.**

**19.7.2.1** Степень защиты, обеспечиваемая оболочкой токопровода, составляет IP44 для токопроводов внутренней установки. Охлаждение токопровода — естественное.

**19.7.2.2** Для изготовления шин, фланцев и шинных компенсаторов токопроводов, должны применяться медь, алюминий или алюминиевые сплавы. Для изготовления изоляции должны применяться специальные составы, например, эпоксидные смолы.

**19.7.2.3** Неразъемные соединения элементов токопроводов из меди и медных сплавов должны выполняться при помощи пайки медно-фосфористым припоем с добавлением серебра.

**19.7.2.4** Конструкция.

**19.7.2.4.1** Токопровод должен состоять из секций различной конфигурации. Набор и размещение элементов токопровода определяется сборочным чертежом трассы, разработанным для конкретного объекта.

**19.7.2.4.2** Секция токопровода должна состоять из медной или алюминиевой токоведущей шины, покрытой слоем твердой изоляции с толщиной в зависимости от значения номинального напряжения. На концах секций должны быть предусмотрены контакты с отверстиями для болтового соединения секций между собой и с электрическим оборудованием. Длина секции не должна превышать 10 м.

**19.7.2.4.3** Для встраиваемого в токопровод оборудования (разъединителей, измерительных трансформаторов напряжения и тока, ограничителей перенапряжений) необходимо предусматривать шкафы соответствующих типоразмеров.

**19.7.2.4.4** Соединение секций между собой по всей длине трассы должно быть разъемным (болтовым), выполняемым при помощи специальных соединительных муфт с компенсаторами температурных расширений, которые должны устанавливаться по трассе токопровода с интервалом не более 10 м. Места соединений без компенсаторов температурных расширений могут заливаться на месте монтажа тем же составом, что и токоведущая шина.

**19.7.2.4.5** Соединения токопровода с выводами электрических аппаратов должны выполняться разборными с применением шинных компенсаторов и (по требованию заказчика) защитных оболочек.

**19.7.2.4.6** Конфигурация секций должна обеспечивать возможность прокладки токопровода в любом пространственном положении с учетом конфигурации трассы.

**19.7.2.4.7** Конструкция токопровода должна допускать его вертикальную прокладку на участке до 10 м.

**19.7.2.4.8** Элементы крепления токопровода должны обеспечивать надежное закрепление к опорным конструкциям и его перемещение в пределах  $\pm 20$  мм при изменениях температуры токоведущих шин.

**19.7.2.5** Требования к электрическим параметрам.

**19.7.2.5.1** Требования к электрической прочности изоляции по МЭК 60071-1 для аппаратов с нормальной изоляцией.

**19.7.2.5.2** Интенсивность частичных разрядов в изоляции токопровода уровня I по МЭК 60071-1 не должна превышать 5 пКл для напряжения  $1,05 \cdot U_m \cdot \sqrt{3}$  или 10 пКл для напряжения  $1,5 \cdot U_m \cdot \sqrt{3}$ .

**19.7.2.5.3** Длительно допустимая температура нагрева составных частей токопровода при номинальном токе не должна превышать:

для шин и контактных соединений из меди или алюминия: +90 °С по стандарту МЭК 60694;

для внешней поверхности изоляционного слоя токопровода: +70 °С.

**19.7.2.5.4** Токопроводы должны быть устойчивы к электродинамическому и термическому воздействию токов короткого замыкания, параметры которых не превышают установленных значений:

тока электродинамической стойкости  $i_d$  или его кратности  $K_d$  по отношению к амплитуде номинального тока;

тока термической стойкости  $I_T$  или его кратности  $K_T$  по отношению к номинальному току;

времени протекания тока термической стойкости  $t_k$ , 1 и 3 с.

**19.7.2.5.5** Между значениями  $i_d$  и  $I_T$  должно быть соблюдено соотношение  $i_d \geq 1,8 \sqrt{2} I_T$ .

**19.7.2.5.6** Каждая секция токопровода должна иметь вывод (зажим) для подсоединения заземляющего проводника, выполненный в соответствии с требованиями стандартов МЭК 60947-4-1 и МЭК 60417-DB-12M. Диаметр заземляющего болта должен быть не менее 10 мм.

**19.7.3 Токопроводы элегазовые 110 — 220 кВ.**

**19.7.3.1** По расположению фазных проводников токопроводы должны быть в трехфазном исполнении (с тремя фазами в общей оболочке), либо в однофазном исполнении (с фазами, размещенными в отдельных оболочках).

**19.7.3.2** По конструктивному исполнению концевых устройств токопроводы должны быть:

- с вводом «воздух — элегаз»;
- с вводом «кабель — элегаз»;
- с вводом «элегаз — элегаз».

**19.7.3.3** Параметры элегазовых токопроводов (ТЭ) должны удовлетворять условиям безотказной работы как при нормальных режимах, так и при коротких замыканиях, перенапряжениях и нормированных перегрузках.

**19.7.3.4** Требования к электрической прочности изоляции.

**19.7.3.4.1** Нормированные испытательные напряжения главных цепей ТЭ должны соответствовать данным табл. 19.7.3.4.1.

Таблица 19.7.3.4.1

| Класс напряжения | Испытательное напряжение, кВ |                        |                        |   |                       |
|------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|---|-----------------------|
|                  | полный грозовой импульс      |                        | коммутационный импульс | кратковременное (одноминутное) переменное |                       |
|                  | относительно земли           | между фазами для ТЭТФ* | относительно земли     | относительно земли                        | Между фазами для ТЭТФ |
| 110              | 450                          | 450                    | —                      | 230                                       | 230                   |
| 150              | 650                          | 650                    | —                      | 300                                       | 300                   |
| 220              | 900                          | 900                    | —                      | 440                                       | 440                   |

\* Токопровод элегазовый с расположением всех трех фаз в одной оболочке.

**19.7.3.4.2** Изоляция цепей управления и вспомогательных цепей ТЭ относительно земли должна выдерживать испытательное кратковременное (одноминутное) переменное напряжение равное 2,0 кВ, прикладываемое поочередно между токоведущими и заземленными частями, а также между токоведущими частями разных цепей.

**19.7.3.4.3** Интенсивность частичных разрядов в изоляции ТЭ не должна превышать значения 10-11 Кл при приложении к ней переменного напряжения, равного  $1,1U_{н.р.}/\sqrt{3}$  согласно МЭК 60071-1.

**19.7.3.5** Требования к стойкости при сквозных токах короткого замыкания.

**19.7.3.5.1** ТЭ должны выдерживать воздействие токов термической и электродинамической стойкости при коротких замыканиях без повреждений, препятствующих его дальнейшей исправной работе. Значение тока электродинамической стойкости  $I_d$  должно быть не менее  $2,5I_T$ .

**19.7.3.5.2** Нормированное время протекания тока термической стойкости 1с, 2 с или 3 с устанавливается в документации на ТЭ.

**19.7.3.5.3** Цепи заземления ТЭ должны быть устойчивы к воздействию сквозных токов короткого замыкания при длительности их протекания, равной 1 с.

**19.7.3.6** Требования к нагреву при нормальных режимах и коротких замыканиях.

**19.7.3.6.1** Температура нагрева частей оболочек ТЭ, доступных для прикосновения в нормальных условиях обслуживания оборудования не должна превышать 70 °С. Температура нагрева частей оболочек ТЭ, недоступных для прикосновения в нормальных условиях обслуживания оборудования не должна превышать 80 °С.

**19.7.3.6.2** Допустимые превышения температуры нагрева вторичных цепей оборудования ТЭ должны соответствовать стандартам МЭК 60999-1 и МЭК 60999-2. Предельно допустимые значения температур нагрева контактов токоведущих частей

при протекании сквозных токов короткого замыкания не должны превышать допустимых значений по стандартам МЭК 60999-1 и МЭК 60999-2.

#### **19.7.3.7 Конструкция.**

**19.7.3.7.1** Все оболочки отдельных секций и элементов токопровода должны быть электрически соединены и заземлены.

**19.7.3.7.2** Соединение отдельных секций и (или) поворотных секций должно осуществляться болтами.

**19.7.3.7.3** Для компенсации изменения размеров токопроводов вследствие колебаний температуры, а также отклонений в размерах при изготовлении и монтаже, должны быть предусмотрены компенсационные устройства.

**19.7.3.7.4** Конструкция ТЭ должна предусматривать возможность применения в токопроводах секционирования и концевых устройств в виде вводов «воздух — элегаз», «кабель — элегаз», «элегаз — элегаз», а также использования наряду с линейными секциями токопровода поворотных элементов, обеспечивающих необходимую трассировку.

**19.7.3.7.5** Конструкция ввода «кабель — элегаз» для соединения силового кабеля и ТЭ должна соответствовать рекомендациям стандарта МЭК 62271-305.

**19.7.3.7.6** Оболочка ТЭ должна быть устойчива к прогоранию при внутреннем перекрытии дугой в течение времени (согласно МЭК 61640):

при токе дуги 40 кА и выше — от 0,1 с до 0,3 с;

при токе дуги менее 40 кА — от 0,2 с до 0,5 с.

Конкретное значение времени, при котором оболочка ТЭ должна быть устойчива к прогоранию при внутреннем перекрытии дугой, определяется изготовителем на основании испытаний.

**19.7.3.7.7** Каждая герметичная секция токопровода должна быть снабжена защитой от чрезмерного повышения давления элегаза.

**19.7.3.7.8** Каждая герметичная секция токопровода должна быть снабжена датчиком плотности элегаза и клапанами для заполнения и удаления элегаза. Конструкция датчиков плотности должна предусматривать возможность их проверки в эксплуатации без удаления элегаза из секции.

**19.7.3.7.9** Указатели плотности (давления) элегаза должны иметь уставки с выходом на сигнализацию и блокировку:

плотности (давления) элегаза, при которой необходимо дозаполнение элегаза;

минимальной плотности (давления) элегаза, при которой токопровод должен быть выведен из работы (отключен выключателями с обеих сторон).

**19.7.3.7.10** Элементы схем управления и сигнализации состояния токопровода должны быть размещены в шкафах.

В шкафах должны быть предусмотрены выводы для цепей централизованного управления.

Степень защиты шкафов от соприкосновения с находящимися под напряжением частями или приближения к ним, от соприкосновения с движущимися частями, находящимися внутри оболочки, от попадания внутрь твердых посторонних тел, а также от попадания воды по стандарту МЭК 60529 должна быть указана в нормативной документации предприятия (изготовителя).

**19.7.3.7.11** Цепи заземления оболочки и элементов главных цепей ТЭ, а также способ их крепления должны быть выбраны в соответствии с требованиями стандартов МЭК 60947-4-1 и МЭК 60417-DB-12M.

#### **19.7.3.8 Требования к испытаниям.**

ТЭ должны подвергаться квалификационным, приемосдаточным, типовым и пусковым испытаниям на месте установки. Объектом испытаний по согласованию между изготовителем и заказчиком может являться как ТЭ в сборе, так и его отдельные секции.

## **19.8 СУХИЕ ТОКОГРАНИЧИВАЮЩИЕ РЕАКТОРЫ**

### **19.8.1 Основные параметры.**

**19.8.1.1** Классы напряжений реакторов должны соответствовать стандартам МЭК 60071-1 и МЭК 60071-2.

**19.8.1.2** Номинальный ток и номинальное индуктивное сопротивление одинарных реакторов при частоте 50 Гц должны приниматься в соответствии с табл. 19.8.1.2.1. Номинальный ток и номинальное индуктивное сопротивление сдвоенных реакторов при частоте 50 Гц должны приниматься в соответствии с табл. 19.8.1.2.2.

Таблица 19.8.1.2.1

| Номинальный ток, А                        | 250  | 400  | 630  | 1000 | 1600 | 2500 | 4000 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| Номинальное индуктивное сопротивление, Ом | 1,00 | 0,35 | 0,25 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,10 |
|   | 1,40 | 0,45 | 0,40 | 0,22 | 0,20 | 0,20 | 0,18 |
|   | 2,00 | –    | 0,56 | 0,28 | 0,25 | 0,25 | –    |
|   | 2,50 | –    | 0,70 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | –    |
|   | –    | –    | 1,00 | 0,45 | 0,56 | –    | –    |
|   | –    | –    | 1,60 | 0,56 | –    | –    | –    |
|   | –    | –    | 2,00 | 0,70 | –    | –    | –    |
|   | –    | –    | –    | 1,00 | –    | –    | –    |

Таблица 19.8.1.2.2

| Номинальный ток, А                        | 2 x 630 | 2 x 1000 | 2 x 1600 | 2 x 2500 |
|---|---------|----------|----------|----------|
| Номинальное индуктивное сопротивление, Ом | 0,25    | 0,14     | 0,14     | 0,14     |
|   | 0,40    | 0,22     | 0,20     | 0,20     |
|   | 0,56    | 0,28     | 0,25     | 0,25     |
|   | –       | 0,35     | 0,35     | 0,35     |
|   | –       | 0,45     | –        | –        |
|   | –       | 0,56     | –        | –        |

При частоте 60 Гц номинальный ток должен соответствовать значению по табл. 19.8.1.2.1 и 19.8.1.2.2, а номинальное индуктивное сопротивление — значению по табл. 19.8.1.2.1 и 19.8.1.2.2, умноженному на коэффициент 1,2.

**19.8.1.3** Реакторы должны изготавливаться с вертикальным, ступенчатым или горизонтальным расположением фаз.

**19.8.1.4** Реакторы должны изготавливаться с естественным воздушным или принудительным воздушным охлаждением.

### **19.8.2 Требования к конструкции.**

**19.8.2.1** Выводы реакторов должны соответствовать требованиям стандартов МЭК 60999-1 и МЭК 60999-2.

**19.8.2.2.** Угол между выводами реакторов должен быть 0°, 90° или 180°. Конкретное значение устанавливается в соответствии с требованиями потребителя.

Одноименные выводы начала, середины и конца обмотки вертикально и ступенчато расположенных фаз должны находиться на одной вертикали. Допуск для углов между выводами не должен превышать ±10°.

Изготовление реакторов с иначе расположенными контактными выводами, а также изготовление сдвоенных реакторов с различными углами между нижними и средними или средними и верхними выводами допускается по согласованию между потребителем и изготовителем.

## **19.9 ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ 3 — 220 КВ**

### **19.9.1 Основные электрические характеристики.**

**19.9.1.1** Остающиеся напряжения на ограничителе должны быть указаны изготовителем в технических документах на конкретные типы ограничителей при импульсах токов 30/60 мкс, 8/20 мкс и 1/10 мкс с максимальными значениями импульсов, указанными в табл. 19.9.1.1.

Таблица 19.9.1.1

**Нормируемые максимальные значения импульсов токов через ограничитель**

| Класс ограничителя по пропускной способности | Номинальный разрядный ток, А | Максимальные значения токов, А, при импульсах, мкс |                     |       |
|--|------------------------------|--|---------------------|-------|
|  |                              | 30/60  | 8/20                | 1/10  |
| 1  | 5000                         | 125, 250, 500                                      | 2500, 5000, 10000   | 5000  |
|  | 10000                        | 125, 250, 500                                      | 5000, 10000, 20000  | 10000 |
| 2  | 10000                        | 250, 500, 1000                                     | 5000, 10000, 20000  | 10000 |
| 3  | 10000                        | 500, 1000, 2000                                    | 5000, 10000, 20000  | 10000 |
| 4  | 10000                        | 500, 1000, 2000                                    | 5000, 10000, 20000  | 10000 |
|  | 20000                        | 500, 1000, 2000                                    | 10000, 20000, 40000 | 20000 |
| 5  | 20000                        | 500, 1000, 2000                                    | 10000, 20000, 40000 | 20000 |

Примечание. Под импульсом понимают униполярную волну напряжения или тока, возрастающую без заметных колебаний с большой скоростью до максимального значения и уменьшающаяся, обычно с меньшей скоростью, до нуля с небольшими, если это будет иметь место, переходами в противоположную полярность. Параметрами, определяющими импульсы напряжения или тока, являются полярность, максимальное значение (амплитуда), условная длительность фронта и условная длительность импульса:

.1 условное время (длительность) фронта импульса  $T_1$ : время, выраженное в микросекундах и определяемое умножением на 1,25 времени в микросекундах, необходимого для увеличения максимального (амплитудного) значения импульса от 10 % до 90 %;

.2 условная длительность импульса  $T_2$ : время, выраженное в микросекундах, между условным началом импульса и моментом, когда напряжение или ток уменьшаются до половины максимального значения;

.3 обозначение формы импульса: комбинация двух чисел в микросекундах, первое из которых обозначает длительность фронта, а второе — длительность импульса. Эта комбинация записывается как  $T_1/T_2$  (знак «/» не имеет математического значения)

**19.9.1.2** Изготовитель должен привести значение классификационного тока и соответствующего ему минимального классификационного напряжения ОПН:

.1 классификационный ток ОПН  $I_{кл}$ : амплитудное значение (более высокое амплитудное значение из двух полярностей, если ток асимметричен) активной составляющей тока промышленной частоты, которое используется для определения классификационного напряжения ОПН и нормируется изготовителем;

.2 классификационное напряжение ОПН  $U_{кл}$ : максимальное (амплитудное) значение напряжения промышленной частоты, деленное на 2, которое должно быть приложено к ОПН для получения классификационного тока. Классификационное напряжение многоэлементного ОПН определяется как сумма классификационных напряжений отдельных элементов.

**19.9.1.3** Ограничитель должен выдерживать без повреждения воздействие 18 прямоугольных импульсов тока длительностью 2000 мкс с максимальным значением (амплитудой), равным значению тока пропускной способности, указанного изготовителем.

**19.9.1.4** Ограничитель должен выдерживать без повреждения 20 импульсов номинального разрядного тока и 2 импульса большого тока с амплитудой:

.1 65000 А — для ограничителей 1-го класса пропускной способности и номинальным разрядным током 5000 и 10000 А;

.2 100000 А — для ограничителей 2 — 5-го классов пропускной способности и номинальным разрядным током 10000 и 20000 А.

**19.9.1.5** Ограничители должны выдерживать совокупность воздействий, возникающих при эксплуатации и моделируемых рабочими испытаниями, которые не должны приводить к повреждению или потере тепловой устойчивости:

.1 для ограничителей 1-го класса пропускной способности и номинальным разрядным током 5000 и 10000 А — 20 импульсов номинального разрядного тока и 2 импульса большого тока с амплитудой 65000 А;

.2 для ограничителей 2 — 5-го классов пропускной способности и номинальным разрядным током 10000 и 20000 А — 20 импульсов номинального разрядного тока, 2 импульса большого тока с амплитудой 100000 А и 2 импульса тока пропускной способности.

## **19.9.2 Требования к внешней изоляции.**

**19.9.2.1** Длина пути утечки внешней изоляции ограничителя, работающего в условиях, соответствующих степени загрязнения I, должна быть не ниже 1,8 см/кВ

наибольшего рабочего напряжения сети, а при степени загрязнения II, III, IV — не ниже 2,0; 2,5 и 3,1 см/кВ соответственно.

**19.9.2.2** Изоляция ограничителей, изготовленная с применением органических (полимерных) материалов, должна быть трекинг-эрозионно-стойкой.

**19.9.2.3** Изоляция корпуса ограничителя должна выдерживать испытания напряжением грозового импульса, коммутационного импульса, одноминутного напряжения промышленной частоты.

**19.9.2.4** Испытанию напряжением грозового импульса должна подвергаться изоляция всех типов ограничителей. Максимальное значение напряжения испытательного импульса должно быть не менее значения остающегося напряжения на ограничителе при номинальном разрядном токе, умноженного на 1,3.

#### **19.9.3 Требования к конструкции.**

**19.9.3.1** Ограничители должны быть герметичными.

**19.9.3.2** Конструкция ограничителя в полимерной изоляции должна быть стойкой к проникновению влаги.

**19.9.3.3** Ограничители должны иметь контактные зажимы для присоединения к токоведущим и заземляющим проводам. Вводные зажимы должны быть приспособлены для присоединения к ним медных или алюминиевых кабелей и шин, в том числе и расщепленных проводов.

**19.9.3.4** Все металлические детали ограничителей должны быть защищены от коррозии. Материал уплотнения для герметизации должен быть озоностойким.

**19.9.3.5** При многоколонковой конструкции ОПН изготовитель должен указать максимально допустимую неравномерность в распределении токов по колонкам.

**19.9.3.6** Если ОПН имеет изолирующее основание, то оно должно выдерживать без каких-либо повреждений, способных влиять на его нормальное функционирование, проверки изгибающим моментом и климатические испытания.

**19.9.3.7** Ограничители должны быть взрывобезопасны. Изготовитель должен указать максимальное действующее значение установившегося большого и малого (800 А) тока короткого замыкания при внутреннем повреждении, который ограничитель должен выдерживать без опасного взрывного разрушения.

**19.9.3.8** Ограничители с наибольшим длительно допустимым рабочим напряжением 73 кВ и выше не должны иметь уровень частичных разрядов при напряжении  $1,05 \cdot U_{кр}$  выше 10 пКл.

**19.9.3.9** Ограничители с наибольшим длительно допустимым рабочим напряжением 73 кВ и выше должны иметь уровень радиопомех при напряжении  $1,05 \cdot U_{кр}$  и при всех более низких значениях напряжения не более 2500 мкВ.

### **19.10 ВВОДЫ И ПРОХОДНЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ 110 — 220 КВ.**

**19.10.1** Классы напряжений вводов и соответствующие им наибольшие рабочие напряжения ( $U_{н.р.}$ ) должны быть выбраны из ряда стандартных величин согласно стандарту МЭК 60137.

**19.10.2** Габаритные, установочные, присоединительные размеры и расчетная масса вводов должны соответствовать конструкторской документации, утвержденной в установленном порядке.

**19.10.3** Вводы должны иметь:

вывод измерительный для измерения тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) и емкости (С) или вывод специальный у вводов с измерительным конденсатором, предназначенным для подключения приспособления для измерения напряжения в условиях эксплуатации и для измерения тангенса угла диэлектрических потерь и емкости. Эти выводы могут быть использованы для измерения интенсивности частичных разрядов, а также для подключения устройства контроля изоляции ввода;

встроенные или выносные компенсаторы для компенсации температурных изменений объема масла, обеспечивающие давление масла во вводе в расчетных пределах при расчетном диапазоне изменения температуры. При этом вводы с избыточным давлением должны иметь указатель давления масла во вводе;

вводы без избыточного давления, имеющие встроенные компенсаторы;

приспособления для подъема ввода, расположенные на соединительной втулке.

**19.10.4** В конструкции вводов должна предусматриваться возможность установки трансформаторов тока ниже опорного фланца на расстояниях, указанных в согласованных габаритных чертежах вводов.

**19.10.5** Сопротивление изоляции измерительного вывода должно быть не менее 1500 МОм, при этом емкость по отношению к земле ( $C_3$ ) должна быть не более 10000 пФ, а тангенс угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta_3$ ) при напряжении промышленной частоты должен быть не более 0,05.

**19.10.6** Измерительный вывод должен без пробоя и перекрытия выдерживать в течение 1 мин испытательное напряжение 2 кВ промышленной частоты.

**19.10.7** Температура нагрева металлических частей вводов, находящихся в контакте с изоляционным материалом, при протекании номинального тока не должна превышать:

105 °С — для вводов с БМИ (класс А);

120 °С — для вводов с твердой RIP или RIN изоляцией (класс Е);

130 °С — для газовой изоляции (класс В).

Максимальное превышение температуры контактных деталей для подключения к наружным проводникам над температурой окружающего воздуха должно быть не более 65 °С. Вводы, используемые в качестве составной части аппаратуры, например, распределительных устройств, должны отвечать требованиям к тепловому режиму соответствующей аппаратуры.

**19.10.8** Конструкция вводов должна быть герметичной и влагонепроницаемой.

**19.10.9** Опорный фланец вводов должен быть герметичным.

**19.10.10** Полимерная внешняя изоляция вводов должна выполняться из литевых кремнийорганических композиций типа RTV-2 или аналогичных, обеспечивающих трекинг-эрозионную стойкость и стойкость к воспламенению.

**19.10.11** Вводы, разработанные взамен ранее выпускавшихся, должны быть взаимозаменяемы по присоединительным и установочным размерам. Особенности замены вводов конкретного типа должны быть указаны в руководстве по эксплуатации на соответствующие вводы.

**19.10.12** Сопротивление токоведущей цепи вводов для масляных выключателей на постоянном токе при температуре 20 °С не должно быть более 70 мкОм.

## **19.11 РАЗМЕЩЕНИЕ (МОНТАЖ)**

### **19.11.1 Электрическое оборудование.**

**19.11.1.1** Если высоковольтное оборудование без защитной оболочки устанавливается в специальном помещении, фактически являющимся его оболочкой, то двери такого помещения должны иметь такую блокировку, чтобы их открытие было исключено, пока не будет отключено напряжение и токоведущие части оборудования не будут заземлены.

У входов в помещения или пространства, где расположено высоковольтное оборудование, должны быть предусмотрены предупреждающие надписи о наличии опасного высокого напряжения.

**19.11.1.2** В обоснованных случаях может быть допущена установка оборудования вне специальных электрических помещений при условии, что степень защиты его будет не ниже IP44 и доступ к токоведущим частям оборудования будет возможным только при снятом напряжении и при использовании специального инструмента.

**19.11.1.3** В специальном электрическом помещении должна находиться схема соединений и чертеж размещения электрического оборудования.

### **19.11.2 Кабели.**

#### **19.11.2.1** Прокладка кабельных трасс.

Кабели не должны проходить через жилые помещения.

#### **19.11.2.2** Разделение.

Высоковольтные кабели должны прокладываться отдельно от кабелей на напряжение ниже 1000 В. В частности, высоковольтные кабели не должны прокладываться в одних и тех же трассах, или в одних и тех же каналах или трубах, или в одних и тех же коробах.

Если высоковольтные кабели различного номинального напряжения прокладываются в одних и тех же трассах, то изоляционные расстояния между кабелями должны быть не менее изоляционных расстояний, установленных для кабеля более высокого напряжения, как указано в 19.2.3.1.

#### **19.11.2.3 Монтаж кабелей.**

Высоковольтные кабели в трехфазном исполнении должны прокладываться в металлических трубопроводах или в металлических коробах, или они должны быть защищены металлическими кожухами.

Открытая прокладка кабелей (на несущих штампованных панелях) допускается, если они имеют непрерывную металлическую броню, которая должна быть надежно (многokrратно) заземлена.

#### **19.11.2.4 Оконцевания кабелей.**

Оконцевания всех жил высоковольтных кабелей должны быть выполнены из соответствующего изоляционного материала. В соединительных коробках, если жилы кабеля не изолированы, фазы должны быть отделены от корпуса и друг от друга прочными перегородками из соответствующего изоляционного материала. Высоковольтные кабели, имеющие проводящий слой между фазами для контроля напряженности электрического поля изоляции кабеля, должны иметь выводы, предназначенные для такого контроля.

Материал изоляции выводов должен быть совместим с материалом изоляции и оболочки кабеля, и выводы должны быть оборудованы устройствами для заземления всех металлических экранирующих компонентов кабеля (металлических лент, проводов и т.п.).

При оконцевании силовых кабелей следует применять конструкции и марки муфт, соответствующие условиям их работы и окружающей среды. Концевые муфты на КЛ должны быть выполнены так, чтобы кабели были защищены от проникновения в них влаги и других вредно действующих веществ из окружающей среды и чтобы муфты выдерживали испытательные напряжения для КЛ и соответствовали требованиям нормативно-технической документации.

Монтаж кабельной арматуры должен производиться специально обученным и аттестованным производителем кабельной арматуры персоналом, при шефнадзоре со стороны предприятий (изготовителей) и техническом надзоре эксплуатирующей организации. Применение муфт различных фирм (изготовителей) должно быть согласовано с предприятием-изготовителем кабеля и эксплуатирующей организацией.

#### **19.11.2.5 Арматура кабелей высокого напряжения.**

Количество и типы применяемой арматуры кабелей должны определяться проектной документацией по прокладке КЛ. Арматура должна иметь максимальную степень заводской готовности, обеспечивающую минимизирование влияния человеческого фактора при монтаже и вероятности повреждения элементов конструкции муфт при монтаже и транспортировке.

При выборе кабельной арматуры для КЛ 35, 110 кВ и выше следует руководствоваться требованиями:

применять кабельную арматуру, прошедшую предквалификационные испытания на надежность по стандартам МЭК 60840 и МЭК 62067;

концевая арматура (концевые муфты и элегазовые вводы) должна быть разборной, предпочтительно иметь наружный изолятор из полимерных материалов, быть ориентированной на исключение применения жидких диэлектрических сред и подпитывающей арматуры (кроме случаев, оговоренных в проектной документации), позволять производить снятие изолятора для выполнения ремонтных профилактических работ, быть адаптированной к монтажу кабелей с оптическими волокнами, интегрированными в экран кабеля. Композитные изоляторы для концевых муфт наружной установки следует применять с различными длинами пути утечки в зависимости от степени загрязнения атмосферы на объекте;

должна применяться арматура, конструкция которой обеспечивает защиту от механических повреждений, проникновения воды и пыли;

должна применяться концевая арматура, имеющая специальные адаптеры для периодического контроля уровней ЧР с помощью передвижных измерительных установок, а также иметь конструкцию для возможности установки стационарных датчиков контроля частичных разрядов и измерения токов в экранах кабелей;

для установки и крепления концевых муфт следует применять металлоконструкции с антикоррозийным покрытием, выполненным в заводских условиях методом горячего или термодиффузионного оцинкования;

срок службы кабельной арматуры — не менее 30 лет.

В качестве кабельной арматуры для КЛ 1 — 35 кВ следует применять:

арматуру на основе термоусаживаемых трекингостойких, негорючих, не распространяющих горение трубок и изделий;

кабельную арматуру холодной усадки и арматуру на основе предварительно изготовленных на предприятиях-изготовителях эластомерных элементов.

#### **19.11.2.6** Маркировка.

Высоковольтные кабели должны иметь легко читаемую идентификационную маркировку.

#### **19.11.2.7** Испытания после завершения монтажа.

Перед вводом в эксплуатацию новой высоковольтной кабельной сети или после ее модернизации (ремонта или установки дополнительных кабелей) все кабели по отдельности с их элементами (оконцевания, заземляющие выводы и т.п.) должны быть испытаны высоким напряжением.

Испытания должны проводиться после замера сопротивления изоляции.

Для силовых кабельных линий напряжением 15 — 220 кВ для подтверждения качества и правильности монтажа КЛ, определения технических характеристик КЛ должны проводиться следующие испытания:

переменным напряжением, форма волны синусоидальная, а частота — в диапазоне 20 — 300 Гц, уровень испытательного напряжения согласно табл. 10.7.27.7.1, или номинальным рабочим напряжением линии в течение 24 ч без нагрузки;

определение целостности жил кабелей и фазировки жил и экранов КЛ производится в эксплуатации после окончания монтажа, монтажа муфт или отсоединения жил кабелей;

определение сопротивления жил кабеля;

определение электрической рабочей емкости кабелей;

измерение распределения тока по одножильным кабелям и экранам;

проверка заземляющего устройства (измерение сопротивления заземления);

испытание оболочки кабелей постоянным напряжением;

измерение характеристик частичных разрядов;

тепловизионное обследование концевых муфт и кабельных вводов в КРУЭ (для КЛ 110 — 220 кВ);

измерение тангенса угла диэлектрических потерь;

проверка целостности оптоволокон (по требованию заказчика может проводится также непосредственно после прокладки строительных длин кабелей, до монтажа соединительных и концевых муфт).

Электрические испытания КЛ после прокладки проводят после завершения монтажа КЛ.

Схемы принципиальные электрические распределительных устройств  
110 — 220 кВ. Типовые решения:

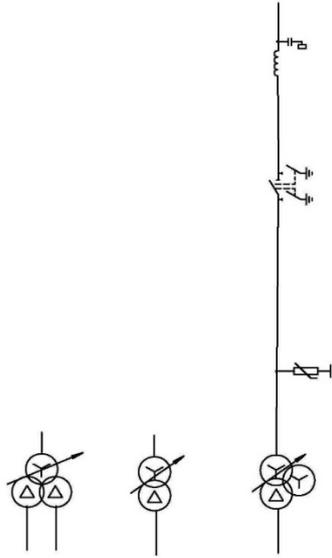


Рис. 1

Блок (линия — трансформатор) с разъединителем (схема 110-1)

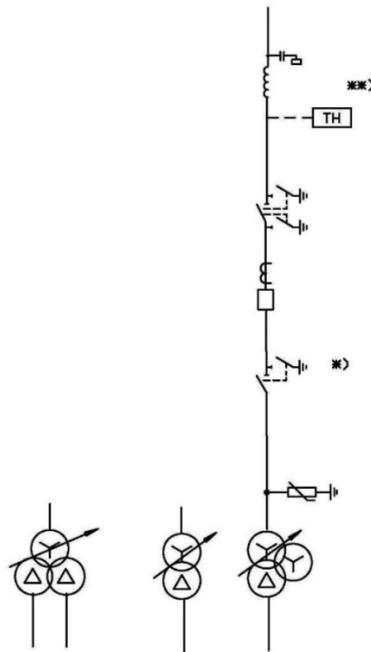


Рис. 2

Блок (линия — трансформатор) с выключателем (схема 110-3Н):

1. разъединитель, отмеченный \*), предусматривается при наличии питания со стороны СН;
2. трансформатор напряжения, отмеченный \*\*), устанавливается при соответствующем обосновании

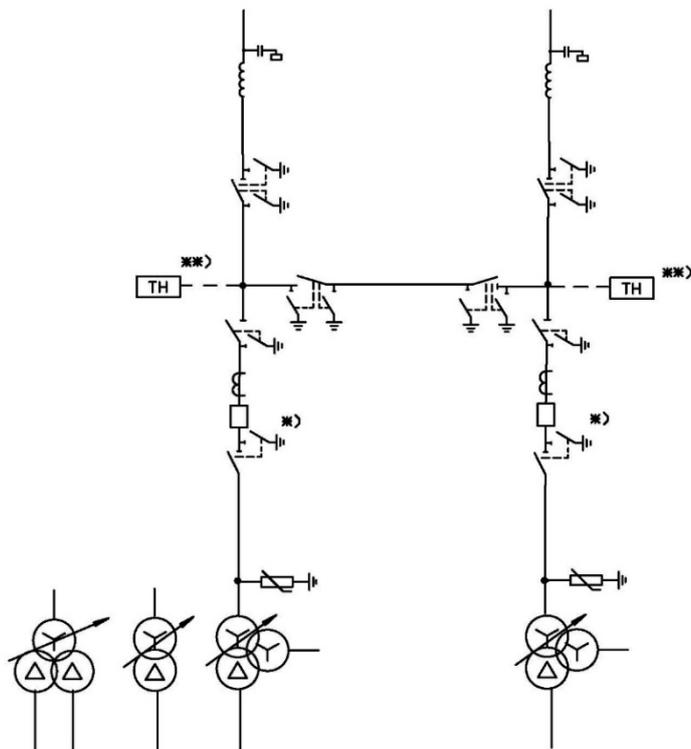


Рис. 3

- Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий (схема 110-4Н):
1. разъединители, отмеченные \*), предусматриваются при наличии питания со стороны СН;
  2. трансформаторы напряжения, отмеченные \*\*), устанавливаются при соответствующем обосновании

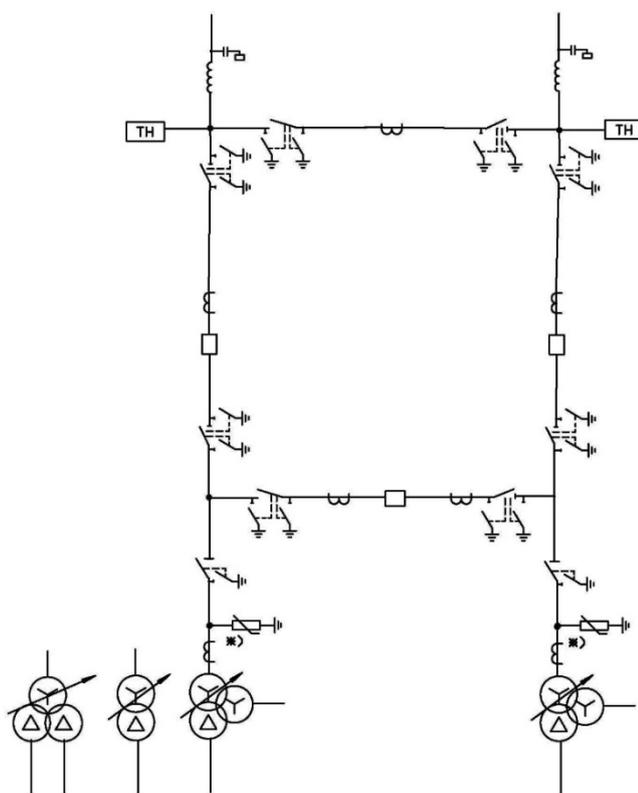


Рис. 4

- Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий (схема 110-5Н):
1. трансформаторы тока, отмеченные \*), устанавливаются при соответствующем обосновании

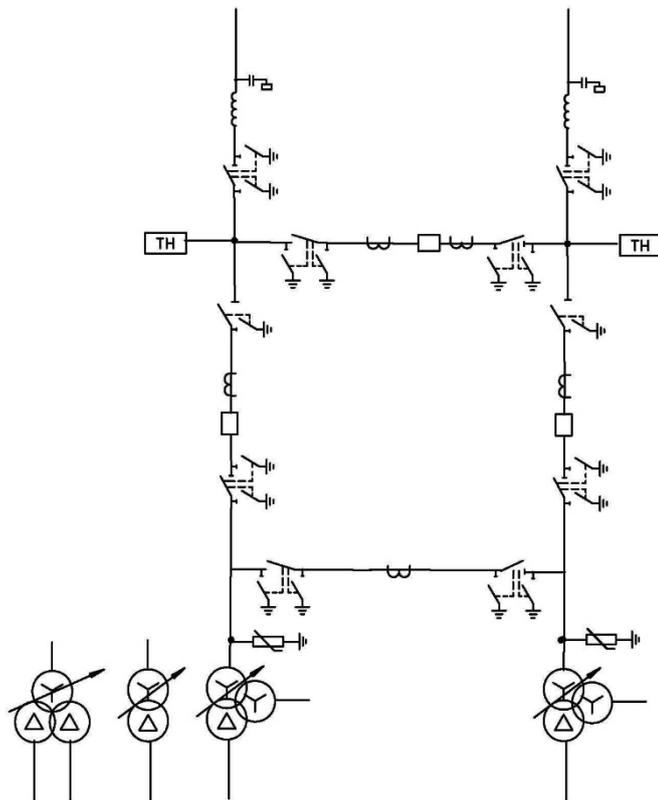


Рис. 5  
 Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов (схема 110-5АН)

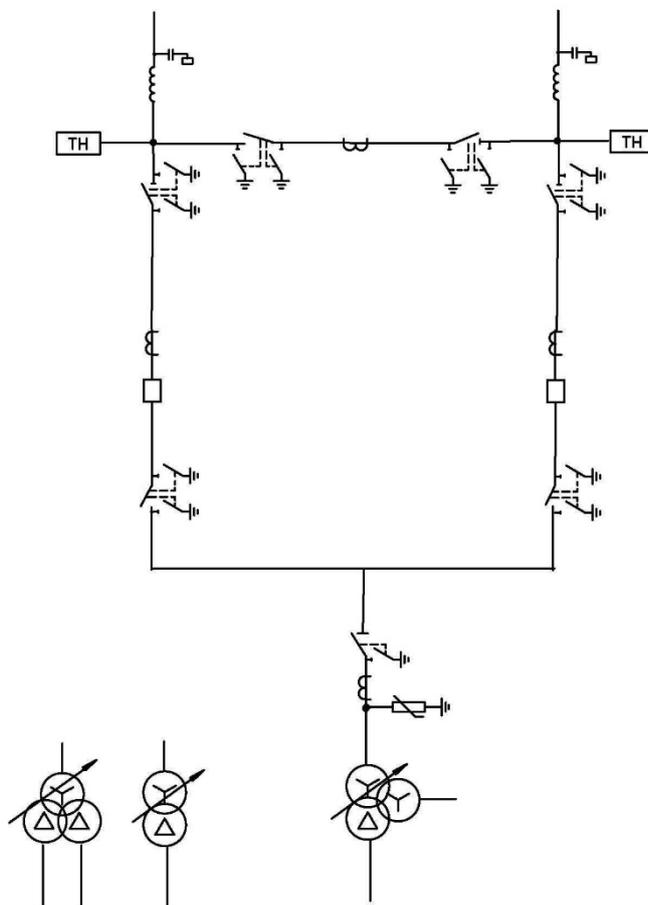


Рис. 6  
 Заход — выход (схема 110-6)

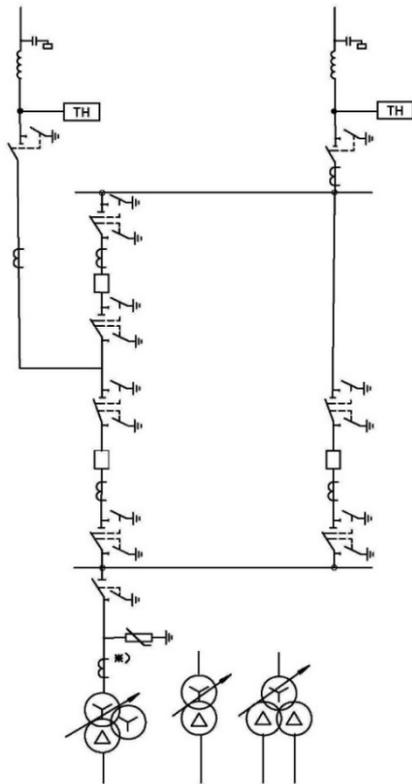


Рис. 7

Треугольник (схема 110-6H):

1. трансформаторы тока, отмеченные \*), устанавливаются при соответствующем обосновании

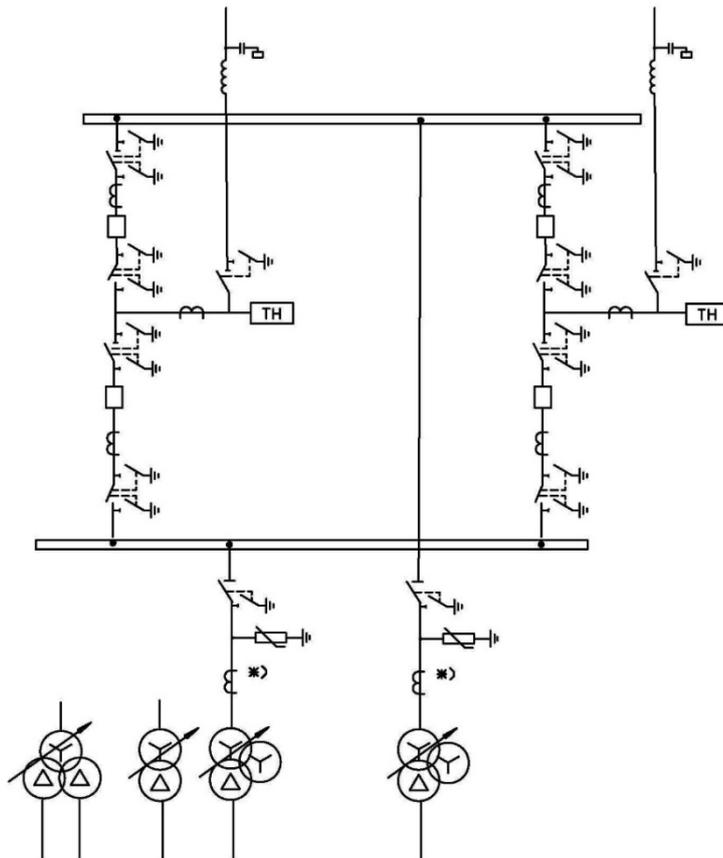


Рис. 8

Четырехугольник (схема 110-7):

1. трансформаторы тока, отмеченные \*), устанавливаются при соответствующем обосновании

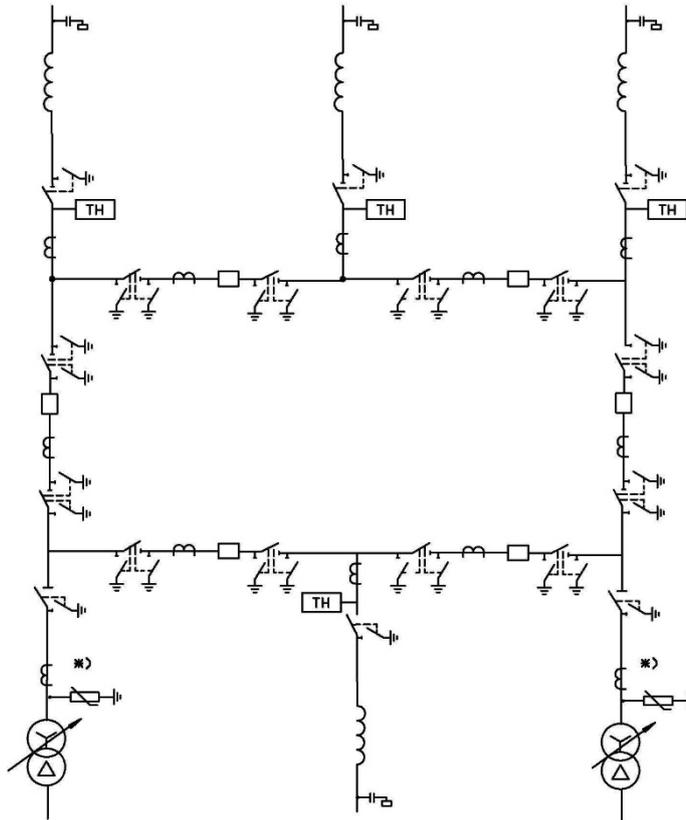


Рис. 9

Шестиугольник (схема 110-8):

1. трансформаторы тока, отмеченные \*), устанавливаются при соответствующем обосновании

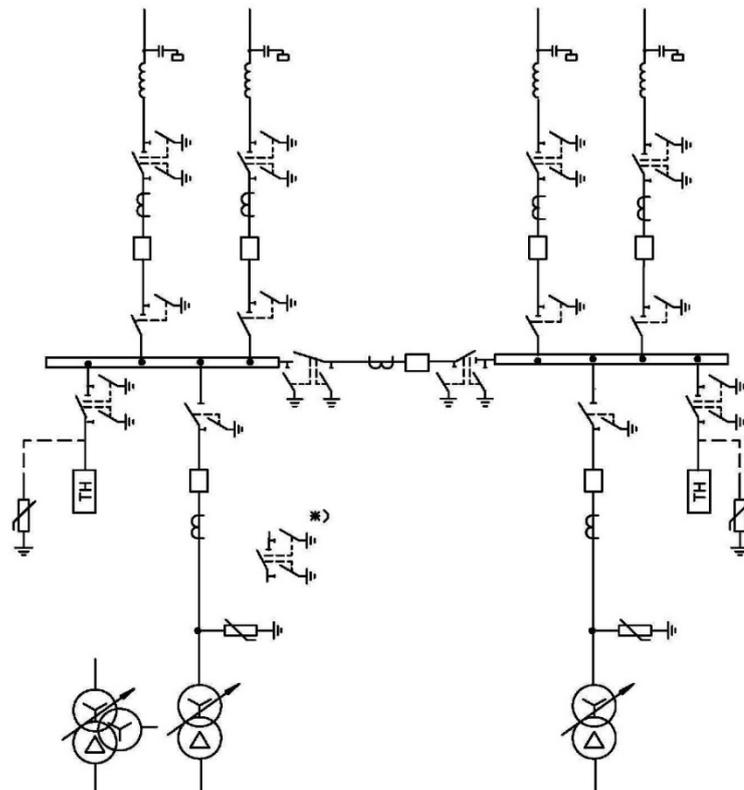


Рис. 10

Одна рабочая секционированная выключателем система шин (схема 110-9):

1. разъединители, отмеченные \*), в цепях трансформаторов устанавливаются при трехобмоточных трансформаторах или автотрансформаторах;
2. необходимость ОПН на шинах уточняется при конкретном проектировании.

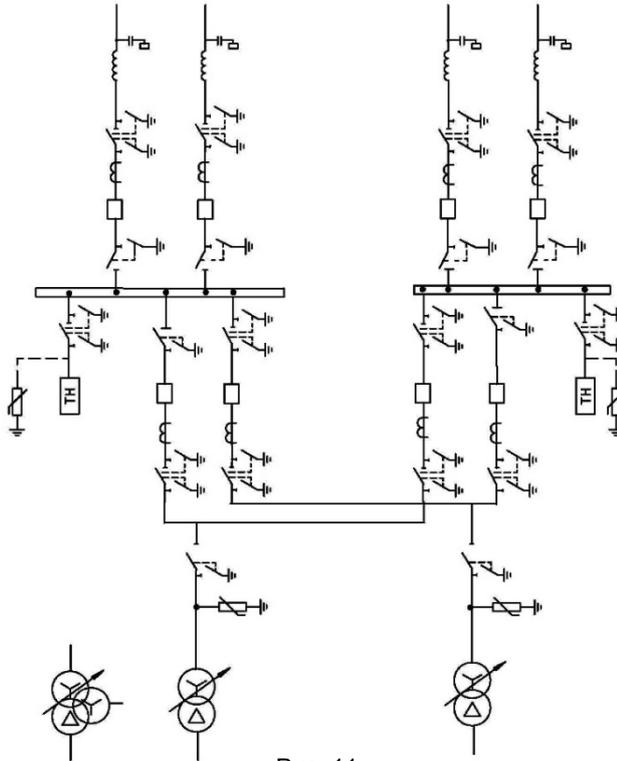


Рис. 11

Одна рабочая секционированная по числу трансформаторов система шин, с подключением трансформаторов к секциям шин через развилку выключателей (схема 110-9Н):  
 1. необходимость ОПН на шинах уточняется при конкретном проектировании

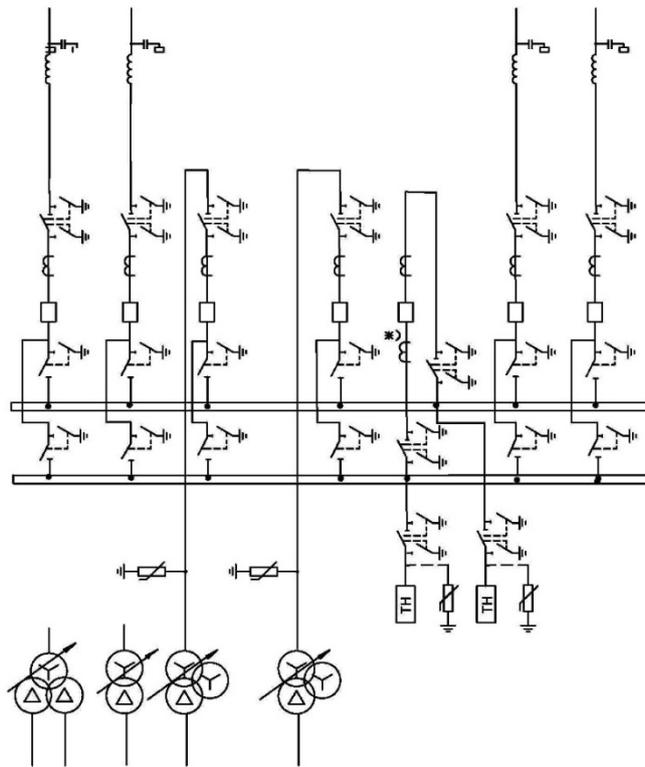


Рис. 12

Две рабочие системы шин (схема 110-13):  
 1. трансформаторы тока, отмеченные \*, устанавливаются при соответствующем обосновании;  
 2. необходимость ОПН на шинах уточняется при конкретном проектировании

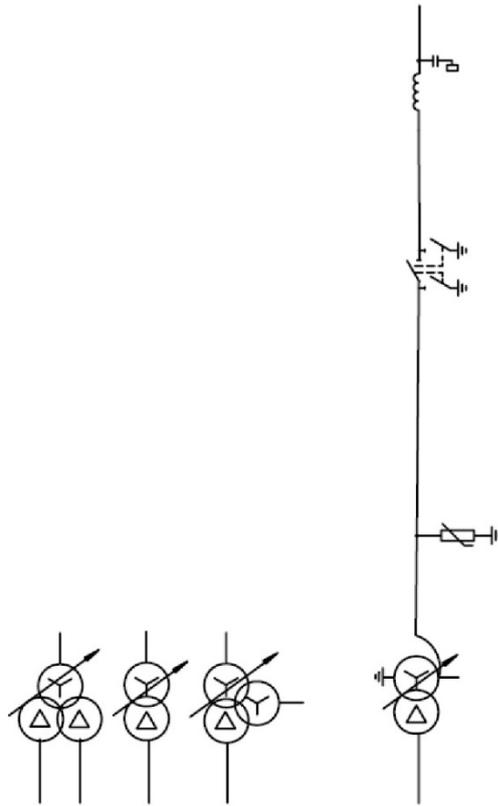


Рис. 13  
Блок (линия — трансформатор) с разъединителем (схема 220-1)

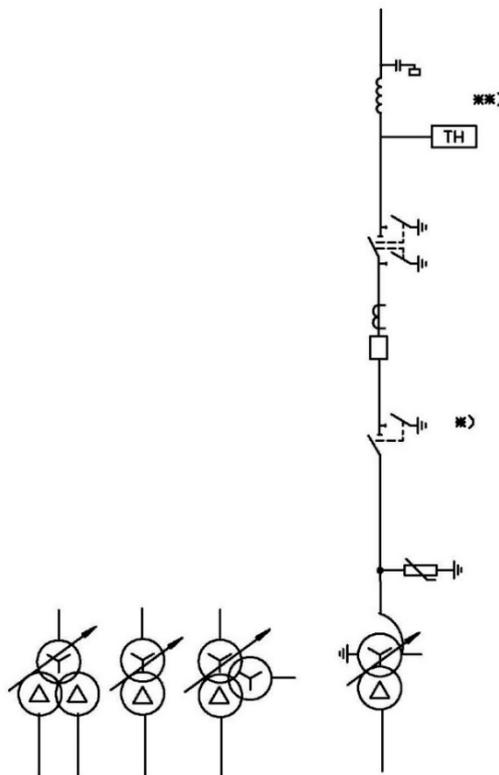


Рис. 14  
Блок (линия — трансформатор) с выключателем (схема 220-3Н):  
1. разъединитель, отмеченный \*, предусматривается при наличии питания со стороны СН;  
2. трансформатор напряжения, отмеченный \*\*, устанавливается при соответствующем обосновании

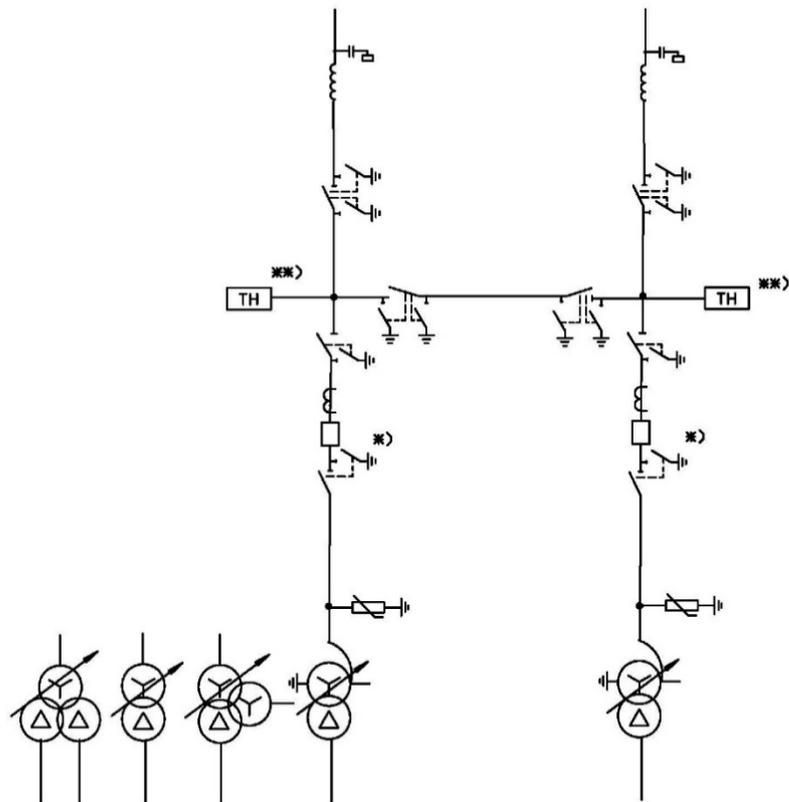


Рис. 15

- Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий (схема 220-4Н):
1. разъединители, отмеченные \*), предусматриваются при наличии питания со стороны СН;
  2. трансформаторы напряжения, отмеченные \*\*), устанавливаются при соответствующем обосновании

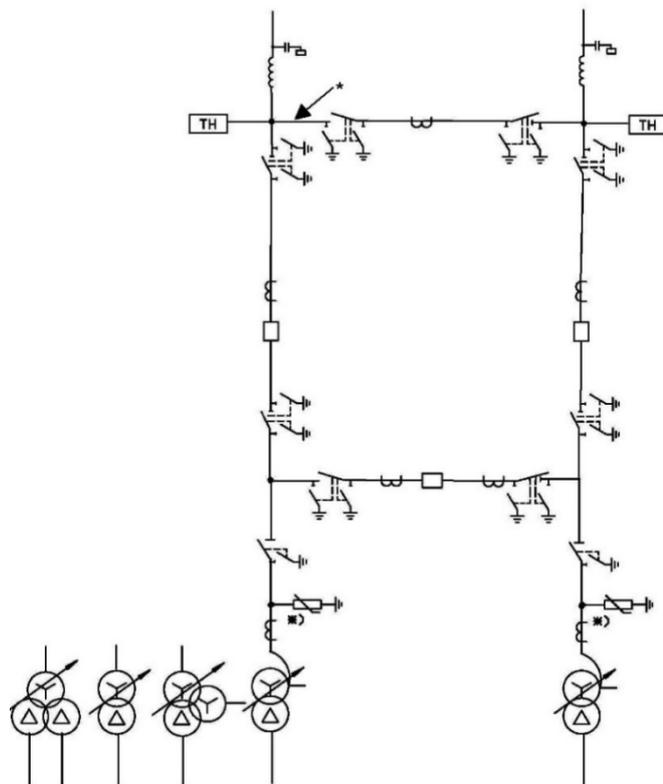


Рис. 16

- Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий (схема 220-5Н):
1. трансформаторы тока, отмеченные \*), устанавливаются при соответствующем обосновании;
  2. \* — ремонтная перемычка устанавливается при соответствующем обосновании

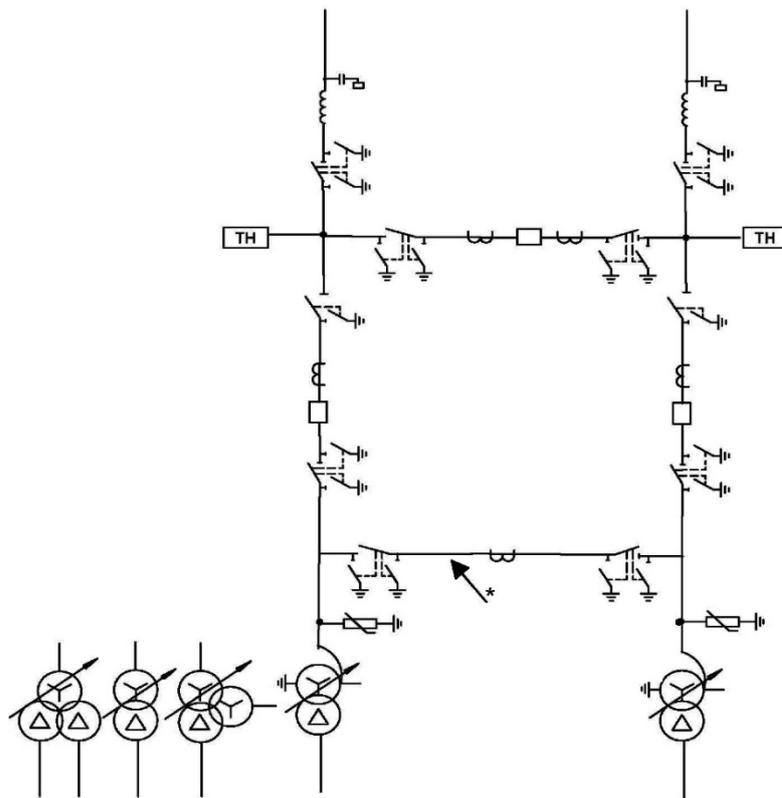


Рис. 17

Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов (схема 220-5АН):

1. \* — ремонтная перемычка устанавливается при соответствующем обосновании

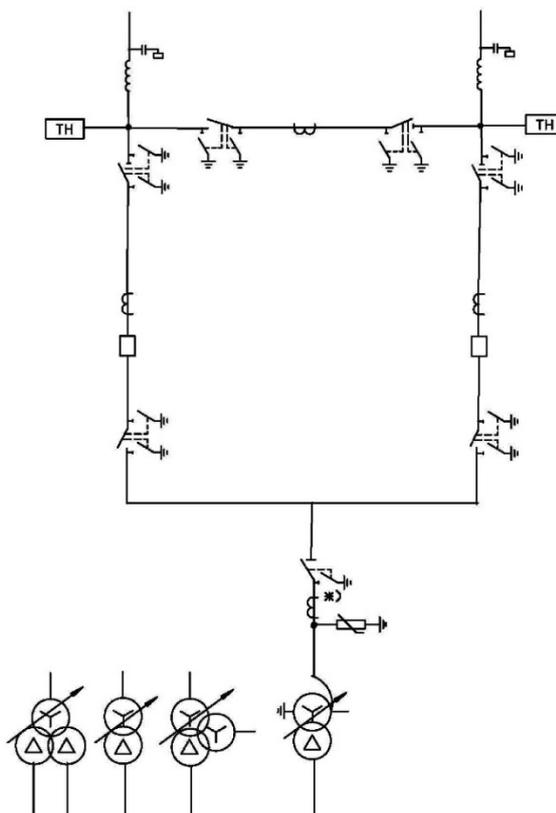


Рис. 18 Заход — выход (схема 220-6):

1. трансформаторы тока, отмеченные \*), устанавливаются при соответствующем обосновании

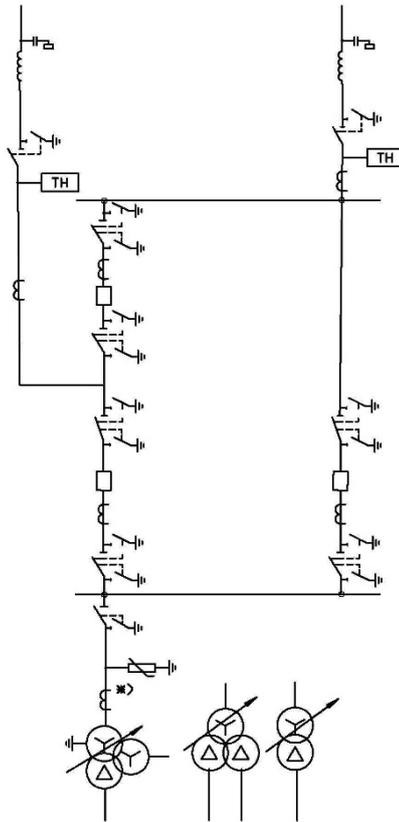


Рис. 19

Треугольник (схема 220-6Н):

1. трансформаторы тока, отмеченные \*), устанавливаются при соответствующем обосновании.

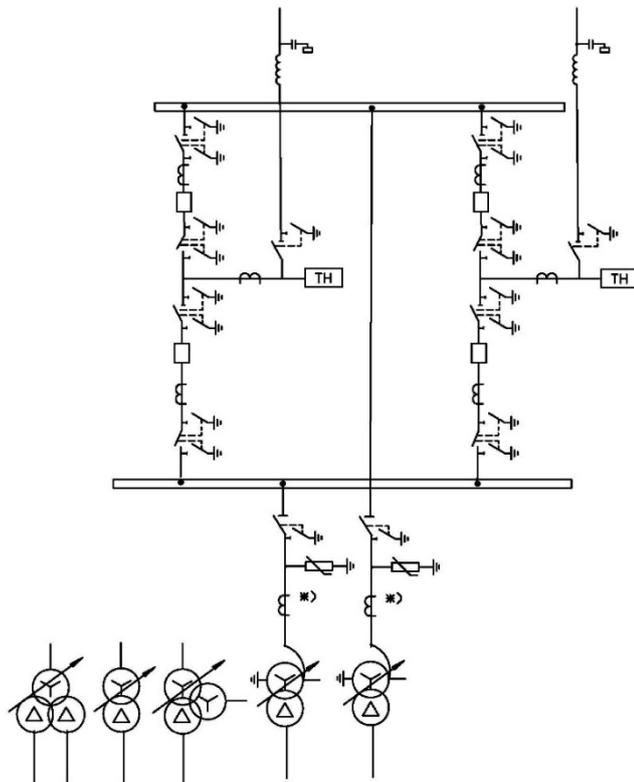


Рис. 20

Четырехугольник (схема 220-7):

1. трансформаторы тока, отмеченные \*), устанавливаются при соответствующем обосновании

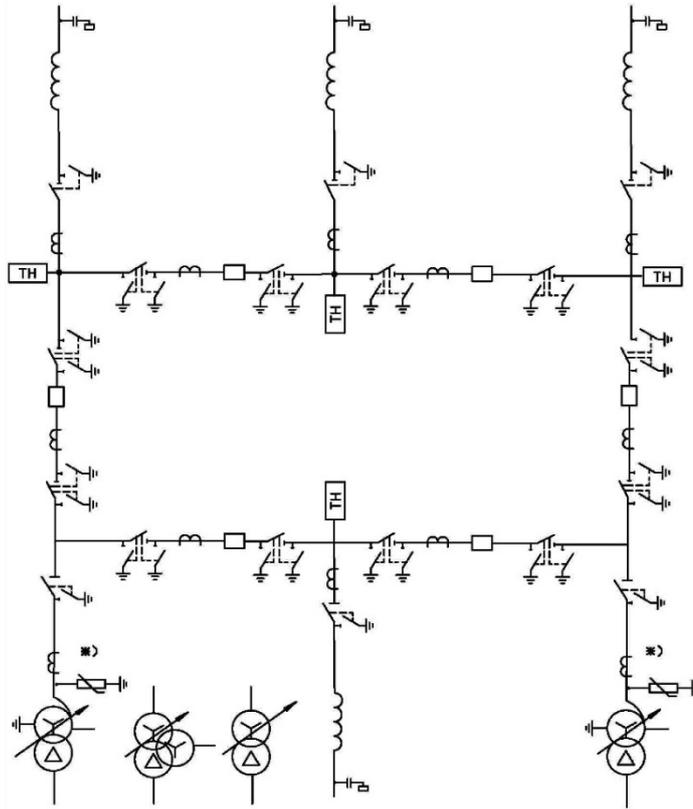


Рис. 21

Шестиугольник (схема 220-8):

1. трансформаторы тока, отмеченные \*), устанавливаются при соответствующем обосновании

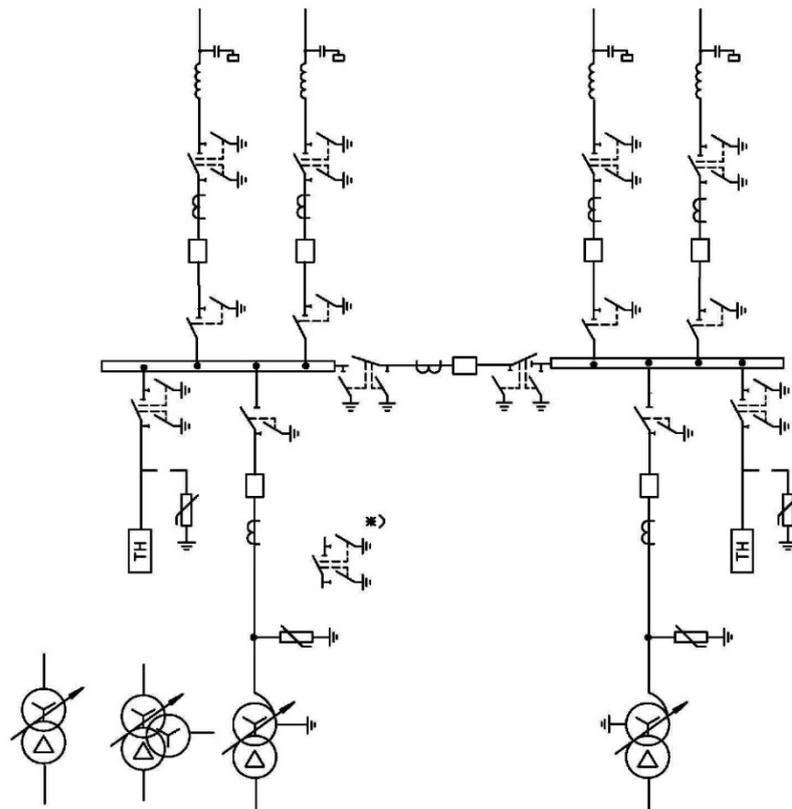


Рис. 22

Одна рабочая секционированная выключателем система шин (схема 220-9):

1. разъединители, отмеченные \*), в цепях трансформаторов устанавливаются при трехобмоточных трансформаторах или автотрансформаторах;
2. необходимость ОПН на шинах уточняется при конкретном проектировании

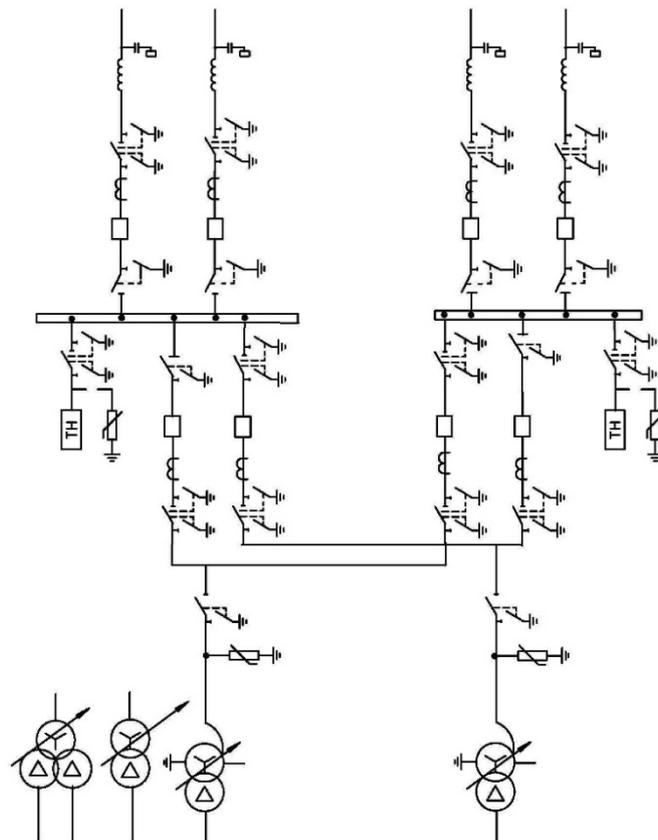


Рис. 23

Одна рабочая секционированная по числу трансформаторов система шин, с подключением трансформаторов к секциям шин через развилку выключателей (схема 220-9Н):

1. необходимость ОПН на шинах уточняется при конкретном проектировании

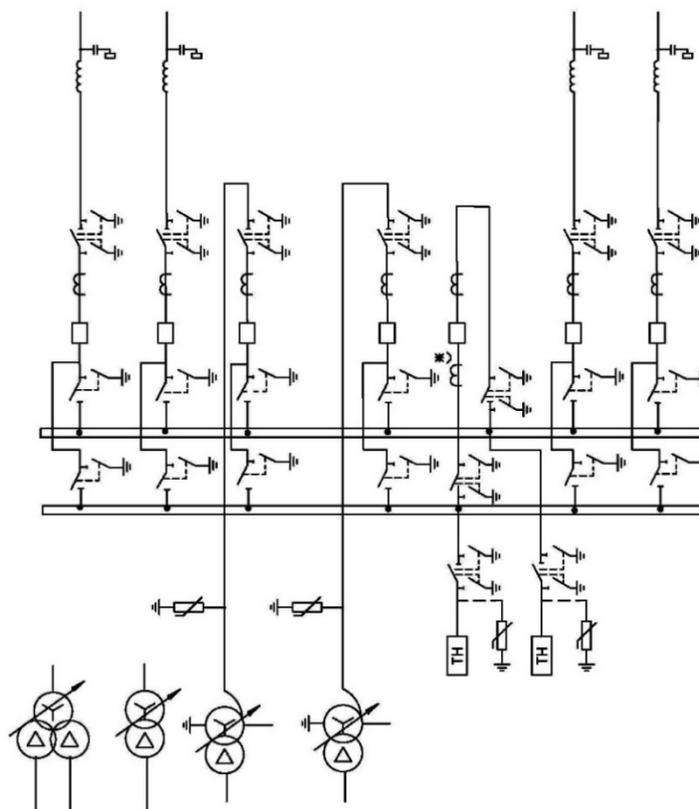


Рис. 24

Две рабочие системы шин (схема 220-13):

1. трансформаторы тока, отмеченные \*), устанавливаются при соответствующем обосновании;
2. необходимость ОПН на шинах уточняется при конкретном проектировании

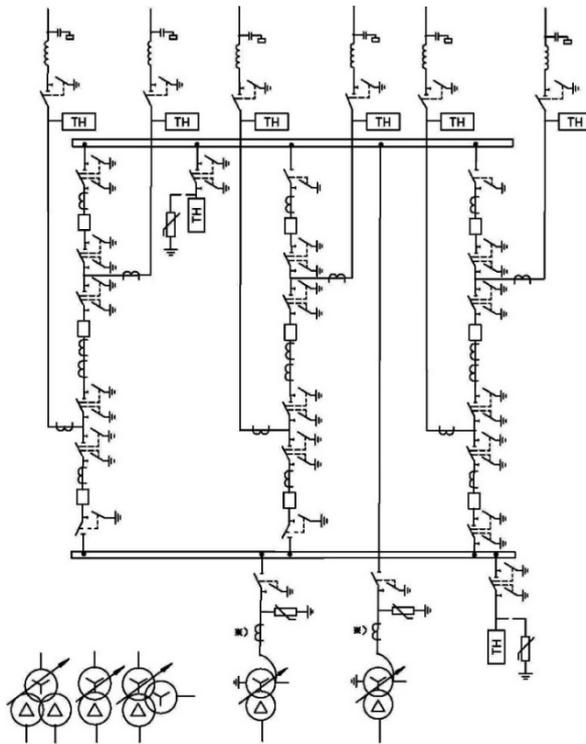


Рис. 25

Трансформатор-шины с полуторным присоединением линий (схема 220-16):

1. трансформаторы тока, отмеченные \*), устанавливаются при соответствующем обосновании;
2. необходимость ОПН на шинах уточняется при конкретном проектировании

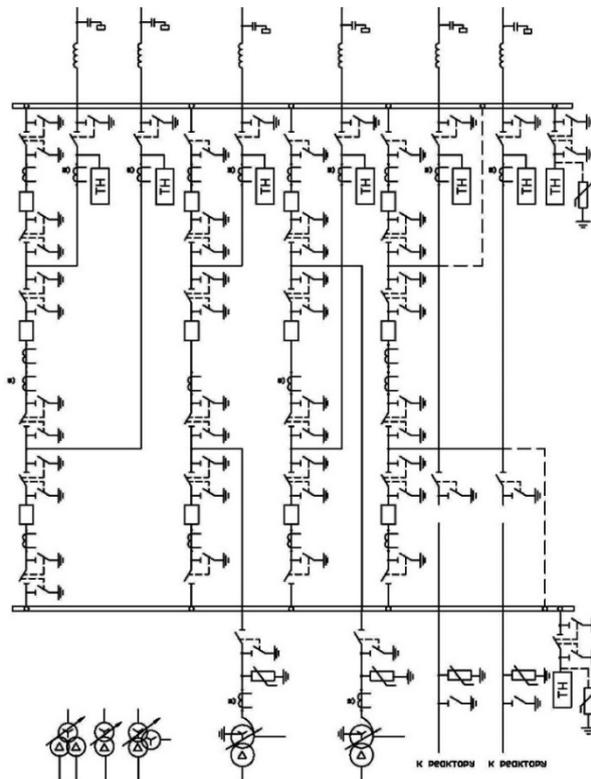


Рис. 26

Полуторная схема (схема 220-17):

1. сплошной линией показано присоединение реакторов к линиям, а пунктирной — непосредственно к шинам;
2. трансформаторы тока, отмеченные \*), устанавливаются при соответствующем обосновании;
3. необходимость ОПН на шинах уточняется при конкретном проектировании

5 Нумерация **существующих разделов 19 — 25** (с пунктами и ссылками на них) заменяется на **20 — 26** соответственно.