РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ИСПЫТАНИЯ ТЕРМОУСАЖИВАЕМЫХ КОНЦЕВЫХ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ МУФТ НА НАПРЯЖЕНИЕ 20 и 35 кВ

V.S. Vagin, *General Director of JSC "MZEI";*
S.S. Vetlugaev, *Cand. Sc. (Engineering), Research Scientist, OJSC VNIIKP;*
D.A. Guk, *Head of High-Voltage Test Centre of OJSC VNIIKP;*
L.E. Makarov, *Cand. Sc. (Engineering), Leading Research Scientist, OJSC VNIIKP;*
V.A. Naumov, *Deputy General Director for Production of JSC "MZEI";*
M.A. Potapov, *Leading Engineer, JSC "MZEI";*
P.V. Fursov, *Cand. Sc. (Engineering), Leading Research Scientist, OJSC VNIIKP;*

В.С. Вагин, *генеральный директор АО «МЗЭИ»;*
С.С. Ветлугаев, *канд. техн. наук, научный сотрудник ОАО «ВНИИКП»;*
Д.А. Гук, *заведующий Высоковольтным испытательным центром ОАО «ВНИИКП»;*
Л.Е. Макаров, *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ОАО «ВНИИКП»;*
В.А. Наумов, *заместитель генерального директора по производству АО «МЗЭИ»;*
М.А. Потапов, *ведущий инженер АО «МЗЭИ»;*
П.В. Фурсов, *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ОАО «ВНИИКП»*

Аннотация. Приведены основные результаты совместных работ ОАО «ВНИИКП» и АО «МЗЭИ» по исследованию материалов и разработке конструкции муфт для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 35 кВ. Рассматривается соответствие разработанных соединительных и концевых муфт требованиям государственного стандарта и стандартов организации ПАО «ФСК ЕЭС».

Ключевые слова: концевая муфта, соединительная муфта, арматура силовых кабелей, частичный разряд, трекингостойкость, климатические испытания.

Abstract. The article presents the basic results of OJSC VNIIKP and JSC "MZEI" joint investigations of materials and design development of accessories for 35 kV XLPE cables.

Consideration is given to the compliance of the developed joints and terminations with the requirements of the state standard and the PAO FGC UES (Federal Grid Company of Unified Energy System) standards.

Key words: terminations; joints; power cable accessories; partial discharges; tracking resistance; climatic tests.

Материал поступил в редакцию 25.08.2020
E-mail: energy@vniikp.ru, info@mufta.ru

При монтаже более 90 % муфт кабелей среднего напряжения (10–35 кВ) в нашей стране используют технологию термической усадки, когда отдельные элементы этих муфт под воздействием нагрева (газовой горелки или технического фена) изменяют поперечные размеры в два и более раза, обеспечивая их установку на кабелях различных поперечных сечений.

В настоящее время в РФ 10 отечественных предприятий поставляют комплектующие и производят муфты для монтажа в сетях среднего напряжения. Одним из поставщиков термоусаживаемых материалов для монтажа муфт является Михневский завод электроизделий (АО «МЗЭИ»), который известен широким диапазоном выпускаемых термоусаживаемых перчаток и изготовлением термоусаживаемых трубок с большой кратностью расширения. С 2010 г. АО «МЗЭИ» ведёт разработку муфт для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Накопленный в ОАО «ВНИИКП» опыт по исследованию и испытанию муфт кабелей среднего напряжения и технологические возможности АО «МЗЭИ» позволили объединёнными усилиями предприятий создать новые конструкции муфт на напряжение 35 кВ.

Настоящая статья рассматривает задачи выбора материалов, разработки конструкций и проведение испытаний муфт на напряжение 20 и 35 кВ, а также организацию обучения технического персонала монтажу муфт. Решение этих задач позволяет обеспечить надёжную работу муфт в кабельных системах.

Результаты исследования повреждённых муфт, смонтированных на кабелях с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 20–35 кВ, позволяют сделать вывод, что их надёжная эксплуатация в большей мере определяется отсутствием частичных разрядов (ЧР) в изоляции муфт. ЧР возникают в области воздушных включений, которые могут образоваться в основном по причине небрежно проведённого монтажа, или на поверхности изоляции кабеля и/или термоусаживаемых трубок по причине неудовлетворительного качества материалов, используемых для регулирования электрического поля. В соответствии с требованиями стандарта МЭК [1] уровень ЧР в изоляции муфт должен быть ниже 10 пКл при напряжении 1,73 U_0, где U_0 – номинальное напряжение промышленной частоты между жилой и землёй. В образцах некачественно смонтированной арматуры различных производителей, изоляция которых повреждалась при длительных испытаниях, отмечались ЧР величиной более 1000 пКл.

Наиболее типичной ошибкой при монтаже муфт, приводящей к образованию воздушной полости, является отсутствие упорного кольца, ограничивающего перемещение циркулярного ножа при удалении электропроводящего экрана по изоляции кабеля [2]. При этом на краю экрана может образоваться неровный край и/или подрез изоляции кабеля (рис. 1). В этом месте после выполнения монтажа остаётся воздушная полость, в которой возникают ЧР, приводящие к образованию электрических триингов и последующему пробою муфты.

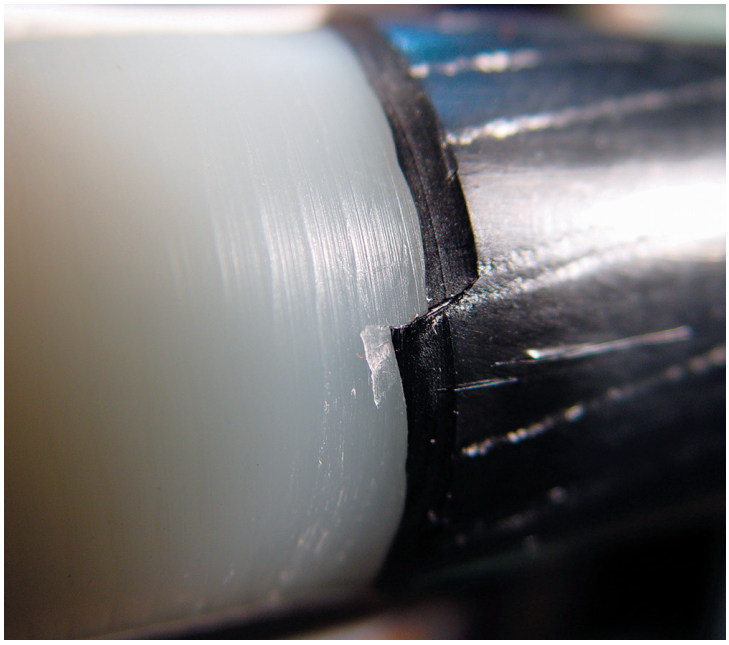

Рис. 1. Острый край экрана по изоляции с подрезом изоляции

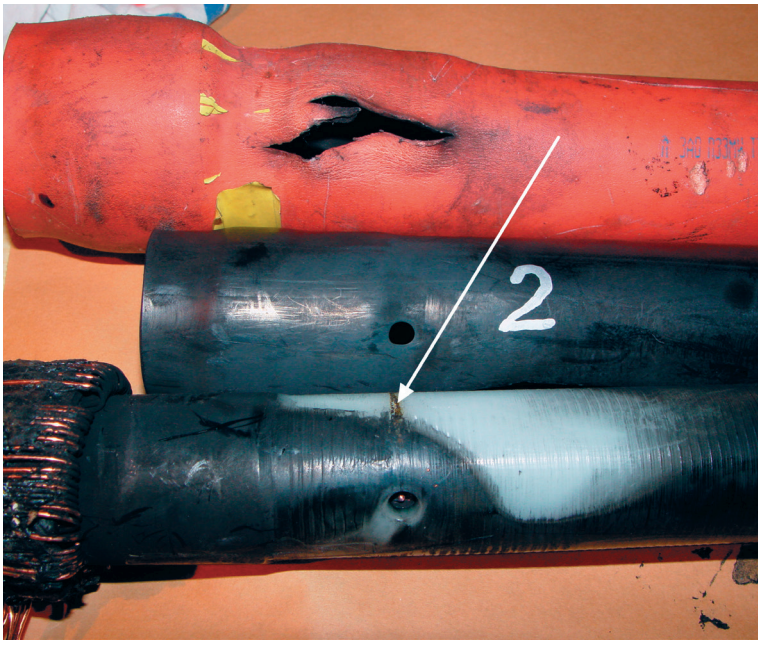

Рис. 2. Место пробоя концевой муфты на напряжение 20 кВ. Следы ЧР у края манжеты показаны стрелкой

Низкое качество ленты (манжеты) для регулирования напряжённости электрического поля на краю экрана по изоляции кабеля, её значительная жёсткость или неправильное наложение приводят к образованию ступеньки на краю манжеты. После установки поверх ленты трубки регулирования поля на краю ленты остаётся воздушная полость, в которой возникают ЧР, приводящие к пробою муфты (рис. 2). Аналогичный эффект наблюдается при перекрытии одной термоусаживаемой трубки со значительной толщиной стенки другой трубкой. Срок службы муфт при наличии таких круговых воздушных полостей сокращается до 1–3 лет.

Учитывая отмеченные выше недостатки, в конструкциях муфт на напряжение 20 и 35 кВ для регулирования напряжённости электрического поля были использованы лента из эластомерного материала, проводимость которой зависит от напряжённости электрического поля, и термоусаживаемые трубки, которые также имеют нелинейные электрические характеристики.

Оценка регулирующей способности материалов проводилась по напряжению возникновения ЧР. Для измерения был использован одножильный кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 35 кВ. Края электропроводящего экрана по изоляции кабеля снимались на конус и затем тщательно обрабатывались наждачной шкуркой. Регулирующая термоусаживаемая трубка или эластомерная лента накладывались на край подготовленного экрана по изоляции кабеля. Образец кабеля с регулирующими элементами подключался к источнику высокого переменного напряжения и измерителю ЧР, который обеспечивает измерение ЧР в диапазоне 0–1000 пКл с чувствительностью 2 пКл. Были проведены испытания 5 образцов лент и 8 образцов трубок, полученных от различных производителей. В результате проведённых в Высоковольтном испытательном центре ОАО «ВНИИКП» испытаний установлено, что большинство образцов как лент, так и регулирующих трубок не обладают достаточной способностью регулировать электрическое поле. Напряжение начала возникновения ЧР при наложении на край экрана по изоляции кабеля наилучшего образца ленты составило 25 кВ. При испытании образцов трубок регулирования поля определена трубка, обеспечивающая напряжение возникновения ЧР 40 кВ. При совместном использовании выбранных ленты и трубки напряжение возникновения ЧР поднялось до 50 кВ.

Можно видеть, что лента из эластомерного материала и тонкостенная термоусаживаемая регулирующая трубка соответствуют по необходимому уровню начала ЧР требованиям арматуры для кабелей на напряжение 35 кВ. Такая система регулирования электрического поля из двух регулирующих материалов была успешно применена как в концевых, так и в соединительных муфтах кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 20 и 35 кВ.

Следует отметить, что для того, чтобы быть уверенным в качестве материалов, применяемых для регулирования поля, необходимо обеспечить их входной контроль, измеряя уровень напряжения начала ЧР на образцах от каждой партии поставленных материалов.

Первые образцы муфт с выбранными материалами регулирования электрического поля также были испытаны на одножильном кабеле марки АПвВ 1×95/25-35. Испытательная система содержала одну соединительную и две концевые муфты. Измеренные значения ЧР при напряжении 35 кВ – менее 2 пКл.

После получения положительных результатов испытаний опытных образцов кабельных муфт была смонтирована и испытана кабельная система, состоящая из концевых муфт наружной и внутренней установки марок ЗПКВТпб 35(70-120)М, ЗПКНТпб 35(70-120)М и соединительной муфты марки ЗПСТб 35(70-120)М на трёхжильном кабеле марки АПвБВнг(А)-LS3×120мк/70-35. Данные кабельные муфты были изготовлены из компонентов производства АО «МЗЭИ» и смонтированы специалистами этого предприятия. Для герметизации разделки конце-

Таблица 1

Характеристики перчаток, используемых в муфтах производства АО «МЗЭИ»

Маркоразмер перчатки	Внутренний диаметр юбки до усадки / после усадки, мм	Внутренний диаметр пальцев до усадки / после усадки, мм	Длина перчатки до усадки / после усадки, мм
3–3	80/28	40/15	145/180
3–4,0	105/50	50/17	150/197
3–4	115/77	54/27	240/270

Таблица 2

Результаты основных испытаний опытных образцов концевых и соединительных муфт на трёхжильном кабеле с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 35 кВ

Виды испытаний, проверок	Технические требования	Методы испытаний	Нормированные значения и показатели в соответствии с нормативной документацией	Полученные результаты
Испытание переменным напряжением 90 кВ частоты 50 Гц в течение 4 часов	СТО 56947007-29.240.65.205–2015, раздел 5.2, п. 4.1	ГОСТ 2990–78	Отсутствие пробоя и перекрытий	Пробой и перекрытия отсутствуют
Измерение уровня ЧР при переменном напряжении 35 кВ частотой 50 Гц, пКл, не более	СТО 56947007-29.240.65.205–2015, раздел 5.2, п. 4.2	ГОСТ 28114–89	10	< 2
Испытание 60 циклами нагрева при одновременном воздействии переменного напряжения 50 кВ частоты 50 Гц	СТО 56947007-29.240.65.205–2015, раздел 5.2, п. 4.3	СТО 00081866-001–2009, п. 7.4.6	Отсутствие пробоя и перекрытий	Пробой и перекрытия отсутствуют
Измерение уровня ЧР при переменном напряжении 35 кВ частотой 50 Гц, пКл, не более	СТО 56947007-29.240.65.205–2015, раздел 5.2, п. 4.4	ГОСТ 2811–89	10	< 2
Испытание импульсным напряжением 190 кВ (10 импульсов каждой полярности) при температуре на жиле кабеля 90 °С	СТО 56947007-29.240.65.205–2015, раздел 5.2, п. 4.5	СТО 00081866-001–2009, п. 7.4.5	Отсутствие пробоя и перекрытий	Пробой и перекрытия отсутствуют

вой муфты применялись термоусаживаемые перчатки ТУП 3–4 (маркоразмеры перчаток приведены в табл. 1) с клеевым слоем на внутренней поверхности. Термоплавкий клей является собственной разработкой АО «МЗЭИ» и по своим адгезионным свойствам полностью соответствует требованиям ГОСТ 13781.0–86 п. 2.10 [3]. Для концевых муфт были применены трекингостойкие трубки красного цвета. В соединительной муфте ЗПСТб 35 для изоляции применялся набор толстостенных термоусаживаемых трубок и двухслойная трубка с экранирующим полимерным электропроводящим слоем. Узлы выравнивания напряжённости электрического поля в соединительной муфте выполнены так же, как и на концевой муфте. Внешний защитный кожух состоял из двух термоусаживаемых трубок с клеевым слоем. Данные кабельные муфты АО «МЗЭИ» (рис. 3) обладают рядом преимуществ, основные из них – простота монтажа и надёжность.

Кабельная система успешно прошла все основные виды испытаний в соответствии с [3, 4] (табл. 2), в том числе длительные циклические испытания, при которых соединительная муфта выдержала испытания тридцатью циклами на воздухе и тридцатью циклами в воде, концевые муфты выдержали 60 циклов на воздухе. Каждый цикл включал нагрев до температуры жилы кабеля 95–100 °С, выдержку при этой температуре в течение 2 ч с последующим охлаждением до температуры окружающей среды и выдержкой в тече-

Рис. 3. Концевая муфта на напряжение 35 кВ, разработанная АО «МЗЭИ»

ние 3 ч. Общая продолжительность цикла испытаний составляет 8 ч.

Кроме основных электрических, были проведены климатические испытания разработанных муфт, которые включали проверку стойкости к воздействию повышенной температуры окружающей среды 50±2 °С в течение 4 ч, проверку стойкости к воздействию пониженной температуры окружающей среды -60±2 °С в течение 4 ч с последующим испытанием муфт переменным напряжением 80 кВ частоты 50 Гц в течение 15 мин.

Также были проведены успешные испытания в течение 500 ч на трекингоэрозионную стойкость изоляции концевой муфты наружной установки ЗПКНТпб 35(70–120)М при увлажнении поверхности муфты раствором $CaCl_2$ и постоянном воздействии переменного напряжения 26 кВ частотой 50 Гц по ГОСТ Р 52082. Муфта выдержала испытания, отмечено отсутствие эрозии, превышающей 50 % толщины стенки наружной термоусаживаемой трубки концевой муфты.

Результаты успешных испытаний муфт после изготовления не всегда обеспечивают их надёжную эксплуатацию. Большинство повреждений (до 80 %) муфт [2] в эксплуатации связано с ошибками монтажа и нарушениями монтажных инструкций. Были случаи, когда в монтаже муфт принимал участие неквалифицированный и неаттестованный персонал, который не проходил обучения в специализированных центрах фирм-производителей арматуры. Учитывая значительное влияние обучения на дальнейшее внедрение разработанных совместными усилиями муфт, АО «МЗЭИ» пересмотрело инструкции по монтажу муфт на напряжение 20 и 35 кВ, упростив их и сделав более понятными для технического персонала. На основе этих инструкций разработан план обучения монтажу новой кабельной арматуры на напряжение 20 и 35 кВ, который включает как общие теоретические вопросы работы муфт в кабельных системах, так и практическую часть, связанную с подготовкой кабеля и установкой на кабеле элементов муфт.

Можно полагать, что выполнение плана внедрения разработанных объединёнными усилиями ОАО «ВНИИКП» и АО «МЗЭИ» концевых и соединительных муфт на напряжение 20 и 35 кВ позволит обеспечить их длительную безаварийную эксплуатацию в сетях РФ.

Список литературы

1. IEC 60502–4. Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (Um = 1,2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV) – Part 4: Test requirements on accessories for cables with rated voltages from 6 kV (Um = 7,2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV). – 2005. – № 3.
2. **Блеклов Д.В., Ветлугаев С.С., Образцов Ю.В., Фурсов П.В.** Причины выхода из строя концевых и соединительных муфт кабелей среднего напряжения // Энергетик. – 2014. – № 5.– С. 53–55.
3. ГОСТ 13781.0–86 (СТ СЭВ 4449-83). Муфты для силовых кабелей на напряжение до 35 кВ включительно. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 18 с.
4. СТО 56947007-29.240.65.205–2015. Кабельные системы на напряжение 0,66–35 кВ. Типовые технические требования.

URL: http://www.fsk-ees.ru (дата обращения: 04.12.2019).