ОПЫТ МОНТАЖА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 500 кВ С КАБЕЛЯМИ С ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ НА БУРЕЙСКОЙ ГЭС, ЗАГОРСКОЙ ГАЭС, БОГУЧАНСКОЙ ГЭС, КВЛ 500 кВ ПС «ЗАПАДНАЯ» - ПС «ОЧАКОВО»

A.V. Grin', *Leading Design Engineer, Ltd. "Estralin PS";*
A.S. Mneka, *Technical Director of Ltd. "Estralin PS"*

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

Аннотация. Кабельные линии (КЛ) 500 кВ с кабелями с полиэтиленовой изоляцией монтировались в России с 2004 года. Проектирование, монтаж и испытания таких кабельных линий имеют особенности. В данной статье обобщён опыт монтажа КЛ 500 кВ с кабелем с полиэтиленовой изоляцией на Бурейской ГЭС, Загорской ГАЭС, Богучанской ГЭС, КВЛ 500 кВ ПС «Западная» - ПС «Очаково».

Ключевые слова: кабельные линии 500 кВ, кабели с полиэтиленовой изоляцией 500 кВ, монтаж кабельных линий 500 кВ.

Abstract. 500 kV cable lines (CL) with polyethylene insulated cables have been installed in Russia since 2004. Designing, installation and testing of such cable lines are associated with some specific features. The article presents the generalized experience of installation of 500 kV cable lines with polyethylene insulated cables at Bureiskaya HEP, Zagorskaya PSPP, Boguchanskaya HEP, 500 kV aerial cable line "Zapadnaya" substation – "Ochakovo" substation.

Key words: 500 kV cable lines, 500 kV polyethylene insulated cables, installation of 500 kV cable lines.

Материал поступил в редакцию 21.07.2020
E-mail: info@estralin.com

ВВЕДЕНИЕ

Первая в мире кабельная линия (КЛ) 500 кВ с кабелем с полиэтиленовой изоляцией была смонтирована в Японии в 1999 году [1]. Кабель в Японии имел медную сегментированную жилу сечением 1000 мм², минимальная толщина полиэтиленовой изоляции 27 мм, наружный диаметр около 141 мм. В России первая кабельная линия 500 кВ с кабелем с полиэтиленовой изоляцией была смонтирована на Бурейской ГЭС (Амурская обл.) в 2004 году, сдана в эксплуатацию в 2005 году (КЛ от энергоблоков 3 и 4), кабель на напряжение 500 кВ (далее – кабель 500 кВ) производства компании Sudkabel GmbH (Германия). После этого КЛ 500 кВ с кабелем с полиэтиленовой изоляцией производства компании Sudkabel GmbH (Германия) были смонтированы в России:

– в 2007 году на Бурейской ГЭС (Амурская обл.), КЛ от энергоблоков 5 и 6;

– в 2010 году на ТЭЦ-26 (Москва), кабель марки 2XS(FL)2Y 1×800 RM/275-290/500 kV, длина 135 м;

– в 2012 году на электрической подстанции (ПС) 500 кВ «Калужская» (Калужская обл.), кабель марки 2XS(FL)2Y 1×2500 RMS/300-290/500 kV, перемычки;

– в 2013 году на Богучанской ГЭС (Красноярский край);

– в 2013 году (первый этап строительства) и в 2015 году (второй этап строительства) на кабельно-воздушной линии электропередачи (КВЛ) 500 кВ ПС «Западная» - ПС «Очаково» (г. Москва);

– в 2016 году на Загорской ГАЭС (Московская обл.).

Кроме того, в России в 2008 году на ПС 500 кВ «Очаково» (Москва) была смонтирована в коллекторе КЛ 500 кВ длиной 750 м от распределительного устройства (ОРУ) 500 кВ до комплектного распределительного элегазового устройства (КРУЭ) 500 кВ, кабель с медной жилой сечением 2500 мм^2 фирмы Nexans (Франция). В 2013 году на Саяно-Шушенской ГЭС (Республика Хакасия) была смонтирована КЛ 500 кВ длиной около 350 м от ОРУ 500 кВ до КРУЭ 500 кВ, кабель с медной жилой сечением 2500 мм^2 фирмы Taihan Electric Wire Co, Ltd (Корея).

КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ 500 кВ НА БУРЕЙСКОЙ ГЭС ОТ ЭНЕРГОБЛОКОВ 3 И 4

Первая в России КЛ 500 кВ с кабелем с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) была смонтирована на Бурейской ГЭС (Амурская обл., пос. Талакан). Одноцепная трёхфазная КЛ 500 кВ от энергоблоков 3 и 4 была смонтирована в 2004 году и сдана в эксплуатацию в 2005 году. Соединяет КРУЭ 500 кВ на отметке 155 м (на плотине, на трансформаторной площадке) с КРУЭ 500 кВ на отметке 292 м (на месте перехода к ЛЭП 500 кВ). КРУЭ 500 кВ производства фирмы ABB (Швейцария). Общая длина КЛ около 880 м. На КЛ проложен кабель производства Sudkabel GmbH (Германия) марки 2XS(FL)2Y 1×800 RM/150-290/500 kV с медной жилой сечением 800 мм^2, изоляцией из СПЭ и экраном из медных проволок сечением 150 мм^2, наружный диаметр около 130 мм, вес одного метра кабеля около 19,8 кг. В связи со сложностью трассы КЛ 500 кВ по требованию Sudkabel GmbH прокладка кабеля допускалась при температуре кабеля не менее +5 ^{o}C. На концах КЛ 500 кВ смонтированы 6 кабельных вводов в КРУЭ марки EHSV 550 Sudkabel GmbH, заполненных изоляционной жидкостью (полибутеном). Заземление экрана кабеля одностороннее: на КРУЭ 500 кВ на отметке 155 м через короб заземления непосредственно на контур заземления, на КРУЭ 500 кВ на отметке 292 м через короб заземления с ограничителем перенапряжения (ОПН). Контуры заземлений КРУЭ соединены объединяющим проводом заземления марки 2Y 1×400 Sudkabel GmbH с медной жилой сечением 400 мм^2, с полиэтиленовой изоляцией, покрытой дополнительным огнезащитным полупроводящим слоем [2]. После монтажа КЛ были проведены высоковольтные испытания с подачей напряжения от испытательной установки, которая была доставлена из Швейцарии, с измерением уровня частичных разрядов (ЧР). Для контроля уровня ЧР при эксплуатации на КЛ смонтирована электрическая система мониторинга частичных разрядов.

Кабель 500 кВ поставлялся с Sudkabel GmbH на металлических барабанах типа E41D, имеющих ширину 3 м и наружный диаметр 4,1 м. Вес барабана с кабелем около 22 т. От предприятия-изготовителя, расположенного в г. Мангейм (Германия), до Санкт-Петербурга кабели 500 кВ транспортировались речным и морским путём. В Санкт-Петербурге металлические барабаны с кабелем были выгружены с морского судна и размещены на специальных транспортировочных металлоконструкциях, расположенных на низких железнодорожных платформах (по два барабана на одной платформе), причём барабаны были жестко прикреплены к сварной металлоконструкции. По железной дороге барабаны с кабелем 500 кВ были доставлены до станции Бурея (поселок Новобурейский). На железнодорожной станции общая металлоконструкция для двух барабанов разрезалась на две части. На каждой из частей было по одному барабану, после чего барабаны с кабелем, закрепленные на металлоконструкции, были перегружены на специальный прицеп автомобиля «Ураган» и доставлены по автомобильной дороге до посёлка Талакан на КРУЭ 500 кВ на отметке 292 м. На рис. 1 показан металлический барабан с кабелем 500 кВ на прицепе автомобиля «Ураган», закреплённый на транспортировочной металлоконструкции.

После этого барабан с кабелем, закреплённый на металлоконструкции, был выгружен с помощью подъёмного крана, с использованием траверсы со стропами и закладными втулками, размещёнными в оси барабана. На рис. 2 показана разгрузка барабана с кабелем 500 кВ, закреплённого на транспортировочной металлоконструкции. После разгрузки барабана сварные швы, фиксирующих элементов металлоконструкции, были срезаны, закрепление барабана было демонтировано, барабан с продетым в ось валом был размещён с помощью подъёмного крана на отдающем устройстве. На рис. 3 показан барабан с кабелем 500 кВ на отдающем устройстве у стены помещения КРУЭ 500 кВ на отметке 292 м.

В связи с большим весом барабана с кабелем, для отдающего устройства была сделана специальная железобетонная площадка у стены КРУЭ. Было использовано отдающее устройство типа ATG 2200 фирмы Jakob Thaler GmbH (Германия) с двумя гидравлическими домкратами и тормозным устройством. Отдающее устройство было зафиксировано на бетонной площадке с помощью растяжек, прикреплённых к анкерным болтам, смонтированным внизу площадки. Для прохода кабеля на стене КРУЭ было вырезан специальный прямоугольный проём, который видно на рис. 3. Так как после проёма в стене кабель попадал в помещение распределительного устройства 10 кВ, примыкающего к помещению КРУЭ 500 кВ, то для тяжения кабеля 500 кВ в этом помещении был смонтирован специальный временный помост из металлических профилей. Для спуска кабеля 500 кВ с этого помоста вниз в подвал КРУЭ было изготовлено

Рис. 1. Металлический барабан с кабелем 500 кВ на прицепе автомобиля «Ураган», закреплённый на транспортировочной металлоконструкции

Рис. 2. Разгрузка барабана с кабелем 500 кВ, закреплённого на транспортировочной металлоконструкции

Рис. 3. Барабан с кабелем 500 кВ на отдающем устройстве у стены помещения КРУЭ 500 кВ на отметке 292 м

на ООО «Бурея ГЭМ» и смонтировано специальное обводное устройство с роликами, закреплённое на помосте.

Для тяжения кабеля 500 кВ была использована тяговая лебёдка типа KE-SP 3040 фирмы Jakob Thaler GmbH с дизельным двигателем (усилие тяжения 4 т, длина троса 1000 м). Тяговая лебёдка была размещена в помещении КРУЭ на отметке 155 м (на плотине). Чтобы доставить тяговую лебёдку на место установки, в помещении КРУЭ на плотине пришлось делать специальный балкон из стальных профилей, на который с помощью подъёмного крана подняли лебёдку, и затем перекатили её в помещение КРУЭ. Для тяжения провода заземления 2Y 1×400, а также стального троса тяговой лебёдки, использовалась электрическая лебёдка фирмы Jakob Thaler GmbH типа KE 500 с усилием тяжения 500 кгс и стальным тросом диаметром 5 мм (длина троса 950 м). Для прокладки было также поставлено подталкивающее устройство фирмы Jakob Thaler GmbH типа SK 90L/4 с электродвигателем и цепной передачей, которое так и не смогли использовать по указанным ниже причинам. Так как основные участки трассы проходили в тоннеле и шахте, проложенных в скальном грунте, где невозможна радиосвязь, для связи по трассе во время прокладки кабелей был поставлен полевой телефон с проводом, который протянули по всей трассе кабельной линии, и 20 телефонных трубок, которые можно было присоединить к проводу на любом участке трассы.

Трасса КЛ 500 кВ на Бурейской ГЭС имеет сложный характер, с большим количеством изгибов в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также с наличием петли в начале трассы в подвале КРУЭ. Трасса проходит от КРУЭ 500 кВ на отметке 292 м, далее через подвал КРУЭ по горизонтальному тоннелю длиной около 100 м к вертикальной шахте 115 м, после шахты по наклонному тоннелю 410 м к зданиям у плотины, далее через здания на плотине к самой плотине. На плотине кабели проходят в лотках (протяженность этого участка трассы около 98 м), после чего кабели выходят к КРУЭ на плотине.

Для создания аварийного запаса кабеля, который мог бы использоваться в случае пробоя элегазового ввода в КРУЭ 500 кВ на отметке 292 м для монтажа нового элегазового ввода, в подвале этого КРУЭ, согласно проекту, была выполнена петля из кабелей 500 кВ диаметром около 7,8 м высотой до 1,5 м, минимальный радиус изгиба кабеля на отдельных участках петли около 3,4 м. Схема расположения петли из кабелей 500 кВ и крепление кабелей хомутами на металлоконструкциях в подвале КРУЭ 500 кВ на отметке 292 м показана на рис. 4. Наличие этой петли создало трудности при прокладке кабелей. Прокладка кабелей по петле предусматривалась по четырёхсторонним роликам, закреплённым на металлоконструкциях на местах крепления

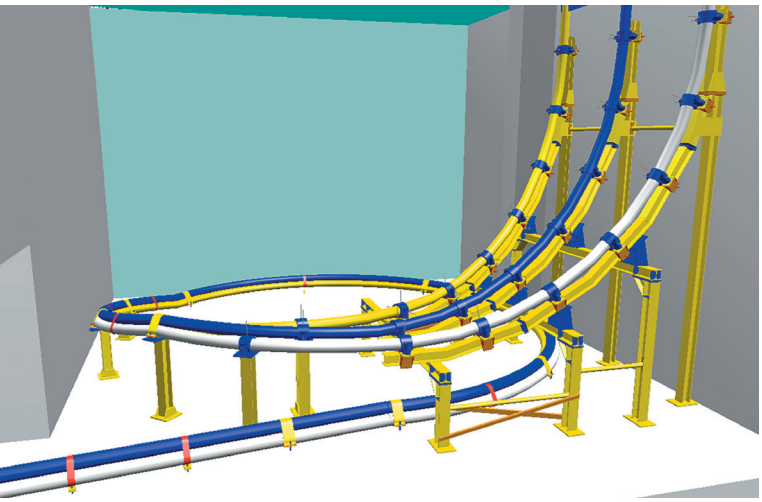

Рис. 4. Схема расположения петли из кабелей 500 кВ и крепление кабелей хомутами на металлоконструкциях в подвале КРУЭ 500 кВ на отметке 292 м

Рис. 6. Наклонный тоннель 410 м с кабелями, закреплёнными на сёдлах фирмы ELLIS

кабелей хомутами с шагом от 1 м до 1,5 м. При прохождении гибкого стального троса от тяговой лебёдки диаметром 11 мм по роликам, имеющим диаметр валика 55 мм, резко усиливается сопротивление усилию тяжения при прохождения троса через ролики. Перед петлёй не было места для установки вспомогательного подталкивающего устройства, поэтому для прохождения петли кабель 500 кВ дополнительно подтягивали вручную с использованием ручной цепной лебёдки с длиной цепи около 7 м.

Прокладка кабелей на прямых участках трассы в тоннеле 100 м и на плотине производилась с помощью линейных роликов. Для прокладки по металлоконструкциям использовались четырёхсторонние ролики и обводные устройства, закреплённые на металлоконструкциях. Четырёхсторонние ролики крепились на местах, где впоследствии было выполнено крепление кабеля хомутами. Прокладка в шахте 115 м производилась сверху вниз также по четырёхсторонним роликам с использованием 11 тормозных устройств, равномерно распределённых по высоте шахты. Необходимость использования тормозных устройств связана с тем, что кабель 500 кВ длиной 115 м весит около 2,28 т. При прокладке кабеля в шахте 115 м сверху вниз вес кабеля может привести к неконтролируемой раскрутке барабана с кабелем на отдающем устройстве и складыванию кабеля петлями внизу шахты. Необходимое для прокладки кабелей 500 кВ количество тормозных устройств было подобрано опытным путём. Прокладка провода заземления марки 2Y 1×400 с медной жилой сечением 400 мм², который был на деревянном барабане, установленном на отдающем устройстве без тормозов, производилась с подтормаживанием щеки барабана с помощью рычага из деревянного бруса.

Особо следует отметить способ прокладки кабелей в наклонном тоннеле 410 м. На рис. 5 показана про-

Рис. 5. Прокладка кабелей 500 кВ в наклонном тоннеле 410 м

Рис. 7. Прокладка кабелей 500 кВ на повороте трассы в лотках на плотине

кладка кабелей 500 кВ в наклонном тоннеле 410 м по консолям, закреплённым на полу и стене тоннеля через каждые 5 м. В консолях были предусмотрены специальные временные выдвижные профили квадратного сечения, на которых крепились четырёхсторонние ролики для прокладки. Сверху на консолях были смонтированы трёхфазные сёдла фирмы ELLIS из нержавеющей стали. Кабели отдельных фаз прокладывались поочерёдно по четырёхсторонним роликам, после чего верхняя полка ролика откидывалась, кабели перекладывались на сёдла фирмы ELLIS, располагались треугольником вплотную и крепились на сёдлах застёжками. Через каждый метр три кабеля связаны вместе полиэфирной бандажной лентой, армированной стекловолокном, типа Р-162, намотанной в 5 слоёв. Между местами крепления кабелей на сёдлах кабели в связке прогнуты вниз на 130 мм в вертикальной плоскости (укладка «змейкой» по вертикали). Объединяющий провод заземления располагался снаружи снизу и сбоку между кабелями двух соседних фаз и менял своё расположение примерно через каждую треть длины данного участка трассы.

На рис. 6 приведено фото наклонного тоннеля 410 м с кабелями, закреплёнными на сёдлах фирмы ELLIS. При прокладке кабелей в наклонном тоннеле 410 м была попытка использовать дополнительно подталкивающее устройство фирмы Jakob Thaler GmbH типа SK 90L/4 (с электродвигателем, редуктором и цепной передачей к устройству, подталкивающему кабель), установленное в конце тоннеля перед сложным участком трассы с большим количеством поворотов. Однако это подталкивающее устройство быстро вышло из строя из-за того, что невозможно было синхронизировать работу подталкивающего устройства с работой тяговой лебёдки, в результате ломались детали цепной передачи.

На рис. 7 показана прокладка кабелей 500 кВ на повороте трассы в лотках на плотине. Прокладка производилась по четырёхсторонним и угловым роликам, закреплённым на поперечных металлоконструкциям на дне лотков. Для дополнительной фиксации роликов на повороте использовались деревянные брусья и железобетонные плиты.

Прокладка провода заземления и трёх кабелей 500 кВ продолжалась с 06.09.2014 по 14.09.2014 и прерывалась в связи с необходимостью ремонта роликов, которые повреждались от прохождения стального троса, подбора количества тормозных устройств для шахты 115 м и их доработки. Прокладка кабелей 500 кВ и провода заземления производилась при температуре окружающего воздуха: в тоннеле 410 м – около +10 ^{o}C, на остальных участках трассы – около +20 ^{o}C. Значительное время заняли подготовительные работы по установке и доработке металлоконструкций, закреплению роликов и обводных устройств по трассе КЛ, оснащению мест установки отдающего устройства с кабельным барабаном и тяговой лебедки (с начала мая по 5 сентября 2014 г.).

После прокладки кабелей более месяца проводились работы по укладке и закреплению кабелей 500 кВ и провода заземления с изгибами в вертикальной и горизонтальной плоскостях («змейкой») в тоннелях и лотках, работы по закреплению кабелей и провода однофазными хомутами в шахте 115 м, на металлоконструкциях в подвале КРУЭ, зданиях на плотине, сооружение противопожарных перегородок. При креплении кабелей хомутами в шахте 115 м и в лотках на плотине использовались силиконовые прокладки шириной 120 мм, толщиной 12 мм, в остальных местах – резиновые прокладки шириной 120 мм и толщиной 5 мм.

Подробная информация о способах крепления кабелей 500 кВ на Бурейской ГЭС содержится в [3].

КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ 500 кВ НА ЗАГОРСКОЙ ГАЭС

Монтаж КЛ 500 кВ с кабелем с полиэтиленовой изоляцией производился на Загорской ГАЭС (Московская обл.) с 2013 по 2016 год. КЛ 500 кВ соединяют:

- КРУЭ 500 кВ на Загорской ГАЭС с концевыми муфтами на площадке выхода линии 500 кВ на Костромскую ГРЭС, длина КЛ 500 кВ 218 м;

- КРУЭ 500 кВ на Загорской ГАЭС с концевыми муфтами на площадке выхода линии 500 кВ на ПС «Трубино», длина КЛ 500 кВ 171 м.

Каждая КЛ 500 кВ состоит из трёх однофазных силовых кабелей 500 кВ производства Sudkabel GmbH (Германия) марки (F)2XS(FL)H 1x2000RMS/265 500 kV, трёх концевых муфт наружной установки типа EHFVCS 550 F производства Sudkabel GmbH (Германия) с системой обогрева, которые гибкими связями соединяются с воздушной линией (ВЛ) 500 кВ, трёх элегазовых кабельных вводов типа EHSVS 550 F производства Sudkabel GmbH (Германия) [4], которые в свою очередь соединяются с кабельными модулями КРУЭ 500 кВ типа 8DQ1 фирмы Siemens (Германия). Жила кабеля 500 кВ медная, многопроволочная, сегментированная, сечением 2000 мм^2, экран из медных проволок сечением 265 мм^2, наружный диаметр кабеля около 144 мм, вес кабеля примерно 33,8 кг/м.

Заземление экрана кабеля КЛ 500 кВ одностороннее: со стороны присоединения кабелей к концевым муфтам через коробы заземления типа КЗЭ-О-1×400 (с ограничителем перенапряжений на 6 кВ типа ОПН-РВ-6/7,6 УХЛ1) производства ООО «РКС-Пласт», со стороны присоединения кабелей к кабельным модулям КРУЭ 500 кВ через коробы заземления КЗЭ-1×400 производства ООО «РКС-Пласт». Для заземляющих проводников, соединяющих выводы экрана кабеля с коробами заземлений, а коробы заземлений с контурами заземлений, использован провод заземления

типа ПП 1×400 (гж) производства ООО «Эстралин ЗВК» с медной герметизированной жилой сечением 400 мм² и полиэтиленовой оболочкой, выдерживающей напряжение 10 кВ постоянного тока.

Для обеспечения надёжной электрической связи и выравнивания потенциалов между контурами заземлений ОРУ 500 кВ и здания Загорской ГАЭС, а также для обеспечения пути протекания обратного тока КЗ для нормальной работы в коробе заземления экранов кабелей 500 кВ вдоль каждой КЛ 500 кВ проложен провод заземления типа ПП 1×400 (гж) производства ООО «Эстралин ЗВК» с медной герметизированной жилой сечением 400 мм² и полиэтиленовой оболочкой [2].

Кабели проложены в воздухе в тоннеле, здании КРУЭ и на ОРУ 500 кВ. В тоннеле расположение фаз вертикально в плоскости, на высоте 400–1200 мм от пола, расстояние между центрами фаз 400 мм. На прямых участках трассы кабели закреплены через каждые 5 м на металлоконструкциях сёдлами фирмы ELLIS. Между местами крепления кабелей на сёдлах выполнен провис кабелей вниз на 87 мм для обеспечения термомеханического расширения кабеля при различных режимах работы КЛ [3]. В середине участка между креплениями сёдлами три фазы каждой КЛ скреплены между собой промежуточной сборными распорками.

Прокладка кабелей 500 кВ производилась в августе 2013 года. Монтаж элегазовых вводов EHSVS 550 F и концевых муфт EHFVCS 550 F проводился с 2014 по 2016 год.

Концевые муфты наружной установки EHFVCS 550 F имеют композитный изолятор с силиконовыми юбками, в котором внизу находится компактный штекерный элегазовый ввод EHSVS 550 F с эпоксидным изолятором. Вверху изолятор закрыт крышкой, с присоединённым к ней стержневым наконечником. Контакт эпоксидного изолятора элегазового ввода и крышка соединены внутри изолятора специальным удлинением с штекерными контактами на концах. Изолятор заполнен высококачественным элегазом (SF6). Давление элегаза контролируется с помощью электроконтактного манометра. Вверху и внизу муфты имеются экраны от коронирования и кольцевая защитная арматура. Проволоки экрана кабеля 500 кВ выводятся наружу снизу от поджимного устройства, собираются в жгут, на конце которого опрессовывается наконечник, который с помощью болтового соединения пристыковывается к уголку заземления, закреплённому на опорной плите поджимного устройства На рис. 8 показана концевая муфта EHFVCS 550 F без системы обогрева, фото которой взято из каталога Sudkabel GmbH [5].

При монтаже концевой муфты EHFVCS 550 F сначала на конце кабеля монтируется штекерная (втычная) часть элегазового ввода EHSVS 550F, включающая стресс-конус, арматуру оконцевания и поджимное устройство, которая закрепляется на опорной металлоконструкции. Потом на штекерную часть элегазового ввода сверху надвигают композитный изолятор в сборе с плитой основания, эпоксидным изолятором элегазового ввода, крышкой и удлинением, заполненный элегазом на заводе-изготовителе, который стыкуют с штекерной частью и закрепляют на опорной металлоконструкции. После этого производится дополнительное заполнение муфты элегазом через вентиль типа DILO M26×1,5 после снятия контактного манометра. Значения давления элегаза при различной температуре окружающего воздуха, которое должно обеспечиваться при монтаже муфты, указано в инструкции по монтажу. После заполнения элегазом манометр вновь присоединяется к плите основания муфты с новой медной прокладкой.

Муфты EHFVCS 550 F на Загорской ГАЭС оборудованы системой обогрева, включающейся при снижении температуры на оболочке кабеля под муфтой ниже –20 ^{0}C, и системой контроля за давлением элегаза с электроконтактным манометром. Система обогрева подогревает элегазовый кабельный ввод и не допускает снижения температуры элегазового ввода ниже –30 ^{0}C. Система обогрева подключена к источнику тока 220 В переменного напряжения частотой 50 Гц.

Система обогрева состоит из следующих компонентов (на каждую концевую муфту):

А. Половина отапливаемого корпуса А с основным нагревательным элементом.

Б. Половина отапливаемого корпуса В с резервным нагревательным элементом и электрическим регулятором.

В. Два датчика температуры (для основного и резервного нагревателей).

Г. Присоединительный ящик типа O.EK-LS1, к которому присоединяются провода электропитания, и сигнальные провода от датчиков температуры и электрического регулятора.

К присоединительному ящику подключаются также сигнальные провода системы контроля за давлением элегаза.

Система обогрева подключается к источнику тока 220 В переменного напряжения частотой 50 Гц, 2×300 Вт (пусковой ток при включении нагревателей может достигать в течение нескольких секунд кратности 3).

Датчики температуры, соединённые с термостатами (для основного и резервного нагревателей), расположены на кабеле ниже крепления хомутов концевой муфты и регистрируют температуру оболочки кабеля. Как только температура в этом месте упадёт ниже –20°, включается основной нагреватель, который сам регулируется на температуру около +60 °C. При конвективном теплообмене температура воздуха внутри корпуса повышается и, если температура на датчике достигнет

–15 °С, нагрев выключится и начнётся охлаждение до снижения температуры на оболочке кабеля до –20 °С, после чего опять включится основной нагреватель.

Если кабельная система будет под нагрузкой, и температура на оболочке кабеля не будет падать ниже –20 °С, то даже при низкой температуре окружающего воздуха нагрев не будет включаться.

В случае, если теплоотвод из-за теплопотерь будет больше, чем мощность нагрева, например при сильном ветре или при возможной температуре ниже –40 °С, тогда при достижении температуры на оболочке кабеля ниже –25 °С будут включаться второй термостат и резервный нагреватель.

Контроль за давлением элегаза осуществляется с помощью электроконтактного манометра, смонтированного на плите основания. На шкале манометра имеются три стрелки:

– стрелка чёрного цвета, которая показывает текущее значение давления элегаза;

– две сигнальные стрелки красного цвета, которые устанавливаются при монтаже на значениях давления элегаза 2,7 бар (270 кПА), при котором наступает режим работы «Alarm» («Предупреждение»), и 3,1 бар (310 кПА), при котором наступает режим работы «Warning» («Тревога»).

Сигнальные стрелки настраиваются на определённое давление с помощью специального ключика, входящего в комплект манометра. Сигнальные стрелки соединены с контактами, находящимися на колодке внутри манометра.

Провода сигнальной системы контроля за давлением элегаза соединены с клеммной рейкой, смонтированной в присоединительном ящике O.EK-LS1. От клеммной рейки в присоединительном ящике O.EK-LS1 сигнальные провода могут идти к внешней системе контроля за давлением элегаза, находящейся на подстанции. При снижении давления элегаза ниже 3,1 бар срабатывает контакт для предупредительного сигнала «Предупреждение», при снижении давления ниже 2,7 бар срабатывает контакт «Тревога», после чего требуется отключения КЛ, если в сети возможны перенапряжения.

Примечание: под рабочим напряжением, без перенапряжений, муфта может работать даже при давлении элегаза существенно ниже 2,7 бар.

Давление элегаза можно контролировать также визуально с земли по положению подвижной стрелки манометра относительно стрелок контактов, выставленных на давление 3,1 бар «Предупреждение» и давление 2,7 бар «Тревога».

На рис. 9 показана концевая муфта EHFVCS 550 F с системой обогрева, электроконтактным манометром и присоединительным ящиком O.EK-LS1, фото которой взято из каталога Sudkabel GmbH [5].

Особенностью монтажа КЛ 500 кВ на Загорской ГАЭС является то, что для создания аварийного запаса кабеля, необходимого для ремонта концевых муфт EHFVCS 550 F в случае пробоя, концевые муфты были смонтированы на опорных металлоконструкциях повышенной высоты. Опорная площадка для монтажа концевых муфт EHFVCS 550 F расположена на высоте более 6 м от планировочной отметки. На рис. 10 показано расположение концевой муфты EHFVCS 550 F на опорной металлоконструкции на Загорской ГАЭС.

На рис. 10 не виден короб заземления с ОПН типа КЗЭ-О-1×400, который был смонтирован на противоположной стороне металлоконструкции на высоте около 820 мм от планировочной отметки, заземлён и соединён заземляющим проводником из провода ПП 1×400 (гж) с уголком заземления на концевой муфте.

В случае пробоя концевой муфты она демонтируется, кабель 500 кВ обрезается ниже патрубка на эпоксидном изоляторе, опорная металлоконструкция укорачивается, производится монтаж новой муфты взамен пробившейся. Длина укорачивания может быть до 2 м, тогда расстояние от опорной площадки для концевой муфты до планировочной отметки будет 4 м, что достаточно для безопасного размещения муфт. Конкретная длина укорачивания металлоконструкции определяется с учётом степени повреждения кабеля 500 кВ при пробое муфты.

Рис. 8. Концевая муфта EHFVCS 550 F без системы обогрева

После монтажа КЛ 500 кВ на Загорской ГАЭС были проведены следующие испытания:

– испытания оболочек кабелей;

– измерение частичных разрядов;

– после измерения частичных разрядов, КЛ были поставлены под рабочее напряжение без нагрузки на 24 часа.

КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ 500 кВ НА БОГУЧАНСКОЙ ГЭС

КЛ 500 кВ на Богучанской ГЭС (Красноярский край, Кежемский район, г. Кодинск) была введена в эксплуатацию в 2013 году. На рис. 11 показана Богучанская ГЭС в августе 2012 года.

На Богучанской ГЭС на участках W1C «Ангара 1»; W2C «Ангара 2»; W3C «Озёрная»: смонтированы КЛ 500 кВ, соединяющие открытый переходный пункт (ОПП) со служебно-производственным комплексом (СПК) на плотине, выполненные кабелями марки 2XS(FL)2Y 1×2500 RMS/300-290/500 kV производства Sudkabel GmbH (Германия) с медной жилой сечением 2500 мм².

Длины КЛ: ориентировочная длина кабельной линии W1C – 372 м, W2C – 366 м, W3C – 396 м. Кабель 2XS(FL)2Y 1×2500 RMS/300-290/500 kV поставлялся на металлических барабанах типа X43H27, имеющих наружный диаметр около 4,3 м, вес барабанов с кабелем около 20 т. В соответствии с требованиями Sudkabel GmbH, прокладка кабеля допускалась при температуре кабеля не менее –5 °С.

КЛ 500 кВ на Богучанской соединяют КРУЭ 550 кВ типа 550 SR фирмы HYUNDAI на ОПП с КРУЭ 550 кВ типа ELK-3/550 фирмы ABB Schweiz AG на СПК. Со стороны ОПП заземление экранов кабелей, выведенных в элегазовых вводах EHSVS 550 F, выполнено напрямую к контуру заземления через ящик O.EKE-1LS (без ОПН) с помощью провода заземления ПП 1×400 (гж) с медной жилой сечением 400 мм² и полиэтиленовой оболочкой.

Со стороны ОПП заземление экранов кабелей, выведенных в элегазовых вводах EHSVS 550 F, выполнено через ящик заземления с ОПН типа O.EKU-1LS также с помощью провода заземления ПП 1×400 (гж) с медной жилой сечением 400 мм² и полиэтиленовой оболочкой. Напряжение срабатывания ОПН – 7,2 кВ. С целью выравнивания потенциала между концами КЛ и обеспечения возвратного пути для тока КЗ, на каждой кабельной линии проложен провод заземления 2Y 1×400 с медной многопроволочной жилой сечением 400 мм² и полиэтиленовой оболочкой, который на одном конце присоединён к шине контура заземления на ОПП, на другом конце присоединён к шине контура заземления на СПК [2].

Кроме того, на перемычках на Богучанской ГЭС смонтированы КЛ 500 кВ, выполненные кабелем производства Sudkabel GmbH марки 2XS(FL)2Y 1×800 RM/150-290/500 kV (сечение медной жилы 800 мм²).

Рис. 9. Концевая муфта EHFVCS 550 F с системой обогрева, электроконтактным манометром и присоединительным ящиком O.EK-LS1

На концах КЛ 500 кВ на Богучанской ГЭС смонтированы элегазовые вводы типа EHSVS 550 F производства Sudkabel GmbH, оборудованные датчиками частичных разрядов. На элегазовых вводах EHSVS 550 F со стороны кабельной линии с непосредственным заземлением экрана кабеля 500 кВ смонтированы высокочастотные заземления (ВЧ заземления) с ОПН с наиборльшим длительным допустимым рабочим напряжением не менее 0,4 кВ [6], на стороне КЛ с заземлением экрана кабеля 500 кВ через короб заземления с ОПН с номинальным напряжением 7,2 кВ ВЧ заземления не монтировались.

На рис. 12 можно видеть заземление элегазовых вводов EHSVS 550 F с индуктивным датчиком ЧР и с высокочастотными заземлениями с ОПН. Шина, проходящая через индуктивный датчик ЧР, к которой присоединены наконечники выводов проволок экрана кабеля, жёстко закреплена на плите основания поджимного устройства элегазового ввода. Заземляющий проводник из провода ПП 1×400 (гж), идущий от ящика заземления O.EKE-1LS, на рис. 12 не виден. Наконечник этого заземляющего проводника присоединён к большому уголку заземления, закреплённому на плите основания поджимного устройства с противоположной стороны.

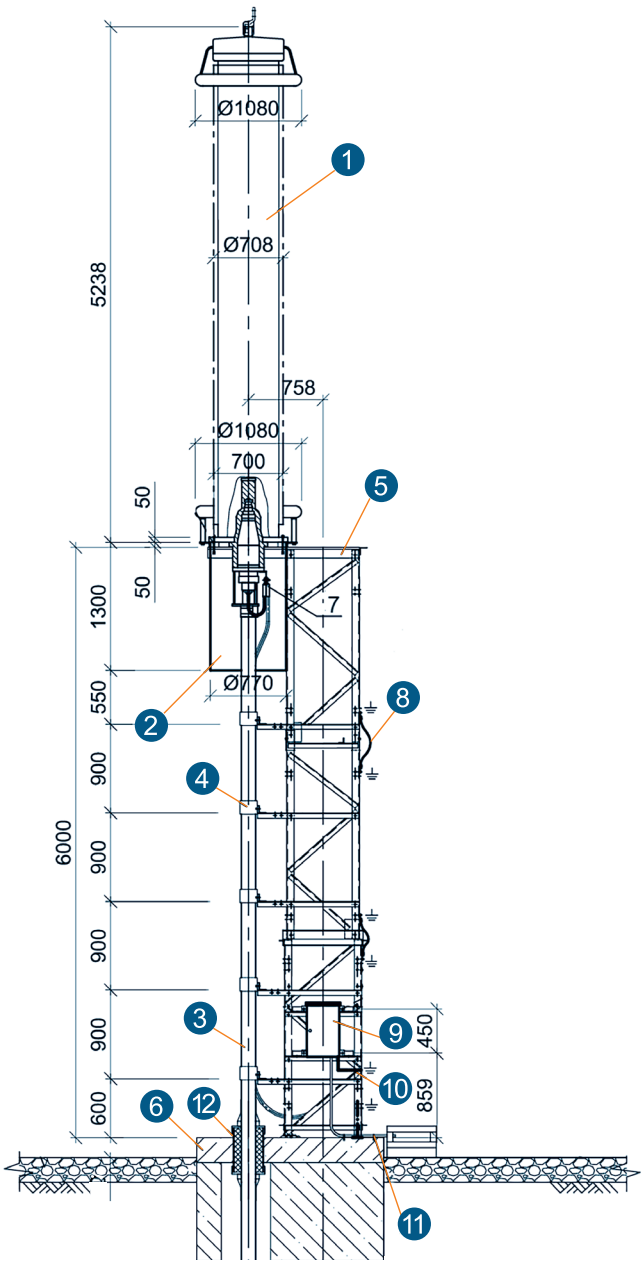

Рис. 10. Расположение концевой муфты EHFVCS 550 F на опорной металлоконструкции на Загорской ГАЭС:
1 – концевая муфта EHFVCS 550 F;
2 – отапливаемый корпус системы обогрева;
3 – кабель 500 кВ;
4 – силуминовый хомут с силиконовой прокладкой;
5 – металлоконструкция;
6 – фундамент;
7 – присоединение заземляющего проводника из провода ПП 1×400 (гж) к уголку заземления на концевой муфте;
8 – изолированный медный провод ВВГ 1×120 с наконечниками;
9 – присоединительный ящик типа O.EK-LS1;
10 – стальная полоса 5×60, соединённая с контуром заземления;
11 – труба гофрированная из полиамида Ø 17 мм с проводами питания системы обогрева;
12 – труба асбоцементная Ø 300 мм, длина 450 мм.

Кабель 500 кВ поставлялся с Sudkabel GmbH на металлических барабанах типа X43H27, имеющих наружный диаметр 4,3 м. Вес барабана с кабелем около 20 т. От предприятия-изготовителя, расположенного в г. Мангейм (Германия), до Санкт-Петербурга кабели 500 кВ транспортировались речным и морским путём на специальных поддонах. В порту г. Санкт-Петербурга металлические барабаны с кабелем были выгружены с морского судна и размещены на специальные автомобильные прицепы. На рис. 13 показана погрузка барабанов с кабелем 500 кВ в порту на автомобильный прицеп.

Проблемой была доставка барабанов с кабелем 500 кВ на Богучанскую ГЭС до начала весенней распутицы, при которой большегрузные автомобили с прицепами не смогли бы доехать до места доставки барабанов. Барабаны с кабелем 500 кВ были доставлены на Богучанскую ГЭС (рис. 14), разгружены и оставлены на хранение до 2012 года, когда началась прокладка КЛ 500 кВ.

Рис. 11. Богучанская ГЭС, август 2012 г.

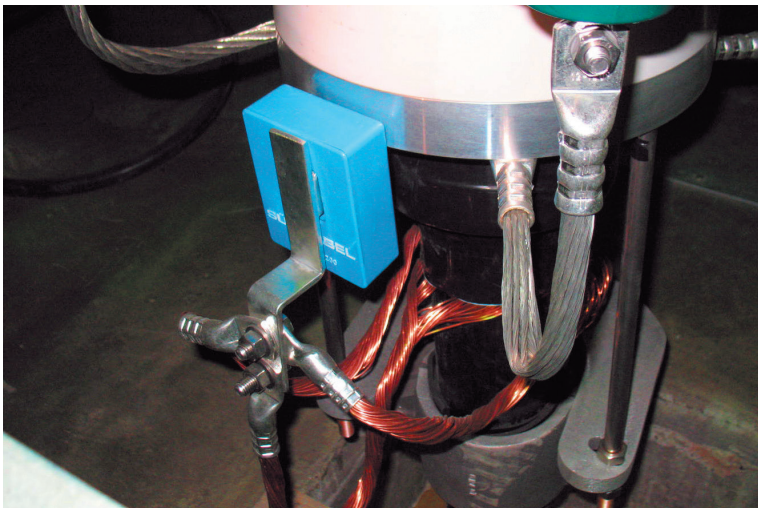

Рис. 12. Заземление элегазовых вводов EHSVS 550 F с датчиком ЧР и с ВЧ заземлениями с ОПН (заземляющий проводник не видно)

Рис. 13. Погрузка барабанов с кабелем 500 кВ в порту на автомобильный прицеп

Рис. 14. Транспортирование барабанов с кабелем 500 кВ на Богучанскую ГЭС (1 апреля 2011 г.)

Рис. 15. Кабели 500 кВ с медной жилой сечением 2500 мм² в тоннеле на Богучанской ГЭС

Рис. 16. Кабели 500 кВ с медной жилой сечением 800 мм² в тоннеле на Богучанской ГЭС

КЛ 500 кВ с кабелями марки 2XS(FL)2Y 1x2500 RMS/300-290/500 kV соединяют открытый переходный пункт со служебно-производственным комплексом на плотине. На этих КЛ кабели, проложенные в тоннеле, расположены в плоскости вдоль стен с разнесением по вертикали. Кабели уложены змейкой с провисом вниз и закреплены на сёдлах [3]. Сёдла размещены на консолях, расположенных через каждые 5 м. В середине промежутка между местами креплений, три кабеля каждой КЛ скреплены вместе стяжкой. На рис. 16 представлено фото кабелей 500 кВ с медной жилой сечением 2500 мм² в тоннеле на Богучанской ГЭС.

На одноцепной КЛ 500 кВ с кабелями марки 2XS(FL)2Y 1x800 RM/150-290/500 kV кабели в тоннеле на Богучанской ГЭС расположены треугольником вплотную. На рис. 16 представлено фото кабелей КЛ 500 кВ с медной жилой сечением 800 мм² в тоннеле на Богучанской ГЭС. Кабели скреплены треугольником вплотную с помощью бандажных лент и зафиксированы на трёхфазные сёдла, закреплённые на консолях, с помощью застёжек. Сёдла на консолях расположены в тоннеле с шагом около 5 м, кабели между сёдлами прогнуты вниз.

Прокладка кабелей 500 кВ и крепление их на трассе КЛ производились с мая по октябрь 2012 г. При прокладке кабелей 500 кВ использовалось оборудование фирмы Vetter (Германия»): лебёдка, отдающее устройство, ролики и т.д.

Испытания изоляции кабелей 500 кВ проводятся путём включения КЛ 500 кВ на номинальное напряжение (U_o) промышленной частоты 50 Гц в течение 24 часов. При испытаниях изоляции кабелей проводились измерения уровня ЧР.

Продолжение статьи будет опубликовано в журнале "Кабели и провода" № 6 (386) 2020