

В.М. ЗОЛОТАРЕВ, д-р техн. наук, ген. директор, ПАО «Завод «Южкабель», Харьков;

Ю.А. АНТОНЕЦ, канд. техн. наук, техн. директор, ПАО «Завод «Южкабель», Харьков;

В.В. ЗОЛОТАРЕВ, канд. техн. наук, директор по внешнеэкон. связям, ПАО «Завод «Южкабель», Харьков;

Р.В. БЕЛЯНИН, начальник цеха, ПАО «Завод «Южкабель», Харьков;

А.А. НАУМЕНКО, канд. техн. наук, вед. специалист, ПАО «Завод «Южкабель», Харьков

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ИСПЫТАНИЯМ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ОБРАЗЦОВ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Исходя из условия обеспечения необходимого ресурса работы 30 лет для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6...330 кВ проведен выбор параметров их основных электрических испытаний. Приведены требования европейских стандартов (IEC/CENELEC), стандартов России, а также стандартов США по уровню испытательного напряжения, времени его приложения к испытываемым образцам кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. На основании международных стандартов установлены нормы испытаний высоковольтных кабелей, выпускаемых ПАО «Завод Южкабель», Украина.

Ключевые слова: силовой кабель, сшитый полиэтилен, электрические испытания.

Введение. В последнее время все более широкое распространение получают силовые кабели на напряжение 6... 500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена [1]. Характерным для них является наличие трехслойной сшитой конструкции типа «полупроводящий экран по жиле – собственно изоляция из высококачественного сшитого полиэтилена – полупроводящий экран по изоляции». Эта конструкция накладывается на жилу одновременно тремя экструдерами, работающими на строенную головку. Далее происходит одновременная сшивка всех трех слоев в наклонной вулканизационной линии при температуре до 450 °С в среде сухого азота при давлении до 15 атм. Этот процесс пероксидной сшивки позволяет принципиально обеспечить необходимое качество граничных поверхностей «жила – полупроводящий экран по жиле», полупроводящий экран по жиле – полиэтиленовая изоляция», «полиэтиленовая изоляция – полупроводящий экран по изоляции», а также качество наружной поверхности полупроводящего экрана по жиле. Именно свойства этих граничных поверхностей влияют на уровень ЧР, условия развития трингов и, в конечном счете, на ресурс кабеля, который должен составлять не менее 30 лет [2].

Постановка проблемы. В процессе разработки отечественных образцов кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6... 330 кВ возникла проблема выбора основных условий электрических испытаний с учетом обеспечения требуемого ресурса работы.

Решение проблемы проводилось с учетом поставки кабелей на экспорт в страны ближнего и дальнего зарубежья. Для выбора условий испытаний был проведен анализ нормативной базы Российской Федерации (ТУ 16.К71 – 335 – 2004), европейских стандартов (МЭК/IEC – 60502, CENELEC/HD 62051:1996) и стандартов США (ANSI/ICEA) применительно к поточным (приемо-сдаточным) испытаниям.

Важнейшим видом поточных неразрушающих испытаний являются испытания готового изделия повышенным переменным напряжением во время приемо-сдаточных заводских испытаний на каждой строительной длине. При этом изоляция кабеля испытывается напряжением установленной кратности (по отношению к напряжению U_0 между жилой и экраном кабеля) в течение времени, также установленного нормативно-технической документацией на данное изделие. Такие требования по величине испытательного напряжения для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена приведены в табл. 1. [1,3].

Как показывает таблица, требования ведущих стран-производителей кабельной продукции, помимо испытаний напряжением предусматривают также и регистрацию уровня частичных разрядов (ЧР), причем требования достаточно жесткие и не превышают уровня 10 пКл даже для кабелей высокого (до 110 кВ) и сверхвысокого (до 500 кВ) напряжений (табл. 2).

Из приведенных выше сравнений видно, что наибольшая кратность напряжений составляет 4 для кабелей СН и 2 для кабелей ВН и СВН при испытании на ЧР, уровень которых не должен превышать 5 пКл. Кратность при контроле строительных длин электрическим напряжением для кабелей СН может достигать до 4,3, а для кабелей ВН и СВН – до 3 при времени испытаний соответственно 5...15 и 15...60 мин.

Таблица 1 – Действующие требования к поточным электрическим испытаниям кабелей среднего напряжения (6-35 кВ)

Вид испытаний	Россия	Европа		США
	ТУ 16.К71-335-2004	МЭК/IEC 60502	CENELEC HD 62051:1996	ANSI/ICEA A S-94-649-2004
Сплошной контроль ЧР на строительных длинах	$2,5U_0$ $Q \leq 10\text{пКл}$	$1,73U_0$ $Q < 10\text{пКл}$	$2,5U_0$ $Q \leq 5\text{пКл}$	$4U_0$ $Q \leq 5\text{пКл}$
Сплошной контроль строительных длин электрическим напряжением	$4,3U_0$ 10 мин.	$3,5U_0$ 5 мин.	$3,5U_0$ 5-15 мин.	$4U_0$ 5 мин.

Таблица 2 – Действующие требования к поточным электрическим испытаниям кабелей высокого и сверхвысокого напряжения

Вид испытаний	Россия	Европа		США
	ТУ16-705-495-2006	МЭК/IEC 60840	МЭК/IEC 62067	ANSI/ICEA S-108-720-2004
Сплошной контроль ЧР на строительных длинах	1,5U ₀ Q < 5пКл	1,5U ₀ Q < 10пКл	1,5U ₀ Q < 10пКл	2U ₀ Q < 5пКл
Сплошной контроль строительных длин электрическим напряжением	2,5U ₀ 30 мин.	2,5U ₀ 30 мин.	(2,0-2,5)U ₀ 30-60 мин.	(2,0-2,5)U ₀ 15-60 мин.

Приемо-сдаточные испытания служат основным видом испытаний, который позволяет контролировать качество выпускаемой продукции на кабельном предприятии. Такой контроль в подавляющем большинстве осуществляется на строительных длинах и практически является сплошным. К испытаниям кабели предъявляют партиями. За партию принимают кабели одной марки, напряжения, сечения и длины. При напряжении 6...35 кВ, длина испытуемых кабелей должна составлять не менее 350 м, а при напряжении 45...330 кВ – не менее 400 м.

Приемо-сдаточные испытания кабелей на напряжение 6... 330 кВ проводятся в следующем объеме.

1. Проверка конструктивных элементов и основных размеров на соответствие требованиям технических условий. Путем подбора и осмотра каждого конца кабеля на длине не менее 300 мм проводится проверка конструкции токопроводящих жил, толщины изоляции и отсутствия дефектов на ее поверхности, конструкции экранов, скрутки изолированных жил и наличия заполнения, наличие обмотки лентами, толщины подушки, конструкции брони, толщины наружной оболочки и отсутствия дефектов на ее поверхности.

Проверку материалов, применяемых для изготовления кабелей, на соответствие требованиям нормативной документации осуществляют при входном контроле материалов. Правильность применения материалов проверяют по заполненной сопроводительной документации в ходе приемо-сдаточных испытаний.

2. Проверка герметичности оболочки осуществляется при ее наложении в технологической линии по результатам испытаний высоким электрическим напряжением на проход в соответствии с ГОСТ 2990. Наружная оболочка должна выдержать испытание одним из следующих видов напряжений:

- переменного напряжения промышленной частоты амплитудой 6 кВ на 1 мм толщины оболочки;
- импульсного напряжения с частотой следования не менее 50 Гц и пиковым значением 6 кВ на 1 мм толщины оболочки;
- постоянного напряжения 9 кВ на 1 мм номинальной толщины обо-

лочки.

Напряжение должно быть приложено между испытательным электродом и медным экраном или броней. Оболочка должна быть герметичной, то есть в процессе испытаний на проход установленным напряжением не должно наблюдаться ее пробоев.

3. Проверка маркировки и упаковки проводится внешним осмотром. Маркировка и упаковка должна соответствовать установленным требованиям.

4. Определение электрического сопротивления токопроводящей жилы и медного экрана допускается проводить на образцах длиной не менее 1 м с помощью моста постоянного тока по ГОСТ 7229. Измеренное сопротивление пересчитывается на сопротивление жилы или медного экрана длиной 1 км при температуре 20°C и не должен превышать установленного нормативной документацией значения (ГОСТ 22483).

5. Определение уровня частичных разрядов проводится на строительных длинах при напряжении $1,5U_0$. Для кабелей 6... 330 кВ их уровень не должен превышать 10пКл.

6. Испытание переменным напряжением промышленной частоты. Кабели на напряжение 6... 35 кВ с номинальным напряжением 6, 10, 15, 20, 30 и 35 кВ должны выдержать в течение 10 минут испытание напряжением, соответственно, 15, 25, 35, 50, 76 и 88 кВ. Кабели на напряжение 45... 150 кВ с номинальным напряжением 45, 60, 110, 132 и 150 кВ должны выдержать в течение 30 мин. испытание напряжением, соответственно, 65, 90, 160, 190 и 218 кВ. Кабели на напряжение 220 кВ должны выдержать испытания напряжением 318 кВ в течение 30 мин., а кабели на 330 кВ должны выдержать испытание напряжением 420 кВ в течение 60 мин. Считается, что кабель выдержал испытание, если не произошло пробоя изоляции. Пробой концевых заделок отказом не считается.

В процессе приемо-сдаточных испытаний проводят испытание на тепловую деформацию изоляции устанавливает ее стойкость к тепловой деформации при воздействии температуры 200° С в течение 15 мин., водопоглощения при температуре 85°С в течение 14 суток и усадки при температуре 130°С в течение 6 часов. Принимается, что изоляция выдержала испытания, если ее механические и физико-химические свойства соответствуют требованиям технических условий на кабель.

Кроме того предусмотрены испытания кабелей после их прокладки. Они должны выдерживать испытание одним из способов, указанных ниже:

– испытание напряжением переменного тока частотой от 20 Гц до 300 Гц, приложенным между жилой и землей, в течение 1 ч. Величина испытательного напряжения 180 кВ для кабелей на номинальное напряжение 220 кВ и 250 кВ для кабелей на номинальное напряжение 330 кВ;

– испытание номинальным напряжением сети в течение 24 ч.

Способ испытания выбирается по согласованию с потребителем. Реко-

мендується испытание оболочки кабелей, проложенных в земле, в течение 1 мин постоянным напряжением 10 кВ, приложенным между медным экраном и заземлителем.

Выводы. Решена проблема разработки нормативной базы и основных электрических испытаний отечественных образцов кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6...330 кВ. Созданный испытательный комплекс позволяет испытывать кабели электрическим напряжением до 500 кВ. Проведенные испытания показали, что уровень частичных разрядов работанных кабелей на барабанах не превышает 10 пКл с вероятностью 0,95.

Список литературы. 1. Мецанов Г.И. Кабели на напряжение 10... 500 кВ // Кабели и провода. – М.: 2008. – С. 32-38. **2.** Masayuki H. Cross-equipment evaluations of partial discharge measurement // IEEE Trans. On dielectric and electrical Insulation. – 2008. – V. 15, № 2. – PP. 505-517. **3.** Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – Л.: Энергия, 1979. – 528 С.

Bibliography (transliterated.) 1. Meschanov G.I. Kabeli na napryaszenie 10... 500 kV Kabeli i pro- voda. – M.: 2008. – С. 32-38. **2.** Masayuki H. Cross-equipment evaluations of partial discharge measurement. – IEEE Trans on dielectric and electrical Insulation. – 2008. – V. 15, № 2. – 505-517. **3.** Kutchinskiy G.S. Chastichnie razrjady v visokovoltnih konstruktziyah. – L.: Energia, 1979. – 224.

Надійшла (received) 10.02.2014

УДК 621.315

Вибір основних вимог до електричних випробувань вітчизняних зразків кабелів з ізольованою із зшитого поліетилену / В.М. Золотарев, Ю.А. Антонен, В.В. Золотарев, Р.В.Белянин, А.А. Науменко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2014. – № 21 (1064). – С. 31-35. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2079-0740.

Виходячи з умови забезпечення необхідного ресурсу роботи 30 років для кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену на напругу 6...330 кВ проведено вибір параметрів їх основних електричних випробувань. Наведено вимоги європейських стандартів (IEC / CENELEC), стандартів Росії, а також стандартів США за рівнем випробувальної напруги, часу його подачі до випробуваних зразків кабелів із ізоляцією із зшитого поліетилену. На підставі міжнародних стандартів встановлені норми випробувань високовольтних кабелів, що випускаються ПАТ «Завод Південкабель», Україна.

Ключові слова: силовий кабель, зшитий поліетилен, електричні випробування.

УДК 621.315

Выбор основных требований к электрическим испытаниям отечественных образцов кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена / В.М. Золотарев, Ю.А. Антонен, В.В. Золотарев, Р.В.Белянин, А.А. Науменко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2014. – № 21 (1064). – С. 31-35. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2079-0740.

Исходя из условия обеспечения необходимого ресурса работы 30 лет для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6...330 кВ проведен выбор параметров их основных электрических испытаний. Приведены требования европейских стандартов (IEC/CENELEC), стандартов России, а также стандартов США по уровню испытательного напряжения, времени его приложения к испытываемым образцам кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. На основании международных стандартов установлены нормы испытаний высоковольтных кабелей, выпускаемых ПАО «Завод Южкабель», Украина.

Ключевые слова: силовой кабель, сшитый полиэтилен, электрические испытания.

Selection main demands for electric testing cable with XLPE insulation / Zolotaryov V.M., Antonyetz T.U., Zolotaryov V.V., Belyanin R.V., Naymenko A.A. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. – № 21 (1064). – P. 31-35. – Bibliogr.: 3. – ISSN 2079-0740.

For cable 6 ... 330 kV with XLPE insulation carried out selection of main electric tests for guarantee 30 years using. The requirements of European standards (IEC / CENELEC), the standards of Russia, as well as USA standards on the level of the test voltage, the time of its application to test samples of cables with XLPE insulation are shown. Based on international standards set standards testing high-voltage cables, produced by PJSC «Stock company Yuzhcable », Ukraine.

Key words: power cable, XLPE, electric testing.