

10. J.-Y. Yoo, I.-J. Shon, B.-H. Choi, and K.-T. Lee, *Ceram. Int.* 37, 2569 (2011).

11. O. Bezdorozhev, H. Borodianska, Y. Sakka, O. Vasylykiv. Spark Plasma Sintered Ni-YSZ/YSZ Bi-Layers for Solid Oxide Fuel Cell. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* Vol. 13, 4150–4157 (2013).

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МАСЛОСТОЙКИХ КАБЕЛЕЙ К ВОЗДЕЙСТВИЮ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

Т.М. Матери, В.С. Ким

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск

Низковольтные кабельные изделия (КИ) эксплуатируются в условиях, когда изоляция и оболочка подвергаются одновременному воздействию многих факторов, включая действие агрессивных сред (дизельное топливо, трансформаторное масло). Срок службы КИ главным образом зависит от способности самих материалов противостоять этим жидкостям.

Маслостойкость КИ определяется согласно ГОСТ РМЭК 60811-2-1-2006 «Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек электрических и оптических кабелей. Часть 2-1. Специальные методы испытаний эластомерных композиций. Испытания на озоностойкость, тепловую деформацию и маслостойкость», согласно которому к маслостойким относятся КИ, механические характеристики оболочки которого после испытания сохраняются в пределах допустимого значения, установленного в стандарте или технических условиях на конкретный кабель. При разработке конструкции маслостойкого КИ, выбор материалов чаще всего основан на результатах испытаний пластмасс на стойкость к агрессивным средам согласно ГОСТ 12020-72 (СТ СЭВ 428-89) «Пластмассы. Методы определения стойкости к действию химических сред». Стойкость оценивается по изменению механических характеристик материала. Для термопластов, например, регламентируется следующая шкала стойкости: изменение на 0...10% – «хорошая» устойчивость, свыше 10...15% - «удовлетворительно», свыше 15% - «плохо».

ГОСТ РМЭК 60811-2-1-2006 и ГОСТ 12020-72 оценивают устойчивость оболочки КИ к набуханию опосредованно, через изменение механических характеристик, которые, как известно [2], наиболее чувствительны к процессам старения. В то же время, известно [3], что хотя длительное набухание в конечном итоге всегда приводит к ухудшению механических свойств полимера, пластифицирующий эффект набухания может краткосрочно приводить, например, к временному повышению прочности оболочки. Кроме того, свойства полимеров могут значительно изменяться при переработке [4].

Для проведения данного исследования, в рамках договора о сотрудничестве с Томским политехническим университетом, на ООО «Томсккабель» были изготовлены образцы кабелей двух типов. Оболочка образца типа 1 изготовлена однослойной на стандартном экструдере, а оболочка образца типа 2 изготовлена на сдвоенном (V-образном) экструдере двухслойной за один проход. В обоих случаях для оболочки использован термопласт, который не относится к материалам с хорошей устойчивостью к набуханию. Он представляет собой высоконаполненную безгалогенную полимерную композицию на основе полиолефина.

Гибкие маслостойкие кабели Ölflex 440P и ÖlflexROBUST 200 представляют собой кабели с рабочей температурой от -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$ и включают 2 многопроволочные жилы сечением 1.0 мм^2 с изоляцией из полиолефинового ТЭП, поверх которых наложена однослойная оболочка. Оболочка Ölflex 440P выполнена из TPU, а оболочка ÖlflexROBUST 200 выполнена из полиолефинового термоэластопласта (ТЭП). Оба материала относятся к полимерам с хорошей устойчивостью к углеводородным жидкостям.

Прочностные характеристики и толщина оболочки образцов кабелей до старения в углеводородных жидкостях представлены в табл. 1. Старение в дизельном топливе и трансформаторном масле образцов КИ проводилось согласно ГОСТ Р МЭК 60811-2-1-2006 при комнатной температуре, в течение 1000 часов. Через каждые 200 часов образцы вынимались и проводились измерения толщины оболочки h , прочности на разрыв σ и относительного удлинения при разрыве ϵ в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-2006.

Таблица 1

Толщина и прочностные характеристики оболочки образцов кабелей в исходном состоянии

Марка	Ölflex 440P, TPU	ÖlflexROBUST 200, ТЭП	Образец типа 1, полиолефин	Образец типа 2, полиолефин
Толщина оболочки, мм	1,2	1,1	2,5	3,5
Предел прочности σ , МПа	28	26	12,5	11,3
Относительное удлинение ϵ , %	320	270	125	120

На рис. 1 представлены графики зависимостей изменения толщины оболочки, образцов КИ от времени старения в ДТ и ТМ. Из рис. 1 видно, что для образцов типа 1 и 2 характерно неограниченное набухание оболочек. За 1000 ч старения изменение толщины оболочки образцов типа 1 составило в среднем 25%, а для образцов типа 2 – 17%.

Для кабелей марки Ölflex в период времени от 600 до 1000 часов наблюдается участок приближения к насыщению, что свидетельствует скорее об ограниченном характере набухания. Как известно [1, 5], ограниченное набухание характерно для несшитых полимеров с высокой молекулярной массой и сильным межмолекулярным взаимодействием. При этом в отличие от слабосшитых полимеров, ограниченное набухание которых может приводить к

изменению толщины оболочки в десятки раз, толщина оболочки из несшитого полимера увеличивается максимум в 2..3 раза. За 1000 часов изменение толщины оболочки кабеля Ölflex 440P в среднем составило 6%, а кабеля ÖlflexRobust200 – 10%.

Для всех полимеров получено, что скорость набухания в дизельном топливе выше, чем в трансформаторном масле. Скорость набухания оболочек типа 1 и 2 ожидаемо выше, чем оболочек кабелей Ölflex как в ДТ, так и в ТМ. При этом следует отметить, что скорость набухания образцов типа 2, оболочка которых наложена на V-образном экструдере, почти в полтора раза меньше, чем для образцов типа 1 с однослойной оболочкой. За 1000 часов средняя скорость изменения толщины оболочки при старении в ДТ составила $2,8 \times 10^{-5}$ мм/ч для образцов типа 1 и 2×10^{-5} мм/ч для образцов типа 2, а при старении в ТМ – $2,5 \times 10^{-5}$ мм/ч для образцов типа 1 и $1,7 \times 10^{-5}$ мм/ч для образцов типа 2. Такой результат свидетельствует, что даже при использовании одного материала, при двухслойной экструзии через одну рабочую головку, в оболочке возникает граничный слой.

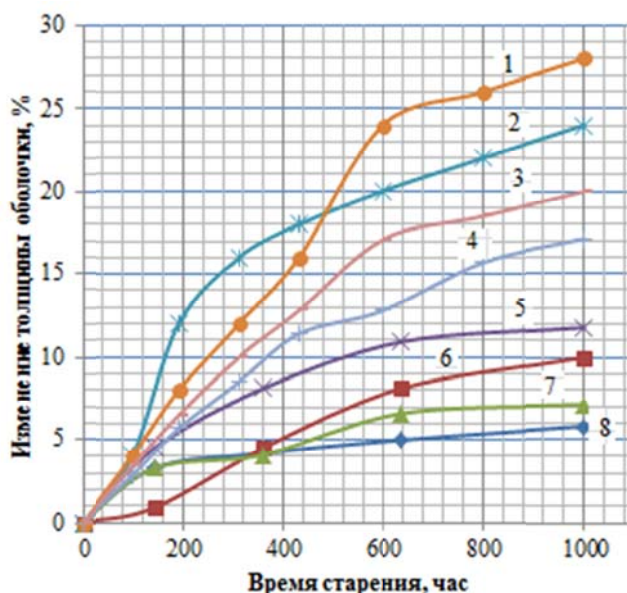


Рис. 1. Изменение толщины оболочки образцов типа 1 и типа 2 и оболочек кабелей ÖlflexRobust200 и Ölflex 440P в зависимости от времени старения в дизельном топливе (ДТ) и трансформаторном масле (ТМ) в процентах от исходного значения: 1 - тип 1 в ДТ; 2 - тип 1 в ТМ; 3 - тип 2 в ДТ; 4 - тип 2 в ТМ; 5 - ÖlflexRobust200 в ДТ; 6 - ÖlflexRobust200 в ТМ; 7 - Ölflex 440P в ДТ; 8 - Ölflex 440P в ТМ.

Несмотря на то, что при экструзии на V-образном экструдере расплав полимера частично перемешивается в рабочей головке, возникающий граничный слой отличается по структуре от основного объема настолько, что может ограничивать диффузию молекул жидкости в оболочку кабеля.

На рис. 2 представлены графики зависимостей относительного удлинения при разрыве ϵ от времени старения. Относительное удлинение для образцов Ölflex монотонно возрастает в течение всего периода старения. Увеличение ϵ

при старении в ТМ немного меньше, чем при старении в ДТ: при старении Ölflex 440P в ТМ ϵ увеличилось на 8,4%, а в ДТ – на 8,5%; старение ÖlflexRobust200 в ТМ привело к увеличению ϵ на 7%, в ДТ – на 8,5%. Такое незначительное увеличение ϵ скорее всего связано со слабым пластифицирующим действием, которое оказывает диффузия молекул жидкости.

Для образцов типа 1 и типа 2 относительное удлинение уменьшается. Для образцов типа 1, уменьшение ϵ при старении в ТМ составило 16%, в ДТ – 20%. Для образцов типа 2 изменение ϵ при нахождении в ТМ – 10%, в ДТ – 15,8%. Состав полимерной композиции, которая использовалась для изготовления оболочки, неизвестен. Можно предположить, что уменьшение ϵ оболочки из высоконаполненной полимерной композиции на основе полиолефина может быть связано либо с вытеснением пластификатора, либо с абсорбцией молекул жидкости поверхностью частиц наполнителя. В любом случае следует отметить, что для оболочки, наложенной на V-образном экструдере, получено заметно меньшее изменение ϵ .

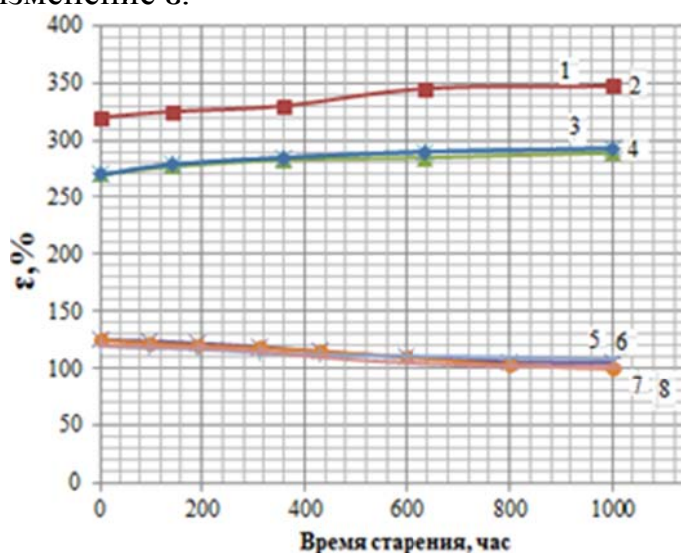


Рис. 2. Зависимость относительного удлинения при разрыве ϵ оболочек образцов типа 1 и типа 2, и оболочек кабелей Ölflex Robust200 и Ölflex 440P в зависимости от времени старения в дизельном топливе (ДТ) и трансформаторном масле (ТМ): 1 - Ölflex 440P в ДТ; 2 - Ölflex 440P в ТМ; 3 - Ölflex Robust200 в ДТ; 4 - Ölflex Robust200 в ТМ; 5 - тип 1 в ДТ; 6 - тип 1 в ТМ; 7 - тип 2 в ДТ; 8 - тип 2 в ТМ

На рис. 3 представлены графики зависимостей изменения прочности при разрыве σ от времени старения. Прочность всех рассмотренных образцов монотонно убывает с увеличением времени нахождения в жидкости. Скорость уменьшения σ в ТМ и ДТ различна. Для образцов Ölflex 440P уменьшение σ при старении в ТМ составило 10,3%, в ДТ – 12,8%. Для образцов Ölflex Robust200 изменение σ составило в ТМ 6,9%, в ДТ – 10,3%.

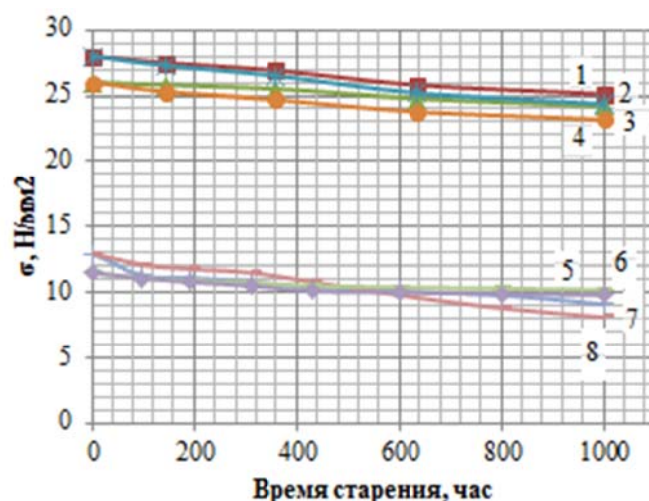


Рис. 3. Зависимость прочности при разрыве σ оболочек образцов типа 1 и типа 2, и оболочек кабелей Ölflex Robust200 и Ölflex 440P в зависимости от времени старения в дизельном топливе (ДТ) и трансформаторном масле (ТМ): 1 - Ölflex 440P в ДТ; 2 - Ölflex 440P в ТМ; 3 - Ölflex Robust200 в ДТ; 4 - Ölflex Robust200 в ТМ; 5 - тип 1 в ДТ; 6 - тип 1 в ТМ; 7 - тип 2 в ДТ; 8 - тип 2 в ТМ.

Для образцов отечественного производства типа 1 изменение предела прочности в трансформаторном масле составило 29,4%, в дизельном топливе – 37,2%. Для образцов типа 2 изменение прочности при разрыве в трансформаторном масле составило 11,3%, в дизельном топливе – 14,7%.

Следует отметить, что оболочка образцов типа 1 и типа 2 изготовлена из одного и того же материала, не предназначенного для изготовления маслостойких кабелей. При этом, наложенная на обычном экструдере оболочка по всем механическим показателям демонстрирует «плохую» устойчивость к воздействию углеводородных жидкостей (изменение более 15%), а при наложении на V-образном экструдере изменения характеристик за 1000 часов лежат в пределах 10...15%, что соответствует «удовлетворительной» устойчивости.

Устойчивость КИ к старению в углеводородных жидкостях главным образом определяется устойчивостью полимерного материала оболочки. Образцы кабелей марки Ölflex с оболочкой из специальных ТЭП уретанового и олефинового типов показали удовлетворительную устойчивость к старению в углеводородных жидкостях. Образцы кабелей с однослойной оболочкой из неустойчивой к воздействию углеводородов полимерной композиции не прошли испытания на старение как в дизельном топливе, так и в трансформаторном масле. В то же время, получено, что на устойчивость КИ к старению оказывает влияние способ наложения оболочки. Использование V-образного экструдера позволило повысить маслостойкость КИ до удовлетворительного уровня даже при использовании полимерного материала с низкой устойчивостью к набуханию.

Возможно, что в случае производства оболочки из специальных полимерных композиций с высокой устойчивостью к набуханию, использование V-образного экструдера не приведет к существенному

повышению маслостойкости кабеля. В то же время, наложение двухслойной оболочки на V-образном экструдере может значительно повысить устойчивость КИ к старению даже при использовании материалов с невысокой устойчивостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тагер А.А. Физико-химия полимеров.– М.: Научный мир, 2007. – 573с.
2. Воробьева Г.Я. Химическая стойкость полимерных материалов. – М.: Химия, 1981. – 296 с.
3. Моисеев Ю.В., Заиков Г.Е. Химическая стойкость полимеров в агрессивных средах. – М.: Химия, 1979. – 288 с.
4. Зуев Ю.С. Разрушение полимеров под действием агрессивных сред. – М.: Химия. 1972. – 232 с.
5. Будтов В.П. Физическая химия растворов полимеров. – М.: Химия, 1992. – 384 с.

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

С.Н. Шуликин, П.А. Бекк

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск

Для передачи электроэнергии от источника до потребителя используют провода и кабели, изготовленные из меди или из алюминиевых сплавов. По своим электротехническим свойствам медь превосходит алюминий. Поэтому в местах потребления – в бытовых и производственных зданиях, сооружениях, требуются применять медные провода и кабели, токоведущие шины, что регламентирует ПУЭ (Правила устройства электроустановок). При соединении токоведущих частей электроустановок, подключении их к линиям электропередач создаются разъемные и неразъемные электрические контакты.

При любой, сколь угодно чистой обработке два металлических тела соприкасаются не по всей видимой поверхности, а лишь в отдельных точках по микровыступам. Таким образом, механический контакт двух тел происходит не по всей видимой поверхности, а лишь в отдельных точках [1].

При попадании электролита (водного раствора кислот щелочей), возникающего в результате теплового старения полимерных материалов, повышенной влажности окружающей среды, в пустоты электрического контакта разнородных металлов происходит процесс электрохимической коррозии.

При электрическом контакте двух металлов, обладающих разными электродными (электрохимическими) потенциалами и находящимися в электролите, образуется гальванический элемент. Поведение металлов зависит от значения их электродного потенциала. Металл, имеющий отрицательный