



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

■ *Продолжение статьи.*

Начало статьи в журнале

"Кабели и провода" № 5 (385) 2020

КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ 500 кВ на КВЛ 500 кВ ПС «ЗАПАДНАЯ» – ПС «ОЧАКОВО»

В связи со строительством в Москве инновационного центра «Сколково» и реконструкцией КВЛ 500 кВ «Западная-Очаково» был смонтирован кабельный участок от ОПП 500 кВ «Одинцово-2» до ОРУ на ПС 500 кВ «Очаково» КВЛ 500 кВ «Западная-Очаково 1,2» (далее в тексте – КЛ 500 кВ «Западная-Очаково»), выполненный кабелями типа 2XS(FL)2Y 1×2500 RMS/300-290/500

kV производства Sudkabel GmbH (Германия) с медной сегментированной жилой сечением 2500 мм², изоляцией из СПЭ и экраном из медных проволок сечением 300 мм², наружный диаметр около 150 мм, вес одного метра кабеля около 39 кг. КЛ 500 кВ «Западная-Очаково» соединяет ОРУ на ПС 500 кВ «Очаково» с ОПП 500 кВ «Одинцово-2», где происходит переход с кабельной линии на воздушную, идущую на ПС «Западная». Для прокладки был поставлен кабель 2XS(FL)2Y 1×2500 RMS/300-290/500 kV в двух вариантах: основной вариант (кабель для прокладки в земле) и вариант для прокладки на воздухе в коллекторе на участке трассы М19-М20 (кабель с дополнительными огнестойким и электропроводящим слоями на оболочке).



Кабели 500 кВ с медной сегментированной жилой сечением 2500 мм², экраном из медных проволок сечением 300 мм², наружный диаметр кабелей около 154 мм, вес одного метра кабеля около 40 кг. Кабели поставлялись на деревянных барабанах марки X43Z 26, наружный диаметр барабана 4,3 м, ширина 2,65 м, вес барабанов с кабелем около 22 т. В соответствии с требованиями Sudkabel GmbH, прокладка кабеля производилась при температуре кабеля не менее –5 °С.

С целью уменьшения токов по экранам кабелей на кабельном участке от колодца МТ(3)-4 до ОРУ 500 кВ на ПС «Очаково» выполнено соединение экранов кабелей методом транспозиции. Для транспозиции экранов кабелей через коробки был использован коаксиальный кабель 2XS(F) 2Y 1×400 RM/400-20 kV Sudkabel GmbH. На участке на ОПП 500 кВ «Одинцово-2» до колодца МТ(3)-4 выполнено одностороннее заземление, с прокладкой дополнительного провода заземления марки ПП 1×400 (гж), соединяющего контуры заземлений [2]. По трассе КЛ рядом с кабелями 500 кВ проложены оптоволоконные кабели марки ОК-М4П-8М-4,0 в полиэтиленовых трубах, используемые для измерения температуры кабелей при эксплуатации КЛ.

Расчётная длина КВЛ 500 кВ «Западная-Очаково» 13219 м. Длина кабельного участка от ОПП 500 кВ «Одинцово-2» до ОРУ на ПС 500 кВ «Очаково» 12514 м. Кабели по трассе КЛ 500 кВ «Западная-Очаково» проложены в земле в траншее, в земле в трубах, а также на воздухе (в коллекторе и на выходе из траншеи к конечным муфтам).

На КЛ были смонтированы специальные коробки для транспозиции экранов, проходные коробки для соединения выводов экранов из соединительных муфт, коробки для заземления выводов экрана из концевых муфт (с ОПН и без ОПН), которые позволяли проводить измерение уровня ЧР при высоковольтных испытаниях перед сдачей КЛ в эксплуатацию с помощью переносного датчика ЧР в виде высокочастотного измерительного трансформатора тока.

Строительство КЛ 500 кВ «Западная-Очаково» проходило в два этапа. На первом этапе в 2011–2013 годах было выполнено строительство КЛ 500 кВ «Западная-Очаково» от ОРУ на ПС 500 кВ «Очаково» до временного переходного пункта, на котором происходил переход с кабельной линии на воздушную, идущую на ПС «Западная». На втором этапе строительства, который был в 2014–2015 годах, был выполнен монтаж участка КЛ 500 кВ от ОПП 500 кВ «Одинцово-2» до соединительных муфт в колодце МТ(3)-1, в котором вновь проложенные кабели 500 кВ соединяются с кабелями 500 кВ, проложенными на первом этапе строительства. При этом концевые муфты на временном переходном пункте, а также две ремонтные соединительные муфты, смонтированные на первом этапе

строительства, были демонтированы. На концах КЛ 500 кВ смонтированы по 6 концевых муфт типа EHFVCS 550 F с системой обогрева (всего 12 штук).

На трассе КЛ 500 кВ в 28 колодцах расположены 163 соединительные муфты типа SEHDVCB 550 производства Sudkabel GmbH (Германия) с выводами экрана кабеля с помощью коаксиального кабеля 2XS(F) 2Y 1×400 RM/400-20 kV: в 27 колодцах расположено по 6 соединительных муфт, в одном ремонте колодца M20A – одна соединительная муфта.

Транспортирование барабанов с кабелем 500 кВ производилось на специальных автомобильных прицепах: по одному или два барабана на одном прицепе. На рис. 17 и 18 показана транспортировка одного и двух барабанов с кабелем 500 кВ на специальном автомобильном прицепе. На рис. 18 видна дорога из бетонных плит, которую специально построили для транспортирования барабанов с кабелем до места хранения.

На рис. 19 показана разгрузка барабанов с кабелем на площадку для хранения, выполненную из железобетонных плит.

При прокладке кабелей 500 кВ использовалось оборудование для прокладки кабелей фирм Vetter (Германия) и Jakob Thaler GmbH (Германия).

На рис. 21 показан спуск кабеля 500 кВ по роликам с барабана, расположенного на отдающем устройстве, на трассу кабельной линии.

На рис. 22 показана прокладка кабеля 500 кВ по угловым роликам на повороте трассы кабельной линии.

После прокладки в траншее кабели трёх фаз укладывались в треугольник вплотную и стягивались пластиковыми стяжками. На рис. 23 показаны прокладка кабеля 500 кВ по линейным роликам на прямом участке трассы кабельной линии, а также кабели 500 кВ, уложенные после прокладки в треугольник вплотную.

Каждая трёхфазная кабельная линия по проекту должна быть защищена от механических повреждений с боков и сверху железобетонными плитами. Чтобы не повредить кабели 500 кВ при установке защитных железобетонных плит, три кабеля каждой кабельной линии закрывались временно с боков и сверху деревянными коробами. С боков от коробов ставились вертикально железобетонные плиты и фиксировались с помощью приспособлений из арматурной проволоки. Кабели 500 кВ и боковые железобетонные плиты последовательно засыпались с боков и сверху песчано-гравийной смесью (ПГС). После фиксации слоем ПГС плит в вертикальном положении, фиксирующие приспособления из арматурной проволоки с плит снимались, деревянные коробки переставлялись на следующий участок КЛ, где требуется засыпка



Рис. 17. Транспортировка одного барабана с кабелем 500 кВ на специальном автомобильном прицепе



Рис. 20. Барабаны с кабелем 500 кВ на площадке для хранения



Рис. 18. Транспортировка двух барабанов с кабелем 500 кВ на специальном автомобильном прицепе



Рис. 21. Спуск кабеля 500 кВ по роликам с барабана, расположенном на отдающем устройстве, на трассу кабельной линии



Рис. 19. Разгрузка барабанов с кабелем на площадку для хранения



Рис. 22. Прокладка кабеля 500 кВ по угловым роликам на повороте трассы кабельной линии



Рис. 23. Прокладка кабеля 500 кВ по линейным роликам на прямом участке трассы кабельной линии, а также кабели 500 кВ, уложенные после прокладки в треугольник вплотную

кабелей, плиты опять фиксировались в вертикальном положении с двух сторон от коробов и так далее, по всей длине засыпаемых ПГС кабелей. На рис. 24 показаны кабели 500 кВ, связанные в треугольник вплотную пластиковыми стяжками и закрытые временными деревянными коробами. На рис. 25 показан монтаж железобетонных плит, засыпка кабелей 500 кВ и плит песчано-гравийной смесью.

На засыпку из ПГС и вертикально установленных плит укладывались сверху горизонтально железобетонные плиты, поверх которых трасса КЛ 500 кВ засыпалась грунтом.

Соединительные муфты и кабели 500 кВ, смонтированные в камерах в каждом колодце, зафиксированы на металлоконструкциях, закреплённых на полу, и засыпаны ПГС. Камеры с муфтами закрыты сверху



Рис. 24. Кабели 500 кВ, связанные в треугольник вплотную пластиковыми стяжками и закрытые временными деревянными коробами



Рис. 25. Монтаж железобетонных плит, засыпка кабелей 500 кВ и плит песчано-гравийной смесью

бетонными плитами и засыпаны грунтом. В колодцах имеются камеры с люками для размещения ящиков для транспозиции, проходных коробов и коробов заземления, которые не засыпаются. На рис. 26 показан колодец для соединительных муфт (с каркасом для защитного тента) с заведёнными в него кабелями 500 кВ, а на рис. 27 колодец для соединительных муфт, закрытый защитным тентом, с заведёнными в него кабелями 500 кВ.

На рис. 28 показан монтаж соединительных муфт SEHDVCB 550 в отапливаемом колодце, закрытом защитным тентом.

На рис. 29 показаны соединительные муфты SEHDVCB 550, смонтированные в колодце и закреплённые на металлоконструкциях. Защитный тент с колодца снят.



Рис. 26. Колодец для соединительных муфт (с каркасом для защитного тента) с заведёнными в него кабелями 500 кВ



Рис. 27. Колодец для соединительных муфт, закрытый защитным тентом, с заведёнными в него кабелями 500 кВ



Рис. 29. Соединительные муфты SEHDVCB 550, смонтированные в колодце и закреплённые на металлоконструкциях. Защитный тент с колодца снят



Рис. 28. Монтаж соединительных муфт SEHDVCB 550 в отапливаемом колодце, закрытом защитным тентом



Рис. 30. Колодец со смонтированными соединительными муфтами SEHDVCB 550, засыпанный песком и закрытый железобетонными плитами

На рис. 30 показан колодец со смонтированными соединительными муфтами SEHDVCB 550, засыпанный песком и закрытый железобетонными плитами.

На рис. 31 показан колодец M20 A с одной ремонтной соединительной муфтой SEHDVCB 550 до засыпки. Слева от колодца с муфтой SEHDVCB 550 бетонный колодец с размещённым в нём проходным коробом для соединения выводов экранов из соединительной муфты.

На рис. 32 можно видеть кабели 500 кВ в коллекторе, закреплённые через каждый метр на консолях хомутами.

На первом этапе строительства были проведены испытания КЛ повышенным переменным напряжением 320 кВ с частотой от 20 до 300 Гц в течение 1 часа, подаваемым на отдельные фазы КЛ от специального высоковольтного испытательного оборудования, с измерением уровня ЧР. Эти испытания проходили в два этапа:

А. Первый этап испытаний. Первоначально планировалось использовать для испытаний установку, мощности которой не хватало для проведения испытаний повышенным напряжением на всей длине КЛ 500 кВ. При монтаже КЛ пришлось разделить её на два



Рис. 31. Колодец М20 А с одной ремонтной соединительной муфтой SEHDVCB 550 до засыпки



Рис. 32. Кабели 500 кВ в коллекторе, закреплённые через каждый метр на консолях хомутами

участка. Для проведения испытаний на трасса КЛ 500 кВ между колодцами М7 и МТ-8 на временном открытом переходном пункте (ВОПП) были смонтированы 6 концевых муфт ENFVCS 550 F, на которые заходил кабель со стороны переходного пункта (ПП) у Минского шоссе. На ВОПП была размещена испытательная установка и проведены испытания высоким напряжением с измерением уровня ЧР на отдельных фазах КЛ. На рис. 33 показаны испытания концевых муфт на ВОПП.



Рис. 33. Испытания концевых муфт на ВОПП на первом этапе строительства



Рис. 34. Испытания всей кабельной линии на первом этапе строительства

Б. После испытаний на первом этапе концевые муфты на ENFVCS 550 F на ВОПП были демонтированы, и кабели 500 кВ двух участков КЛ были соединены соединительными муфтами SEHDVCB 550. После завершения строительства были выполнены испытания переменным напряжением 320 кВ в течение 1 часа с измерением ЧР на всей КЛ 500 кВ от ОРУ на ПС 500 кВ «Очаково» до ПП у Минского шоссе с помощью испытательного оборудования, мощность которого



позволяла проведение испытаний на всей длине КЛ. Испытания проводились независимой лабораторией, членом STL и LOWAG, IPH Institut Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik GmbH, исполнитель по замерам уровня ЧР – Sudkabel GmbH. На рис. 34 показаны испытания всей кабельной линии на первом этапе строительства.

После завершения второго этапа строительства на всей КЛ 500 кВ перед включением были проведены испытания оболочек кабелей 500 кВ напряжением 10 кВ постоянного тока, а также высоковольтные испытания с измерением ЧР на отдельных участках КЛ, построенных на втором этапе строительства.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

При одностороннем заземлении экранов кабелей рекомендуется использовать дополнительный провод заземления (ЕСС), соединяющий контуры заземлений на концах КЛ. По возможности, следует предусмотреть на трассе КЛ 500 кВ запас кабеля, который может потребоваться для монтажа ремонтной муфты.

Предпочтительней располагать кабели 500 кВ на воздухе (в кабельных помещениях, коллекторах, тоннелях, лотках), а не в земле, что позволит в случае пробоя кабеля оперативно проводить аварийно-восстановительные работы на кабельной линии. Следует особо учитывать способ доставки барабанов с кабелем и предусмотреть специальные площадки для хранения барабанов.

Прокладка кабелей 500 кВ должна проводиться без прогрева барабанов с кабелем при температуре кабеля, заданной производителем, но в любом случае, не менее -5°C .

Следует учитывать, что перед прокладкой кабелей 500 кВ значительное время занимают работы по подготовке трассы КЛ к прокладке: обустройство мест установки отдающего устройства и лебедки, монтаж роликов, обводных устройств, вспомогательных распорок, креплений и т.д. После прокладки требуется также значительное время на укладку и закрепление кабелей на трассе, засыпку кабелей ПГС, защиту бетонными плитами и засыпку грунтом (при прокладке в земле).

Если возникает необходимость использования при прокладке кабелей подталкивающих устройств, то должны использоваться подталкивающие устройства с гидроприводом, например, подталкивающие устройства фирмы Vetter типа DF 6 с бензиновым или электрическим двигателем [7]. Гидропривод позволяет синхронизировать работу подталкивающего устройства с работой тяговой лебедки при прокладке кабелей.

При прокладке кабелей на воздухе на горизонтальных участках трассы рекомендуется укладывать кабели с изгибами в горизонтальной или вертикальной плоскости («змейкой»), при этом шаг жёсткого закрепления кабелей между изгибами может составлять 5–6 метров [3, 7].

При проектировании КЛ 500 кВ следует особо уделять внимание испытаниям КЛ 500 кВ, объём которых определяется не только с учётом требований действующих нормативных документов, а также требований поставщиков кабелей и арматуры, но и исходя из возможности привлечения специализированных испытательных организаций, имеющих необходимое оборудование.

Список литературы

1. Akira Suzuki, Shin'ji Nakamura, Moriaki Matsuda, Hiroshi Tanaka, Masaaki Shiomitsu, Kiyooki Hiraga, Kiyomi Adachi, Katsuyoshi Hiratsuka, Kazuhiko Matsuda, Masashi Yagi, Akihisa Sudo, Kimiji Sugawara. Installation of the World's First 500-kV XLPE Cable with Intermediate Joints // Furukava Review. – 2000. – № 19.

URL: <http://www.furukawa.co.jp> (дата обращения: 28.11.2019).

2. Гринь А.В., Мнека А.С., Студенников А.В., Филиппов А.А. Дополнительный провод заземления при одностороннем заземлении экранов силовых кабелей 100–500 кВ // Кабели и провода. – 2017. – № 1 (362). – С. 20–22.

3. Гринь А.В., Мнека А.С. Крепление кабелей 110–500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена при прокладке на воздухе // Кабели и провода. – 2019. – № 1 (375). – С. 20–30.

4. Компактные кабельные вводы EHSVS (для устройств, заполненных SF6) и EHTVS (для трансформаторов, заполненных маслом) / Каталог Súd kabel GmbH. – М.: Издание ООО «Эстралин ПС».

URL: <http://www.estralin.com> (дата обращения: 03.12.2019).

5. Концевые муфты наружной установки 72,5–550 кВ / Каталог Súd kabel GmbH. – М.: Издание ООО «Эстралин ПС».

URL: <http://www.estralin.com> (дата обращения: 03.12.2019).

6. Гринь А.В., Мнека А.С. Заземление кабельных вводов 110–500 кВ в КРУЭ и трансформаторы // Кабели и провода. – 2019. – № 4 (378). – С. 25–37.

7. Руководство по прокладке силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110–500 кВ. ТД–16–01П. – М.: Негосударственное образовательное частное учреждение «ЦПК «Прокладка и Монтаж», 2016.