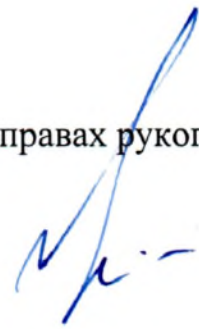


На правах рукописи



Корякин Алексей Григорьевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ
ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ К СЕЙСМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

Специальность 05.09.02 – «Электротехнические материалы и изделия»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2019

Работа выполнена в Открытом акционерном обществе «Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности» (ОАО «ВНИИКП»).

Научный руководитель: **Ларин Юрий Тимофеевич**
доктор технических наук,
главный научный сотрудник отделения
«Кабели, провода и арматура для систем
телекоммуникаций и информатизации»
ОАО «ВНИИКП»

Официальные оппоненты: **Коржов Антон Вениаминович**
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Электрические станции,
сети и системы электроснабжения» ФГАОУ ВО
«Южно-Уральский государственный
университет»

Хренков Николай Николаевич
кандидат технических наук
главный эксперт ООО «ОКБ Гамма»

Ведущая организация: ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский технический университет связи и информатики"

Защита диссертации состоится «3» апреля 2019 г. в 15 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 520.026.02 при Открытом акционерном обществе «Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности» (ОАО «ВНИИКП»), 111024, г. Москва, ш. Энтузиастов, д.5, ауд. 908.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОАО «ВНИИКП» и на сайте: https://www.vniikp.ru/media/documents/Dissertation_Koryakin_AG.pdf

Автореферат разослан « ____ » _____ 2019 г.

Учёный секретарь диссертационного совета

Д 520.026.02, к.т.н.



И.А.Овчинникова

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Надёжная и безопасная эксплуатация атомных электрических станций (АЭС) зависит от бесперебойной работы кабелей, в том числе и кабелей связи, входящих в многочисленные системы сбора информации, управления и контроля. Обязательные требования к сейсмостойкости содержатся в комплексе технических требований к объектам и изделиям для атомной энергетики. До недавнего времени эти требования к оптическим кабелям не предъявлялись.

При эксплуатации кабели связи подвергаются целому комплексу внешних воздействующих факторов (ВВФ), включающих температуру, влажность, многократные и однократные изгибы, кручения, удары, напряжения сдвига, вибрации. Стойкость кабелей к ВВФ обычно подтверждается на стадии разработки и освоения в производстве.

Конструкции магистральных оптических кабелей связи, выпускаемых промышленностью и прокладываемых в канализации и в земле, хорошо известны. Методика определения параметров передачи и механических характеристик освещена достаточно полно. Однако, поведение этих кабелей при применении в районах, подверженных сейсмическому воздействию, то есть изменение оптических параметров и механических характеристик, практически не исследовалось. Существует необходимость изучения вопроса о влиянии землетрясений и других сильных механических воздействий на параметры передачи по оптическим кабелям, а также механических характеристик существующих магистральных кабелей связи.

Настоящая работа посвящена изучению влияния сейсмических волн, распространяющихся в различных средах, на различные типы оптических кабелей с учетом их конструкций, среды эксплуатации, способов прокладки, а также разработке рекомендаций по их испытанию и применению в районах подверженных землетрясению.

Цель работы и задачи исследования

- Разработка методов оценки поведения оптических кабелей при сейсмических воздействиях для различных условий эксплуатации.
- Разработка методики испытания различных типов оптических кабелей на сейсмостойкость при различных условиях прокладки.
- Проведение экспериментальных исследований оптических кабелей в соответствии с разработанными методиками.

Научная новизна

1. Разработаны методы расчёта сейсмостойкости различных типов оптических кабелей и их элементов.
2. Апробированы теоретические методы расчёта резонансных частот основных элементов оптических кабелей и кабеля в целом.
3. Проведена оценка воздействия продольной и поперечной сейсмической волны на оптические волокна и оптические кабели.
4. Проведён теоретический и экспериментальный анализ поведения оптического кабеля при воздействии сейсмических нагрузок для различных условий эксплуатации.

Основные положения, вносимые на защиту

- Метод оценки воздействия продольной и поперечной волны на оптические волокна и оптические кабели в составе элементов конструкции оптических кабелей.
- Теоретический анализ поведения оптических кабелей в различных условиях эксплуатации при сейсмических воздействиях.
- Метод оценки воздействия продольной волны на оптические кабели.
- Методика испытаний оптических кабелей на сейсмостойкость.
- Результаты испытаний оптических кабелей на сейсмостойкость.

Практическая значимость исследования

Результаты диссертационной работы используются при проведении испытаний оптических кабелей на сейсмостойкость, поставляющихся на АЭС. Получаемые в ходе экспериментальных и теоретических исследований данные используются при конструировании оптических кабелей для эксплуатации в сейсмоактивных районах РФ. Разработана и утверждена межотраслевая методика испытаний оптических кабелей на сейсмостойкость.

Методы исследований.

Для решения поставленной цели использованы методы классической теории деформации материалов, теории колебаний, использованы математические аппараты интегрального и дифференциального исчисления.

Апробация работы

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались:

-на всероссийской конференции по волоконной оптике ВКВО в 2011, 2013, 2015 и 2017 г. (г. Пермь, РФ);

-на международной конференции по электротехнике, электронике и электроприборам МКЭЭЭ в 2012,2014, 2016 и 2018 г. (Крым, Алушта);

- на двадцатой молодёжной научной школе-семинаре «Актуальные проблемы физической и функциональной электроники» (г. Ульяновск, РФ) 2017 г.

Публикации

Основные положения диссертации опубликованы в учебном пособии, в четырёх печатных работах, три из которых из перечня ВАК. Получены три патента на изобретения.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, одного приложения и списка литературы. Материал изложен на 134 страницах текста, иллюстрирован 37 рисунками и 27 таблицами. Список литературы содержит 63 источника.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулирована цель работы, представлены основные положения, выносимые на защиту, изложена научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе рассмотрены основные конструкции оптических кабелей (ОК) и факторы, влияющие на ОК при сейсмических воздействиях.

Сейсмические волны – продольные (*P-волны*) и поперечные (*S-волны*) – распространяются в твердом веществе Земли и являются наиболее опасными.

Статистика демонстрирует, что ежегодно суммарное количество землетрясений на Земле составляет порядка 90 000 - 100 000, из которых около 20 разрушительных и около одного катастрофического.

Анализ возникающих при землетрясении воздействующих факторов позволил сформулировать требования по сейсмостойкости к ОК. Выбраны основные направления работ по определению сейсмостойкости ОК.

Во второй главе приведён порядок оценки сейсмостойкости ОК, рассмотрено поведение оптического волокна (ОВ) в различных конструкциях вторичных защитных полимерных покрытий, проведена оценка резонансных частот ОВ в составе различных конструкций ОК.

Оценка сейсмостойкости ОК проводится в следующем порядке:

- выбор расчетной модели элемента конструкции ОК;
- расчет собственной (резонансной) частоты оптических элементов ОК и непосредственно кабеля;
- определение стойкости ОК к повторно-переменным нагрузкам;

- расчет поведения ОК при сейсмическом воздействии в различных средах;
- разработка методов испытания ОК на сейсмостойкость.

В упрощённом виде ОК представлен как сумма основных конструктивных элементов: ОВ в защитных полимерных оболочках; силовые элементы; элементы заполнения; оболочка и шланг.

ОВ находится внутри сложной конструкции элементов, основной задачей которых является защита ОВ от ВВФ и исключение собственного влияния на ОВ. ОВ рассматривается для случаев его размещения в трубчатой (ТЗО) и плотной защитной (ПЗО) оболочках. Сейсмостойкость ОК рассматриваем при воздействии двух типов волн – продольной и поперечной.

Шаги скрутки ОВ в кабеле достаточно велики и получаемое расположение ОВ в пространстве (близкое к геликоиде с размером равным нескольким десяткам диаметра ОК). Поэтому в первом приближении можно принять, что ОВ прямолинейно располагается и не вносит значительного возбуждения в выбранную картину поведения ОВ при воздействии продольных и поперечных волн. Это подтверждается ещё и тем, что амплитуда (шаг) продольных и поперечных волн измеряется десятками метров, а шаг скрутки ОВ в кабеле составляет (80-150) мм.

ОВ при расчетах рассматривается как однородный стержень со средневзвешенными значениями основных характеристик. В частности, средневзвешенное значение модуля упругости $E_{cp.сз.}$ определяется как

$$E_{cp.сз.} = \frac{\sum E_i S_i}{\sum S_i} \quad (1)$$

где E_i и S_i - значения модуля упругости и сечения i -го элемента изделия.

В общем случае для дальнейших численных расчётов принимаются следующие константы, основываясь на том, что кварцевое ОВ наиболее распространённый элемент во всех видах оптической связи:

$E_{кв} = 6 * 10^{10} \text{ Па}$ - модуль Юнга, $\rho_{кв} = 2,20 * 10^3 \text{ кг/м}^3$ - плотность кварца.

Представление ОВ в виде стержня позволяет при воздействии на ОВ продольных колебаний воспользоваться теорией упругости, при воздействии поперечной волны использовать для расчета теорию, учитывающую комбинированное воздействие на ОВ изгибной и растягивающих нагрузок.

Для оценки поведения ОВ при воздействии продольной сейсмической волны принимаем, что вдоль оси Z ОВ в окружающей среде распространяется продольная волна (бегущая плоская волна вдоль упругого стержня)

$$y_{ср} = A_{ср} \exp(\omega_{ср} t - K_{ср} Z) \quad , \quad (2)$$

где $y_{ср}$ - продольное смещение в окружающей среде; $A_{ср}$ - амплитуда смещения; $\omega_{ср}$ - частота вынужденных колебаний в окружающей среде; $K_{ср} = \sqrt{\frac{\omega_{ср}^2}{V_{ср}^2}}$ - волновое число для волны в окружающей среде; $V_{ср}$ - скорость волны в окружающей среде ($V_{ср} = \sqrt{\frac{E_{ср}}{\rho_{ср}}}$); $E_{ср}$ и $\rho_{ср}$ - модуль упругости и плотность окружающей среды.

Усилие от продольной волны передаются ОВ за счёт трения, возникающего на границе раздела ОВ и окружающей среды. Она пропорциональна производной от разности смещения во времени (разности скорости) при $r = r_0$, где r_0 - внешний радиус ОВ.

$r_0 = d_{ов}/2$, где $d_{ов}$ - диаметр ОВ.

$$\partial F_{T_{0\varepsilon}} = \mu \pi d_{ов} \cdot \partial z \left(\frac{\partial v}{\partial r} \right) \quad , \quad (3)$$

где μ - динамическая вязкость внешней среды.

Для продольного смещения U в ОВ

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (4)$$

Для оценки поведения ОВ внутри ОК необходимо учитывать:

- влияние на ОВ окружающей среды (плотность, вязкость);
- допустимое относительное смещение (с учетом удлинения ОВ) при гарантированном сроке службы до 60 лет для различных окружающих сред;
- резонансную частоту колебания ОВ.

В работе рассматриваются влияние на ОВ окружающей среды, а именно: газообразной, жидкой и твердой.

Показано, что в существующих конструкциях, выбранных для расчета ОК, эксплуатирующиеся в рабочем диапазоне температур от минус 60 до 80°С, ОВ не подвержено воздействию механических нагрузок при воздействии продольной сейсмической волны, если оно находится в газообразной и жидкой средах неограниченного объема. Для твердой среды необходимо осуществлять мероприятия по введению между ОВ и средой некоего демпфирующего элемента.

Оценка резонансных частот элементов конструкций является необходимым и первым этапом расчета сейсмостойкости любых изделий, в том числе кабельных, и направлена на исключение возможности их резонанса при сейсмических воздействиях, который в большинстве случаев является причиной разрушения изделия (нарушения его работоспособности). Задачей разработчика является проектирование конструкции таким образом, чтобы низшая собственная частота колебаний основных ее элементов находилась вне заданного диапазона частот сейсмических воздействий.

Оценка средней резонансной частоты (СРЧ_{ОВ}) продольных колебаний ОВ проведена в соответствии с выражением:

$$CPЧ_{ов} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (5),$$

где L - характеристическая длина ОВ, соответствующая в нашем случае шагу спирали, по которой ОВ расположено в ТЗО, E и ρ – средневзвешенные значения модуля Юнга и плотности ОВ соответственно.

Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчета средней резонансной частоты продольных колебаний ОВ.

№	Тип ОВ	Средневзвешенные значения		Расчетные значения
		Модуль Юнга, E , Па	Удельная плотность, ρ , кг/м ³	Средняя резонансная частота, $(CPЧ_{ов})$, с ⁻¹
1	Кварцевое ОВ	$6 \cdot 10^{10}$	$2,2 \cdot 10^3$	$2.611 \cdot 10^3$
2	Волокно типа «кварц-полимер»	$5.11 \cdot 10^{10}$	$1.81 \cdot 10^3$	$2.657 \cdot 10^3$
3	Полимерное ОВ	$3.78 \cdot 10^{10}$	$1.59 \cdot 10^{10}$	$2.438 \cdot 10^3$

Вычисленные значения $CPЧ_{ов}$ продольных колебаний ОВ доказывают отсутствие резонанса для ОВ при воздействии продольной сейсмической волны.

В работе рассмотрено поведение ОВ в различных конструкциях вторичных защитных полимерных покрытий (в условиях ограниченного объема). Под вторичными защитными покрытиями понимается полимерное покрытие (оболочка) вокруг ОВ, наложенное с зазором (трубчатое защитное покрытие – ТЗО) или плотное (плотное защитное покрытие - ПЗО).

Проведена оценка относительного удлинения ТЗО с внутренним диаметром от 0,5 до 4,0 мм при прохождении продольной волны.

При прохождении продольной волны ТЗО будет также подвергаться сжатию, которое может вызвать возникновение дополнительных макроизгибов и увеличение затухания в волокне сверх допустимого уровня при сохранении ме-

ханической прочности. Наличие в ТЗО множества ОВ не внесёт существенных изменений в расчёты.

При использовании ПЗО ОВ находится в жидкой среде ограниченного объема в виде цилиндра. Размеры внутреннего и внешнего радиусов цилиндра составляют 245 мкм и 900 мкм. С минимальной погрешностью можно принять данную конструкцию в виде единого упругого стержня со средневзвешенными характеристиками прочности. Допустимое значение относительной деформации при удлинении и сжатии в этом случае не должно превышать 0,2%.

При воздействии продольной волны на профилированный сердечник со спиральными пазами, в которых расположено ОВ (растяжение, сжатие) происходит изменение шага спирали, что приводит к возникновению деформации кручения. Размеры паза профилированного сердечника из полимерного материала не обеспечивают необходимую жесткость при деформации кручения.

Возможно закрытие (схлопывание) паза и жесткое фиксирование ОВ в нем по всей длине, т.е. возникновение случая расположения ОВ в твердой среде. Учитывая, что материал сердечника допускает большее относительное удлинение, чем ОВ (0,2%), можно предположить возможность потери работоспособности ОВ (величина затухания превысит допустимое значение) и даже разрушения волокна при воздействии продольной волны.

В третьей главе приводится теоретический анализ поведения ОК в различных условиях эксплуатации.

Рассмотрены несколько случаев прокладки ОК: в воздухе и в земле, что соответствует условиям эксплуатации ОК для сейсмоактивных условий эксплуатации.

Для кабелей, проложенных в воздухе на опорах с заданным натяжением, можно не учитывать провисание кабеля и его изгибную жесткость. Предположение оправдано, так как при значительном усилии натяжения кабелей для внутриобъектовой прокладки (типа «С») или монтажных (типа «М»), достига-

ющего десятикратного значения веса 1 км кабеля, величина провиса будет незначительна.

Для поперечных колебаний кабелей небольших диаметров можно применить уравнение:

$$\partial^2 y / \partial t^2 = \frac{(N/m) \partial^2 y}{\partial z^2}, \quad (6)$$

где z – текущая координата вдоль оси кабеля, y – отклонение поперек оси z , t – время, N – натяжение кабеля, m – масса единицы длины кабеля.

Полученные в результате решения значения резонансных частот ОК соизмеримы с частотой сейсмических колебаний ОК, при которой может быть достигнуто максимальное значение амплитуды.

В работе рассматривается ввод ОК в здание, соответствующий случаю несимметричной подвески нити.

Сформулированы требования к условиям крепления ОК в месте подвески, увеличивающие сейсмостойкость ОК при вводе его в здание.

Приведенный теоретический анализ показывает, что для уменьшения кривизны и увеличений сейсмостойкости ОК в месте подвески целесообразно выполнить следующие требования: стараться обеспечивать возможно меньший провис кабеля; подвешивать кабель на трос; употреблять специальные втулки переменной жесткости при вводе ОК в здание и креплении на опоре. Большой провис приводит к тому, что, незначительно изменяясь по величине при воздействии сейсмической волны, усилие, приложенное к кабелю, меняет направление. То есть вместо продольной силы начинает действовать поперечная изгибающая сила.

При воздействии сейсмических и других ударных колебаний, особенно при подвеске объект испытывает достаточно ощутимые циклические нагрузки (величина амплитуды может достигать 0,88 м.).

Проведена оценка воздействия циклических механических нагрузок на ОК.

Для расчета на прочность ОК, эксплуатирующихся в сейсмоопасных зонах в качестве ориентировочных данных можно в усредненном виде рекомендовать устанавливать рабочее растягивающее усилие не более (30-40) % от разрывного.

При прокладке в земле ОК скреплён с почвой. В этом случае волна сжатия будет распространяться вдоль ОК со скоростью продольной волны v . За время t часть ОК длиной $\Delta l = vt$ подвергается сжатию

$$\Delta l = \frac{\sigma}{E_{ок}} vt \quad , \quad (7)$$

где σ - напряжение сжатия, $E_{ок}$ - модуль упругости ОК. Учитывая синусоидальный характер колебаний, усилие сжатия через некоторое время исчезнет и на участке Δl появится усилие растяжения ОК.

Максимальное значение σ можно рассчитать с помощью

$$\sigma = mnkg \frac{T}{2\pi} \frac{E_{ок}}{v_{max}} \quad , \quad (8)$$

где $E_{ок}$ – модуль упругости ОК, k - сейсмический коэффициент, установлен экспериментально, зависящий от интенсивности землетрясения в баллах и от условий прокладки (грунт и коэффициент трения между поверхностью ОК и грунтом), g - ускорение свободного падения, T - период колебания, m - значение сцепления ОК с окружающим грунтом (коэффициент трения – $K_{тр.ок}$), n - коэффициент затухания колебаний, $v_{max} = - kg (T/2\pi)$.

В работе рассмотрено влияние подземной прокладки и видов грунтов на поведение ОК при воздействии сейсмической волны.

Усилие, воздействующее на ОК при прохождении сейсмической волны, зависит от коэффициента трения между оболочкой ОК и внешней средой ($K_{тр.ок}$).

В этом случае сила трения с учётом массы ОК равна:

$$F_{тр.} = F_{ок} + F_{сейсм.} \quad (9)$$

В общем виде усилие, определяемое массой кабеля (для продольной составляющей сейсмической волны) $F_{ок}$ может быть определено как:

$$F_{ок} = S_{нов} M_{ок} K_{тр.ок} , \quad (10),$$

где $S_{нов} = 2R_{ок} * L_{ок}$, $R_{ок}$ - радиус ОК, $L_{ок}$ - длина рассматриваемого отрезка ОК, $M_{ок}$ - масса единицы длины ОК.

Учитывая небольшой диаметр ОК (менее 30 мм), неравномерностью сдавливания его грунтом в вертикальных и горизонтальных направлениях, можно пренебречь. Усилие, возникающее от воздействия поперечной составляющей сейсмической волны

$$F_{сейсм} = S_{нов} * P_{дав} * K_{тр.ок} , \quad (11)$$

где $P_{дав}$ - усилие грунта, воздействующее на ОК в вертикальном направлении. $P_{дав}$ возникает за счёт того, что поперечная волна вызывает изгиб ОК.

Если концы ОК не закреплены, т.е. отсутствует сила трения между ОК и грунтом, то максимальный расчётный изгибающий момент составляет

$$M_{max.расч.} = \frac{nql^3}{2} , \quad (12)$$

где q - расчётная распределённая масса одного метра ОК, l - длина секции ОК, $n=1$ - динамический коэффициент затухания колебаний.

При прокладке в земле величина q увеличивается на расчётную массу грунта $q_{гр}$

$$q_{\Sigma} = q + q_{гр} \quad (13)$$

$$q_{гр} = d_{ок} * H * m_{гр} , \quad (14)$$

где $d_{ок}$ – диаметр ОК, H - глубина прокладки ОК, $m_{гр}$ - удельная масса грунта.

Принимая за основу зависимость коэффициентов трения для стальных труб ($K_{тр.ст}$), по результатам экспериментов с ОК проведена аппроксимацию $K_{тр.ст}$ до $K_{тр.ок}$.

Наиболее значительными влияющими факторами являются структура грунта (исходный или наружный).

В работе рассмотрены структуры грунта, их плотность и их влияние на коэффициент трения. Влажность грунта может увеличивать коэффициент трения на 10-15 %. В работе приведен расчет максимального коэффициента трения с учетом структуры и вида грунта, а также материала шланга ОК.

Главная составляющая метода расчёта прочности ОК при воздействии сейсмической волны заключается в оценке величины коэффициента запаса.

При оценке величины коэффициента запаса сейсмоустойчивых ОК необходимо учитывать:

- опасность превышения нагрузки на ОК сверх допустимого значения (K_1);
- изменение характеристик материалов, из которых изготовлен ОК со временем (K_2);
- воздействие внешних воздействующих факторов, не учтённых при выборе конструкции ОК (K_3).

Произведение трёх коэффициентов определяет общий коэффициент запаса $K_{зан}$.

Приведены рекомендации по выбору и прокладке ОК в сейсмоопасных зонах, учитывающие требования к предельно допустимой механической прочности.

Для воздушной прокладки (ОК типа «М») необходимо использовать ОК с минимальной массой, так как горизонтальная составляющая нагрузки в местах крепления оказывает существенное влияние на общую целостность ОК при его колебаниях.

При подземной прокладке рекомендуется ОК типа «С» прокладывать в коробах или пластмассовых трубах, что существенно снижает коэффициент трения и нагрузку на ОК.

При прокладке в траншеях кабелей типа «З» рекомендуется засыпку траншеи проводить смесью из песка и гравия, а трассу кабельной линии выполнять в виде синусообразной линии с длиной периода, равной длине сейсмиче-

ской волны, которая в общем случае составляет от 3,6 до 7,6 км, что будет компенсировать воздействие на кабель сейсмических волн.

В работе приведен метод оценки увеличения длины кабеля с целью компенсации воздействия сейсмических волн на его работоспособность.

В четвертой главе представлена разработанная методика испытания ОК на сейсмостойкость.

При разработке методики испытаний ОК на сейсмостойкость учитываются требования стандарта ГОСТ 30546.1-98 «Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчета их сложных конструкций в части сейсмостойкости», который устанавливает требования по внешним воздействующим факторам – интенсивности землетрясения и уровню установки изделия над нулевой отметкой. В соответствии с требованиями, определяют параметры внешних воздействующих факторов: частоты синусоидальной вибрации и амплитуды ускорения для воздействия землетрясения в горизонтальных и вертикальных плоскостях.

При выборе параметров-критериев годности учитываются следующие требования: целостность оболочки, целостность ОВ, коэффициент затухания, приращение затухания; стойкость к растягивающим и изгибающим нагрузкам.

Методика испытаний учитывает способы прокладки ОК различных конструкций и соединителей (при их наличии).

Приводятся схемы испытаний на сейсмостойкость для основных типов ОК, с учётом требований к прокладке ОК, одна из которых показана на рисунке 1.

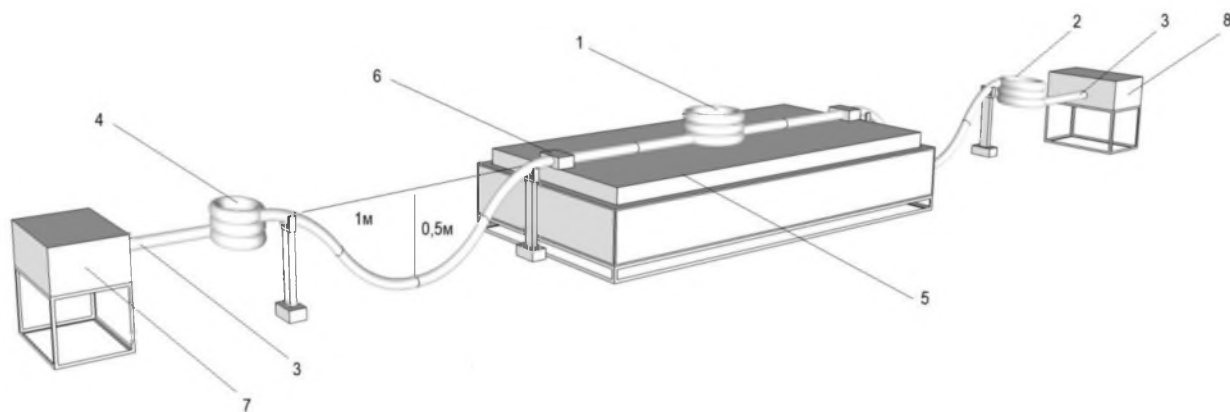


Рис. 1. Схема проведения испытаний на сейсмостойкость оптического кабеля типа «С».

1. Испытуемый образец оптического кабеля.
2. Бухта кабеля.
3. Оптические соединители (соединительные муфты).
4. Фиксатор кабельной бухты.
5. Платформа проведения испытаний.
6. Фиксирующие зажимы.
7. Излучатель.
8. Оптоэлектрический приемник (измеритель оптической мощности).

Испытания проводят на фиксированных частотах от 5 до 100 Гц как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Значения выше 30 Гц выбираются для дополнительного контроля, который имитирует дополнительные воздействия на ОК (эксплуатацию после сейсмического воздействия на ОК).

В пятой главе приведено описание основных типов средств измерений и оборудования для проведения испытаний на сейсмостойкость кабельных изделий. Даны рекомендации для проведения испытаний (задающие режимы вибростенда, режимы ускорения, времени и частоты).

Представлены результаты испытаний на сейсмостойкость по разработанной методике кабелей: ДАУ (с многомодовым ОВ), ОПУ (с одномодовым ОВ), ОКЛБг (с многомодовым ОВ), ОКЗнг (с многомодовым ОВ), ОКБ-Т (с одномодовым ОВ), ДНО (с многомодовым ОВ), ДПТ (с одномодовым ОВ), ОСВ (с одномодовым ОВ), ОКСС-04 (с многомодовым ОВ), СНО (ММ), ОКВо (с многомодовым ОВ), ОПТ (с многомодовым ОВ), ОКСМ-01 (с многомодовым ОВ).

По результатам испытаний у некоторых конструкций кабелей выявлено наличие прироста затухания сверх допустимого значения.

Кабель с профилированным сердечником не обеспечил работоспособность во время и после испытаний (обрывы ОВ).

В то же время в кабеле марки ДПТ только в одном случае из четырёх произошёл обрыв ОВ, что свидетельствует либо о нарушении технологии при изготовлении исследованного образца, либо о нарушении условий хранения данного кабельного изделия.

Полученные результаты подтверждают выводы теоретических глав работы.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

1. Впервые произведены расчёты поведения оптических волокон и оптических кабелей при воздействии сейсмических волн при различных условиях прокладки.
2. Расчетным путем показано, что наиболее опасное воздействие на ОК оказывает продольная волна.
3. Для сейсмостойчивых оптических кабелей рекомендуется использование оптического волокна, прошедшего контрольную перемотку с нагрузкой, создающей относительное удлинение волокна в 2%.
4. Установлена и обоснована рекомендуемая величина максимального относительного удлинения оптического волокна в сейсмостойчивых кабелях при сроке службы 60 лет – 0,2%
5. Проведены оригинальные расчеты поведения оптического волокна при воздействии сейсмических нагрузок внутри кабеля для различных случаев выполнения полимерного защитного покрытия – трубчатого, плотного и в виде профилированного сердечника.
6. Показано, что конструкция кабеля с профилированным сердечником не обладает достаточной сейсмостойчивостью и не рекомендуется для прокладки в местах с предполагаемой повышенной сейсмической активностью.
7. Предложена оценка сейсмостойкости оптических кабелей при воздушной прокладке с учетом различных способов их крепления.

8. Выявлено, что собственная резонансная частота кабелей, проложенных в воздухе, находится в пределах частот колебаний, вызванных сейсмическими волнами, следствием чего является необходимость обязательных испытаний оптических кабелей, предусмотренных для эксплуатации в сейсмоактивных районах и сооружениях в условиях воздушной прокладки.
9. Разработаны предложения по повышению сейсмостойкости оптических кабелей в условиях разноуровневой воздушной прокладки в местах крепления и ввода в здание с помощью специальных муфт с переменной жесткостью по продольной оси.
10. Обоснованы рекомендации по выбору соотношения рабочих разрывных и растягивающих нагрузок с учетом циклического нагружения оптического кабеля при воздушной прокладке.
11. Разработана методика оценки сейсмостойкости оптических кабелей при прокладке в земле с учетом типа грунта, материала шланга и величины коэффициента запаса.
12. Обоснованы и рассчитаны коэффициенты запаса прочности для сейсмостойчивых оптических кабелей.
13. Приводятся рекомендации по прокладке и эксплуатации оптических кабелей для сейсмоопасных районов.
14. Разработана и апробирована методика испытаний оптических кабелей на сейсмостойкость для всех основных типов оптических кабелей.
15. Проведены испытания более сорока разных типов оптических кабелей на сейсмостойкость.

Список основных публикаций по теме диссертации

1. Корякин А.Г., Ларин Ю.Т., Холодный С.Д. Сейсмостойкость оптических кабелей. – Кабели и провода, 2011, №3 (328), с.19–23.
2. Корякин А.Г., Ларин Ю.Т., Рязанов И.Б.- «Основы теории передачи по оптическим волокнам»: учебное пособие / М.: Издательство, МЭИ, 2015 г. – 48 с.

3. Корякин А.Г., Ларин Ю.Т., Портнов Э.Л. Расчёт сейсмостойкого оптического кабеля на прочность при воздушной прокладке в условиях воздействия сейсмических волн. Журнал «Фотон-Экспресс» № 3, 2012 г.
4. Корякин А.Г., Ларин Ю.Т. Разработка методики испытаний на надежность сейсмостойких оптических кабелей связи. – Кабели и провода, 2013, №1 (338), с.18–20.
5. Патент на изобретение № 2617793 от 04.09.2015 г. с приоритетом от 04 сентября 2015 г. Устройство для испытания монтажного оптического кабеля. Корякин А.Г., Овчинникова И.А., Тарасов Д.А., Ларин Ю.Т.
6. Патент на изобретение № 2607729 от 04.09.2015 с приоритетом от 04 сентября 2015 г. Устройство для испытания кабеля для прокладки внутри помещений и стационарных объектов. Корякин А.Г., Овчинникова И.А., Тарасов Д.А., Ларин Ю.Т.
7. Патент на изобретение № 2617638. Приоритет 04.09.2015, дата опубликования 25.04.2017 г. Устройство для испытания кабеля для подземной прокладки. Корякин А.Г., Овчинникова И.А., Тарасов Д.А., Ларин Ю.Т.
8. Корякин А.Г., Ларин Ю.Т. Современные методики испытаний оптических волокон и оптических кабелей на сейсмостойкость. //Актуальные проблемы физической и функциональной электроники: материалы 20-ой Всероссийской молодежной научной школы-семинара – Ульяновск: УлГТУ, 2017.-254 стр.