

Переходные соединительные муфты на напряжение 110 кВ

Ветлугаев С. С., Макаров Л. Е., Образцов Ю. В., Фурсов П. В.

В настоящее время в энергосистемах применяются различные виды кабельной арматуры, из них наиболее известны концевые и соединительные муфты, разновидностями которых для концевых муфт являются муфты кабельных вводов, а для соединительных муфт - переходные и стопорные муфты.

В настоящей статье рассмотрены вопросы конструирования и испытания специального вида соединительных муфт - переходных муфт, которые вследствие их особых функций приобрели важное значение для развития энергосистем.

В энергосистемах широко внедряются кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, и в ряде случаев возникает необходимость замены старых кабельных линий, выполненных маслонаполненным кабелем (МНК) низкого давления, на кабельные линии с изоляцией из сшитого полиэтилена. Иногда такая замена связана с наличием текущих участков линии МНК. При этом потребители не всегда по экономическим или другим соображениям имеют возможность быстрой и полной замены всей длины кабельной линии на основе МНК на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, поэтому энергосистемы вынуждены менять маслонаполненный кабель по участкам (по строительным длинам). В этой связи возникает задача соединения кабелей с разнородной электрической изоляцией, которая может быть решена путем использования соединительных переходных муфт.

Решающее значение приобрела проблема соединения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и МНК при перекладке кабельных линий в Москве в связи со строительством третьего транспортного кольца. Для решения проблемы соединения кабелей с разнородной изоляцией была разработана переходная соединительная муфта на напряжение 110 кВ.

Конструкция и электрический расчет элементов переходной соединительной муфты.

Основное конструктивное отличие переходной соединительной муфты от соединительной - наличие двух разделенных камер, в одну из которых вводится специально подготовленный конец кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена, а в другую камеру - конец МНК с усиливающей изоляцией. Поэтому в качестве переходной соединительной муфты в известных зарубежных конструкциях решено было использовать муфту кабельного ввода в элегазовое устройство. Эпоксидный изолятор муфты представлял собой камеру для кабеля с пластмассовой изоляцией, а кожух кабельного ввода, в котором располагался изолятор, являлся второй камерой переходной муфты. Такая переходная соединительная муфта на напряжение 110 кВ была разработана в 1986 г. [1].

Недостатками конструкции являются: значительные габариты муфты (до 2600 мм), отсутствие специального регулирования электрического поля (эпоксидный изолятор один и тот же для муфты ввода и для переходной муфты), малая заводская готовность муфты - все работы по монтажу усиливающей изоляции центральной части и соединению кабелей выполняются на месте монтажа в кабельном колодце.

На рис. 1 представлена разработанная переходная соединительная муфта типа МПМНП-М-110, в которой учтены недостатки конструкции, основанной на использовании изолятора кабельного ввода в элегазовое распределительное устройство.

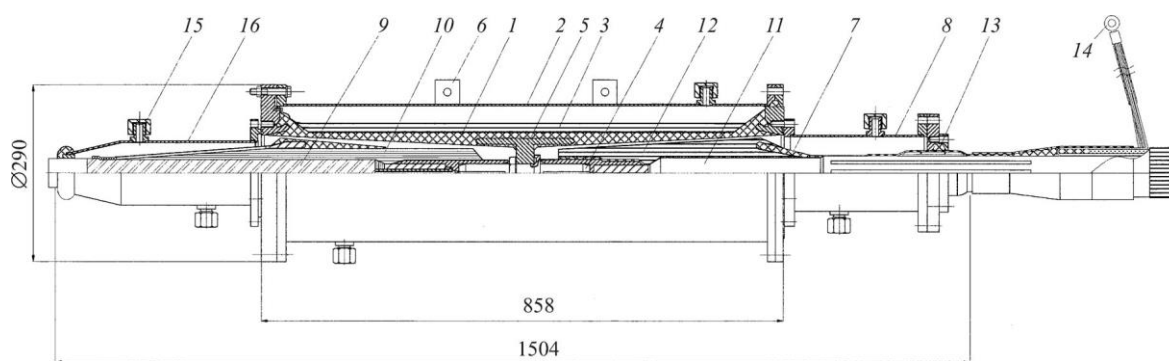


Рис. 1. Переходная соединительная муфта на напряжение 110 кВ:

1 - эпоксидный армированный изолятор; 2 - центральная часть переходной муфты; 3 - усиливающая бумажная, пропитанная маслом изоляция; 4 - штекерный соединитель; 5 - центральный электрод; 6 - клемма заземления; 7 - электрод регулирования электрического поля; 8, 16 - кожухи концевых участков; 9 - МНК; 10 - усиливающая изоляция МНК; 11 - кабель с пластмассовой изоляцией; 12 - усиливающая изоляция пластмассового кабеля; 13 - узел уплотнения; 14 - наконечник заземления; 15 - заглушка

Переходная соединительная муфта состоит из трех частей: центральной части 2, заключенной в кожух из нержавеющей, немагнитной стали, кожуха 16 для подготовленного конца маслонаполненного кабеля и кожуха 8 для подготовленного конца кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена. Такая конструкция обеспечивает максимальную заводскую готовность, так как центральная часть собирается в условиях цеха и поставляется на место монтажа в собранном виде, заполненной кабельным маслом под баком давления. Наличие в центральной части стержневого штекерного элемента 4 упрощает сборку и разборку муфты.

На стадии разработки стопорных муфт 110 кВ были проведены испытания штекерных соединителей в режиме однофазного КЗ на испытательном стенде в системе Мосэнерго. Штекерное соединение выдержало без повреждения и без сваривания разъемных контактов ток электродинамической стойкости с максимальной амплитудой 80 кА и ток термической стойкости с действующим значением 31,5 кА в течение 0,8 с.

В качестве основы центральной части переходной муфты используется армированный эпоксидный изолятор 1, получаемый путем литья под вакуумом в форму наполненного Al_2O_3 эпоксидного компаунда горячего отверждения. Придание изолятору особой формы и использование закладных электродов при заливке дает возможность снизить габариты переходной муфты. Это особенно важно, так как муфта предназначена для монтажа в подземном кабельном колодце размером 7000 x 2100 x 2520 мм, на стенках которого при монтаже помещаются шесть муфт для двухцепной кабельной линии.

Эпоксидный изолятор жестко скреплен с кожухом 16 на одном конце и установлен с возможностью скольжения в резиновом уплотнении на другом конце кожуха 16. Таким образом, конструкция в условиях эксплуатации позволяет компенсировать различные температурные коэффициенты расширения кожуха из нержавеющей стали и эпоксидного изолятора, а также разгрузить изолятор от внутренних механических напряжений. Это - существенное преимущество разработанной конструкции переходной муфты в сравнении с остающимися в эксплуатации стопорными муфтами.

На армированный изолятор накладывается дополнительная изоляция 3 из пропитанных маслом рулонов бумаги. Дополнительная изоляция экранирована с помощью лент из электропроводящей бумаги и медной сетки. В армированном изоляторе с центральным экранирующим электродом сформированы две камеры: для МНК и кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Если усиливающая изоляция МНК выполнена традиционным способом - путем намотки из рулонов и роликов пропитанной маслом бумаги, то усиливающая изоляция пластмассового кабеля выполняется путем намотки полиэтиленовых лент, изготовленных

из композиции с введенной перекисью, применяемой для изготовления кабелей. После намотки дополнительная изоляция подвергается термической обработке в пресс-форме с использованием сухого азота в качестве среды, создающей необходимое при вулканизации давление. После термической обработки получается монолитная усиливающая изоляция, в которой установлен элемент 7 регулирования электрического поля, выполненный из электропроводящей композиции, используемой для изготовления кабеля.

Центральная часть муфты и камера с концевым участком МНК заполняются кабельным маслом, а камера с концевым участком кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена - нейтральной в отношении полимерных материалов полиметилсилоксановой жидкостью (ПМС) по ГОСТ 13032-77.

Электрические характеристики масла и жидкости ПМС приведены далее.

	Масло	ПМС
Электрическая прочность при частоте 50 Гц и температуре масла (20 ±10)°С, кВ/см, не менее	180	140
Тангенс угла диэлектрических потерь при температуре масла (100 ±1)°С, не более	0,008	0,008

С учетом симметрии муфты, как видно из рис. 1, при электрическом расчете усиливающей изоляции центральной части муфты с достаточной степенью точности электрическое поле в центральной зоне муфты можно принять цилиндрическим по форме, как в изоляции коаксиального кабеля.

На первом этапе выпуска переходных соединительных муфт была идея ограничиться наложением толщины бумажной пропитанной изоляции 12 мм и не применять в муфтах экран по бумажной пропитанной изоляции. При этом предполагалось, что роль экрана будет играть металлический кожух муфты. Напряженность электрического поля в бумажной пропитанной изоляции муфты в этом случае для принятой толщины эпоксидного компаунда на центральном электроде муфты 10 мм (определяется литьевой формой для эпоксидного изолятора) составляет 1,56 кВ/мм (допустимая рабочая напряженность для муфт МНК 4,5 кВ/мм).

Для этой конструкции муфты напряженность электрического поля в масляном промежутке при рабочем напряжении не превосходит 1,12 кВ/мм. Соответственно электрическая прочность масляного промежутка $E_{пр}$ может быть оценена по формуле: $E_{пр} = AS^{0,37}$, где S - ширина масляного промежутка, см; A - коэффициент, равный 7,5 [2].

Расчет по формуле дает величину $E_{пр} = 4,4$ кВ/мм, т.е. при таком конструктивном решении имеется почти четырехкратный запас по электрической прочности в масляном промежутке муфты.

Однако наличие возможных выступов от сварных швов на кожухе муфты при его производстве или применение масла с возможными загрязнениями могут привести к формированию в масляном промежутке цепочек, приводящих к возникновению ЧР в масле. Поэтому в окончательном варианте конструкции муфты была принята система экранирования изоляции, при этом толщина бумажной пропитанной изоляции была

увеличена до 15 мм (максимальная рабочая напряженность электрического поля в бумажной масляной изоляции 2,48 кВ/мм).

Расчет конструкции муфты, безусловно, не ограничивался только оценочными расчетами изоляции центральной части муфты. В процессе разработки также необходимо было оценить электрическую прочность конструкции муфты в целом. Эта задача для осесимметричных электрических полей в изоляции муфты может быть решена с использованием разработанной программы расчета электрических полей AXIAL-2000 [3], которая базируется на методе решения интегральных уравнений.

Сущность метода интегральных уравнений состоит в том, что изоляционная среда на отдельном участке принимается однородной, а на границах раздела проводник - диэлектрик помещают простые слои зарядов. Поверхностная плотность заряда определяется путем решения соответствующей системы интегральных уравнений для точек области при условии сохранения потенциалов проводников и соблюдения известных граничных условий.

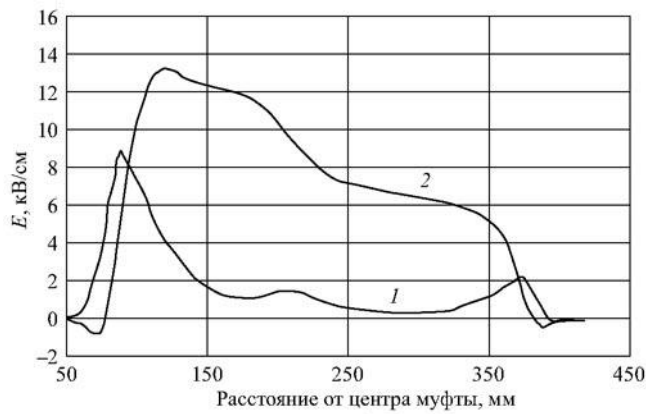
Одним из определяющих электрическую прочность конструкции муфты факторов являются условия работы масляного зазора между дополнительной изоляцией и эпоксидным армированным изолятором. Распределение напряженности электрического поля, рассчитанное по AXIAL-2000 для принятых в муфте МПМНП-М-110 размеров зазора, в зависимости от длины муфты показано на рис. 2.

Кривая распределения тангенциальной составляющей напряженности электрического поля, ответственной за возможность формирования электрического разряда в масляном зазоре, имеет два ярко выраженных максимума - один у края экранирующего электрода высокого напряжения, а второй у края заземленного электрода (элемента регулирования электрического поля). Величины тангенциальной составляющей напряженности электрического поля соответственно равны 0,8 и 0,2 кВ/мм и ниже рабочей напряженности электрического поля 1,08 кВ/мм, принятой для стопорной муфты на напряжение 275 кВ [4].

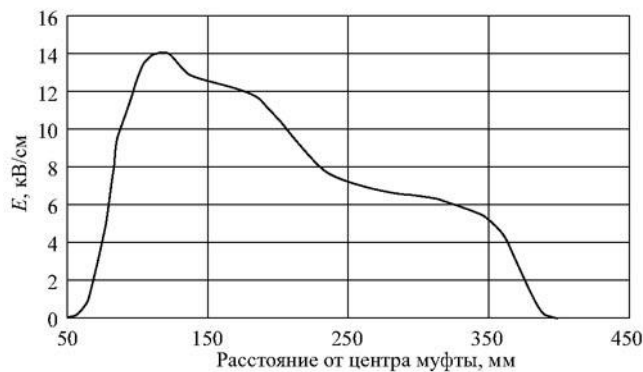
Конструктивные особенности муфты зафиксированы в технических условиях на переходные соединительные муфты (ТУ16-538.332-78), в которых предусматривается выпуск двух марок муфт, в том числе муфты марки МПМНП-М-110, в центральной части имеющей сплошной литой армированный изолятор из эпоксидного компаунда и металлический кожух из немагнитной нержавеющей стали марки I2X18H10T по ГОСТ 5582-75, как это рассматривалось ранее.

В то же время по техническим условиям допускается изготавливать муфты с центральными частями от стопорных муфт МСТМНЭ-110 по ТУ 16-538.332-78, которые имеют марку МПМНП-110. При этом две конструкции центральных частей переходных соединительных муфт взаимозаменяемы.

Результаты испытаний муфт. Перед сборкой муфты армированные изоляторы для центральных частей в 100% испытываются напряжением 40 кВ в течение 10 мин (на изолятор при эксплуатации приходится 24 кВ рабочего напряжения). За время поставки муфт не было случая выхода из строя изоляторов при входных испытаниях, что свидетельствует о высоком качестве эпоксидного литья.



а)



б)

Рис. 2. Распределение напряженности электрического поля в масляном зазоре между дополнительной полиэтиленовой изоляцией и эпоксидным изолятором переходной муфты:

а - тангенциальная (1) и радиальная (2) составляющие; б - суммарная напряженность электрического поля

На двух переходных муфтах МПМНП-М-110, смонтированных на кабелях с изоляцией из сшитого полиэтилена с медной жилой сечением 300 и 630 мм², были проведены испытания в объеме периодических, при которых муфты выдержали испытания: напряжением переменного тока частотой 50 Гц, 160 кВ в течение 24 ч; напряжением стандартного грозового импульса (1 - 5)/(40 - 50) мкс 450 кВ по 10 ударов отрицательной и положительной полярности.

Затем для проверки целостности изоляции муфт были проведены испытания переменным напряжением 160 кВ в течение 15 мин. Все эти испытания были предусмотрены разработанными техническими условиями на переходные соединительные муфты и муфты их выдержали без замечаний.

Стендовые испытания переходных муфт были проведены по программе, предусмотренной в стандарте МЭК 840, также на двух муфтах, прошедших периодические испытания.

Муфты были смонтированы на стенде с кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена с жилами сечением 300 и 630 мм². На образцах муфт было проведено 20 суточных циклов при выдержке их под напряжением 130 кВ (2U₀, где U₀ - фазное напряжение).

Каждый цикл включал 8 ч нагрева и 16 ч охлаждения. Перед началом циклических испытаний, после 10 суточных циклов и в конце испытаний проводили измерения ЧР при напряжении 95 кВ (1,5 U₀). Ток нагрузки при испытаниях принимался равным току при температуре перегрузки МНК 90°С, для МНК с жилами сечением 625 мм² ток принимался равным 960 А. Муфты выдержали испытания в течение 20 суточных циклов повышенным напряжением. При напряжении 95 и 130 кВ в начале и конце 20 суточных испытаний измерялись ЧР в изоляции муфт, которые были не более 5 пКл.

При приемо-сдаточных испытаниях все центральные части муфт подвергают испытаниям

напряжением 130 кВ в течение 30 мин с проверкой уровня ЧР при помощи УЗ-датчика типа РЧРш, который имеет чувствительность на фиксированной частоте в полосе 60 - 130 кГц не менее 30 мВ. На собранных центральных частях переходных муфт МПМНП-М-110 в процессе приемо-сдаточных испытаний проводится проверка механической прочности соединений давлением 10 кгс/см² в течение 1 ч. Такие испытания на настоящий момент проведены на 90% центральных частях муфт.

Далее приведены результаты измерений tg δ в зависимости от напряжения для муфты МПМНП-М-110 в исходном состоянии и муфты МСТМНЭ-110 серийного заводского изготовления.

U, кВ	tg δ муфты	
	МПМНП-М-110	МСТМНЭ-110
10	0,0036	0,00353
20	0,0037	0,00353
40	0,00378	0,00350
64	0,00374	0,00350
90	0,00374	0,00352
110	0,00376	0,00354
130	0,0038	0,00355

Как видно из приведенных данных, в изоляции муфты при воздействии напряжения отсутствуют ионизационные процессы.

По результатам измерения можно сделать вывод о возможности длительной эксплуатации разработанных муфт. Кроме того, сравнение характеристик tg δ в изоляции стопорных муфт серийного производства (ОАО Камкабель) и переходных соединительных муфт показывает высокое качество изготовления муфт в условиях малого предприятия.

Результаты приемо-сдаточных испытаний муфт подтверждают надежность разработанной муфты. По результатам сертификационных испытаний в феврале 2001 г. получен сертификат соответствия на переходные соединительные муфты № РОСС RU.МЕ80.Н00513 со сроком действия до 23/II 2004 г.

Перспективы дальнейшего развития конструкции муфт. Приведенная на рис. 1 конструкция муфты на напряжение 110 кВ может быть принята за основу переходной соединительной муфты для соединения кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена и МНК низкого давления на напряжение 220 кВ.

Предварительные оценочные расчеты показывают возможность обеспечения электрических характеристик муфты при том же диаметре центрального кожуха и увеличении длины центральной части ориентировочно до 1500 мм. Несомненно, что такой переход потребует разработки и изготовления новой формы для литья эпоксидных изоляторов, детального испытания муфты, но вопрос о развитии кабельных линий на напряжение 220 кВ в этом направлении уже поднимался представителями энергосистем.

Второе направление развития переходных муфт обусловлено необходимостью перекладки кабельных линий, выполненных МНК высокого давления на напряжение 110 кВ. При этом на трубопроводе кабельной линии высокого давления в необходимом месте устанавливают разветвительную муфту и на каждой фазе МНК могут быть использованы переходные соединительные муфты, с помощью которых будет осуществляться соединение МНК и кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена. Причем, никаких дополнительных электрических испытаний переходных соединительных муфт в этом случае не требуется, так как муфты будут использоваться при том же рабочем напряжении.

Дополнительным условием работы муфт является обеспечение механической прочности изоляционной камеры с МНК высокого давления в отношении рабочего давления масла 10 - 16 кгс/см². В этой связи представляется целесообразным испытать одну из центральных частей муфты избыточным давлением масла (35 \pm 2) кгс/см² в течение 24 ч.

Такие испытания, например, проводятся на кабельных вводах в элегазовые распределительные устройства, выполненных кабелем высокого давления.

Список литературы

1. Tolonen R. Termination to GIS and transition joints between high voltage XLPE-insulated and oil-filled cables, 1990.
2. Кучинский Г. С., Кизеветтер В. Е., Пинталь Ю. С. Изоляция установок высокого напряжения. М.: Энергоатомиздат. 1987.
3. Колечицкий Е. С. Применение метода интегральных уравнений для расчета потенциальных полей. М.: МЭИ, 1998.
4. Gibbons J. A. M. Role of metal debris in the performance of stop-joints as used in 275 kV and 400 kV self contained oil-filled cable circuits. - IEE Proc, Vol 127, № 6.