

Разработка методики испытаний на надежность сейсмостойких оптических кабелей связи

А.Г. Корякин, ведущий научный сотрудник;

Ю.Т. Ларин, д-р техн. наук, директор научного направления – заведующий отделением; ОАО «ВНИИКП»

Существующие методики оценки надежности оптических кабелей (ОК) связи основываются на использовании комплекса стандартов [1] («Климат – 7») с уточнениями по [2] и предусматривают целый комплекс внешних воздействующих факторов (ВВФ), к числу которых относятся температура, механические воздействия, а также ВВФ, определяемые спецификой области применения кабельных изделий. Например, для морских кабелей это соленая вода; для кабелей, применяемых на атомных электростанциях, – радиация, сейсмические воздействия и пр.

Требования по сейсмостойкости ОК в обязательном порядке предъявляются только для кабелей, используемых в атомной промышленности [3].

Для проверки сейсмостойкости в стандартную методику проведения испытаний на надежность МИ 16. К00-127-99 в соответствии с рекомендациями [4] добавляют испытания на воздействие низкочастотной вибрации в диапазоне

частот 0–100 Гц с целью выявления влияния резонансных частот на оптические характеристики ОК, а также специальные испытания, определяющие механическую прочность ОК.

Для строительства АЭС, в основном, применяются ОК типов «З», «С» и «М» согласно [5]. Области применения этих кабелей следующие:

- «З» – кабель для подземной прокладки (в канализациях, трубах, блоках, коллекторах, в грунтах всех категорий, в воде при пересечении болот и неглубоких рек). Максимальная глубина рек не более 10 метров;
- «С» – кабель для прокладки внутри помещений и стационарных объектов (распределительные, абонентские, станционные);
- «М» – монтажные кабели.

Основные требования по стойкости ОК указанных типов к ВВФ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные требования по стойкости ОК к ВВФ

№	Наименование характеристики	Значение характеристики для ОК различных областей применения		
		«З»	«С»	«М»
1	Стойкость (устойчивость) к растяжению силой, кН, не более	1,0; 1,5; 2,5; 2,7; 7,0; 20,0; 80,0	0,1; 0,3; 0,5; 1,0	0,01; 0,02; 0,05; 0,07; 0,10
2	Стойкость к удару: – пиковое ударное ускорение, м/с ² (длительность действия, 0,1–2,0 мс)	500; 1000; 2000; 5000; 10000	500; 1000; 2000; 5000; 10000	5000; 10000; 15000
3	Стойкость к воздействию вибрации: – амплитуда ускорения, м/с ² – диапазон частот, Гц	40–100 1–500	40–50 10–200	100–400 1–5000
4	Стойкость к изгибу: – угол изгиба – радиус изгиба, мм – число циклов – температура, °С	±90° 20 D 10; 20 –10; –25	±90; ±180° 10 D; 20 D 5; 10; 20; 50; 100 –5; 5; 10; 15; 20; 25	
5	Стойкость к раздавливанию удельным усилием, кН/см, не более	0,2; 0,4; 1,0; 2,5; 6,0	0,05; 0,20	–
6	Рабочая температура среды, °С: – повышенная	50; 55; 60; 70	50; 55	50; 55; 60; 65
7	Относительная влажность воздуха при температуре до 35 °С, %	95–100		

Выбор конкретных значений осуществляется в соответствии с техническими условиями на ОК.

Таблица 2

Рекомендуемый перечень параметров-критериев годности при формировании пяти циклов испытаний оптических кабелей для кабелей типа «З»

Наименование параметра-критерия годности	Значения для каждого испытательного цикла				
	1	2	3	4	5
Растягивающее усилие не менее 1000 Н	+/2	–	–	–	+/2
Раздавливающее усилие не менее не менее 200 Н на длине 1 см	+	–	–	–	–
Стойкость к осевым закручиваниям на угол $\pm 2\pi$ рад на длине $2\pm 0,2$ м	+/2	–	–	+/2	–
Стойкость к циклическим изгибам на угол $\pm 0,5\pi$ рад с радиусом равным 20 номинальным диаметрам кабеля при T до минус 10 °С	–	+/2	+/2	–	–
Два цикла воздействия температуры от 233 К до 323 К	–	+/2	–	–	+/2
Стойкость к воздействию относительной влажности 98 % при температуре 35 °С в течении 9 суток	–	–	+	–	–
Испытания на сейсмостойкость с частотой колебания до 100 Гц	–	–	–	–	+

Примечание: «+» – означает рекомендованное по времени проведение испытаний на воздействие и контроль критерия-параметра годности. Через знак «/» обозначено количество испытаний.

Расчет показателей надежности в соответствии с [2] основан на концепции «минимальных характеристик» [6]. Ее особенностью является определение требований к изделию, обеспечивающих заданные минимальные сроки службы, хранения и наработки. При этом не должно происходить отказов ОК.

Более того, изделие должно характеризоваться гамма-процентным ресурсом, который должен определять возможность изделия работать свыше установленного норматива (наработки).

При этом вероятность безотказной работы ОК, определяемая внутренними повреждениями элементов кабеля, $P_{ок}^3 = 1$, а срок службы элементов, входящих в состав ОК, оценивают по изменению химической или физической структуры, прочности, диэлектрических или других свойств полимерных материалов, из которых эти элементы выполнены.

В основу метода минимальных характеристик положена концепция кинетической природы прочности твердых тел [7]. На базе температурно-временной зависимости прочности (для кабелей, в основном, полимерных материалов) осуществляются исследования поведения кабельных конструкций во времени. При этом для ОК характеристики оптического волокна (ОВ) во времени принимаются постоянными (передаточные характеристики ОВ за весь срок службы должны быть неизменными).

Испытания проводят ускоренным методом на образцах кабелей. В основе методики лежит закон Аррениуса, который позволяет осуществлять прогнозирование поведения

материала во времени по результатам его ускоренных испытаний.

Существенным отличием предлагаемого подхода к испытанию на надежность является введение в состав воздействующих факторов испытания на стойкость к сейсмическим воздействиям, имитирующих воздействие сейсмических волн [3], растягивающих и изгибающих нагрузок.

Растягивающие и изгибающие нагрузки при этом имитируют воздействия на кабель не только при эксплуатации и монтаже, но и при экстремальных условиях, определенных согласно расчетным выражениям, описанным в [8, 9, 10].

С целью ужесточить испытания эти виды ВВФ сосредоточены в последнем (завершающем) цикле.

Основные исходные данные:

- минимальный срок службы – $T_{ср.сл} = 50$ лет;
- минимальная наработка $T_{мин.нар} = 50$ лет;
- минимальная сохраняемость $T_{мин.сохр.} = 10$ лет.

Количество испытательных циклов при повышенной температуре – 5. Каждый цикл соответствует сроку службы 10 лет.

В качестве параметров-критериев годности в общем случае устанавливают:

- целостность оптических волокон;
- коэффициент затухания в соответствии с заданным уровнем по [11];
- другие параметры, зависящие от типа ОК и указанные в табл. 2–4.

Таблица 3

Рекомендуемый перечень параметров-критериев годности при формировании пяти циклов испытаний оптических кабелей для кабелей типа «С»

Наименование параметра-критерия годности	Значения для каждого испытательного цикла				
	1	2	3	4	5
Растягивающее усилие не менее 100 Н	+/2	–	–	–	+/2
Раздавливающее усилие не менее не менее 50 Н на длине 1 см	+	–	–	–	–
Стойкость к осевым закручиваниям на угол $\pm 2\pi$ рад на длине $2\pm 0,2$ м	+/2	–	–	+/2	–
Стойкость к циклическим изгибам на угол $\pm 0,5\pi$ рад с радиусом равным 20 номинальным диаметрам кабеля при T до минус 10 °С	–	+/2	+/2	–	–
Два цикла воздействия температуры от 233 К до 323 К	–	+/2	–	–	+/2
Стойкость к воздействию относительной влажности 98 % при температуре 35 °С в течении 9 суток	–	–	+	–	–
Испытания на сейсмостойкость с частотой колебания до 100 Гц	–	–	–	–	+

Примечание: «+» – означает рекомендованное по времени проведение испытаний на воздействие и контроль критерия-параметра годности. Через знак «/» обозначено количество испытаний.

Рекомендуемый перечень параметров-критериев годности при формировании пяти циклов испытаний оптических кабелей для кабелей типа «М»

Наименование параметра-критерия годности	Значения для каждого испытательного цикла				
	1	2	3	4	5
Растягивающее усилие не менее 10 Н	+/2	–	–	–	+/2
Стойкость к осевым закручиваниям на угол $\pm 2\pi$ рад на длине $2\pm 0,2$ м	+/2	–	–	–	+/2
Стойкость к циклическим изгибам на угол $\pm 0,5\pi$ рад с радиусом равным 20 номинальным диаметрам кабеля при T до минус 10 °С	+/2	–	–	–	+/2
Два цикла воздействия температуры от 233 К до 323 К	–	+/2	–	–	+/2
Стойкость к воздействию относительной влажности 98 % при температуре 35 °С в течении 9 суток	+/2	–	+/2	–	+/2
Испытания на сейсмостойкость с частотой колебания до 100 Гц	–	–	–	–	+

Примечание: «+» – означает рекомендованное по времени проведение испытаний на воздействие и контроль критерия-параметра годности. Через знак «/» обозначено количество испытаний.

Формирование выборки для испытаний производится методом случайного отбора образцов из партии, прошедшей приемо-сдаточные испытания и удовлетворяющей требованиям технических условий (ТУ). Количество образцов – по 3 каждого наименования одного или различных типоразмеров.

Выбор типового представителя основывается на том, что отбираемые образцы должны охватывать:

- все основные элементы конструкции, содержащиеся в используемой группе;
- весь спектр кабелей по условиям прокладки;
- все основные материалы, используемые при изготовлении кабеля.

Длительность циклов испытаний рассчитывается в соответствии с [6].

Полученные результаты могут быть распространены на другие маркоразмеры при условии однородности конструкции ОК, аналогичной технологии производства, одинаковых условиях эксплуатации и одинаковых материалах конструкции.

Для всех типов сейсмостойких ОК определяют гамма-процентный ресурс.

Гамма-процентный ресурс определен как суммарная наработка, в течение которой объект не достигает предельного состояния с вероятностью γ , выражающейся в процентах. Данный параметр определяется в процессе испытаний на надежность и указывается в виде пред-

полагаемого или справочного значения. Испытания по подтверждению гамма-процентного ресурса являются продолжением испытаний на долговечность и проводятся на тех же образцах.

Контрольно-измерительная аппаратура, испытательные стенды и механизмы для проведения испытаний на надежность выбираются в соответствии с действующими нормативными документами.

Требования к проведению испытаний следующие.

Контроль параметров-критериев годности проводят в нормальных климатических условиях в соответствии с [12], после выдержки при нормальных условиях не менее 2 ч до и после проведения испытаний.

Испытания проводят по плану одноступенчатого контроля при приемочном числе $C = 0$.

Образцы считаются выдержавшими испытания, если в течение и после завершения испытаний на надежность не обнаружено ни одного отказа.

Результаты испытаний оформляют протоколом установленного образца.

В процессе проведения исследования разработана программа и методика испытаний на надежность кабелей для АЭС, которая проходит апробацию на конструкциях ОК, рекомендованных для эксплуатации на атомных станциях и объектах с ядерными реакторами в качестве энергетических установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ РВ 20.39.414.1–97 «Комплексная система общих технических требований. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Классификация по условиям применения и требования стойкости к внешним воздействующим факторам».
2. ОСТ 16 0.800.305–84 «Кабели, провода и шнуры. Общие требования по надежности. Методы оценки соответствия. Требования по надежности».
3. Корякин А.Г., Ларин Ю.Т. Разработка метода испытаний оптических кабелей на сейсмостойкость // Кабели и провода. – 2012. – № 5. – С. 16–18.
4. ГОСТ 30546.1–88 «Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчета их сложных конструкций в части сейсмостойкости». – Минск, 1998.
5. ГОСТ Р 52266–2004 «Кабельные изделия. Кабели оптические. Общие технические условия».
6. Ларин Ю.Т. Сравнительный анализ двух подходов к оценке надежности оптических кабелей. Надежность оптических кабелей

- определяется вероятностью безотказной работы или минимальным сроком службы? // Кабели и провода. – 2009. – № 2. – С. 3–7.
7. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. – М.: Наука 1974.
8. Корякин А.Г., Ларин Ю.Т., Холодный Д.С. Сейсмостойкие оптические кабели // Кабели и провода. – 2011. – № 3. – С. 8–12.
9. Корякин А.Г., Ларин Ю.Т. Расчет сейсмостойкости оптических кабелей, при различных методах прокладки // Специальный выпуск «Фотон-экспресс» – Наука 2011». – 2011. – № 6. – С. 15–16.
10. Корякин А.Г., Ларин Ю.Т., Портнов Э.Л. Расчет сейсмостойкого оптического кабеля на прочность при воздушной прокладке в условиях воздействия сейсмических волн // Фотон-Экспресс. – 2012. – № 3.
11. ГОСТ Р МЭК 793-1–93 «Волокна оптические. Общие технические требования».
12. ГОСТ РВ 20.57.416–98 «Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Методы испытаний».