

В.П.КАРПУШЕНКО, канд.экон.наук;
В.М.ЗОЛОТАРЕВ, канд.техн.наук; **А.А.НАУМЕНКО**, канд.техн.наук;
В.В.ЗОЛОТАРЕВ; ЗАО «Завод Южкabelь», Харьков

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ РАЗРАБОТКИ КАБЕЛЕЙ СРЕДНЕГО, ВЫСОКОГО И СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЙ

Розглянуто конструкції та техніко-експлуатаційні показники новітніх зразків кабельно-провідникової продукції напругою 1-110 кВ, створені в ЗАТ «Завод Південкабель» з використанням теплостійкої ізоляції у вигляді зшитого поліетилену. Ця група продукції може використовуватись як елементна база в електроенергетиці та різноманітних сучасних електрофізичних високовольтних і надвисоковольтних пристроях.

The constructions and technical and performance figures of new specimens of cable-wire products for voltage 1-110 KV, produced by JSC «Zavod Yuzhkabel» by using heat-resistant insulation in form of cross-linked polyethylene are examined. This group of products can be used as an element basis in electrical power engineering and various modern high-voltage and superhigh-voltage electrophysical devices.

Мировые тенденции совершенствования средств канализации электрической энергии указывают на все более широкое применение кабельных линий как каналов для передачи и распределения электрической энергии, удовлетворяющих всем современным требованиям по надежности и экологической безопасности во всем диапазоне рабочих напряжений и, в первую очередь, линий с использованием кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена [1]. ЗАО «Завод Южкabelь» является лидером среди СНГ по разработке новых конструкций кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в диапазоне напряжений 1...110 кВ, а в ближайшей перспективе до 500 кВ. Такие кабели повышенной нагревостойкости с изоляцией из сшитого в среде газообразного азота (под давлением 15 атм) триингостойкого полиэтилена имеют прежде всего энергетическую назначение, но могут использоваться также в различных высоковольтных испытательных установках, в научных экспериментальных исследованиях и п.т., где требуется применение высоких и сверхвысоких постоянных и переменных напряжений с уровнем до 500 кВ. Сшитая полиэтиленовая изоляция нашла также широкое применение в самонесущих изолированных проводах на напряжение до 30 кВ с использованием в том числе высокопрочных алюминиевых сплавов. Такие провода могут быть широко использованы как элементная база при создании различных высоковольтных и сверхвысоковольтных электрофизических установок на базе крупногабаритных полосковых линий, сверхмощных импульсных генераторов напряжения и тока и т.п.

Рассмотрим **базовые конструкции разработанных силовых кабелей**

на примере конструкций на напряжение 64 - 110 кВ. Разработанные конструкции имеют следующие основные элементы (рис. 1). Токопроводящая жила - медная или алюминиевая, многопроволочная уплотненная, номинальное сечение от 240 мм² до 800 мм² (алюминиевая жила — до 1000 мм²). Возможна герметизация жилы от продольного распространения влаги с помощью водонабухающих нитей. Внутренний полупроводящий слой, изоляция и внешний полупроводящий слой, наложенные одновременно методом тройной экструзии. Эти элементы выпрессовываются из композиций сшиваемого полиэтилена высокой чистоты производства фирмы «Borealis», Швеция, и вулканизируются в среде азота при высоких значениях температуры и давления. Полупроводящие слои по жиле и по изоляции прочно соединены с изоляцией, что увеличивает стойкость кабеля к токам короткого замыкания и воздействию циклов нагрева и охлаждения. Экран, выполненный в виде комбинации из медных проволок и лент. Номинальное сечение экрана от 35 до 150 мм². Возможна продольная герметизация экрана при помощи водонабухающего полотна, а также дополнительная поперечная герметизация при помощи алюмополимерной ленты, сваренной с наружной оболочкой; Экструдированная наружная оболочка изготовлена из полиэтилена высокой плотности или поливинилхлоридного (ПВХ) пластика. Возможно изготовление кабелей с наружными оболочками в исполнении «нгг» (не распространяющих горение) или в исполнении «нгд» (не распространяющих горение и с низким выделением дыма и коррозионноактивных газов), а также в тропическом исполнении.

Марки кабелей содержат краткое обозначение конструктивных элементов, которые определяют основные условия прокладки и эксплуатации кабеля. (см. табл. 1). Кабели изготавливаются на номинальное напряжение 64/110 кВ промышленной частоты в сетях с заземленной нейтралью. Их номинальное линейное напряжение $U = 110$ кВ (действующее напряжение между токопроводящими жилами кабелей одной трехфазной системы). Номинальное фазное напряжение составляет 64 кВ (действующее напряжение между токопроводящей жилой и металлическим экраном, на которое рассчитан кабель).

Максимальное линейное напряжение, при котором могут длительно работать кабели U_m , равно 123 кВ, и принято, с целью гармонизации со стандартами стран СНГ, по ГОСТ 29322-92 (МЭК38-83) «Стандартные напряжения», а также требованиями международной электротехнической комиссии стандарт МЭК 60183 «Рекомендации по выбору кабелей высокого напряжения» и МЭК 60840:1999 «Силовые кабели с экструдированной изоляцией и арматура для них на номинальное напряжение выше 30 кВ. Методы испытаний и требования».

Конструкция кабелей, технические требования и результаты испытаний позволяют использовать кабели 110 кВ в сетях с максимальным напряжением

ем 126 кВ.

Технологии и качество. **Технологический процесс производства кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на «Южкабеле» соответствует последним достижениям в области кабельной техники.**

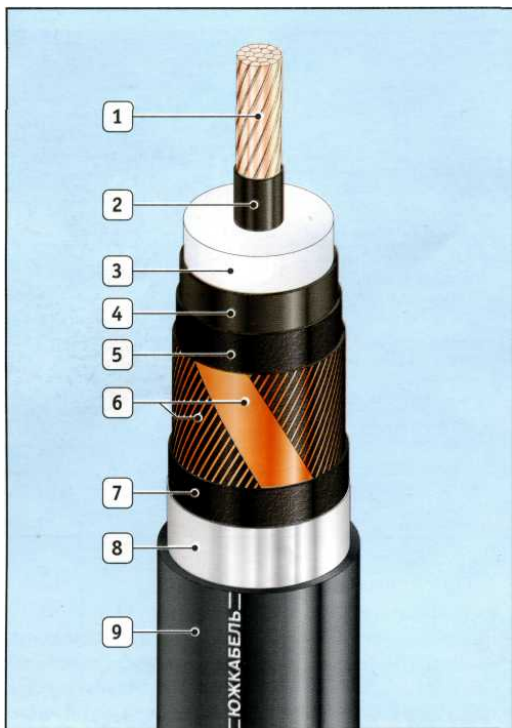


Рисунок 1 – Базовая конструкция кабеля на средние, высокие, и сверхвысокие напряжения в одножильном исполнении с изоляцией из сшитого полиэтилена:

1 – медная токопроводящая жила; 2 – внутренний экструдированный полупроводящий слой; 3 – экструдированная изоляция из сшитого полиэтилена; 4 – внешний экструдированный полупроводящий слой; 5 – обмотка полупроводящим водонабухающим полотном; 6 – медный экран, выполненный в виде повива медных проволок, скрепленных спирально наложенной медной лентой; 7 – обмотка водонабухающим полотном; 8 – алюмополимерная лента, наложенная продольно и сваренная с наружной оболочкой; 9 – экструдированная наружная оболочка из полиэтилена высокой плотности.

В производстве применяются материалы только наилучшего качества, прошедшие входной контроль: триингостойкие высокочистые изоляционные и полупроводящие композиции сшиваемого полиэтилена и полиэтилена высокой плотности для оболочек с использованием импортного сырья произ-

водства фирмы «Borealis», которое не производится в Украине, а также сырья на базе поливинилхлоридных пластиков, в т.ч. пониженной горючести и пониженной пожароопасности фирмы «Проминвест пластик» (Украина), водоблокирующие материалы фирм «Lantor», «Geca Tapes». Применение вакуумной упаковки при транспортировке изоляционных материалов и закрытого процесса их загрузки и экструзии обеспечивает максимальную чистоту изоляции.

Таблица 1 – Обозначения в новых отечественных марках разработанных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена

Токопроводящая жила	А	алюминиевая жила
	-	медная жила (без обозначения)
Изоляция	П _в	изоляция из сшитого полиэтилена
Экран	Э	медный экран по изолированной жиле
	г	продольная герметизация экрана водонабухающими лентами
	га	продольная и поперечная герметизация экрана водонабухающими материалами и алюмополимерной лентой
Наружная оболочка	П	наружная оболочка из полиэтилена или сополимера полиэтилена
	пу	усиленная полиэтиленовая оболочка
	в	наружная оболочка из ПВХ пластиката
	Внг	наружная оболочка из ПВХ пластиката, не распространяющего горение при групповой прокладке кабелей
	Внгд	наружная оболочка из ПВХ пластиката, не распространяющего горение и с низким выделением дыма и коррозионноактивных газов
Климатическое исполнение		исполнение У (УХЛ) (без обозначения)
	Т	исполнение Т (тропическое)

Так как оборудования для скрутки токопроводящих жил на Украине не производится, разработанные ЗАО «Завод «Южкабель» специально для жил больших сечений технологии скрутки реализованы с помощью импортного оборудования. Токопроводящие жилы скручиваются и уплотняются на крутильной машине фирмы «Cortinovis». Применение уплотнения по повивам позволяет получить высокий коэффициент уплотнения жилы и гладкую ее поверхность. На крутильной машине при необходимости накладываются также водоблокирующие материалы.

Разработанные конструкции кабелей с трехслойной изоляцией и техно-

логию ее наложения удалось реализовать на импортном оборудовании ввиду того, что в Украине никогда не производились линии для вулканизации изоляции. Одновременное наложение изоляции и полупроводящих экранов осуществляется на наклонной линии газовой вулканизации фирмы «Troester», вулканизация происходит в среде азота при высоких значениях температуры и давления («сухая» вулканизация), что дает возможность исключить попадание влаги в изоляцию и получить гладкую и однородную изоляцию без пустот и посторонних включений, с плотно прилегающими полупроводящими экранами. Толщина и эксцентриситет слоев непрерывно контролируются приборами лазерного контроля.

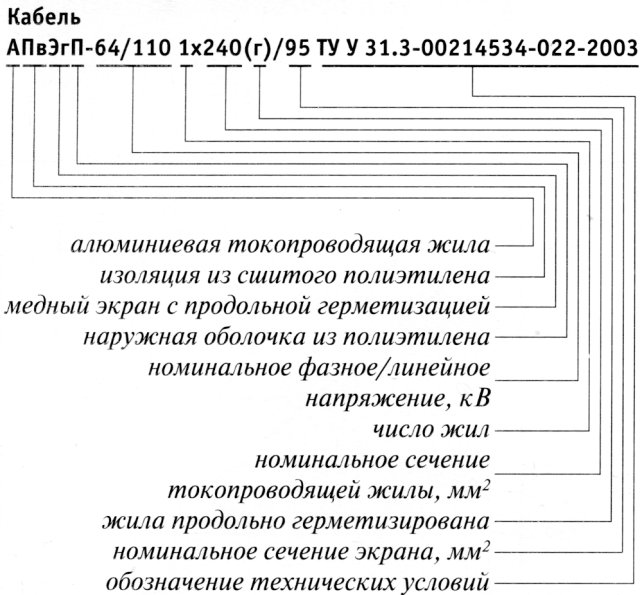


Рисунок 2 – Схема обозначений конструктивных элементов кабелей среднего, высокого напряжения в соответствии с разработанными техническими условиями Украины ТУУ 31.3-00214534-022-2003.

В бывшем Советском Союзе отсутствовали мощности по производству тяжелого крутильного оборудования, не было его и в Украине. Поэтому наложение обмоток водонабухающими лентами, экранов из медных проволок и лент реализовано на универсальной крутильной машине Drum Twister фирмы «Pourtier» с учетом последних мировых тенденций в создании крутильного оборудования такого класса.

Экструдирование наружных оболочек кабелей и наложение алюмополимерных лент (при необходимости) происходит на экструзионной линии

фирмы «Troester», оснащенной приборами измерения диаметра, контроля герметичности оболочки и устройством для маркирования с помощью печатающей ленты (ввиду отсутствия мощностей для выпуска аналогичного оборудования в Украине).

Для электрических испытаний освоенных новых типов кабелей среднего, и высокого напряжения была разработана отечественная нормативно-техническая база, полностью гармонизированная с требованиями стран СНГ и мировых стандартов (МЭК). Разработанные методики испытаний реализованы в разработанных ЗАО «Завод «Южкабель» испытательных схемах с использованием новейшей элементной базы американской фирмы «Hipotronics», что позволяет проводить испытания кабелей на наличие в изоляции частичных разрядов, а также испытания готовых кабелей повышенным напряжением в полном соответствии с требованиями мировых стандартов. Все перечисленное оборудование имеет компьютеризированное управление разработанными ЗАО «Завод «Южкабель» технологическими процессами и испытаниями на базе математического, программного и технического обеспечения, поставленного фирмой «Siemens» (Германия), включая системы рецептов и отчетов.

Система управления производством выполняет следующие функции: автоматический расчет технологических параметров линий (например, для наклонной линии газовой вулканизации - послойное соотношение температуры как функции времени, основанное на расчете теплопередачи между слоями, температурной зависимости периода полураспада пероксида и т.д.); обеспечение полной синхронизации всех узлов, линий в зависимости от параметров технологического процесса и их изменений; сигнализацию и мониторинг в случае достижения одним или несколькими технологическими параметрами своих критических значений; отслеживание стабильности параметров технологического процесса и обеспечение практически мгновенной реакции на их текущие измерения. Система управления оборудована современными промышленными компьютерами с интерфейсом, позволяющим создавать, хранить, а при необходимости и выдавать технологические параметры или результаты испытаний для принятия управленческих решений.

Кабели подвергаются приемо-сдаточным, периодическим и типовым испытаниям. В процессе приемо-сдаточных испытаний строительные длины кабелей подвергаются следующим видам испытаний: проверка герметичности оболочки; испытание переменным напряжением 160 кВ в течение 30 мин; измерение уровня частичных разрядов; измерение электрического сопротивления токопроводящей жилы; проверка маркировки и упаковки.

Образцы, взятые от строительных длин кабелей, подвергаются таким испытаниям: проверка конструктивных элементов и основных размеров; испытание на тепловую деформацию изоляции. При этом периодически проверяются следующие параметры: стойкость кабелей к монтажным изгибам;

электрическая емкость кабелей. Типовые испытания проводятся при внесении изменений в конструкцию кабелей, технологию их изготовления или применяемые материалы, если это изменения влияют на технические характеристики кабелей.

В состав типовых испытаний могут включаться: электрические испытания (измерение электрического сопротивления медного экрана, измерение $\operatorname{tg} \delta$ изоляции, измерение уровня частичных разрядов в изоляции до и после испытания на изгиб, а также после воздействия циклов нагрева и охлаждения, испытание импульсным напряжением величиной 550 кВ, измерение удельного электрического сопротивления полупроводящих экранов); испытания на стойкость к внешним воздействующим факторам (стойкость к повышенной и пониженной температуре окружающей среды, в повышенной влажности, испытание на водонепроницаемость, испытание на нераспространение горения, в т.ч. при прокладке в пучках, испытание на дымогазовыделение при горении и тлении кабелей); механические и физико-химические испытания материалов изоляции и оболочки; испытание готовых кабелей старением при повышенной температуре для проверки совместимости материалов

Кабели сертифицированы в системе УкрСЕПРО и в системе сертификации ГОСТ Р (Россия) с привлечением испытательной базы ОАО «ВНИИКП» г. Москва, РФ и НИИВН г. Славянск, Украина, что позволяет поставлять их в страны СНГ и дальнего зарубежья.

Длительно допустимые токовые нагрузки. Длительно допустимая токовая нагрузка силовых кабелей рассчитывается по методике СЕI IEC 60287. Длительно допустимый ток кабеля рассчитывается в общем случае по формуле:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\Theta - W_d(0,5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4))}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)}}$$

где $\Delta\Theta$ – разница температур между токоведущей жилой и окружающей средой, °С;

W_d – диэлектрические потери на единицу длины, Вт/м;

T_1 – термическое сопротивление между жилой и металлическим экраном (оболочкой), °С·м/Вт;

T_2 – термическое сопротивление между металлическим экраном (оболочкой) и броней, °С·м/Вт;

T_3 – термическое сопротивление наружного покрова, °С·м/Вт;

T_4 – термическое сопротивление окружающей кабель среды, °С·м/Вт (для земли эта величина обусловлена процессом теплопроводности, а для воздуха – процессом конвекции);

R – электрическое сопротивление токопроводящей жилы переменному току при максимально допустимой температуре жилы, Ом/м;

n – число жил в кабеле;

λ_1, λ_2 – отношение общих потерь в металлических экранах (оболочках) и броне к сумме потерь в токопроводящих жилах.

При расчете по этой формуле сделаны допущения о том, что подсушивание грунта вокруг кабелей, проложенных в земле, не учитывается, а кабели, проложенные на воздухе, защищены от воздействия солнечного излучения.

Длительно допустимые токовые нагрузки кабелей, приведенные в таблице 2, рассчитаны при следующих условиях: температура жилы 90 °С; температура окружающей среды 20 °С при прокладке в земле и 30 °С при прокладке на воздухе; фактор нагрузки 1,0; глубина прокладки в земле 1,5 м; удельное тепловое сопротивление грунта 1 °К·м/Вт; при прокладке треугольником кабели проложены вплотную, при прокладке в плоскости расстояние между кабелями в свету равно диаметру кабеля; кабели на воздухе проложены свободно (на расстоянии от опоры) и защищены от воздействия солнечного излучения; заземление экрана на обоих концах линии. Длительно допустимые токи кабелей должны быть уточнены (при помощи поправочных коэффициентов) в зависимости от следующих основных факторов и условий их эксплуатации [2, 3]: температуры окружающей среды; выбранной глубины прокладки; удельного теплового сопротивления окружающей среды (при прокладке в грунте, воздухе, трубах или каналах); взаимного расположения кабелей при прокладке.

Допустимые токи короткого замыкания по жиле и по экрану. Допустимые токи односекундного короткого замыкания по жиле, приведенные в таблице 3, рассчитаны, исходя из начальной температуры жилы кабеля 90 °С и конечной температуры 250 °С.

Таблица 2 – Длительно допустимая токовая нагрузка для различных видов кабелей

Номинальное сечение жилы, мм ²	Длительно допустимая токовая нагрузка, А							
	кабелей с медной жилой				кабелей с алюминиевой жилой			
	в земле		на воздухе		в земле		на воздухе	
240	520	544	670	744	404	422	520	578
300	587	615	766	853	456	478	595	663
350	621	651	817	911	487	510	640	714
400	669	703	888	992	524	549	694	775
500	760	802	1026	1152	599	630	808	905
630 (625)	858	912	1178	1336	683	721	935	1057
800	959	1028	1340	1535	773	821	1079	1226

Для продолжительности короткого замыкания, отличающейся от 1 с, значения допустимого тока короткого замыкания по жиле или экрану необходимо умножить на поправочный коэффициент: $k = 1/\sqrt{t}$, где t – продолжительность короткого замыкания, с.

Таблица 3 – Допустимый ток короткого замыкания

Материал жилы	Допустимый ток короткого замыкания по жиле, кА, (при длительности к.з. 1 с), для кабелей с номинальным сечением жилы, мм ²						
	240	300	350	400	500	625 (630)	800
алюминий	22,7	28,2	32,9	37,6	47,0	59,0	75,2
медь	34,3	42,9	50,1	57,2	71,5	90,1	114,4

Рассмотренные выше конструкции и технологии выпуска кабеля на напряжение до 110 кВ включительно позволили создать необходимую технологическую и методическую базу для организации производства выпуска в самом ближайшем будущем отечественных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение до 500 кВ включительно.

Список литературы: 1. Карпушенко В.П., Щербенюк Л.А., Антоненко Ю.О., Науменко О.А. Силові кабелі низької та середньої напруги. – Харків.: Регіон-Інформ, 2000. – 376 с. 2. Руководящий технический материал по сооружению, испытаниям и эксплуатации кабельных линий с использованием кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 64/110 КВ. – Под ред. Шидловского А.К. и Золотарева В.М. – Харьков: Майдан, 2007. – 62 с. 3. Руководящий технический материал по сооружению, испытаниям и эксплуатации кабельных линий с использованием кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6-35 КВ. – Под ред. Шидловского А.К. и Золотарева В.М. – Харьков: Майдан, 2007 – 65 с.

Поступила в редколлегию 29.05.2007

УДК 621.317.3

В.В.КНЯЗЕВ, канд.техн.наук; **Ю.С.НЕМЧЕНКО; И.П.ЛЕСНОЙ;**
С.Б.СОМХИЕВ, Т.Н.ОСТРОВЕРХ; НТУ «ХПИ»

УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА СТОЙКОСТЬ К ЗАТУХАЮЩЕМУ ПЕРЕМЕННОМУ МАГНИТНОМУ ПОЛЮ С ЧАСТОТОЙ 100 КГЦ

Описано конструкцію та результати іспитів установки, призначеної для іспиту технічних засобів на стійкість до загасаючого змінного магнітного поля (ЗЗМП) з частотою 100 кГц відповідно до діючих в Україні нормативних документів, і яка генерує магнітне поле, що створює в полетворюючих системах напруженість ЗЗМП трьох рівнів: 10, 30 та 100 А/м.