

## ВОПРОСЫ СТАРЕНИЯ КАБЕЛЕЙ С ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

**Анненков Алексей Алексеевич**

студент, Севастопольский Государственный Университет, РФ, г. Севастополь

**Самусенко Андрей Викторович**

научный руководитель,

## ISSUES OF AGING OF POLYMER-INSULATED CABLES

**Alexei Annenkov**

*student, Sevastopol State University, Russia, Sevastopol*

**Аннотация.** Срок службы и эксплуатационные характеристики кабелей среднего напряжения зависят от процесса старения кабельной изоляции. По мере увеличения срока эксплуатации за счет старения уменьшается электрическая прочность изоляции и, в конечном итоге, происходит пробой изоляции.

В данной работе рассмотрены некоторые вопросы старения кабелей и прогнозирования срока их службы с помощью ускоренного испытания кабелей.

**Abstract.** The service life and performance of medium-voltage cables depend on the aging process of the cable insulation. As the service life increases due to aging, the electrical strength of the insulation decreases and, ultimately, the insulation breakdown occurs.

In this paper, we consider some issues of cable aging and the prediction of their service life with the help of accelerated cable testing.

**Ключевые слова:** кабель, изоляция, срок эксплуатации, электрическая плотность, пробой изоляции, прогнозирование, ускоренные испытания.

**Keywords:** cable, insulation, service life, electrical density, insulation breakdown, forecasting, accelerated testing.

Старение является важным фактором для кабелей среднего и высокого напряжения. С самого начала применения кабелей известно, что электрическая прочность изоляционной системы со временем снижается в процессе эксплуатации в конечном итоге может происходить пробой кабеля. Скорость этого снижения (старения) зависит от напряженности электрического поля, температуры и условий окружающей среды, в которой проложены кабели.

Для прогнозирования долгосрочных характеристик кабелей среднего напряжения с

изоляция из сшитого полиэтилена необходимо изучение процесса старения.

Этот вопрос является актуальным, так как срок службы и эксплуатационные характеристики кабелей непосредственно связаны со старением кабелей с пластмассовой изоляцией. Поэтому в этом направлении проводятся многочисленные научно-исследовательские работы.

Основным механизмом старения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена является образование триингов. Триингообразование происходит в двух основных формах[1,2]. Образование электрических триингов - это механизм быстрой деструкции, которые обычно инициируются на дефекте. Электрические триинги быстро развиваются и прорастают через всю изоляцию и вызывают замыкание кабельной линии на землю.

Образование водных триингов - это явление медленно развивающейся деструкции, которое также зарождается на дефектах. Эти триинги возникают и растут только в условиях присутствия в изоляции достаточного количества влаги. Водные триинги растут медленно, обычно в течении многих лет. Ни один из типов триингов не возникнет, если отсутствует локальное повышение напряженности электрического поля, создаваемое загрязняющими включениями, которые инициируют образование и рост триингов (рисунки 1 и 2).



***Рисунок 1. Водный триинг, развивающийся от подковообразного загрязняющего включения***



**Рисунок 2. Электрический триинг, растущий от водного триинга, примыкающего к экрану по жиле**

Необходимо отметить, что местное увеличение напряженности электрического поля - это комплексное явление. Локальное повышение напряженности является функцией диэлектрической проницаемости или электропроводности загрязняющего включения, а также его размеров и формы.

Поскольку процессы старения являются результатом локального увеличения градиента электрического потенциала, очень важно свести к минимуму все типы загрязнений и других неоднородностей в кабеле.

Электрическое старение кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена изучено, но недостаточно. Как известно результаты обычного ускоренного старения выражаются математическим уравнением.  $t = c \cdot E^{-n}$  (1), где  $t$ -время,  $E$ -напряженность приложенного поля,  $c$  и  $n$ - постоянные кабеля.

По результатам многочисленных экспериментов показано, что экстраполяция времени жизни кабеля, сделанные на графиках полученными с помощью (1), не всегда соответствует действительности, поскольку линейная зависимость между логарифмическим полем и логарифмическим временем не сохраняется при длительном времени старения, а также не всегда проявляется в короткое время старения.

Фактически результаты значительно улучшают полулогарифмический график между  $E$  и  $\log t$ . Есть несколько других моделей, способных прогнозировать срок службы при температурах, в которых работают кабельные линии. Модели старения Crine[3], Монтанари[4] и Льюиса [5] более точно прогнозируют время отказа, чем модель эмпирического обратного силового закона, который часто используется при проектировании кабелей.

Анализ полученных нами данных и данных других авторов, показали, что эти модели не полностью решают все сложности, связанные с электрическим старением действующих кабелей в эксплуатации. Ускоренные старения, проводимые в лабораторных условиях показали, что старение зависит от длины образцов и это усложняет проведение полученных лабораторных результатов к действующим линиям. Кроме того, лабораторные испытания, как правило проводятся при постоянной температуре, а при эксплуатации старение происходит при температурных циклах. Хорошо известно, хотя и плохо понимается, тот факт, что разрушение уменьшается с увеличением толщины изоляции и длины кабельных образцов.

Также обсуждался вопрос о значении тестов ускоренного старения для предсказания срока

службы кабелей среднего напряжения.

Как правило, в конструкции кабелей среднего напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена влагозащитные барьеры в виде металлических оболочек не предусматриваются. Со временем имеющаяся в почве влага медленно диффундирует через наружную оболочку, через экран по изоляции и в саму изоляцию.

Поскольку проникновение влаги в кабель неизбежно, надо стремиться чтобы при изготовлении и прокладке в изоляции не попадали загрязняющие включения и не появлялись неоднородности. Кроме того, в конце XX века на рынке появился триингостойкий сшитый полиэтилен.

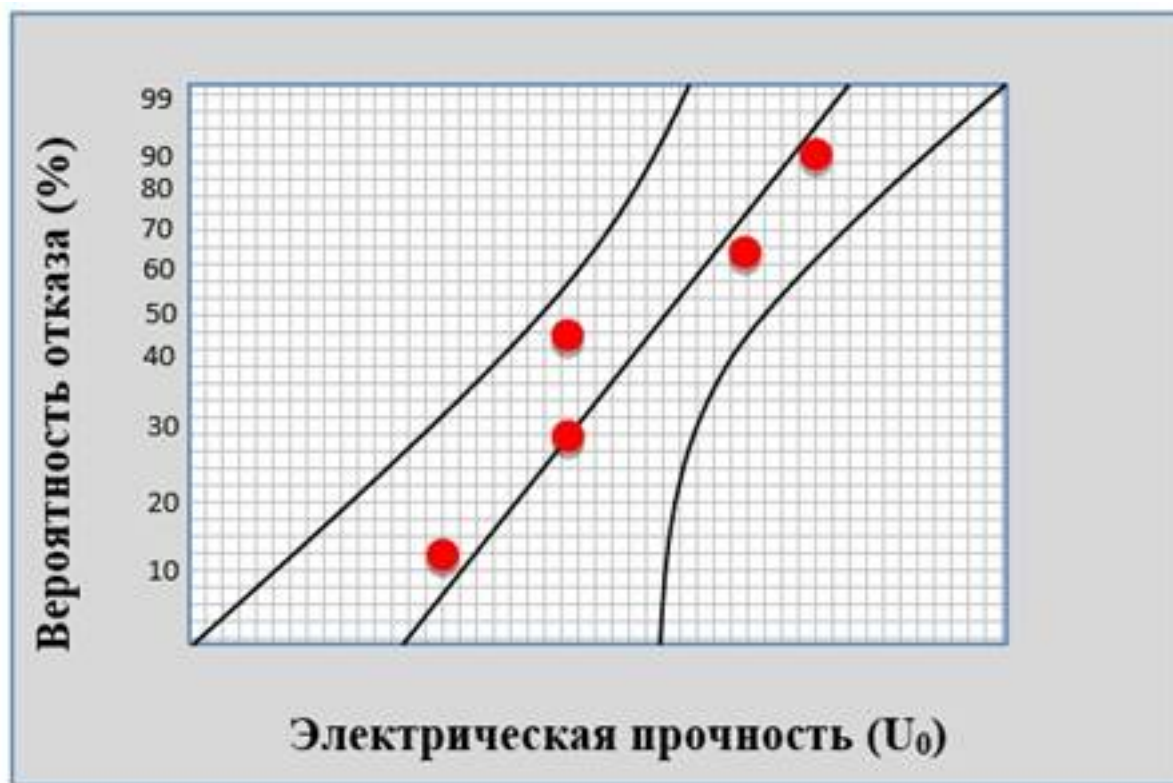
Несмотря на выше указанные меры для прогнозирования срока службы кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, требуется проведение испытания кабелей на старение с учетом местных условий.

Для этих целей существуют различные программы испытаний.

Надо сказать, что стандарты МЭК не требуют проведения испытаний на долговременное влажное старение для кабелей среднего напряжения. Вместо этого требуется проведение кратковременных испытаний переменным напряжением. В данной работе нами использованы общепринятые европейские стандарты. Произведены полугодовые испытания в переменном напряжении частотой 50 Гц. В результате испытаний получена полезная информация, относительно проведения кабеля в эксплуатации. Проведенные испытания на ускоренное старение предназначены для оценки скорости этого явления. Здесь не предусматривались механизмы разрушения изоляции.

Результаты испытаний часто описывают, используя статистическое распределение Вейбулла, на специальных графиках с двойным логарифмическим масштабом, где вероятность представляется как функция времени старения или электрической прочности на переменном напряжении.

На рисунке 4 показана характеристическая электрическая прочность или характеристический срок службы кабеля. Эти данные соответствуют ~ 60% вероятности отказа.



**Рисунок 4. График распределения Вейбулла для электрической прочности (ступенчатый подъём напряжения) после старения при 50 Гц в течение 720 дней**

Многие исследователи полагают, что максимальная напряженность при испытаниях на старение для кабелей среднего напряжения не должна превышать рабочую более, чем в 4 раза. При превышении этого уровня могут проявляться механизмы деградации, которые характерны для старения в полевых условиях.

Полученные результаты могут быть использованы для диагностирования срока службы кабелей среднего напряжения при эксплуатации.

#### **Список литературы:**

1. Person, T., Shattuck, G.&Hartlein, R.(2003). Evaluation of tree Retardant XLPE(TR-XLPE) and EPR-insulated 35kV Cables after 17Years of Field service. Jicable, International Conference on Insulated Power Cables
2. Ларина Э.Т. Силовые кабели и кабельные линии: -
3. М.:Энергоатомиздат, 1984, 368с., ил. 3. J.P. Crine, "On the interpretation of some electrical aging and relaxation phenomena in solid dielectrics " , IEEE Trans. DEI, vol. 12, pp. 1089-1107, 2005.
4. L.A. Dissado, G. Mazzanti and G.C. Montanari, "The Role of Space Charges in the Electrical Aging of Insulation Materials", IEEE Trans. DEI, vol. 4, pp. 496-505, 1997; also in vol. 8, pp. 959-71, 2001.
5. T.J. Lewis, J.P. Llewelin, M.J. van der Sluijs, J.Freestone and N. Hampton, Proc. 7th IEE Conf. Diel.Meas. Appl., pp. 220-5, 1996 and in Proc. 1996 CEIDP, pp. 328-33, 1996.