

*М.К. Каменский, канд. техн. наук, заместитель заведующего отделением;
И.Б. Пешков, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник;
М.Ю. Шувалов, д-р техн. наук, директор научного направления – заведующий отделением;
ОАО «ВНИИКП»*

ЕЩЁ РАЗ О ПРИМЕНЕНИИ СИЛАНЛЬНОСШИВАЕМОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ключевые слова: силаносшитый полиэтилен; пероксидно-сшитый полиэтилен; кабели среднего напряжения; электрическая прочность; электрохимическое старение; водные триинги.

Аннотация. Приведены данные по объемам выпуска кабелей среднего напряжения с изоляцией из силаносшитого полиэтилена на постсоветском пространстве. Показано, что данный тип кабелей удовлетворяет требованиям национального стандарта ГОСТ Р 55025–2012 по уровню электрической прочности в исходном состоянии, а также после 2-летнего электрохимического старения. Установлено также, что размеры водных триингов в силанольносшитом ПЭ после двух лет испытаний соответствуют нормам ГОСТ и значениям этого показателя для кабелей, изолированных пероксидносшитым полиэтиленом.

На основании объективных результатов испытаний и исследований, а также положительного опыта эксплуатации сделан вывод о правомерности применения кабелей среднего напряжения (от 6 до 20 кВ) с изоляцией из силанольносшитого полиэтилена.

Abstract. The data are presented concerning the production scale in the post-soviet space of MV cables, insulated with silane-cured polyethylene (PE). These cables satisfy the national standard GOST R 55025–2012 requirement for the dielectric strength in initial state and after two-year electrochemical ageing. It is shown also that water tree sizes after 2 year wet ageing test of silane-cured PE correspond to that of peroxide-cured PE and also meet the requirement of GOST R 55025-2012. The unbiased results of study and tests as well as positive experience of commercial operation permit to make a conclusion that application of 6-20 kV cables insulated with silane-cured PE in medium voltage grid is rightful

Key words: silane-cured polyethylene; peroxide-cured polyethylene; medium voltage cable; dielectric strength; electrochemical ageing; water tree.

Материал поступил в редакцию 19.08.2019
Шувалов М.Ю. E-mail: shuvalov@vniikp.ru

В 2013 г. в [1] авторами был сделан вывод о правомерности применения в отечественной практике силовых кабелей среднего напряжения (6 и 10 кВ) с изоляцией из силанольносшиваемого полиэтилена. Такие кабели изготавливаются в России и Украине с начала 2000-х годов. С момента выхода в свет [1] прошло около 6 лет, но тем не менее вопрос о том, можно ли применять силанольносшиваемый полиэтилен наряду с пероксидносшиваемым для изолирования кабелей среднего напряжения возникает снова и снова. Причины постановки этого вопроса могут быть различными и обсуждаются ниже. В связи с этим представляется целесообразным вновь рассмотреть проблему с учётом результатов испытаний и накопленного в настоящее время опыта производства.

Как известно, сшивка цепей полиэтилена может быть осуществлена 3 способами, применяемыми в кабельной промышленности [2]:

– пероксидное сшивание, при котором протекает химическая реакция между макрорадикалами, образующимися вследствие взаимодействия молекул полимера с продуктами распада термически неустойчивых органических перекисей;

– силанольное сшивание, при котором протекает химическая реакция с участием привитых к макромолекулам силаносодержащих групп;

– радиационное модифицирование, в основе которого лежит рекомбинация макрорадикалов, возникающих в полимере в результате воздействия ионизирующего излучения.

Радиационное модифицирование для производства силовых кабелей среднего напряжения не применяется, хотя такие попытки были, но дали отрицательные результаты из-за экономической нецелесообразности и практически непреодолимых технических трудностей.

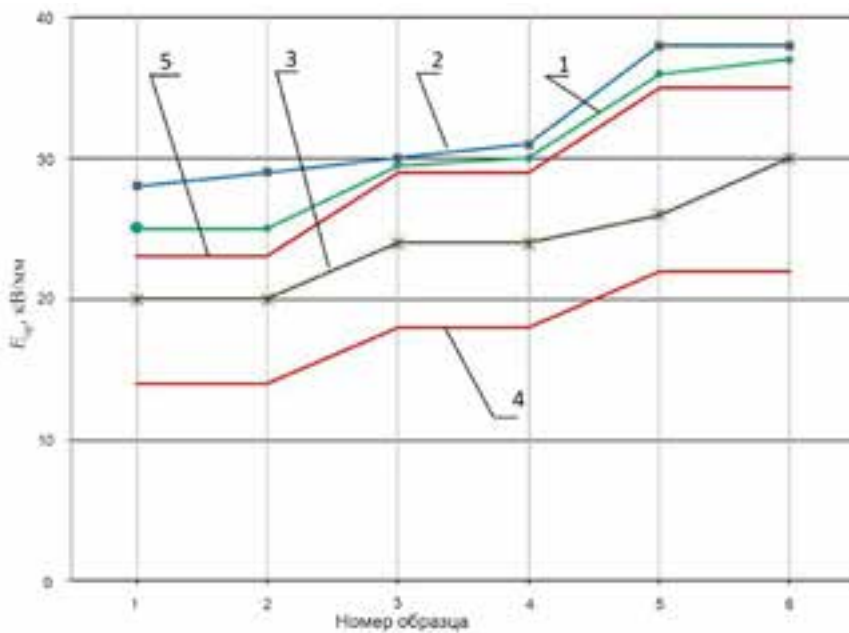


Рис. 1. Электрическая прочность (напряжённость поля у электропроводящего экрана поверх токопроводящей жилы при пробое) силовых кабелей со сшитой полимерной изоляцией после двух лет электрического старения:

- 1 – силанольноштитая изоляция;
- 2 и 3 – пероксидноштитая изоляция;
- 4 – нормы HD 620 S2 для изоляции основных типов конструктивного исполнения кабелей и нормы ГОСТ Р 55025 для кабелей, прокладываемых на воздухе;
- 5 – нормы ГОСТ Р 55025 для изоляции кабелей подземной прокладки

Одним из критериев качества силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в соответствии с ГОСТ Р 55025–2012 [3] является электрическая прочность изоляции в исходном состоянии и после длительного (двухгодичного) электрохимического старения во влажной среде. Уровень пробивного напряжения изоляции в исходном состоянии кабелей, независимо от способа сшивки полиэтиленовой изоляции, должен быть не менее $25U_0$, где U_0 – номинальное напряжение между жилой и экраном кабеля. Допустимые значения пробивной напряжённости электрического поля у электропроводящего экрана поверх токопроводящей жилы кабеля после длительного старения установлены в соответствии с нормами HD 620 S2 [4].

Для сравнения показателей, характеризующих качество изделий с изоляцией из сшитого

полиэтилена, сшивка которых осуществлена по силанольной и пероксидной технологиям, были проведены испытания образцов серийно изготавливаемых силовых кабелей среднего напряжения типа АПвП 1×120/25 – 10 кВ. Для изолирования кабеля, изготовленного с использованием силанольной технологии сшивки, использована импортная композиция марки LE 4421M/LE 4431. Изоляция двух других кабелей была изготовлена также из импортных пероксидношшиваемых композиций полиэтилена разных изготовителей. Методика двухгодичных испытаний кабелей на длительное старение полностью соответствовала требованиям HD 605 [5]. Уровень пробивного напряжения $U_{пр}$ образцов кабелей всех трёх типов в исходном состоянии более $25U_0$. Результаты испытаний по определению пробивной напряжённости электрического поля $E_{пр}$ у электропроводящего экрана по токопроводящей жиле испытанных образцов кабелей приведены на рис. 1, где зависимость 1 относится к результатам испытания изоляции из силанольноштитого полиэтилена, зависимости 2 и 3 – изоляции из пероксидноштитого полиэтилена.

Допустимые значения $E_{пр}$ в соответствии с ГОСТ Р 55025 и [4] представлены зависимостями 4 и 5. При этом зависимость 5 относится к значениям $E_{пр}$ изоляции кабелей для подземной прокладки, а зависимость 4 – к значениям $E_{пр}$ изоляции кабелей, предназначенных для прокладки на воздухе. Критериями соответствия кабелей требованиям по уровню электрической прочности изоляции после двухгодичного старения являются значения $E_{пр}$, приведённые в табл. 1 в соответствии с [3] и представленные на рис. 1 в виде зависимостей 4 и 5.

Приведённые результаты испытаний по оценке уровня электрической прочности изоляции после двух лет электрохимического старения свидетельствуют, что кабели с изоляцией как из пероксидноштитого полиэтилена, так и силанольноштитого полиэтилена удовлетворяют требованиям российского стандарта и гармонизированным нормам комитета CENELEC.

Таблица 1

Нормированные минимально допустимые значения $E_{пр}$ для серии из 6 образцов кабелей после старения

Испытанные образцы кабеля	Значения $E_{пр}$, кВ/мм	
	Для кабелей для подземной прокладки	Для кабелей для прокладки на воздухе
1. Все шесть образцов	≥ 29	≥ 18
2. Если результаты не соответствуют значениям по п.1, то принимаются в зачёт результаты следующей совокупности:		
▪ все 6 образцов;	≥ 23	≥ 14
▪ по крайней мере, 4 образца;	≥ 29	≥ 18
▪ по крайней мере, 2 образца.	≥ 35	≥ 22

Результаты измерения размеров водных триингов в силанольноосшитой и пероксидноосшитой изоляции кабелей среднего напряжения

Образцы изоляции	Нормированные значения, мкм		Измеренные значения, мкм
	HD 620S2	ГОСТ Р 55025	
1. Силанольноосшитая изоляция	не более 1000	не более 500	200
2. Пероксидноосшитая изоляция: • образец 1; • образец 2.			200-275 225

В соответствии с рекомендациями [4] и требованиями ГОСТ Р 55025 после 17 500 часов испытаний образцов кабелей во влажной среде были проведены исследования изоляции на предмет обнаружения водных триингов и определения их размеров, которые приведены в табл. 2.

Принципиальных различий в состоянии изоляционных систем кабелей с силанольноосшитой и пероксидноосшитой изоляцией после длительного старения не выявлено. Это дает основание подтвердить, что кабели среднего напряжения с изоляцией из силанольноосшитого полиэтилена могут использоваться наряду с кабелями из пероксидноосшитого полиэтилена во всех областях применения как для прокладки в земле, так и в кабельных сооружениях. В подтверждение такого вывода можно добавить, что за период с 2005 г. по настоящее время не поступило никаких замечаний со стороны эксплуатирующих энергопредприятий на качество кабелей с силанольноосшитой изоляцией и данных об отказах кабельных линий этого типа.

Известно, что аналогичные положительные результаты были получены в сертификационном центре SATS (Норвегия) при испытаниях силового кабеля с силанольноосшитой изоляцией на напряжение 12/20 (24) кВ, изготовленного на территории СНГ.

Стоит также отметить объёмы производства силовых кабелей среднего напряжения с силанольноосшитой изоляцией, изготовленных на территории СНГ и эксплуатируемых в энергосистемах. Пока эти объёмы в РФ сравнительно невелики и колеблются в пределах от 500 до 1000 км/год (данные за последние 5 лет). Кабели были поставлены в системы ОЭК и МОЭСК (г. Москва), Московскому метрополитену, РЖД, а также строительным организациям, выполняющим работы для Россетей в различных районах страны. Значительно большие объёмы кабелей были изготовлены заводом «Одескабель» (г. Одесса). Этот завод выпускает кабели не только на напряжение 10 и 20 кВ, но и на напряжение 35 кВ. 35 кВ – это максимальное напряжение, на которое на территории бывшего Советского Союза выпускаются кабели с силанольноосшитой полиэтиленовой изоляцией. Только в 2018 г. завод изготовил 185 км кабелей на напряжение 10 кВ, 75 км – на напряжение 15 кВ, 58 км – на напряжение 20 кВ и 82 км кабелей на напряжение 35 кВ. Продолжается производство кабелей такого типа за рубежом. В технической документации не регламентируется тип технологии, по которой изготовлен кабель. Потребителю нужно гарантированное качество изделия, за которое отвечает изготовитель. Почему же возникают вопросы о допустимости применения в качестве изоляции кабелей среднего напряжения

силанольноосшитого полиэтилена? На наш взгляд, эти причины таковы.

1. Так как вулканизация полиэтилена при пероксидном способе сшивания осуществляется в инертной среде, а при силанольном сшивании – в атмосфере повышенной влажности, то возникает вопрос: не приводит ли применение силанольноосшиваемого полиэтилена в качестве изоляции к усиленному образованию водных триингов? Этот вопрос периодически поднимается на протяжении нескольких десятков лет и на него давно дан ответ. Установлено, что скорость развития водных триингов не зависит от метода сшивания. При наличии электрического поля и воды триинги всегда образуются в полиэтилене, но важно, чтобы их развитие не приводило к сокращению сроков службы кабеля [6]. Выполненные во ВНИИКП исследования по оценке влагосодержания в силанольноосшитой изоляции показали, что процентное содержание влаги в ней даже ниже, чем в изоляции из пероксидноосшитого полиэтилена, так как влага интенсивно расходуется в процессе сшивки. Результаты испытаний показали, что размеры водных триингов в силанольноосшитой изоляции не больше, чем в пероксидноосшитой. При этом продукты реакции силанов не влияют на неоднородность структуры силанольноосшиваемой изоляции; в отечественной практике для изоляции кабелей и проводов используются в основном силанольноосшиваемые композиции, в которых прививка силана к полиэтилену уже осуществлена на стадии синтеза, а не на стадии компаундирования.

2. Вторая причина продолжения постановки вопроса о недопустимости или, в крайнем случае, нежелательности применения силанольноосшиваемого полиэтилена для изоляции кабелей среднего напряжения связана с позицией крупных кабельных заводов, уже оснащенных наклонными линиями вулканизации для наложения и сшивки изоляции кабелей на напряжение 10–110 кВ и выше. На этих линиях производятся качественные кабели и, как известно, в РФ и других государствах СНГ по ряду причин производственные мощности не загружены. Однако отдельные кабельные заводы рассматривают возможность приобретения горизонтальных экструзионных линий для наложения изоляции из силанольноосшиваемого полиэтилена, более дешёвых по сравнению с наклонными линиями, и они вынуждены преодолевать трудности, связанные с существующим мнением ряда потребителей, которое по существу подпитывается позицией крупных заводов, для которых в любом варианте такие предприятия являются нежелательными конкурентами.

Позиция ВНИИКП, опирающаяся на собственные и зарубежные исследования и опыт, такова: применение

силанольносшиваемого полиэтилена наряду с пероксидносшиваемым для изоляции силовых кабелей среднего напряжения (6, 10 и 20 кВ) вполне допустимо. Что же

касается кабелей такого типа на напряжение 35 кВ, то вопросы их качества и надёжности, по нашему мнению, требуют дополнительных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каменский М.К., Образцов Ю.В., Овсиенко В.Л., Пешков И.Б., Шувалов М.Ю. О применении силанольносшиваемого полиэтилена для изоляции силовых кабелей среднего напряжения // Кабели и провода. – 2013. – № 2 (339). – С. 14–19.
2. Пешков И.Б. Материалы кабельного производства. – М.: Машиностроение, 2013. – 455 с.
3. ГОСТ Р 55025–2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014.

4. HD 620 S2:2010. Distribution cables with extruded insulation for rated voltages from 3,6/6 (7,2) kV up to and including 20,8/36 (42) kV.
5. HD 605 S2:2008. Electric cables – Additional test methods.
6. Ютао Хо Гу, Кван С.Су. Сравнение электрических свойств силанольносшиваемого полиэтилена и полиэтилена, сшитого с применением перекиси дикумила // IEEE Transaction on Dielektris and Electrical Insulation. – 1999, April. – Vol. 3.



На правах рекламы

КАБЕЛИ И ПРОВОДА

ДЛЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК

НАДЁЖНОСТЬ, ПОДТВЕРЖДЁННАЯ ВРЕМЕНЕМ!
НАРОДНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ПОДОЛЬСККАБЕЛЬ
Изготавливаем кабели и провода с 1941 года

- НИЗКОВОЛЬТНЫЕ КАБЕЛИ И ПРОВОДА ДЛЯ:**
- АТОМНЫХ СТАНЦИЙ И ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК
 - НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА
 - ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ
 - АВИАЦИИ И СУДОСТРОЕНИЯ
 - ВОЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
 - ПОДВИЖНЫХ СОСТАВОВ И МЕТРОПОЛИТЕНА

ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВСЕЙ ПРОДУКЦИИ ГАРАНТИРУЕМ:

- применение высококачественного первичного сырья;
- испытания продукции на всех этапах производства;
- соответствие продукции ГОСТ.

☎ +7 800 302-78-83 ✉ office@podolskkabel.ru
☎ +7 495 502-78-83 🌐 www.podolskkabel.ru
🏠 142103, МО, г. Подольск, ул. Бронницкая, д.11