



**А.А. Овчинников**, канд. техн. наук, начальник центра ФГУП «НИИСУ»  
**И.А. Овчинникова**, канд. техн. наук, зав. отделением «Кабели, провода и арматура для систем телекоммуникаций и информатизации» ОАО «ВНИИКП»;  
**П.А. Семенов**, инженер ОАО «ВНИИКП»

## О возможности применения оптических кабелей в условиях воздействия ионизирующих излучений

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования влияния импульсного воздействия ионизирующих излучений на оптические волокна разных типов и производителей, а также показана зависимость радиационно-наведенного затухания от экспозиционной дозы гамма-излучения для разных образцов оптических волокон и кабелей. Представленные в статье результаты позволяют сделать вывод, что стандартные оптические волокна способны сохранять работоспособность после импульсного воздействия ионизирующих излучений, а оптические кабели со специальными волокнами могут эксплуатироваться в условиях длительного воздействия гамма-излучения.

**Ключевые слова:** оптические кабели, оптические волокна, ионизирующие излучения, оптические потери.

**Abstract.** The paper presents the results of the investigation of ionizing radiation pulse action on optical fibers of different types and from various manufacturers. The dependence of radiation-induced attenuation on the exposure dose of gamma rays is shown for different specimens of optical fibers and cables. The obtained results suggest the conclusion that standard optical fibers retain their operational capability after pulse action of ionizing radiation and optical cables with special fibers can be operated under long-term exposure to gamma radiation.

**Key words:** optical cables, optical fibers, ionizing radiation, optical loss.

Материал поступил в редакцию 12.02.2016  
 Овчинникова И.А. E-mail: irovchinnikova@rambler.ru

Вопросы применения оптических кабелей (ОК) в условиях воздействия ионизирующих излучений возникают в связи с существенным повышением требований к скорости и объемам передаваемой информации при создании современных объектов, связанных с использованием атомной энергии. К таковым, естественно, можно отнести и новые блоки атомных станций, и подвижные объекты с ядерными энергоустановками. При эксплуатации на таких объектах кабели могут подвергаться постоянному (статическому) воздействию ионизирующих излучений, в отличие от большинства областей применения, где воздействию радиации кабели могут подвергнуться только в случае ядерного взрыва. Но такое воздействие является кратковременным (импульсным).

Известно, что воздействие частиц с высокой энергией вызывает радиационно-наведенные оптические потери в оптических волокнах (ОВ), которые ухудшают передающую способность ОК и могут привести к его отказу. Это ухудшение вызвано появлением в материале волоконного световода так называемых центров окраски (ЦО) [1–3].

Данная причина является существенным препятствием для применения ОК в составе систем и аппаратуры атомных станций, а также в составе аппаратуры космических аппаратов и бортовых систем других объектов с повышенными требованиями по стойкости к внешним воздействующим факторам, где применение ОК является особенно актуальным из-за его легкости и миниатюрности, а также возможности передавать огромные потоки информации на высокой скорости, что положительным образом должно отражаться на тактико-технических характеристиках подвижных объектов [4].

Для изучения стойкости ОВ и ОК к воздействию ионизирующих излучений были проведены исследования стандартных одномодовых ОВ разных производителей (фирм Fujikura и Draka, отечественного ОВ по ТУ 16.705.452–2007) и кабелей на их основе. Исследования показали, что при кратковременном воздействии (20–21 нс) гамма-излучения с максимальной мощностью экспозиционной дозы  $8,35 \times 10^8$  Р/с максимальное радиационно-наведенное затухание (РНЗ) не превышает 2,5 дБ/км, и в течение 400 мс происходит восстановление параметров. Воздействие интегрального потока нейтронов  $3,45 \times 10^{13}$  н/см<sup>2</sup> вызвало прирост затухания до 42 дБ/км, но спустя 10 минут после окончания воздействия затухание в одномодовых ОВ практически вернулось к допустимым значениям.

Полученные результаты говорят о том, что стандартные одномодовые волокна сохраняют работоспособность при определенных уровнях гамма-излучения, но показывают достаточно большую чувствительность к воздействию потока нейтронов с энергией более 0,1 МэВ, хотя могут относительно быстро восстанавливаться после этого. Увеличение экспозиционной дозы приводит к дальнейшему росту затухания без последующего восстановления.

Таким образом, существует необходимость использования в объектах с ядерными энергоустановками специальных волокон с повышенной стойкостью к ионизирующим излучениям.

Повышение радиационной стойкости оптических волокон достигают за счёт использования сердцевин из чистого кварца и легированной фтором светоотражающей оболочки.

Известны также способы создания радиационностойких ОВ путем легирования кварцевой сердцевины азотом или германосиликатной сердцевины фосфором [5].

Радиационностойкие волокна за рубежом изготавливаются в соответствии с требованиями на одномодовое волокно Рекомендации ITU G.652.B с применением технологий PCVD, VAD и OVD. В настоящий момент радиационностойкое ОВ в России серийно не производится. Существуют научные организации, имеющие лабораторные установки, позволяющие выпускать одномодовое радиационностойкое ОВ в очень ограниченных количествах для исследовательских целей или для изготовления отдельных образцов ОК с короткими строительными длинами.

Исследования образцов микрокабелей с импортными и отечественными радиационностойкими ОВ показали, что при воздействии интегрального потока нейтронов  $10^{13} \text{ н/см}^2$  РНЗ составило: 1,57 дБ/км – в ОВ, изготовленном ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (далее ФИРЭ); 1,84 дБ/км – в ОВ с углеродным покрытием, изготовленном ФИРЭ; 2,05 дБ/км – в ОВ Super RadHard Single-Mode Fiber фирмы Draka. Время восстановления до начального уровня составило 2 мс в отечественных волокнах и 2,5 мс в ОВ Super RadHard.

При воздействии гамма-излучения с максимальной мощностью экспозиционной дозы  $15,1 \times 10^9 \text{ Р/с}$  РНЗ в ОВ, изготовленном ФИРЭ, составило 0,24 дБ/км. Воздействие дозы  $1 \times 10^{10} \text{ Р/с}$  на ОВ с углеродным покрытием ФИРЭ привело к увеличению затухания на 0,43 дБ/км, а воздействие дозы  $7,3 \times 10^9 \text{ Р/с}$  на импортное ОВ увеличило его затухание на 0,25 дБ/км. При этом время восстановления составило менее 200 мкс. РНЗ в миниатюрном бронированном кабеле с отечественным радиационностойким ОВ составило 0,55 дБ/км при максимальной мощности экспозиционной дозы  $16 \times 10^9 \text{ Р/с}$ , а время восстановления – 300 мкс.

Зависимость радиационно-наведенного затухания от экспозиционной дозы гамма-излучения для разных образцов ОВ и ОК представлена на рис. 1. Кривые рис. 1 соответствуют следующим образцам:

- 1 – стандартное одномодовое ОВ фирмы Fujikura;
- 2 – стандартное одномодовое ОВ по ТУ 16.705.452–2007;
- 3 – стандартное одномодовое ОВ фирмы Draka;
- 4 – многомодовое ОВ (50/125) фирмы Draka;
- 5 – многомодовое ОВ (50/125) фирмы Fujikura;
- 6 – ОК с двойной круглой проволочной броней и сердечником из модулей, скрученных вокруг центрального силового элемента (далее – модульный сердечник) со стандартным одномодовым ОВ фирмы Draka;
- 7 – ОК с двойной круглой проволочной стальной броней и модульным сердечником с многомодовым ОВ (50/125) фирмы Draka;
- 8 – ОК со броней из стальной гофрированной ленты и модульным сердечником со стандартным одномодовым ОВ фирмы Draka;
- 9 – ОК со броней из стальной гофрированной ленты и модульным сердечником с многомодовым ОВ (50/125) фирмы Draka;
- 10 – микрокабель со специальным одномодовым ОВ ФИРЭ;
- 11 – микрокабель со специальным одномодовым ОВ с углеродным покрытием ФИРЭ;
- 12 – микрокабель со специальным одномодовым ОВ Super RadHard;
- 13 – специальное одномодовое ОВ НЦВО РАН;
- 14 – ОК с броней из стальной гофрированной ленты и модульным сердечником с одномодовым ОВ;
- 15 – миниатюрный кабель-трос с броней из круглых стальных проволок со специальным одномодовым ОВ, изготовленным НТЦ «Оптическое волокно».

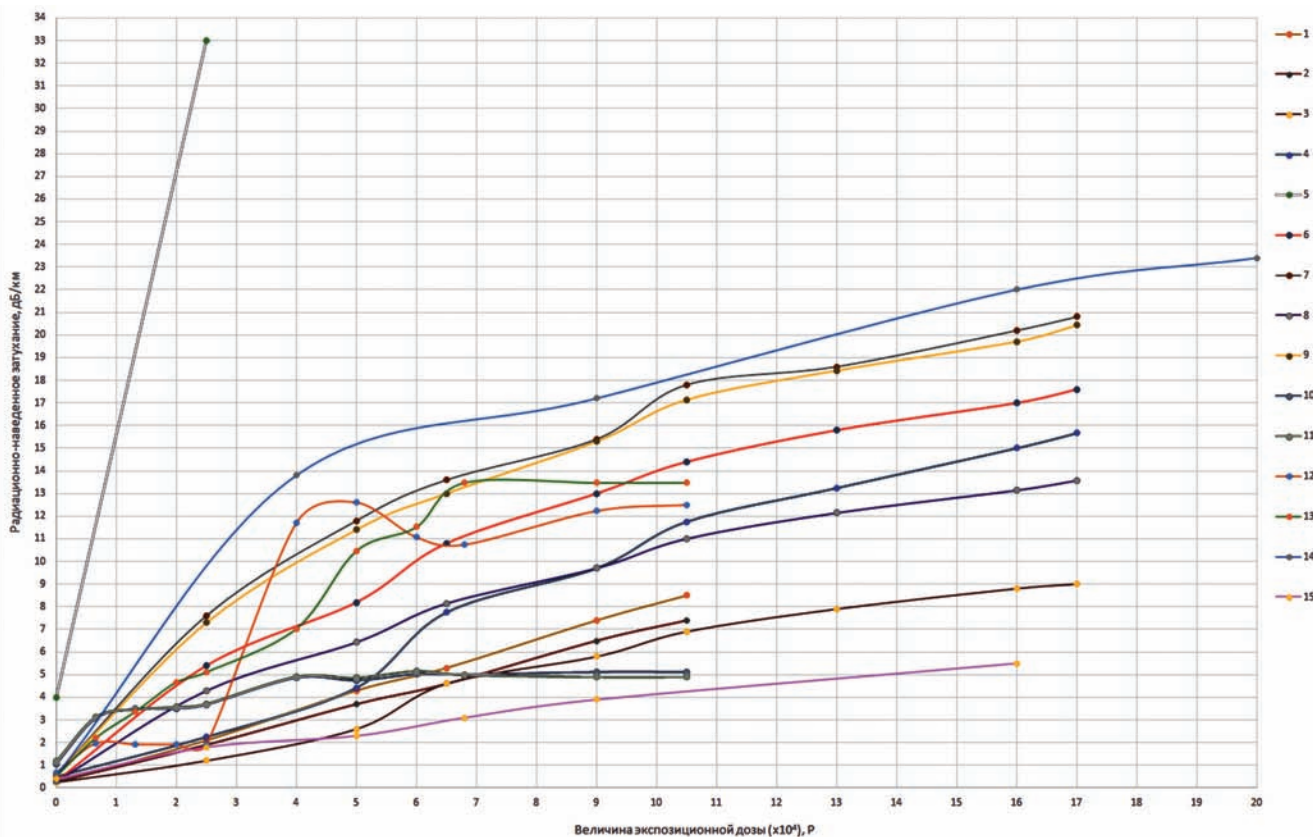


Рис. 1. Зависимость радиационно-наведенного затухания от величины экспозиционной дозы гамма-излучения

Все измерения одномодовых ОВ проводились на длине волны 1,31 мкм, за исключением ОВ по ТУ 16.705.452–2007, затухание которого определяли на длине волны 1,55 мкм. РНЗ в многомодовых ОВ фирмы Draka определяли на длине волны 1,3 мкм, а в многомодовом ОВ фирмы Fujikura на длине волны 0,85 мкм.

Следует отметить, что одни и те же образцы микрокабелей со специальными ОВ последовательно подвергались воздействию импульсного гамма-излучения, интегрального потока нейтронов  $10^{13}$  н/см<sup>2</sup>, воздействию статического гамма-излучения до значения экспозиционной дозы  $2,5 \times 10^4$  Р, после этого образцы микрокабелей подвергались воздействию 5 циклов изгибов на угол 180° и выдержке при температуре минус 60 °С и плюс 85 °С, после чего воздействие на них гамма-излучением было продолжено. Остальные образцы комплексным воздействием не подвергались. Таким образом, условия испытаний микрокабелей были намного жестче, чем условия испытаний остальных образцов. Именно после дополнительных механических и температурных воздействий отмечается резкое увеличение затухания у микрокабеля с волокном Super RadHard.

Сравнивая представленные на рис. 1 графики зависимости РНЗ в различных волокнах от величины экспозиционной дозы, можно сделать вывод, что преимущество специальных волокон в условиях воздействия гамма-излучения становится заметным после достижения значений экспозиционной дозы  $5 \times 10^4$  Р, так как дальнейшее ее увеличение практически не приводит к увеличению РНЗ этих волокон, в то время, как РНЗ в обычных ОВ продолжает стремительно расти.

Данные проведенных исследований позволяют отметить также некоторое различие в поведении одних и тех же волокон в конструкциях кабелей разного типа при воздействии гамма-излучения. Это наблюдение противоречит сложившемуся в последнее время представлению, что работоспособность кабелей в условиях воздействия гамма-излучения полностью зависит от параметров оптического волокна. Следовательно, этот вопрос требует дополнительного изучения.

Проведенные эксперименты показали, что существенным недостатком радиационностойких ОВ, как отечественных, так и импортных, является их высокая чувствительность к низким температурам, выявленная при испытаниях борто-

вого микрокабеля с волокнами Super RadHard и ФИРЭ им. Котельникова РАН и миниатюрного бронированного кабеля с волокном НТЦ «Оптическое волокно». Недостатком отечественного ОВ ФИРЭ является существенно большее значение коэффициента при приемке и поставке (0,6–0,8 дБ/км) при аналогичном показателе у волокна Super RadHard 0,4–0,5 дБ/км, хотя при использовании в коротких линиях (что особенно свойственно для подвижных объектов) этот недостаток может оказаться и не столь существенным. А с точки зрения стойкости к длительному и комплексному воздействию специальных факторов отечественные ОВ показали себя лучше ОВ, произведенного за рубежом.

Представленные в статье результаты позволяют сделать вывод, что стандартные ОВ способны сохранять работоспособность после импульсного воздействия ионизирующих излучений, а оптические кабели со специальными ОВ могут эксплуатироваться и в условиях длительного воздействия гамма-излучения, при этом отечественные образцы одномодовых радиационностойких волокон, изготовленные на лабораторных установках, не уступают по стойкости к этим воздействиям, а в некоторых случаях превышают характеристики ОВ зарубежных фирм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Tomashuk A.L., Golant K.M., Dianov E.M. et al. // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2000. Vol. 47, N 3, Part 1. – P. 693–698.
2. Ларин Ю.Т. Стойкость оптических волокон и оптических кабелей к воздействию радиации и сопутствующих факторов. – М.: Принтсервис, 2013. – 208 с.
3. Бондаренко А.В., Дядькин А.П., Кащук Ю.А. и др. Исследование радиационной стойкости оптических волокон из кварцевого стекла в условиях реакторного облучения // Спецвыпуск «Фотон-Экспресс» – наука. – 2005. – № 6. – С. 11.
4. Овчинникова И.А., Корепин Д.А., Фигуровский Д.К. Особенности создания оптических микрокабелей для подвижных объектов специальной техники // Сборник научных трудов международной научно-технической конференции «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике», Москва, 2015. – С. 186–189.
5. Иванов Г.А., Первадчук В.П. Технология производства и свойства кварцевых оптических волокон: учеб. пособие / Г.А. Иванов, В.П. Первадчук. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 171 с.

## 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