

Э.Я. Геча, д-р техн. наук, главный научный сотрудник;
 Ю.Т. Ларин, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник;
 И.А. Овчинникова, канд. техн. наук, заведующая отделением;
 ОАО «ВНИИКП»;
 Ю.В. Смирнов, канд. техн. наук, зам. генерального директора
 ООО «КабельЭлектроСвязь»

Результаты испытаний прототипов отечественных оптических кабелей специального назначения на воздействие открытого пламени

Аннотация. В статье приведены некоторые результаты исследования работоспособности оптических кабелей при воздействии пламени, в частности, описаны эксперименты по определению температуры, воздействующей непосредственно на оптическое волокно в процессе горения, проведенные с помощью многомодового рамановского рефлектометра.

Полученные данные дают наглядное представление о состоянии оптических кабелей при воздействии пожара – данные о вносимом затухании и приблизительную оценку значений температуры внутри кабелей.

В результате проведенных исследований созданы пожаробезопасные огнестойкие оптические кабели, в том числе для применения в системах 2 и 3 класса безопасности АЭС.

Ключевые слова: оптические кабели, огнестойкость, работоспособность, пламя, пожаробезопасность, затухание, испытания, температура

Abstract. The paper presents some test results of optical cable performance under flame application. Specifically, the experiments which were carried out using a multimode Raman reflectometer to determine the temperature directly affecting the optical fiber in the process of burning are described. The obtained data give a clear presentation of the optical cable state under exposure to fire – data on the insertion attenuation and an approximate estimate of the temperature values inside the cables.

The performed investigations resulted in the development of fire-performance optical cables, including those designed for application in NPP systems of 2 and 3 class safety.

Key words: optical cables, fire resistance, performance, flame, fire performance, attenuation, tests, temperature.

Материал поступил в редакцию 16.02.2016
 Овчинникова И.А. E-mail: irovchinnikova@rambler.ru

Несмотря на то, что оптические кабели (ОК), благодаря своим функциональным и конструктивным особенностям не могут стать причиной возникновения пожара или взрыва, потребность в пожаробезопасных и огнестойких ОК в системах объектов с повышенными требованиями к безопасности стремительно растет. Вопросы повышения пожаробезопасности ОК с точки зрения снижения риска распространения по ним пламени, уменьшения дымо-, газовыделения и коррозионной активности рассмотрены в работах [1–4]. Отдельным пунктом в ряду требований пожаробезопасности стоит огнестойкость. Эта характеристика фактически не влияет на пожаробезопасность кабелей, а позволяет контролировать ситуацию при пожаре за счёт сохранения работоспособности систем контроля, управления и связи на основе огнестойкого ОК.

Одной из наиболее распространенных систем контроля является система измерения температуры, основанная на рамановском рассеивании. При этом обычное кварцевое волокно, используемое для передачи сигнала, применяется и для измерения температуры по длине и тем самым обеспечивает контроль температуры объекта и позволяет определять место локализации пожара. Достоинством этого метода является то, что измеряемый параметр – температура – непосредственно связана с фундаментальным физическим явлением – колебанием молекул кварцевого

стекла, которое в широком диапазоне температур не зависит от других внешних факторов.

В настоящее время рефлектометры-анализаторы рамановского рассеивания находят все большее распространение [5–7] и внедряются, например, в качестве пожарных извещателей на ответственных объектах. Их преимущество – высокие метрологические характеристики по температуре и пространственному разрешению при высокой надежности и наглядности. Последнее определяется фактической самокалибровкой измерительной системы.

В настоящей работе ставилась задача оценить работоспособность ОК с обычными коммерческими волокнами при воздействии пламени в реальном масштабе времени и исследовать температурные воздействия на оптическое волокно (ОВ) во время процесса горения.

Для этого нами проведены измерения затухания в некоторых прототипах перспективных конструкций ОК и определение температуры, воздействующей непосредственно на ОВ в процессе горения. Такие прямые испытания стали возможным с помощью многомодового рамановского рефлектометра. Измерялось изменение сигнала, прошедшего через волокно (находящегося при повышенной температуре) и одновременно регистрировалась максимальная температура этого же волокна.

Конструкции прототипов испытанных образцов кабелей приведены на рис. 1.

а) Прототип конструкции кабеля ОКЦпто-01 (предоставлен ОАО «ВНИИКП»):

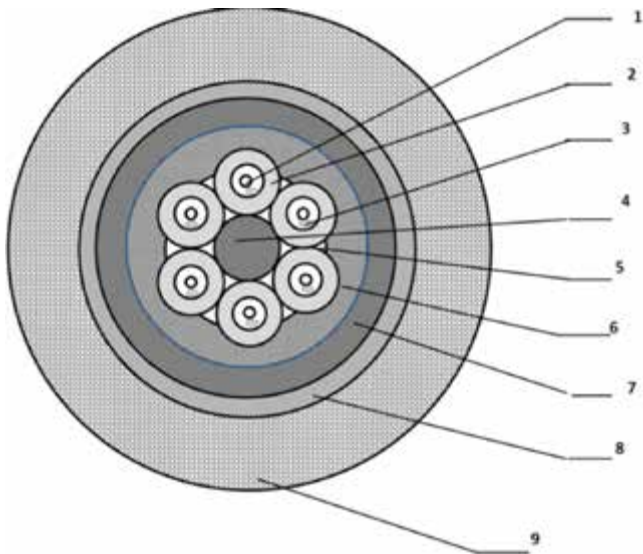


Рис. 1а. ОКЦпто-02/1 (внешний диаметр – 14,5 мм):

- 1 – оптические волокна;
- 2 – трубка оптического модуля из полимерного материала, не содержащего галогенов;
- 3 – водонабухающая нить;
- 4 – центральный силовой элемент из стального троса, покрытого кремнийорганическим материалом;
- 5 – кремнийорганический заполняющий материал;
- 6 – арамидные упрочняющие и водонабухающие нити;
- 7 – броня из стальной гофрированной ленты;
- 8 – скрепляющая оболочка из полимерного термостойкого материала, не содержащего галогенов;
- 9 – защитный шланг из кремнийорганической резины

б) Прототип кабеля СЛ-ОКМБ-01 (предоставлен ООО «НПП СТАРЛИНК»):

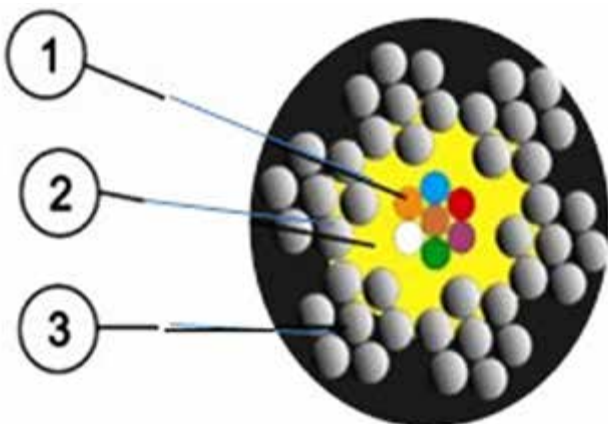


Рис. 1б. СЛ-ОКМБ-01 (внешний диаметр – 2,0 мм):

- 1 – оптическое волокно;
- 2 – свободное пространство (гидрофобное заполнение отсутствует);
- 3 – броня из стальной оцинкованной проволоки. Защитная полимерная оболочка отсутствует

в) Прототип кабеля типа СЛ-ОКМБ-03 (предоставлен ООО «НПП СТАРЛИНК»):

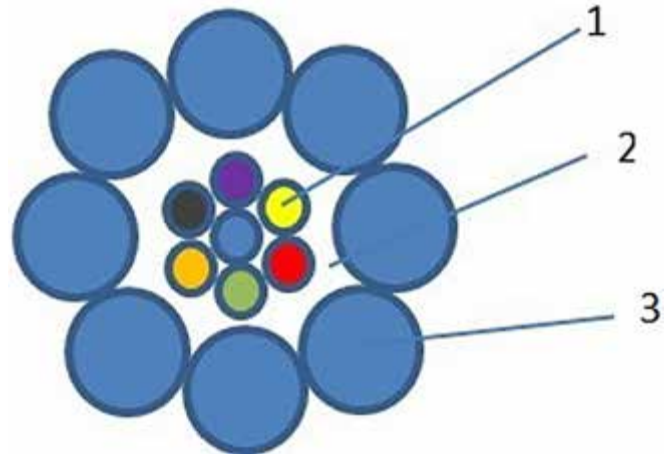


Рис. 1в. СЛ-ОКМБ-03 (внешний диаметр – 2,0 мм):

- 1 – оптическое волокно;
- 2 – гидрофобное заполнение;
- 3 – броня из стальной оцинкованной проволоки. Защитная полимерная оболочка отсутствует

г) Прототип кабеля ОКЗнг(А)-FRHF (представлен ОАО «ВНИИКП») [8]:

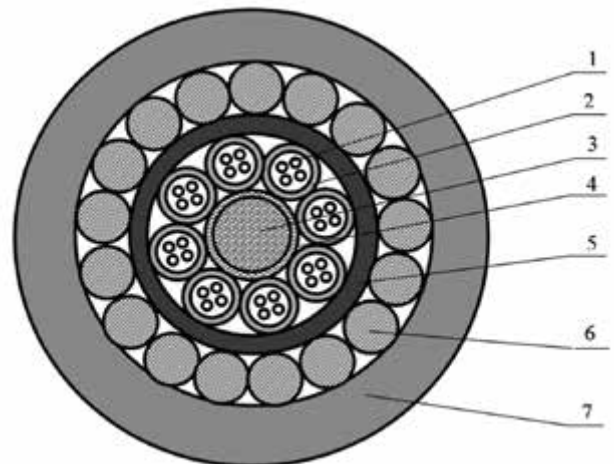


Рис. 1г. ОКЗнг(А)-FRHF (внешний диаметр – 14,5 мм):

- 1 – оптическое волокно;
- 2 – модуль из полимерного материала, не содержащего галогенов;
- 3 – центральный силовой элемент из стеклопластикового прутка;
- 4 – водоблокирующий элемент;
- 5 – кремнийорганический заполняющий материал;
- 6 – броня из круглых стальных проволок;
- 7 – защитный шланг из пожаробезопасной полимерной композиции

Примечание: при проведении испытаний исследовалась также конструкция кабеля ОКЗнг(А)-FRHF, отличающегося от кабеля ОКЗнг(А)-FRHF тем, что вместо брони из круглых стальных проволок используется стальная гофрированная лента.

д) Прототип кабеля ОКЦпто – 02/2 и ОКЦпто в диэлектрическом исполнении с внешним диаметром 11 мм (представлены ОАО «ВНИИКП»):

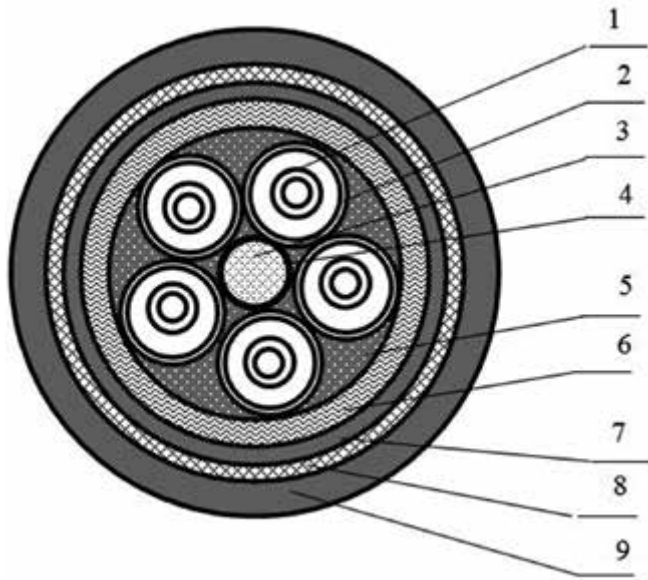


Рис. 1д. ОКЦпто-02/2 (и ОКЦпто в диэлектрическом исполнении):

- 1 – оптическое волокно;
- 2 – модуль из полимерного материала, не содержащего галогенов;
- 3 – центральный силовой элемент из стеклопластикового прутка;
- 4 – водоблокирующий элемент;
- 5 – кремнийорганический заполняющий материал;
- 6 – арамидные упрочняющие и водонабухающие нити;
- 7 – внутренняя оболочка из термостойкого материала, не содержащего галогенов (сплюдная лента в диэлектрическом исполнении);
- 8 – броня из круглых стальных проволок (плотная оплетка стеклонитями для диэлектрического исполнения);
- 9 – защитный шланг из кремнийорганической резины

Измерения проводили с помощью прибора – ИДОВ-1. Схема испытаний показана на рис. 2.

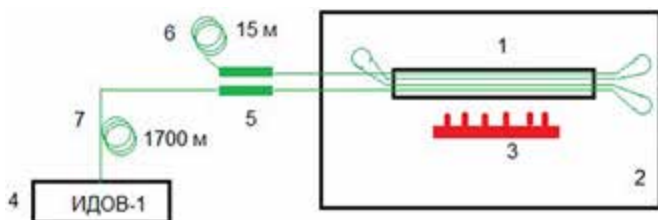


Рис. 2. Схема проведения испытаний ОК на воздействие открытого пламени с измерением температуры:

- 1 – образец ОК;
- 2 – испытательная камера;
- 3 – газовая горелка;
- 4 – рефлектометр ИДОВ-1;
- 5 – сварка (муфта);
- 6 – короткое вспомогательное волокно;
- 7 – длинное вспомогательное волокно

Излучение из рефлектометра (4) проходило через вспомогательную (холостую) катушку с многомодовым волокном (7) длиной около 1700 м. Из модулей испытываемых образцов кабелей были вынуты все оптические волокна и последовательно в 4 модуля было продето

единое многомодовое ОВ (1). Это позволяло увеличить контролируемую длину ОВ (рабочий участок), находящуюся в зоне нагрева, уменьшив погрешность измерения температуры, возникающую за счет попадания в область измерения существенных отрезков, находящихся вне зоны воздействия пламени. Многомодовое волокно, выведенное из кабеля (1) сваривалось в точке (5) с многомодовым волокном (7). Длина образца кабеля – 700 мм. Длина волокна в зоне воздействия пламени: $500 \text{ мм} \times 4 = 2000 \text{ мм}$. На выходе к рабочему участку приваривался еще один холостой участок волокна 6 длиной порядка 15 м.

Процедура испытаний миниатюрных кабелей СЛ-ОКМБ-01 и СЛ-ОКМБ-03 несколько отличалась от описанной для многомодульных кабелей в части конфигурации испытуемого образца. В этом случае имело место складывание в 3 раза по длине и скручивание в жгут единой, а не свариваемой в шлейф, длины миниатюрного кабеля-троса. Длина жгута, закрепленного на кольцах установки для испытаний на огнестойкость, составила около 750–800 мм. Остальная часть миниатюрного кабеля была выведена из камеры, его волокно было приварено к стабилизационной катушке.

Полученная конфигурация схемы измерений позволила выделить на кривой обратного рассеивания нагретый участок и контролировать изменение поглощения и температуры в течение эксперимента.

Фактически пламя горелки направлялось на участок порядка 500 мм и из-за конструктивных особенностей не могло создать равномерную зону нагрева образца. Следует уточнить, что (как показано на рис. 2) часть ОВ находится вне образца (переходы между прямолинейными участками). Длина перехода порядка $150 \text{ мм} \times 4 \times 2 = 1200 \text{ мм}$, что составляет около половины от общей нагреваемой длины ОВ.

Горелка (3) в начале опыта устанавливались на расстоянии 300 мм от образца. В таком положении после включения пламени горелки имеет место относительно слабый нагрев образца, что использовалось для определения точки максимального нагрева образца, наблюдаемой на кривой распределения температуры по длине всего волокна.

После «центровки» горелку перемещали таким образом, чтобы она была расположена по отношению к образцу ОК в соответствии с требованиями ГОСТ Р МЭК 60331-11–2012: центральная горизонтальная плоскость ее находилась на расстоянии $70 \pm 10 \text{ мм}$ ниже самой нижней точки образца, а вертикально расположенная поверхность находилась на расстоянии 45 мм от центральной вертикальной плоскости образца. С этого момента начинался эффективный нагрев и отсчет времени испытания (рис. 3).



Рис. 3. Горение кабеля ОКЦпто-01

С помощью измерителя рамановского рассеивания ИДОВ-1 регистрировали зависимости от длины образца (l):

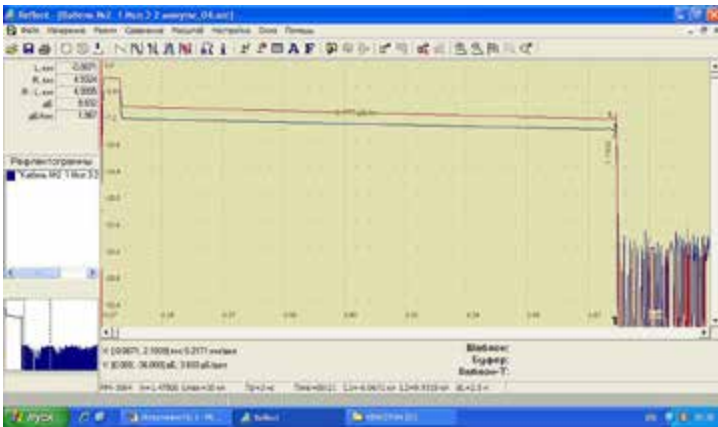


Рис. 4а. Полная рефлектограмма измерения потерь в прототипе диэлектрического кабеля ОКЦпто (предварительный подогрев)

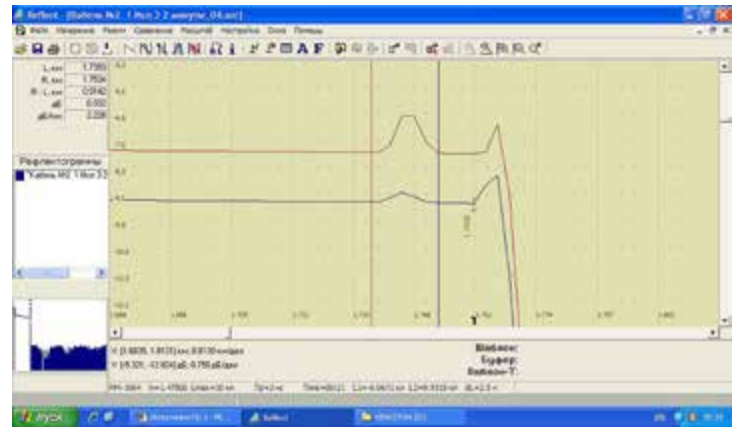


Рис. 4б. Рефлектограмма измерения потерь участка прототипа диэлектрического кабеля типа ОКЦпто, подвергнутого воздействию пламени (предварительный подогрев)

– рамановского рассеивания по длине ОВ в виде рефлектограммы $[A(\delta B)_{1,2} = f(l)]$;
 – температурную зависимость по длине ОВ $[T(^{\circ}C) = f(l)]$.
 Примеры рефлектограмм измерения потерь и температуры по длине образца диэлектрического кабеля ОКЦпто приведены на рис. 4–6.

На рис. 4а кривые обратного рамановского рассеивания на двух длинах волн (стоксовская и антистоксовская компоненты) приведены полностью.

На рис. 4б выделен конечный участок с предварительным участком (от 1,74 до 1,75 км). Красный (первый) маркер обозначает начало испытываемого отрезка образца ОК. Синий (второй) маркер установлен на конце испытываемого образца. Видно, что максимальный нагрев расположен на длине порядка 2 метров в точке перед 1,748 км. Расстояние до конца волокна – 12 м.

По этой зависимости, перемещая реперные точки, легко определить и затухание, которое возникнет при нагреве; в момент измерения между реперными точками, т.е. на испытываемом образце, оно равно 0,032 дБ.

На рис. 5 приведен график измерения температуры испытываемого образца диэлектрического кабеля типа ОКЦпто в момент предварительного подогрева образца. По данным прибора температура волокна составляет около 33 °С.

На рис. 6а приведен график изменения температуры этого же образца после трехминутной выдержки в пламени горелки. Максимальная температура составляет 250 °С (см. слева графу 4).

На рис. 6б приведена рефлектограмма того же образца ОК после выдержки в течение 8 минут. Видно, что произошло резкое возрастание затухания на образце – скачок потерь составляет 1,5 дБ, хотя сигнал еще проходит до конца всего волокна.

Это резкое изменение сигнала говорит о практическом выходе кабеля из строя, что безусловно связано с возникновением существенных изгибов волокна на участке кабеля, подвергнутого воздействию пламени. Через несколько минут волокно оборвалось.

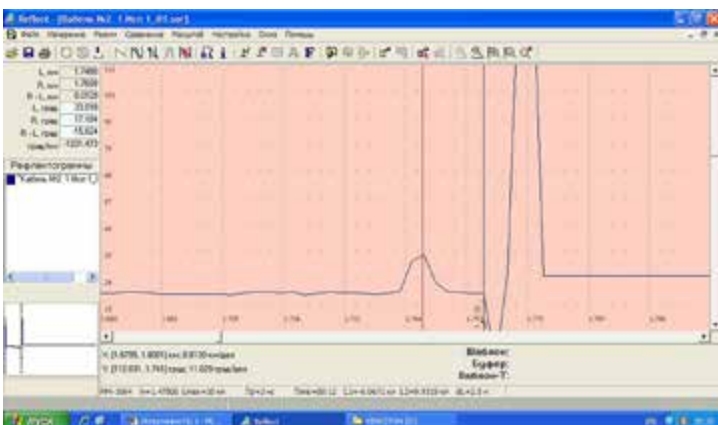


Рис. 5. Измерение температуры в момент предварительного подогрева образца диэлектрического кабеля типа ОКЦпто

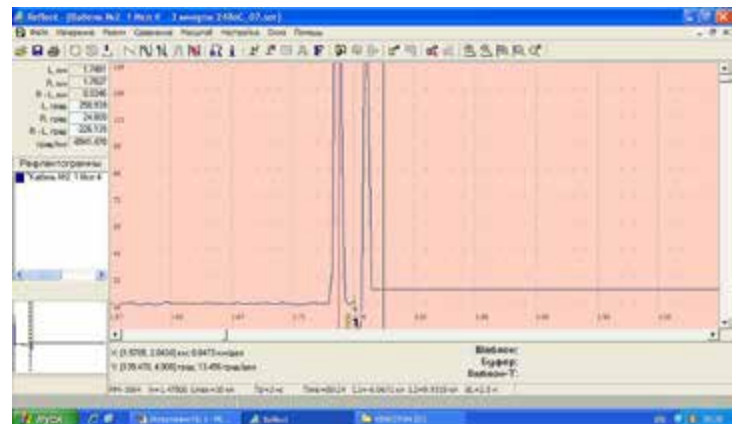


Рис. 6а. Изменение температуры образца диэлектрического кабеля типа ОКЦпто после 3 минутной выдержки в пламени горелки

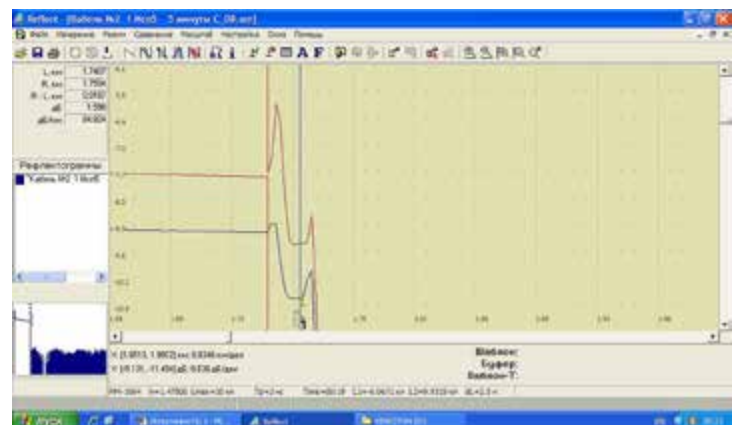


Рис. 6б. Изменение температуры образца диэлектрического кабеля типа ОКЦпто после 8 минутной выдержки в пламени горелки

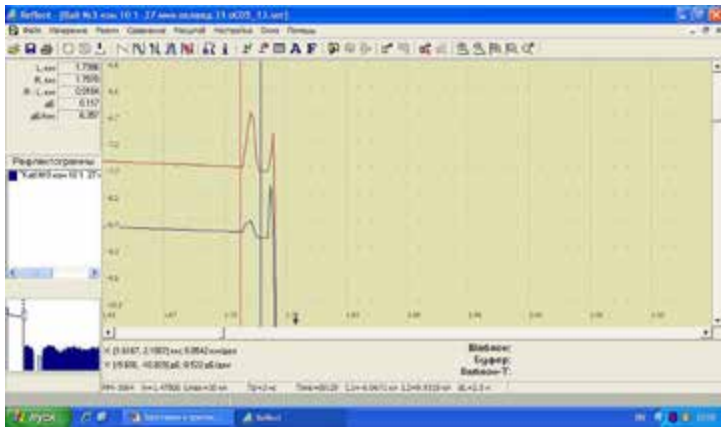


Рис. 7. Рефлектограмма затухания оптического волокна в прототипе кабеля СЛ-ОКМБ-03 на 31-ой минуте испытаний. (Идет охлаждение образца – температура снизилась до 31 °С)

Прототипы кабеля СЛ-ОКМБ не дают заметного прираще- ния затухания в течение всего цикла испытаний. Это можно наблюдать на рис. 7, где представлена рефлектограмма 31-ой минуты испытаний.

Затухание на образце составляет 0,117 дБ, (можно оценить как незначительное) и в процессе испытания оно остается неизменным.

Результаты измерения показали, что максимальная температура, измеренная прибором ИДОВ-1, для всех образцов не превышает 320 °С. Учитывая, что температура пламени составляет 750–800 °С, предполагать, что оболочки кабеля не только защищают волокно от прямого воздействия пламени, но и настолько хорошо теплоизолируют его, не представляется возможным.

Поэтому нами проведены калибровочные испыта- ния температуры – измерение температуры с помощью

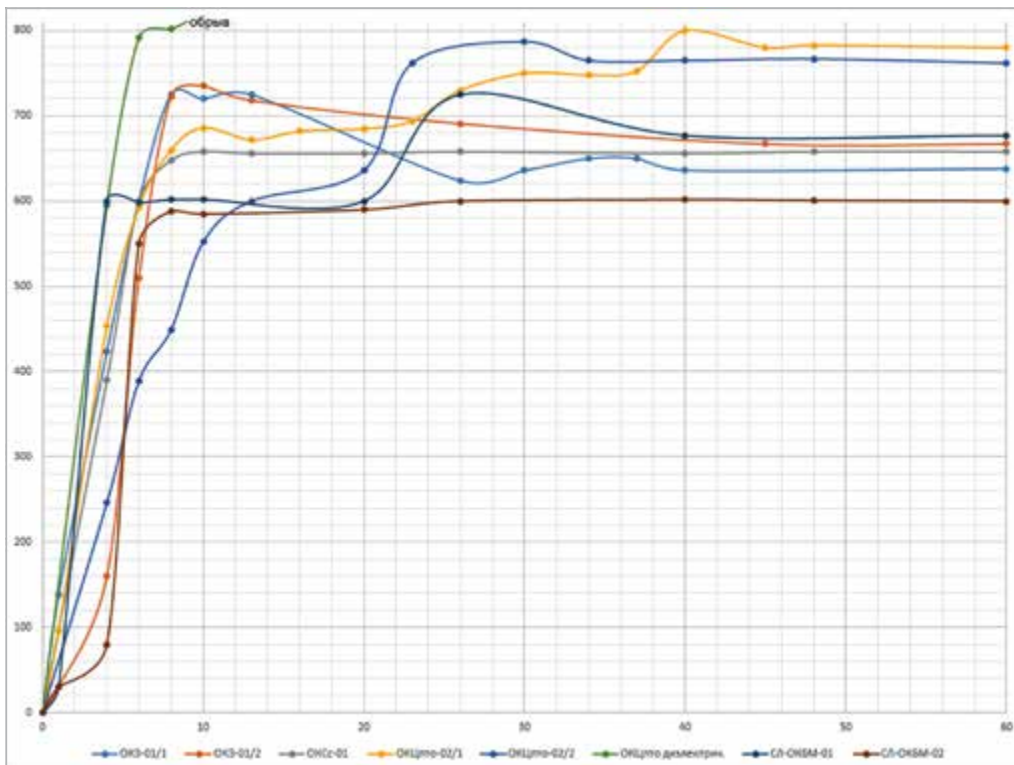


Рис. 9. Результаты измерения зависимости температуры от времени в графической форме для прототипов ОК

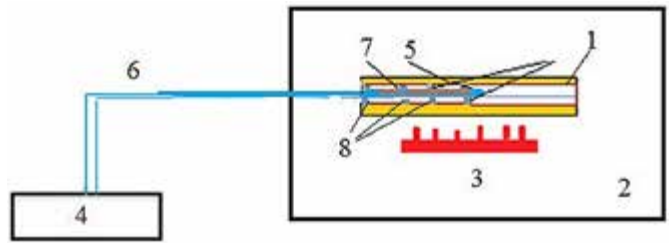


Рис. 8. Схема калибровки схемы испытаний по определению температуры испытуемого образца:

- 1 – оболочка из кремнийорганической резины;
- 2 – испытательная камера;
- 3 – газовая горелка;
- 4 – измерительный прибор;
- 5 – латунная трубка;
- 6 – термопара, подводящие провода, сварка (муфта);
- 7 – стальной стержень;
- 8 – изоляторы

термопары, которую вставляли в центре латунной трубки в аналогичном пламени горелки на этой же установке по схеме рис. 8.

В рамках эксперимента оболочку из кремнийорганической резины (1) надели на латунную трубку (5), имитируя оболочку кабеля. Размер латунной трубки – 5,3/6 мм. Внутри трубки (5) ввели стальной стержень (7), на котором крепилась термопара (6) с помощью керамических изоляторов (8). После проведения измерений оболочку (1) удалили и повторили испытания для сравнения результатов. В обоих случаях максимальная температура термопары составила около 710 °С, то есть оболочка из кремнийорганики толщиной 2,5 мм практически не влияла на показания термопары.

По результатам испытаний был определен поправоч- ный коэффициент, составляющий 2,3–2,45 (чем выше

измеренное значение тем- пературы, тем больше значение коэффициента), который далее применили при пересчете тем- пературы, измеряемой методом рамановской рефлектометрии. Данный коэффициент зависит только от особенностей работы используемого при измерениях прибора, конструктивные состав- ляющие испытываемых кабелей на него не влияют.

Результаты измерения зави- симости температуры от времени в графической форме для прототипов кабелей приведены на рис. 9.

Анализ результатов испытаний

Анализ результатов испы- таний, во-первых, показал, что нагрев во всех образцах кабелей имеет приблизительно одинако- вый характер для всех типов и характеризуется следующими данными:

– в течение приблизительно 7–10 минут наступает максимум нагрева;

– часовая выдержка во времени в большинстве случаев не изменяет значение максимальной температуры, колебание температуры небольшое;

– относительный нагрев кабелей типа СЛ-ОКМБ меньше (примерно на 100 °С), чем у кабелей ОКЦпто (около 600–650 °С для кабелей СЛ-ОКМБ и около 750–770 °С для ОКЦпто);

– полиакрилатное защитное полимерное покрытие ОВ во всех кабелях выгорело, превратилось в налет сажи.

Во-вторых, несмотря на сгорание покрытия волокон, все испытываемые прототипы кабелей сохранили целостность оптических волокон до окончательного охлаждения, за исключением полностью диэлектрического кабеля ОКЦпто, в котором волокно оборвалось на 9-й минуте испытаний. Таким образом, обугливание оболочки волокна само по себе не нарушает целостности.

И наконец, в экспериментах было отмечено, что теплоизолирующие материалы практически не замедляют процесс повышения температуры внутри кабеля, тогда как металлические элементы способствуют экранированию и отводу тепла от очага возгорания. В частности, этим можно объяснить меньшую температуру нагрева ОВ в кабелях СЛ-ОКМБ,

концы которых были выведены из зоны испытаний, в то время как металлические элементы образцов модульных конструкций ОК типа ОКЦпто длиной всего 70 см, не имели возможности отводить тепло от места возгорания и снижать воздействующую на ОВ температуру.

Выводы

Полученные данные дают наглядное представление о поведении конструкций ОК при воздействии пожара – данные о вносимом затухании и приблизительную оценку значений температуры внутри кабелей.

По результатам испытаний для огнестойких кабелей следует преимущественно рекомендовать конструкции с металлическими элементами (с броней из круглых проволок, с броней из стальной гофрированной ленты, со стальными трубками в качестве оптического модуля).

В результате проведенных исследований созданы пожаробезопасные огнестойкие ОК [9, 10], в том числе для применения в системах 2 и 3 класса безопасности АЭС. На разработанные пожаробезопасные огнестойкие кабели получены сертификаты [11, 12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинникова И.А., Иванов Г.А., Немцова П.Е., Васильев Б.Е. Технологии создания огнестойких пожаробезопасных оптических кабелей // Кабели и провода. – 2014. – № 3 (346). – С. 30–31.
2. Овчинникова И.А. Пожаробезопасные и огнестойкие оптические кабели – проблемы и пути решения // Электросвязь. – 2012. – № 6. – С. 44–47.
3. Овчинникова И.А. Создание пожаробезопасных кабелей // Технологии и средства связи (спец. выпуск «Кабели связи и кабельное оборудование – 2008»). – 2008. – № 1. – С. 32–34.
4. Замятин И.А., Ларин Ю.Т., Овчинникова И.А., Холодный Д.С., Шолуденко М.В. Пожаробезопасные и огнестойкие кабели связи – теория и практика. Специализированный каталог «Пожарная безопасность – 2013». – М.: Гротек, 2012. – С. 154–156.
5. Малай А.В., Малай В.А., Смирнов С.Ю., Смирнов Ю.В., Ларин Ю.Т., Бобров В.А., Лузгин А.Г. Система температурного мониторинга на волоконно-оптических кабелях // Фотон-экспресс. – 2008. – № 5–6 (69–70). – С. 28–31.
6. Ларин Ю.Т., Смирнов Ю.В., Гринштейн М.Л. Применение системы температурного мониторинга с помощью оптического кабеля для контроля распределения температуры вдоль электрического силового кабеля // Кабель-news. – 2009. – № 8. – С. 48–53.
7. Ларин Ю.Т., Смирнов Ю.В. Измерение температуры сверхпроводящих электрических кабелей посредством волоконно-оптических датчиков // Первая миля. – 2011. – № 1. – С. 16–20.
8. Овчинникова И.А., Васильев Е.Б., Семенов П.А. и др. Кабель оптический нераспространяющий горение, огнестойкий // Патент РФ на полезную модель № 153285. 2015. Бюл. № 19.
9. Овчинникова И.А., Васильев Е.Б., Семенов П.А., Шкалова Н.Д. и др. Огнестойкий пожаробезопасный оптический кабель // Патент РФ на полезную модель № 159036. 2016. Бюл. № 3.
10. Овчинникова И.А., Васильев Е.Б., Васильев Р.Е., Дуйнов М.В. и др. Кабель оптический пожаробезопасный огнестойкий // Патент РФ на полезную модель № 161295. 2016. Бюл. № 11.
11. Сертификат соответствия на «Кабели оптические не распространяющие горение, не содержащие галогенов, с низким дымо- и газовыделением, в том числе огнестойкие...» № С-РУ. ПБ73.В.01234 ТР 0667547, выданный органом по сертификации ООО «Гильдия качества» 26.01.2016.
12. Сертификат соответствия на огнестойкий кабель С-РУ. ЛЮ64.В.00-193 № 0005534, выданный органом по сертификации «Полисерт» АНО «Электросерт» 09.10.2015.

ПОДПИСАТЬСЯ НА ЖУРНАЛ «КАБЕЛИ И ПРОВОДА» МОЖНО В РЕДАКЦИИ

Стоимость подписки на II полугодие 2016 года (3 номера), в рублях:

- для членов Ассоциации «Электрокабель» – 1275 руб.,
- для учебных заведений и студентов – 480 руб.,
- для остальных подписчиков России и стран СНГ – 1380 руб.,
- для подписчиков зарубежных стран – 33 у.е.

НДС не облагается по ст. 145 НК РФ

По вопросам подписки обращайтесь

к Алле Евгеньевне Тимофеевой

Тел./факс: (495) 918–1627

E-mail: kp@vniikp.ru, alla_timofeeva_60@mail.ru

Реквизиты для оплаты
в рублях:

ИНН 7722159427

КПП 772201001

р/с: 40702810238120102932

в Московском банке

ПАО «Сбербанк», г. Москва

к/с: 3010181040000000225

БИК 044525225

Подписной индекс в каталогах агентств «Роспечать» и «Урал-Пресс» – **79943**