

Ju. I. Kurashko and I. S. Shvec «Razrjadno-impul'snoe oborudovanie, razrabotannoe v IIPТ NAN Ukrainy dlja uvelichenija debita nefjtanyh i vodozabornyh skvazhin.» Vestnik NTU «KhPI». No. 7. 2002. 96-103. **4.** Shvec I. S., et al. «Jelektrorazrjadnyj kompleks dlja intensifikacii dobychi shahtnogo metana.» Nauka ta innovacii 4.6 (2008): 54-59. **5.** ООО «Impul'snye tehnologii». <<http://www.pulsetech.ru>>. **6.** Hvosshan O. V., et al. «Issledovanie teplovogo polja razrjadnika pogruznyh skvazhinnyh kompleksov.» Vestnik NTU «KhPI». No. 39. 2009. 198-205. **7.** Izoljatory keramicheskie prohodnye na naprjazhenie svyshe 1000 V. GOST 22229-83. 01.01.85. E35. **8.** Dubovenko K.V. «Modeljuvannja imovirnosti probuju gazovoi izoljacii visokovol'tnih pristroiv sistem elektroenergetiki.» Tehnichna elektrodinamika. No 2. 2006. 15-22. **9.** Izdelija keramicheskie jelektrotehnicheskie. Predel'nye otklonenija ot nominal'nyh razmerov, formy i raspolzozhenija poverhnostej. GOST 13872-68. 01.07.69. E35. **10.** Tokovedushhie vyvody izoljatorov. GOST 10434-82. Soedinenija kontaktne jelektricheskie. Klassifikacija. Obshhie trebovanija. **11.** Zajdel' A.N. Pogreshnosti izmerenij fizicheskikh velichin. Leningrad: Nauka, 1985. **12.** Kondensatory postojannoj emkosti. Terminy i opredelenija. GOST 21415-75. **13.** Zhekul V.G., S. G. Poklonov and I. S. Shvec «Jelektrorazrjadnye pogruznyje ustanovki so stabilizirovannymi rabochimi parametrami.» Nefjtanoje hozjajstvo. No 2. 2006. 89-91.

Надійшла (received) 18.03.2014

УДК 621.315

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.

© В.М. Золотарев, Ю.А. Антонец, В.В. Золотарев, Р.В. Белянин, А.А. Науменко, 2014

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 испы-

тании на ЧР, уровень которых не должен превышать 5 пКл. Кратность при контроле строительных длин электрическим напряжением для кабелей СН может доходить 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 ≤ 10пКл	1,73U ₀ Q < 10пКл	2,5U ₀ Q ≤ 5пКл	4U ₀ Q ≤ 5пКл
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
	ТУ 16-705-495-2006	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 прямо-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 оболочки.

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 1,5U₀. 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 вы-

держал испытание, если не произошло пробоя изоляции. Пробой концевых заделок отказом не считается.

В процессе прямо-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. Рекомендуется 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 разработанных кабелей на барабанах не превышает 10 пКл с вероятностью 0,95.

Список литературы. 1. Мещанов Г.И. Кабели на напряжение 10... 500 кВ // Кабели и провода. – М.: 2008. – С. 32-38. 2. Masayuki H. Crossequipment evaluations og 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 provoda. – M.: 2008. – 32. 38. 2. Masayuki H. Cross-eguipeint evaluations of partial discharge measurement. – IEEE Trans on dielectric and electrical Insulation. – 2008. – V. 15, № 2. – 505-517. 3. Kytchinskiy G.S. Chastichnie razrjady v visokovoltnih konstruktziyah. – L.: Energia, 1979. – 224.

Надійшла (received) 10.02.2014