

А.В. Гринь, ведущий инженер-конструктор;
А.С. Мнека, технический директор;
ООО «Эстралин ПС»



ЗАЗЕМЛЕНИЕ

КАБЕЛЬНЫХ ВВОДОВ 110–500 кВ В КРУЭ И ТРАНСФОРМАТОРЫ

Аннотация: Заземление экранов кабелей в кабельных вводах в КРУЭ и трансформаторы (а также заземление самих кабельных вводов) имеет особенности, связанные как с конструкцией кабелей, так и с конструкцией и местом размещения КРУЭ и трансформаторов. В данной статье обобщены данные по этому вопросу из нормативных документов, информационных, технических документов, каталогов, инструкций и чертежей производителей кабельных вводов, а также приведены конкретные примеры заземлений по различным проектам.

Ключевые слова: кабельные линии 110–500 кВ; заземление экранов кабелей 110–500 кВ; кабельные вводы в распределительные устройства и трансформаторы.

Материал поступил в редакцию 12.08.2019
E-mail: info@estralin.com

Общие сведения о заземлении экранов кабелей на КЛ 110–500 кВ

На концах кабельных линий (КЛ) 110–500 кВ монтируются концевые муфты (КМ) или кабельные вводы в комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ) (сокращенно: «элегазовые вводы») и в трансформаторы (сокращенно: «трансформаторные вводы»). Выводы экранов кабелей на концах КЛ 110–500 кВ заземляются на контуры заземления. В случае двустороннего заземления экранов и заземления методом транспозиции заземляются с двух сторон КЛ, при одностороннем заземлении – с одной стороны КЛ непосредственно на контур заземления, с другой стороны КЛ – через ограничитель перенапряжения напряжений нелинейный (ОПН), расположенный, как правило, в коробе заземления с ОПН.

Заземление вывода экрана со стороны с КЛ с непосредственным заземлением на контур заземления может быть также через короб заземления без ОПН, который имеет внутри переключку, демонтируемую перед испытаниями оболочек кабелей напряжением 10 кВ постоянного тока. В этом случае использования короба заземления с ОПН или без ОПН, заземляющий провод с медной многопроволочной жилой, который идет от вывода экрана кабеля на концевой муфте или кабельного ввода к коробу, должен иметь изоляцию, выдерживающую напряжение 10 кВ постоянного тока.

Общим требованием для заземляющих проводников из медного многопроволочного провода является то, что сечение жилы этого проводника должно обеспечивать протекание требуемого тока короткого замыкания (КЗ).

В случае заземления экрана кабеля непосредственно на контур заземления используются, как правило, заземляющие проводники из медного гибкого провода без изоляции. Однако, если место присоединения заземляющего проводника к выводу экрана кабеля из концевой муфты или кабельного ввода находится в труднодоступном месте, что не позволяет отсоединить заземляющий проводник от вывода проволок экрана перед испытаниями оболочек кабелей, то заземление выполняется также проводом с медной жилой и изоляцией, выдерживающей 10 кВ постоянного тока, при этом один конец этого заземляющего провода присоединяется к выводу экрана кабеля, а второй конец, смонтированным на нём наконечником, присоединяется к контуру заземления подстанции.

Требования к заземлению кабельных вводов в КРУЭ и трансформаторы

Кабельные вводы в КРУЭ и трансформаторы могут быть как для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, так и для маслонаполненных кабелей. В конструкции кабельных вводов для любого кабеля имеется изолятор,

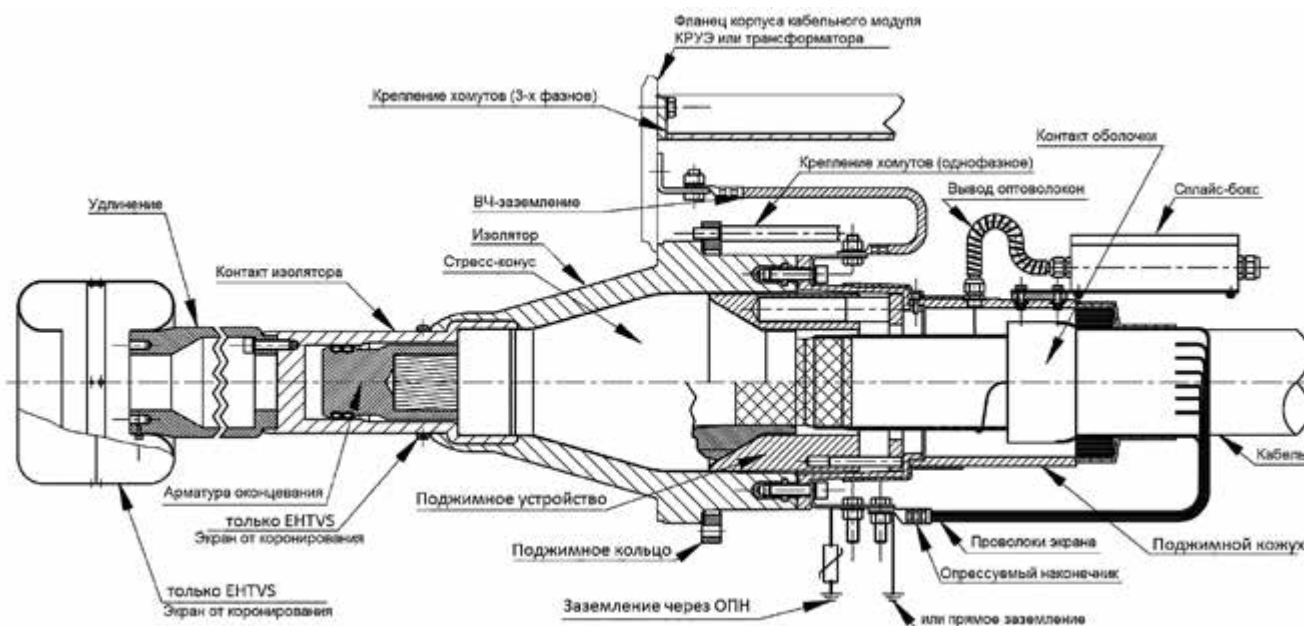


Рис. 1. Сборочный чертёж элегазовых вводов EHSVS 123-170 и трансформаторных вводов EHTVS 123-170 типов А и В производства компании Südkabel GmbH

смонтированный внутри кабельного отсека КРУЭ или трансформатора, и часть ввода, смонтированная на кабеле, состыкованная с изолятором. В современных кабельных вводах изоляторы изготовлены из эпоксидной смолы. Часть ввода, смонтированная на кабеле, имеет наконечник для жилы кабеля, стресс-конус для выравнивания поля, герметизирующий и стыковочный узел, а также узел для заземления экрана кабеля.

Кабельные вводы могут быть или «сухие» (без заполнения изоляторов изоляционной жидкостью), или маслонаполненные, когда внутри изолятора залита изоляционная жидкость (например, нефтяные масла, полибутен, или полиметилсилоксановая жидкость).

Конструкция узла для вывода экрана кабеля зависит от конструкции кабеля. Металлический корпус кабельного модуля (отсека) КРУЭ или трансформатора заземляется на контур заземления. В соответствии с требованиями п. 1.7.144 «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ) [1], вывод экрана кабеля в кабельном вводе в КРУЭ или трансформатор, а также металлические части кабельного ввода, должны заземляться на контур заземления отдельно от заземления металлического корпуса кабельного модуля (отсека) КРУЭ или трансформатора.

В кабельных вводах экран кабеля электрически соединяется с металлическим корпусом различными способами: пайкой, механическим присоединением проволок экрана к корпусу (или к уголку заземления, закрепленному на корпусе), или, например, с помощью специальных переходных контактных разрезных медных колец с приваренными медными проволоками, которые припаиваются к экрану кабеля из медной гофрированной фольги или к экрану из свинца.

При испытаниях оболочек кабелей на вывод экрана кабеля подаётся напряжение 10 кВ постоянного тока [2], при этом заземляющий проводник должен быть отсоединён от вывода экрана кабеля. Чтобы это напряжение не попало на заземлённый металлический корпус КРУЭ,

в конструкциях кабельных вводов предусмотрены специальные изоляционные промежутки. В кабельных вводах, имеющих эпоксидные изоляторы, роль изоляционного промежутка выполняет выступающая за фланец корпуса кабельного модуля цилиндрическая часть изолятора (как, например, в кабельных вводах производства компании Südkabel GmbH [3]) или отдельные изолирующие узлы. Например, в кабельных вводах Connex 5-S фирмы Pfisterer это изолирующая пластиковая втулка, монтируемая внутри корпуса кабельного ввода и поджимающая стресс-конус [4], в маслонаполненных кабельных вводах CFMT-245 фирмы Prysmian это изоляционное кольцо из эпоксидной смолы, монтируемое снизу на фланец кабельного ввода [5].

В качестве примера на рис. 1 приведён сборочный чертёж элегазовых вводов EHSVS 123-170 и трансформаторных вводов EHTVS 123-170 типов А и В производства компании Südkabel GmbH. Медные проволоки экрана кабеля выводятся из-под герметизирующей термоусаживаемой трубки, усаженной на оболочку кабеля, и собираются в жгут (или несколько жгутов, если сечение проволок экрана кабеля более 120 мм²). На конец жгута напрессовывается медный кабельный наконечник, который присоединяется к уголку заземления, смонтированному на фланце металлического поджимного кожуха. Если жгутов несколько, то наконечники, смонтированные на концах жгутов, присоединяются к отдельным уголкам заземления, входящим в комплект поставки, и смонтированным на фланце поджимного кожуха. Заземляющий проводник с наконечником на конце (в комплект поставки не входит) присоединяется к большому уголку заземления, смонтированному на фланце поджимного кожуха. Могут быть использованы не один, а несколько медных заземляющих проводников с наконечниками, каждый из которых присоединяется к уголку заземления с присоединённым к нему жгутом проволок экрана кабеля (суммарное сечение этих медных заземляющих

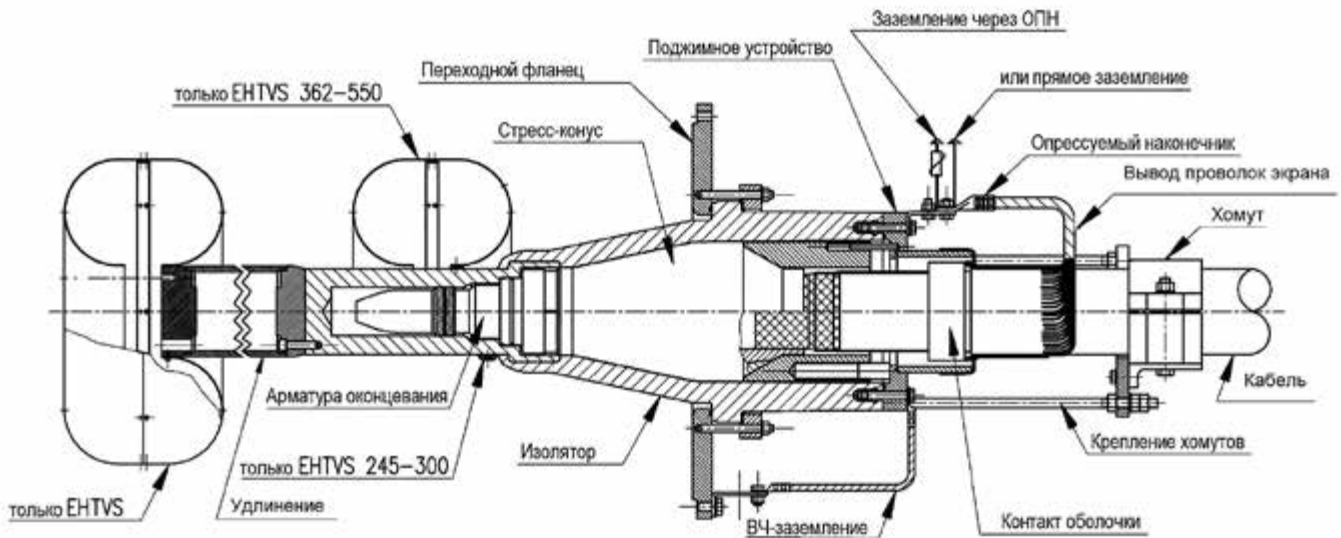


Рис. 2. Сборочный чертёж элегазовых вводов EHSVS 245-550 и трансформаторных вводов EHTVS 245-550 типов E, F и H производства компании Südkabel GmbH

проводников должно быть не менее сечения проволок экрана кабеля).

На рис. 2 приведён сборочный чертёж элегазовых вводов EHSVS 245-550 и трансформаторных вводов EHTVS 245-550 типов E, F и H производства компании Südkabel GmbH. Соединение эпоксидного изолятора с фланцем корпуса кабельного модуля у них осуществляется через переходной фланец. Вывод медных проволок экрана производится так же, как в элегазовых вводах EHSVS 123-170 и трансформаторных вводах EHTVS 123-170 типов A и B.

На рис. 1 и 2 показаны также высокочастотные заземляющие переключки (ВЧ-заземления), о конструкции и назначении которых будет сказано ниже.

Особенности заземления кабельных вводов в КРУЭ

Информация об особенностях заземления кабельных вводов в КРУЭ и рекомендации по заземлениям приведены в публикации ENGINEERING RECOMMENDATION C 55/4 [6], в IEC 62271-209 Ed.1 [7], в публикации ELECTRA 151 [8], публикации CIGRE Brochure 283 [9], а также в техническом документе E114-04e компании Südkabel GmbH [10].

При эксплуатации КРУЭ на металлическом корпусе КРУЭ возникают кратковременные повышения нулевого потенциала (переходные напряжения). Переходные напряжения вызываются не токами рабочей частоты, а токами высокой частоты. Переходное напряжение может быть генерировано ударами молнии, срабатыванием грозовых разрядников, замыканием фазы на землю и разрядами при переключениях (в основном при размыкании).

Переходное напряжение на корпусе создаётся токами, идущими в систему заземления и на ёмкость установки КРУЭ, и может иметь время нарастания всего лишь от 3 до 20 нс, но сохраняется только в течение максимум 20–30 мс. Токи высокой частоты вызывают локальное кратковременное повышение нулевого потенциала из-за относительно высокой реактивности

обычных соединений заземления. Например, прямой медный провод длиной 1 метр может иметь реактивное сопротивление около 60 Ом на частоте 10 МГц, а при 50 Гц оно будет около 0,003 Ом. Соединения системы заземления должны быть максимально короткими и прямыми. Высокочастотные переходные процессы, как правило, ограничиваются внутренней частью экрана, создаваемого металлическим корпусом КРУЭ, и поэтому не вызывают проблем внутри КРУЭ. Вместе с тем, у всех КРУЭ имеются разрывы сплошности корпуса, на которых возникают перенапряжения вследствие переходных процессов. Разрывы сплошности имеются среди прочих, на вводах воздушных линий, проходных изоляторах трансформатора/реактора и изоляторах кабельных вводов. Перенапряжение на изоляторах кабельных вводов может привести к искрениям (например, к искрениям на фланцах корпусов кабельных модулей КРУЭ со смонтированными эпоксидными изоляторами кабельных вводов) и созданию электромагнитных помех во вторичных цепях оборудования подстанции.

На рис. 3 показано прямое заземление металлического корпуса КРУЭ и металлической части кабельного ввода, при котором возможно появление переходного перенапряжения на корпусе КРУЭ и искрения с фланца кабельного модуля КРУЭ. Этот эффект наблюдается на кабельных вводах в КРУЭ, в которых разъединители (переключатели) установлены внутри основного КРУЭ. Не наблюдается данный эффект на кабельных вводах в трансформаторы, внутри которых нет переключающих устройств.

Для борьбы с негативными последствиями наведённых перенапряжений применяются многоточечные заземляющие соединения между фланцем кабельного модуля КРУЭ и металлической частью кабельного ввода. Эти специальные соединения называются «Высокочастотные соединения заземления» (ВЧ-заземления).

Если вывод экрана кабеля непосредственно заземляется на контур заземления (без ОПН) и на кабелях, подходящих к кабельным вводам, не установлены измерительные трансформаторы тока, то возможно прямое

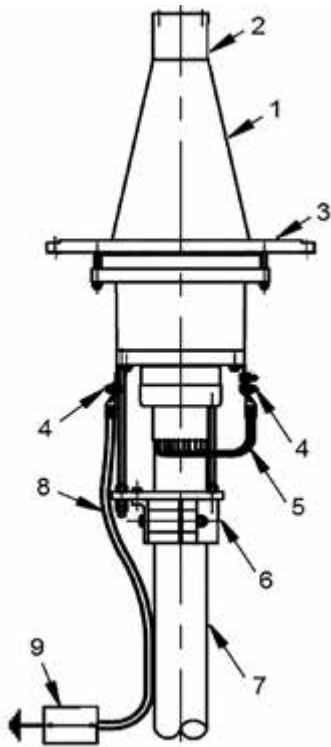


Рис. 3. Прямое заземление вывода экрана кабеля на контур заземления, ВЧ-заземления не смонтированы

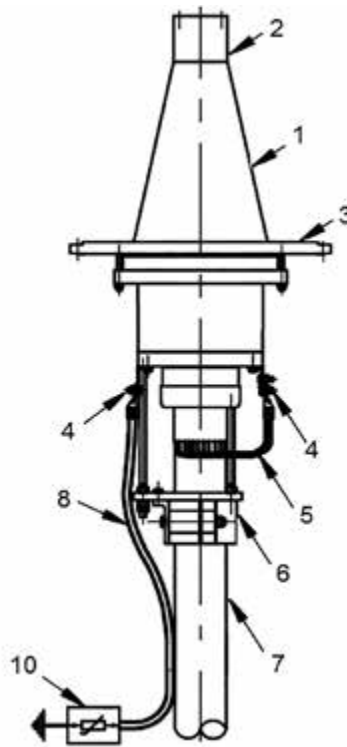


Рис. 4. Заземление экрана кабеля через короб заземления с ОПН заземл. ВЧ-заземления не требуются

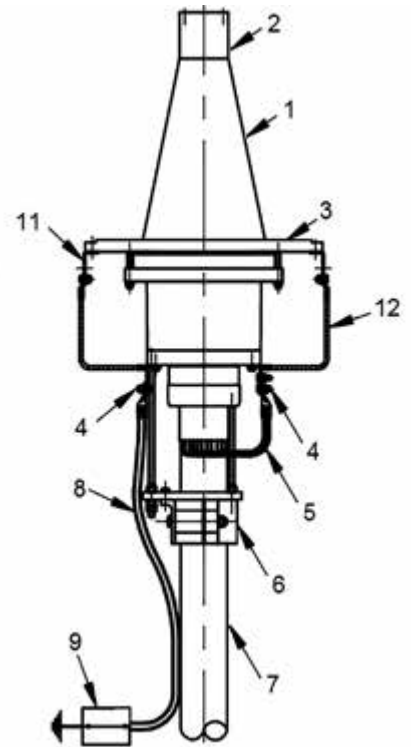


Рис. 5. Прямое заземление вывода экрана кабеля на контур заземления, с прямым соединением ВЧ-заземлениями (без ОПН вч) металлического корпуса КРУЭ и металлической части кабельного ввода с присоединёнными к ней проволоками экрана

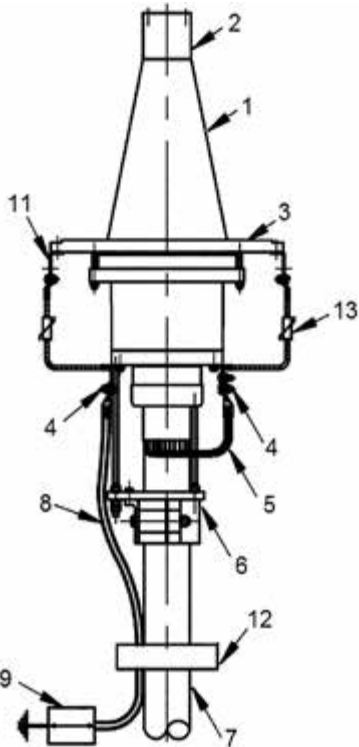


Рис. 6. Прямое заземление вывода экрана кабеля на контур заземления с соединением ВЧ-заземлениями с ОПН вч металлического корпуса КРУЭ и металлической части кабельного ввода с присоединёнными проволоками экрана. Имеется трансформатор тока. ОПН вч с напряжением срабатывания U_c (ОПН вч) $\geq 0,4$ кВ

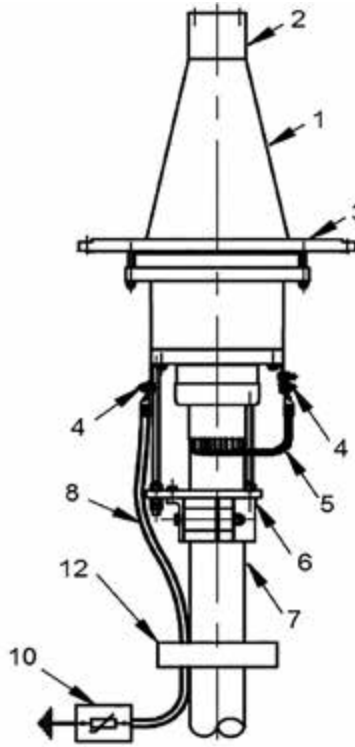


Рис. 7. Заземление экрана кабеля через короб заземления с ОПН заземл. На кабеле смонтирован трансформатор тока. ВЧ-заземления не требуются

заземление корпуса кабельного модуля КРУЭ на металлическую часть кабельного ввода с помощью ВЧ-заземлений, изготовленных из медных полос, Z-образных шин или медного многопроволочного провода с наконечниками на концах, как показано на рис. 5. Сечение медных шин или полос рекомендуется не менее 35 мм^2 , количество ВЧ-заземлений не менее 3 штук (рекомендуется 4 штуки), располагаться они должны, по возможности, равномерно по окружности. Между эпоксидным изолятором и медными полосами, шинами или наконечниками ВЧ-заземлений должен быть зазор не более 20 мм. Длина ВЧ-заземлений должна быть как можно короче.

На кабельных вводах могут монтироваться измерительные трансформаторы тока, предназначенные для контроля тока по жиле силового кабеля, а также трансформаторы тока, предназначенные для измерения уровня частичных разрядов (ЧР) в кабельной линии.

Измерительные трансформаторы тока монтируются на силовом кабеле

под кабельным вводом. В случае прямого заземления экрана кабеля, трансформатор тока должен охватывать как оболочку силового кабеля, так и заземляющий проводник, соединяющий вывод экрана кабеля с контуром заземления. Это необходимо для устранения погрешности измерений тока по жиле кабеля из-за влияния тока по экрану кабеля.

Трансформатор тока для измерения уровня частичных разрядов (ЧР) находится в составе устройства для измерения ЧР. Устройство для измерения ЧР монтируется на фланце металлического корпуса кабельного ввода, к которому присоединены проволоки экрана (если в кабельном вводе смонтирован ёмкостной датчик ЧР, электрически соединённый с фланцем), или непосредственно на оболочке кабеля под кабельным вводом. Эти трансформаторы тока в устройствах для регистрации ЧР не предназначены для регистрации тока по жиле кабеля.

При наличии в кабельном вводе трансформатора тока, ВЧ-заземления должны быть со специальными ограничителями перенапряжений (ОПН вч) для того, чтобы устранить влияние токов через ВЧ-заземления на результаты измерений.

На рис. 3–7 приведены в качестве примера рисунки возможных вариантов заземления экрана кабеля и монтажа ВЧ-заземлений на кабельных вводах производства компании Südkabel, конструкция которых приведена на рис. 1 и 2.

Перечень позиций, показанных на рис. 3–7:

- 1 – изолятор кабельного ввода;
- 2 – контакт изолятора;
- 3 – фланец корпуса кабельного модуля КРУЭ или переходной фланец;



Рис. 8. Элегазовые вводы EHSVS 145 А, смонтированные на трехфазном кабельном модуле КРУЭ фирмы «ABB» типа ELK-04 старой конструкции

- 4 – присоединение к поджимному устройству кабельного ввода;
- 5 – вывод проволок экрана кабеля;
- 6 – крепление кабеля;
- 7 – кабель;
- 8 – провод заземления;
- 9 – короб заземления для прямого заземления экрана (опция);
- 10 – короб заземления с ОПН заземл.;
- 11 – присоединение к фланцу кабельного модуля КРУЭ или к переходному фланцу;
- 12 – трансформатор тока;
- 13 – ВЧ-заземление с ОПН вч.

Во всех вариантах корпус кабельного модуля КРУЭ с фланцем, на котором смонтирован эпоксидный изолятор элегазового ввода, заземлён на контур заземления отдельно от заземления экрана кабеля.

Варианты заземления следующие:

А. Прямое заземление вывода экрана кабеля на контур заземления, представленное на рис. 3. Заземление может быть выполнено заземляющим проводником из медного провода (без изоляции или с изоляцией, выдерживающей 10 кВ постоянного тока) непосредственно на контур заземления, или, если заземление производится через короб заземления, заземляющим проводником из провода с изоляцией, выдерживающей 10 кВ постоянного тока.

Как указывалось выше, если корпус кабельного модуля смонтирован в КРУЭ, в которых разъединители (переключатели) установлены внутри основного КРУЭ, то возможно появление искрения на фланцах из-за высокочастотных наводок на корпусе в КРУЭ.

В. Прямое заземление вывода экрана кабеля на контур заземления (непосредственно на контур заземления, или через короб заземления), с прямым соединением ВЧ-заземлениями (без ОПН вч) металлического корпуса КРУЭ и металлической части кабельного ввода, представленное на рис. 5. ВЧ-заземления (не менее 3 штук на каждый элегазовый ввод) шунтируют высокочастотные токи, наведённые на корпус КРУЭ, поэтому искрений с фланца кабельного модуля КРУЭ не возникает.

Г. На рис. 6 показан вариант прямого заземления вывода экрана кабеля на контур заземления, с соединением ВЧ-заземлениями с ОПН вч металлического корпуса КРУЭ и металлической части кабельного ввода с присоединёнными к ней проволоками экрана. В конструкции смонтированного кабельного ввода имеется трансформатор тока (измерительный, или для регистрации уровня ЧР). Напряжение срабатывания U_c специальных ограничителей перенапряжений ОПН вч на ВЧ-заземлениях должно быть не менее 0,4 кВ.

Д. На рис. 7 представлен вариант заземления экрана кабеля через короб заземления с ОПН заземл. На кабеле смонтирован трансформатор тока. Так же, как в указанном в подпункте **Б** варианте заземления, ВЧ-заземления не требуются.

Схема заземления, представленная на рис. 5, используется при заземлении элегазовых вводов, показанных на рис. 8–12. На рис. 8 показаны элегазовые вводы EHSVS 145 А, смонтированные на трехфазном кабельном модуле КРУЭ фирмы «ABB» типа ELK-04 старой конструкции



Рис. 9. Элегазовые вводы EHSVVS 245 E с ВЧ-заземлениями из медного провода без ОПН и с непосредственным заземлением вывода экрана кабеля на контур заземления

(ПС 220 кВ «Завод Ильича», проект переустройства ВЛ 110 кВ «Северная 3/Северная 15» в кабельное исполнение, г. Санкт-Петербург). Выводы проволок экрана кабеля в каждом элегазовом вводе разделены на три жгута, на концах которых напрессованы наконечники. Эти наконечники присоединены к трем уголкам заземления, смонтированным на поджимном кожухе. К одному из уголков заземления присоединен наконечник заземляющего проводника из провода с изоляцией на 10 кВ, который идет вниз к коробу заземления без ОПН, установленному в подвале КРУЭ. На каждом элегазовом вводе между поджимным кожухом и фланцем корпуса кабельного модуля КРУЭ смонтированы по 3 штуки ВЧ-заземлений из медного провода (без ОПН).

На рис. 9 показаны элегазовые вводы EHSVVS 245 E с ВЧ-заземлениями из медного провода без ОПН (4 штуки) и с непосредственным заземлением вывода экрана кабеля на контур заземления через короб заземления без ОПН. ВЧ-заземления (4 штуки) смонтированы между уголками заземления на промежуточном фланце и уголками заземления на фланце поджимного кожуха элегазового ввода. Заземляющий проводник изготовлен из провода с изоляцией, выдерживающей 10 кВ постоянного тока. Наконечник, смонтированный на заземляющем проводнике с изоляцией, присоединен к одному из уголков заземления на фланце поджимного кожуха элегазового ввода.

Заземление медным проводником с изоляцией на 10 кВ позволяет изолировать заземляющий проводник от заземленных металлоконструкций. Так, например, было выполнено заземление экрана кабеля 220 кВ, выведенного из кабельных вводов в КРУЭ 220 кВ типа EHSVVS 245 E производства компании

Südkabel GmbH, смонтированных в сентябре 2018 года в КРУЭ 245 кВ фирмы Siemens AG марки 8DN9-2 на Усть-Среднеканской ГЭС (Магаданская обл., п. Синегорье).

В связи с тем, что прокладка КЛ была в зоне вечной мерзлоты, кабели 220 кВ были проложены по эстакаде и заходили в помещение КРУЭ через стену выше уровня грунта. Кабельные модули КРУЭ были направлены вверх, кабель проходил под потолком помещения КРУЭ и заходил сверху вниз в кабельные модули. Монтаж кабельных вводов производился на временных помостах, которые после монтажа демонтировались. По контуру помещения КРУЭ, вдоль галереи, была проложена полоса заземления, соединенная с контуром заземления КРУЭ. При монтаже кабельных вводов EHSVVS 245 E к выводам проволок экрана кабеля были присоединены наконечники заземляющих проводников из провода ПП 1×240 (гж) с изоляцией, выдерживающей 10 кВ постоянного тока. Наконечники на вторых концах этих заземляющих проводников были присоединены



Рис. 10. Заземление элегазовых вводов APEGA 2454, смонтированных в КРУЭ 220 кВ фирмы Siemens на ПС «Матвеевская» (г. Москва)

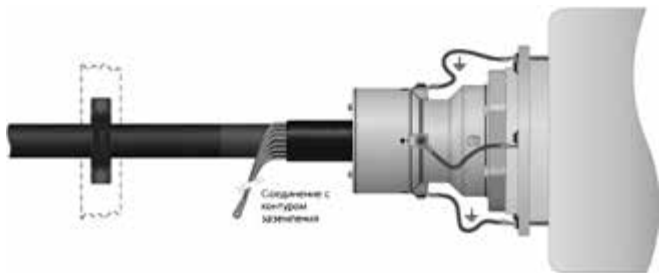


Рис. 11. Заземление элегазовых вводов *Sonnex 6-S* новой конструкции (прямое)

к полосе заземления, соединенной с контуром заземления КРУЭ. Таким образом, для испытаний оболочек кабелей нужно только, находясь на галерее, отсоединить наконечники заземляющих проводники от контура заземления, и после этого можно подавать на экраны кабелей через эти заземляющие проводники испытательное напряжение 10 кВ постоянного тока.

На рис. 10 показано заземление маслонаполненных элегазовых вводов APEGA 2454 фирмы ABB Kabeldon (Швеция), смонтированных в КРУЭ 220 кВ фирмы Siemens AG на ПС «Матвеевская» (Москва). Конструкция элегазовых вводов APEGA 2454 и технические характеристики приведены в каталоге [11]. Вывод медных проволок экрана кабеля поджимается специальной колодкой к металлическому корпусу поджимного кожуха, затем разделяется на два жгута с наконечниками на концах. Эти наконечники присоединены с двух сторон с помощью болта с гайкой и шайбой к облуженной поверхности стальной полосы заземления, соединенной с контуром заземления подстанции. На каждом элегазовом вводе смонтировано по 3 штуки ВЧ-зазем-



Рис. 13. Элегазовые вводы EHSVS 362-550 компании *Südkabel GmbH* со смонтированными ВЧ-заземлениями с ОПН вч. Вариант с креплением ОПН вч на ВЧ-заземлениях на медных уголках, закреплённых на промежуточном фланце

лений из медных проводов, электрически соединяющих переходной фланец, на котором смонтирован эпоксидный изолятор, и контактные пластины, смонтированные на фланце поджимного кожуха.

На рис. 11 и 12 показано прямое заземление кабельных вводов *Sonnex 6-S* новой конструкции. Медные проволоки экрана кабеля выводятся из-под герметизирующей термоусаживаемой трубки, посаженной на оболочку кабеля,



Рис. 14. Элегазовые вводы EHSVS 362-550 компании *Südkabel GmbH* со смонтированными ВЧ-заземлениями с ОПН вч. Вариант с креплением ОПН вч на ВЧ-заземлениях на планках, закреплённых на фланце поджимного кожуха



Рис. 12. ВЧ-заземления без ОПН на кабельном вводе *Sonnex 6-S* фирмы *Pfisterer* (входят в комплект поставки)

собираются в жгут (или в два жгута, если сечение проволок экрана более 200 мм²), на конце жгута (или двух жгутов) напрессовываются наконечники, которые присоединяются непосредственно к контуру заземления. В комплекты кабельных вводов *Sonnex 6-S* входят по 4 штуки ВЧ-заземлений (без ОПН вч) из гибкого медного провода сечением 50 мм² с наконечниками, которые монтируются между поджимным кольцом, предназначенным для монтажа эпоксидного изолятора в корпусе кабельного модуля КРУЭ, и напльями на поджимном кожухе кабельного ввода, как показано на рис. 12.

На рис. 13 и 14 показаны элегазовые вводы EHSVS 362-550 компании *Südkabel GmbH* со смонтированными ВЧ-заземлениями с ОПН вч (4 штуки на каждом вводе). Схема заземления соответствует рис. 6, приведённой выше. Напряжение срабатывания ОПН вч на ВЧ-заземлениях U_c (ОПН вч) не менее 0,4 кВ.

КРУЭ, в которых на кабельных вводах допускается отсутствие ВЧ-заземлений

Существуют КРУЭ, конструкция которых разработана с учетом необходимости снижения наведенных высокочастотных



Рис. 15. КРУЭ 110 кВ фирмы ALSTOM на ПС «Чагино» со смонтированными маслонаполненными элегазовыми вводами типа EHS(D)V 123 фирмы Sudkabel



Рис. 16. КРУЭ 220 кВ фирмы ALSTOM на ПС «Чагино» со смонтированными элегазовыми вводами типа Conplex 6-S старой конструкции (без ВЧ-заземлений)



Рис. 17. Заземление корпусов кабельных модулей КРУЭ 145 кВ фирмы Siemens AG типа 8DN8, смонтированных в 2019 г. на ПС «Кустаревская» в г. Уфе

перенапряжений при эксплуатации. Это, например, КРУЭ 110 кВ и 220 кВ фирмы ALSTOM, которые в Москве смонтированы на ПС «Чагино», приведённые на рис. 15 и 16. В них каждый фланец кабельного модуля КРУЭ крепится на заземлённой опорной металлоконструкции с помощью четырёх длинных опорных шпилек, которые выполняют одновременно роль ВЧ-заземлений, так как соединяют электрически фланец кабельного модуля КРУЭ с заземлённой металлоконструкцией. В результате в этом случае допускается не монтировать дополнительно ВЧ-заземления между фланцем корпуса кабельного модуля КРУЭ и металлическим корпусом кабельного ввода, к которому присоединены вывод экрана кабеля и заземляющий проводник. За время эксплуатации кабельных вводов в КРУЭ на ПС «Чагино» не было зафиксировано искрений с выступающих частей кабельных модулей при переключениях в КРУЭ.

Следует отметить, что снижение наведённых высокочастотных перенапряжений при эксплуатации можно достичь также с помощью хорошо организованного заземления кабельных модулей КРУЭ на контур заземления подстанции. Например, в описаниях КРУЭ

фирмы Siemens типов 8DN8 и 8DN9 нет требований об обязательном использовании на кабельных вводах ВЧ-заземлений [12, 13]. Вероятно, это связано с хорошей организацией заземления корпусов кабельных модулей КРУЭ. Например, при монтаже однофазных кабельных модулей КРУЭ 245 кВ типа 8DN9 фирмы Siemens корпуса кабельных модулей трёх фаз для одной кабельной линии соединяются металлической шиной, которую соединяют заземляющими проводниками с контуром заземления подстанции. В качестве примера, на рис. 17 показано заземление корпуса в трёхфазных кабельных модулях КРУЭ 145 кВ фирмы Siemens типа 8DN8, смонтированных в 2019 г. на ПС «Кустаревская» в г. Уфе, на контур заземления подстанции отдельным медным многопроволочным проводником, входящим в комплект КРУЭ, и подсоединённым к фланцу корпуса кабельного модуля.

Согласно IEC 62271-209 Ed.1 [7] определение типа ВЧ-заземлений и поставка осуществляется производителем элегазовых вводов с учётом требований производителя КРУЭ.

Особенности заземления маслонаполненных кабельных вводов в КРУЭ и трансформаторы

В конструкции большинства маслонаполненных кабельных вводов имеются компенсационные бачки (или баки давления) системы подпитки маслом, частично заполненные воздухом, который сжимается при нагреве масла во время эксплуатации. Это предотвращает создание избыточного давления масла при эксплуатации, способного привести к повреждению кабельного ввода. В некоторых маслонаполненных кабельных вводах, монтируемых вертикально, кабелем вниз, компенсационные бачки не используются, а создаётся объём, заполненный воздухом, в верхней части эпоксидного изолятора, заполненного маслом (например,

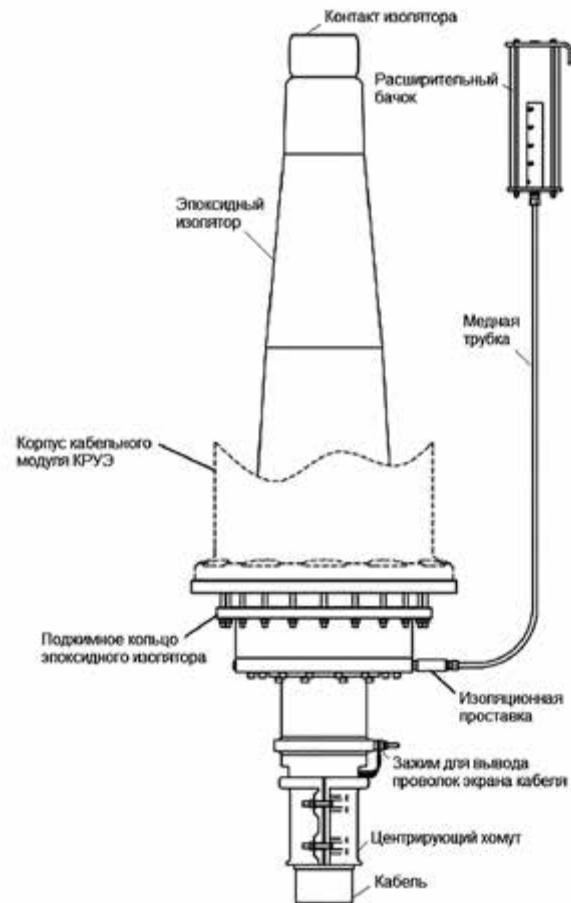


Рис. 18. Чертёж маслонаполненных элегазовых вводов APEGA 2454 производства фирмы ABB Kabeldon (для кабелей 220 кВ)

в маслонаполненных элегазовых вводах типа производящихся компанией Südkabel GmbH и предназначенных для использования на кабелях с жилами сечением от 185 мм² до 800 мм²).

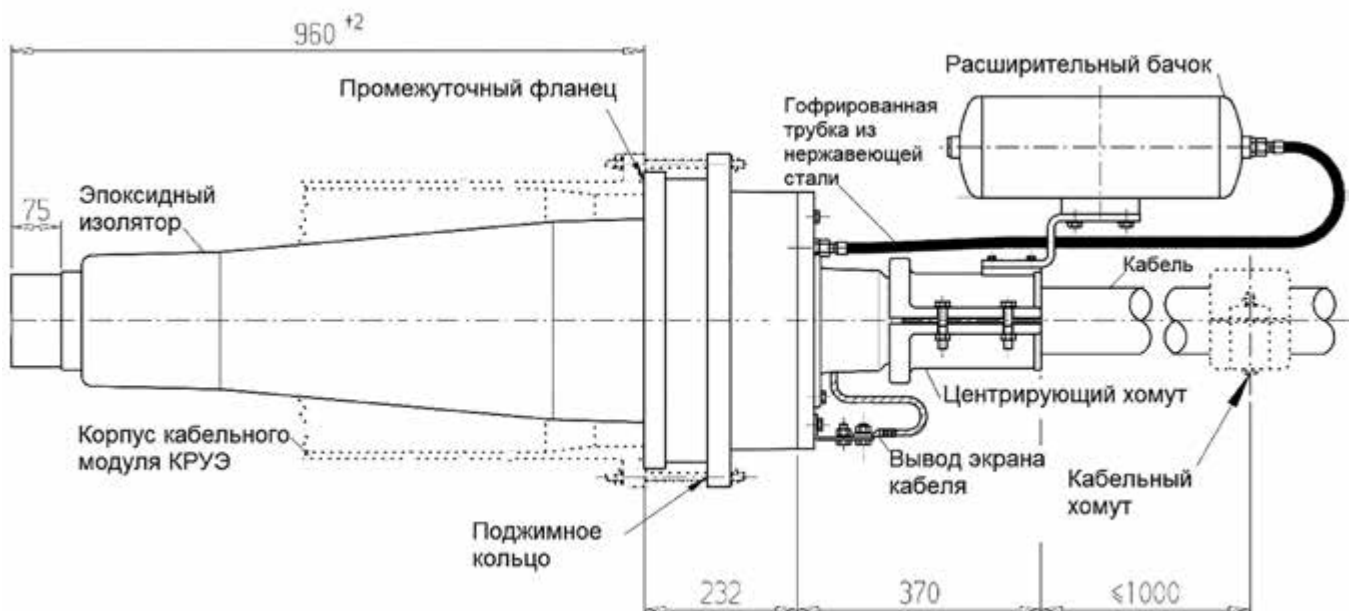


Рис. 19. Маслонаполненные элегазовые вводы EHFV 245 производства фирмы ABB Energiekabel



Рис. 20. Ремонтные работы на маслонаполненных элегазовых вводах EHSDV 123 производства компании Súd kabel GmbH. ПС «Чагино» (Москва, 2012 год)

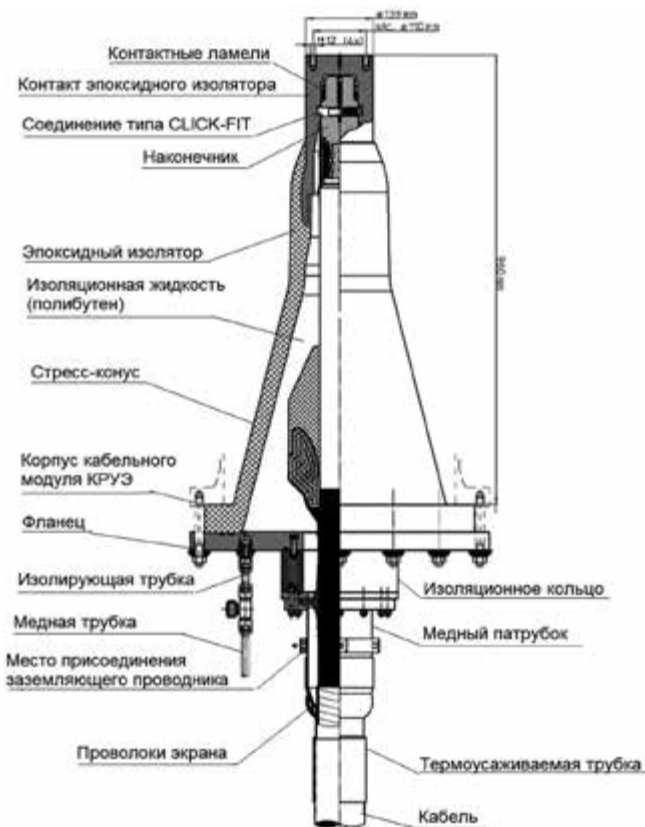


Рис. 21. Маслонаполненные элегазовые вводы типа CFMT-245 фирмы Prysmian (Голландия)

В маслонаполненных кабельных вводах с заземлёнными расходными бачками системы подпитки маслом эти заземлённые бачки (или баки давления) не должны иметь электрической связи с металлическими корпусами кабельных вводов. Для изоляции используются изоляционные проставки (или трубки), монтируемые на металлических трубках, которые соединяют бачки (или баки давления) с металлическим корпусом кабельного ввода. Пример такой проставки показан на рис. 18, где приведён чертёж маслонаполненных элегазовых вводов АРЕГА 2454 производства АВВ Kabeldon (для кабелей 220 кВ), смонтированных в Москве на ПС «Герцево», ПС «Матвеевская», ПС «Дубнинская», ПС «Строгино», ПС «Елоховская».

Изоляционная проставка квадратного сечения из стеклопластика с продольным отверстием внутри имеет на торцах встроенные металлические втулки с резьбовыми отверстиями, в которые вворачиваются штуцеры. С помощью штуцеров проставка соединяется с медной трубкой, идущей к расходному бачку, и с резьбовым отверстием на торце металлической плиты основания элегазового ввода, сообщающимся с внутренней полостью эпоксидного изолятора.

Изоляционная проставка не требуется, если расходный бачок и металлический трубопровод смонтированы на металлических частях кабельных вводов, электрически изолированных от корпуса кабельного модуля КРУЭ или трансформатора и заземлённых металлоконструкций. Примеры таких исполнений приведены на рис. 19 и 20. На рис. 19 изображены маслонаполненные элегазовые вводы EHFV 245 производства фирмы АВВ Energiekabel (сейчас это компания Súd kabel GmbH) для кабеля марки FXLJ 1x400/185 LT 127/220 кВ производства фирмы АВВ High Voltage Cables (Швеция), смонтированного в Москве на ПС «Академическая» в 2003 году (кабель был смонтирован в вертикальном положении).

На рис. 20 показаны маслонаполненные элегазовые вводы EHSDV 123 производства компании Súd kabel GmbH использованные при ремонтных работах в 2012 году на ПС «Чагино» (Москва). Расширительные бачки с гофрированной трубкой из нержавеющей стали закреплены на патрубках вводов.

Примечание: выводы экрана кабеля 110 кВ с наконечниками отсоединены от медной полосы контура заземления.

На рис. 21. показаны маслонаполненные элегазовые вводы типа CFMT-245 фирмы Prysmian (Голландия), смонтированные на ПС «Перерва» (Москва). Внутренняя полость эпоксидного изолятора через штуцер на фланце, изолирующую трубку, вентиль и медные трубки соединяется с баком давления, заполненным изоляционной жидкостью (полибутеном) под давлением около 2,5 бар (один бак на три элегазовых ввода).

На рис. 22 показано соединение медных трубок системы подпитки маслом элегазовых вводов CFMT-245 с баком давления, а также заземляющие проводники с наконечниками, с помощью которых выводы проволок экрана кабеля, припаянные к медным патрубкам CFMT-245, соединяются с полосой контура заземления подстанции. Патрубки (с припаянными к ним проволоками экрана кабеля) изолированы от фланца, смонтированного на



Рис. 22. Соединение медных трубок системы подпитки маслом элегазовых вводов SFMT-245 с баком давления, заземление проволок экрана кабеля на контур заземления

торце эпоксидного изолятора, изоляционным кольцом из эпоксидной смолы.

На рис. 23 показана изолирующая трубка с гофрированной наружной поверхностью, соединённая с вентиляем и с трубкой с накидными гайками, присоединённой к штуцеру на фланце элегазового ввода SFMT-245.

Особенности заземления кабельных вводов, смонтированных на кабелях с оптоволоконными оболочками

Если кабельный ввод монтируется на кабеле с оптоволоконными оболочками в стальных трубочках под оболочкой, то в кабельных вводах предусматривается изолирование стальных трубочек от заземлённых частей путём замены стальных трубочек на пластиковые. Если сплайс-бокс, предназначенный для защиты места соединения оптоволокон, выведенных из-под оболочки кабеля с оптоволоконным кабелем монтируется на металлическом корпусе кабельного ввода, который изолирован от корпуса кабельного модуля КРУЭ и от заземлённых металлоконструкций (или на оболочке кабеля без электропроводящего слоя), то стальные трубочки с оптоволокон не удаляются (как, например, в кабельных вводах производства фирмы Südkabel GmbH и в кабельных вводах Coppex производства фирмы Pfisterer). Пример монтажа вывода оптоволокон и крепления сплайс-бокса в элегазовых вводах EHSVS 123-170 и трансформаторных вводах EHTVS 123-170 типов А и В производства компании Südkabel GmbH приведён на рис. 1.

Дополнительная герметизация штекерных частей Coppex 4, 5-S, 6, 6-S

Дополнительная герметизация штекерных частей кабельных вводов Coppex 4, 5-S, 6, 6-S фирмы Pfisterer используется при вертикальной установке кабельных вводов кабелем вверх и при монтаже кабельных вводов в прибрежных районах с морским климатом. Комплект для дополнительной герметизации, описание которого приведено в инструкции фирмы Pfisterer № 040 293 506 [14], представлен на рис. 24.

В случае, если вывод проволок экрана кабеля требуется соединить с коробом заземления проводом с изоляцией, выдерживающей 10 кВ постоянного тока, то в комплект для дополнительной герметизации дополнительно вводится гильза, предназначенная для соединения жгута из проволок



Рис. 23. Изолирующая трубка в системе подпитки маслом элегазовых вводов SFMT-245

Рис. 24. Комплект № 040 293 506 для дополнительной герметизации штекерных частей кабельных вводов Соппех 4, 5, 6, 6-S:

1 – большая термоусаживаемая трубка;
 2 – ответвительный зажим («клипса»);
 3 – длинная термоусаживаемая трубка (для герметизации жгута из медных проволок экрана кабеля);
 4 – по одному слою герметизирующей ленты снизу и сверху вывода проволок экрана под большой термоусаживаемой трубкой;
 5 – один слой герметизирующей ленты под большой термоусаживаемой трубкой

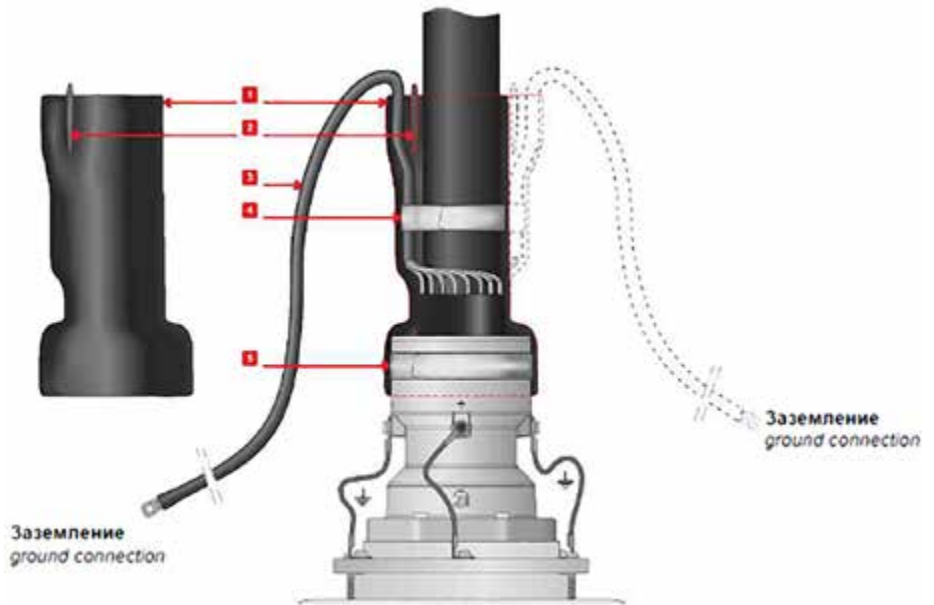


Рис. 25. Герметизированный вывод экрана кабеля 110 кВ из трансформаторного ввода Соппех 5-S (Колпино, 2014 г.)

экрана кабеля с проводом заземления с изоляцией (если жгутов проволок экрана два, то, соответственно, две гильзы для двух выводов экрана). Гильзы монтируются под большой термоусаживаемой трубкой ниже ответвительного зажима («клипсы»). Длинная термоусаживаемая трубка в этом случае не требуется, так как провод заземления имеет изоляцию. Такая комплектация должна быть оговорена при заказе.

На рис. 25 и 26 показан герметизированный вывод экрана кабеля 110 кВ из трансформаторного ввода Соппех 5-S с использованием комплекта № 040 293 506 для дополнительной герметизации. Вывод проволок экрана кабеля разделен на два жгута, которые соединены напрессованными гильзами с двумя заземляющими проводниками из провода с изоляцией на 10 кВ, которые выведены наружу из-под герметизирующей термоусаживаемой трубки. На штекерной части Соппех 5-S смонтированы заземляющие перемычки, входящие в стандартный комплект поставки кабельных вводов (рис. 26). Кроме того, смонтирована заземляющая перемычка, соединяющая съемный фланец кабельного отсека трансформатора с корпусом кабельного отсека.

Выводы

При заземлении экранов кабелей 110–500 кВ у кабельных вводов в КРУЭ и трансформаторы необходимо



Рис. 26. Заземляющие перемычки на трансформаторном вводе Соптех 5-S, закрепленном на фланце кабельного отсека трансформатора (Колпино, 2014 г.)

учитывать не только способ заземления экранов кабелей на кабельной линии, но и особенности конструкции кабелей, кабельных вводов, КРУЭ и трансформаторов, а также условия эксплуатации кабельных вводов. При заземлении кабельных вводов в КРУЭ следует определить необхо-

димость использования ВЧ-заземлений и конструкцию ВЧ-заземлений. При заземлении маслонаполненных кабельных вводов необходимо учитывать необходимость использования изоляционных проставок на металлических трубопроводах системы подпитки маслом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. – 6-е и 7-е изд., изменен. и доп. – М.: КНОРУС, 2012. – 488 с.
2. СТО 34.01-23.1-001–2017. Объем и нормы испытаний электрооборудования. – М.: ПАО «Россети», 2017. – 262 с.
3. Компактные кабельные вводы EHSVS (для устройств, заполненных SF₆) и EHTVS (для трансформаторных вводов, заполненных маслом: каталог Südkabel GmbH. – М.: Издание ООО «Эстралин ПС». URL: www.estralin.com (дата обращения: 25.06.2019).
4. HV-Connex Separable Connector size 5-S: Document No 859999999A3, Pfisterer, 06.02.2012, URL: www.pfisterer.com (дата обращения: 25.06.2019).
5. Арматура Prysmian для кабелей высокого и сверхвысокого напряжения, включая переходные и соединительные муфты: каталог Prysmian cables & systems. – М.: Издание ООО «Эстралин ПС». URL: www.estralin.com (дата обращения: 25.06.2019).
6. Engineering Recommendation C 55/4 // Insulated sheath power cable systems. – Electricity Association. Engineering and Safety, 1989.
7. IEC 62271–209 Ed.1. High-voltage switchgear and control gear. Part 209: Cable connections for gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV-Fluid-filled and extruded insulation cables-Fluid-filled and dry-type cable-terminations. – 2007.
8. ELECTRA 151, CIGRE WG 23.10. Earthing of GIS-and application guide. – 1993.
9. Special Bonding of High Voltage Power Cables: CIGRE Brochure 283, working Group B1. – 18.10.2005.
10. Over-voltage Protection at GIS Cable Sealing Ends: Technical Document E114-04e. – Südkabel GmbH, 16.04.2010.
11. Кабельная арматура Kabeldon 52–420 кВ: каталог. – М.: Издание ООО «ABB», департамент «Высоковольтное оборудование». URL: www.abb.ru/cableaccessories (дата обращения: 29.05.2017).
12. Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией до 145 кВ, 40 кА, 3150 А. Тип 8DN8. – Публикация Siemens AG, 2010. URL: www.siemens.com/energy (дата обращения: 25.06.2019).
13. Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией на напряжение 330 кВ, 63 кА, 4000 А. Тип 8DN9. – Публикация Siemens AG, 2008. URL: www.siemens.com/energy (дата обращения: 25.06.2019).
14. Sealing, HV-Connex Cable Termination System, Vertical-Installation, size 4, 5-S, 6, 6-S: Document No 040 293 506. – Pfisterer, 20.01.2010. URL: www.pfisterer.com (дата обращения: 25.06.2019).

