

Ю.Т. Ларин, д-р техн. наук, главный научный сотрудник;  
Г.И. Мещанов, д-р техн. наук, генеральный директор;  
И.А. Овчинникова, канд. техн. наук, заведующая отделением;  
Д.А. Тарасов, заместитель заведующего отделом;  
ОАО «ВНИИКП»

## Оптические кабели – основа современных телекоммуникационных сетей

**Аннотация.** В статье проанализированы пути развития оптических кабелей и волокон с момента их появления в середине прошлого века до настоящего времени, рассмотрен вклад ВНИИКП в развитие этой области техники. Дано краткое описание основных технических решений, способствовавших достижению высоких показателей современных образцов оптических кабелей. Представлены результаты некоторых последних разработок, в частности оптических кабелей 2 и 3 класса безопасности для АЭС, и краткий анализ состояния нормативной документации на оптические кабели и оптические волокна. Рассмотрены направления дальнейшего развития.

**Ключевые слова:** оптические кабели (ОК); оптические волокна (ОВ); разработка; развитие; показатели; надежность; пожаробезопасные оптические кабели.

**Abstract.** The paper analyses the development of optical cables and optical fibers from the time of their appearance in the middle of the last century up to the present days and reviews the contribution of VNIKIP to the development of this technical field. A brief description of the basic technology solutions facilitating the creation of high performance optical cable designs is given. The results of several recent developments are presented, including 2 and 3 class safety optical cables for NPP, and a short analysis of the applicable regulatory documents for optical cables and optical fibers is given. The directions of further development are discussed.

**Key words:** optical cables (OC); optical fibers (OF); development; characteristics; reliability; fire performance optical cables.

Материал поступил в редакцию 06.09.2017  
E-mail: vniikp@vniikp.ru; irovchinnikova@gmail.com

Оптические кабели (ОК) – сравнительно новый вид кабельной продукции. Если история обработки медной, алюминиевой и др. типов проволок насчитывает более двух веков, то производство оптического кабеля – менее 50 лет.

Разработка оптического волокна (ОВ) началась в 50-х годах прошлого века. Лидером в этой области являлась американская фирма Corning, которая к 1970 г. осуществляла поставки кварцевого ОВ с коэффициентом затухания 20 дБ/км на длине волны 0,85 мкм. К 1979 г. за рубежом уже появились ОВ с коэффициентом затухания менее 5 дБ/км на длине волны 0,85 мкм, осваивалось производство одномодовых и многомодовых ОВ, лазеров и других оптоэлектронных и электрооптических элементов, работающих на длине волны 1,3 мкм.

Достижения советских производителей ОВ были намного скромнее. В тот же период величина затухания на длине волны 0,85 мкм составляла 30 дБ/км. Первые образцы ОВ имели однослойное полиамидное защитное покрытие, которое наносилось методом вытяжки из расплава. Это существенно ухудшало стойкость ОВ к воздействию пониженных температур вследствие микроизгибов. Нижняя граница рабочего температурного диапазона первого поколения отечественных ОВ находилась в районе минус 5 °С. В дальнейшем проблема была решена за счет замены однослойного покрытия двухслойным. При этом первый слой, прилегающий непосредственно к стеклу, изготавливался

из более мягкого материала и выполнял роль демпфера, защищающего ОВ от микроизгибов. Второй слой выполнял функцию защиты ОВ от внешних воздействий, как и покрытия первого поколения. Наиболее широкое распространение в качестве материалов покрытий ОВ получили УФ-отверждаемые полиакрилаты, хотя существуют и другие типы покрытий, применяемые в основном для ОВ, работающих в более широком диапазоне температур и агрессивных средах. С этой целью могут использоваться кремнийорганические, полиимидные, углеродные и другие покрытия.

Дальнейшее развитие ОВ было направлено на повышение его надёжности и улучшение оптических характеристик за счёт изменения конструкции и материалов ОВ. Велись исследовательские работы по созданию ОВ с кварцевой сердцевиной и полимерной оптической оболочкой («кварц-полимер»), кварцевыми сердцевиной и оболочкой («кварц-кварц»), полимерных и многокомпонентных ОВ. Начали появляться волокна с разными диаметрами сердцевины, с разными профилями показателя преломления, в итоге был осуществлён переход на использование многомодовых волокон с градиентным профилем преломления вместо ступенчатого. Наконец на рынок вышли сразу занявшие на нём основное место одномодовые ОВ, работа над усовершенствованием которых продолжается постоянно: в частности, существенно снижен «пик воды» вблизи длины волны 1383 нм,

за счет чего значительно расширено окно прозрачности.

Динамика изменения коэффициента затухания одномодовых ОВ по мере их развития представлена на рис. 1.

Непосредственное практическое участие «Всероссийского научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического института кабельной промышленности» (в дальнейшем ВНИИКП) в создании волоконно-оптических систем связи началось с 1976 г., когда была создана лаборатория волоконной оптики и были изготовлены первые образцы отечественного ОК. А в 1977 г. отечественный ОК, изготовленный во ВНИИКП на основе ОВ, произведенного в ГОИ им. Вавилова, был продемонстрирован на международной выставке «Связь-77» в составе действующей линии для передачи сигнала цветного телевидения. В дальнейшем ВНИИКП сыграл значительную роль в становлении волоконной оптики в нашей стране и создании ОК, технологии их изготовления и организации промышленного производства. В 1979 г. во ВНИИКП был организован отдел оптических кабелей, в который входили четыре лаборатории (магистральных ОК, специальных ОК, оптических волокон и заготовок, измерительная лаборатория) и технологический участок.

Созданный во ВНИИКП на заре развития ОК специализированный опытный участок, существовавший вплоть до 2006 г., позволил создавать уникальные конструкции ОК для полевой связи, надводных и подводных объектов ВМФ, АЭС, аэрокосмического комплекса и т.д. К 1979–1980 гг. относятся первые успехи в конструировании и изготовлении ОК. Первая партия ОК в количестве 20 км по теме «Нитка» была изготовлена и проложена в одном из регионов Советского Союза. Изготовление кабеля проводилось на Опытном заводе ВНИИКП в г. Подольске. В период 1981–1985 гг. были разработаны конструкции ОК, намного опередившие общее техническое развитие связи в СССР. Среди них: военно-полевые ОК; магистральные, внутризональные и городские ОК с затуханием менее 3 дБ/км на длине волны 1,3 мкм; судовые ОК; комбинированные ОК для объектов ВМФ с продольной и поперечной герметизацией; монтажные ОК и другие. Многие разработки не потеряли своей актуальности и в наше время. Для обеспечения потребностей производителей ОК были разработаны задания на создание и организацию серийного производства материалов, необходимых для изготовления ОК.

К этому же периоду относится активное участие ВНИИКП в работах по созданию производства заготовок и ОВ. Специалисты ВНИИКП работали в тесном сотрудничестве с ведущими ВУЗами страны (МЭИ, МИТХТ, МЭИС, Одесским электротехническим институтом связи и др.), 22 ЦНИИИ МО РФ, 16 ЦНИИИ МО РФ, ГосНИИ кварцевого стекла, ГОИ им. Вавилова, НИИЭС, АН СССР, НИИП и т.д. Был проведен комплекс работ по созданию различных технологий изготовления опорных кварцевых труб, заготовок, полимерных материалов для защиты ОВ.

В 1982–1983 гг. впервые в СССР было налажено производство ОВ на Опытном заводе ВНИИКП по лицензии и на оборудовании французской фирмы «Кварц и Силис», а также начато строительство специального корпуса для

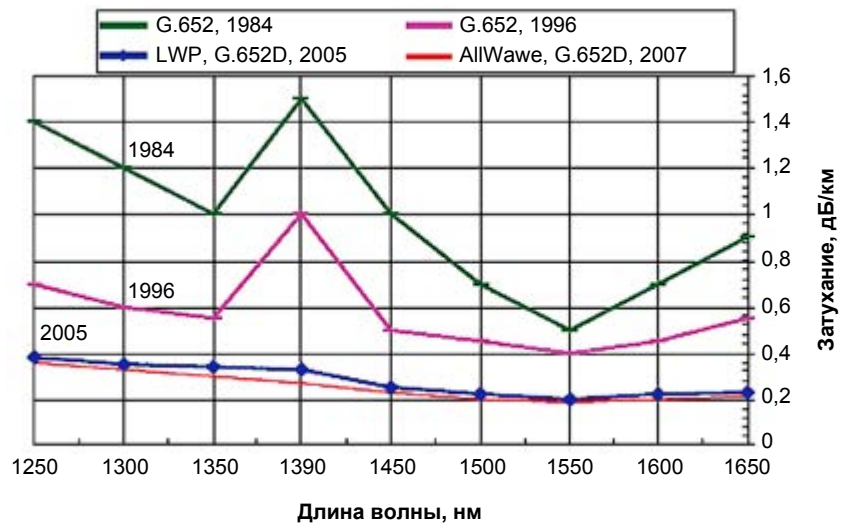


Рис. 1. Динамика изменения коэффициента затухания одномодовых ОВ [1]

производства ОК на московском заводе «Электропровод». В последующие годы на Опытном заводе ВНИИКП осуществлялся выпуск ОВ типа «кварц-полимер» (с диаметром по кварцевой сердцевине от 200 до 1000 мкм) в объеме до 3,0 тыс. км в год.

В дальнейшем, в связи с введением западными странами эмбарго на продукцию двойного назначения, оборудование для вытяжки ОВ и производства заготовок в основном было отечественного производства. Практически весь парк измерительного оборудования также базировался на отечественной технике.

В 1985 г. с целью создания и внедрения передовой промышленной технологии и оборудования для производства световодов, а также волоконно-оптических и оптоэлектронных элементов для световодных линий связи постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР был организован Межведомственный научно-технический комплекс (МНТК) «Световод» Академии наук СССР. Ведущая роль в этом комплексе принадлежала ВНИИКП.

В том же 1985 г. постановлением Совета Министров СССР «О создании в 12-ой пятилетке световодных линий связи для Единой автоматизированной сети связи страны (ЕАСС)» Минэлектротехпрому СССР было поручено резко увеличить выпуск ОК. При этом к уже существовавшим производствам ОК на Опытном заводе ВНИИКП и в ОКБ кабельной промышленности должны были добавиться мощности на заводах «Электропровод», «Одескабель», «Молдавкабель», «Севкабель», «Средазкабель» и «Кавказкабель». Одновременно происходит оснащение кабельных предприятий оборудованием для вытяжки оптического волокна. К сожалению, после распада Советского Союза многие производства были утрачены. Пришлось приложить немало усилий, чтобы вновь организовать серийное производство отечественного ОВ.

После распада СССР и введения рыночных отношений, сопровождавшихся отменой общегосударственного планирования и финансирования, производство ОВ в первый же год упало на 60 %. Основной причиной этого было выравнивание рыночных цен на оптические и традиционные кабели до общемирового уровня, которое затянулось на два года, в течение которых производство оптических кабелей, даже при использовании наиболее дешевых материалов и простых технологических процессов, было на грани убыточности.

Иностранные фирмы, в частности фирма Corning (США), использовали сложившуюся в нашей стране экономическую ситуацию, поставляя на российский рынок своё волокно, имеющее более низкую цену и более высокое качество, чем у отечественного волокна. В условиях массового наплыва импортных материалов были приняты меры по таможенному регулированию. В 1995 г. постановлением Правительства таможенные пошлины на ОК были повышены до 15 %. Это позволило не только сохранить отечественное производство ОК, но и создать предпосылки для расширения производства как на существовавших предприятиях, так и за счёт организации новых. Таким образом, импорт ОК удалось уменьшить и к 2001 г. практически свести к минимуму.

Одновременно с этим таможенные пошлины на ОВ были снижены с 15 до 5 %. Мера вынужденная, но она позволила обеспечить высокое качество ОК при отсутствии производства ОВ в России. Однако, это привело к тому, что в случае форс-мажорных обстоятельств, например, введения эмбарго на поставку ОВ, как это уже было в 80-х годах, производство ОК могло оказаться под угрозой полного прекращения, а строительство волоконно-оптических линий связи было бы парализовано.

Работы по воссозданию производства ОВ начинались неоднократно: в 1991 г. – первая попытка с участием Минатомэнерго, в 2001 г. – ОАО «ЛИСМА», в 2006 г. – с участием Правительства Мордовии, АО «Газпромбанк», Роснано и ОАО «ВНИИКП». Последняя попытка оказалась удачной. Завод по вытяжке ОВ – АО «Оптическое Волокно Системы» уже работает в г. Саранске. Мощность предприятия – до 2,5 млн км ОВ в год. Первая опытная партия российского одномодового ОВ G.652D (согласно рекомендациям МСЭ-Т) была изготовлена в мае 2015 г. на оборудовании, поставленном компанией Nextrom Oy, из заготовки японского партнёра – компании Sumitomo Electric Industries, Ltd.

Возвращаясь к работам ВНИИКП по созданию ОК, следует отметить, что в конце 1980–1990-х гг. разработаны типовые конструкции ОК различного назначения, которые уже более четверти века выпускаются многими отечественными заводами.

Главной проблемой при создании ОК была и остаётся задача обеспечения надёжной работы при воздействии отрицательной температуры и механических нагрузок. Причём требования по стойкости к отрицательной температуре, предъявляемые к зарубежным кабелям, ограничиваются обычно значением минус 40 °С, в то время как отечественные стандарты устанавливают в большинстве случаев требование стойкости к минимальной температуре эксплуатации минус 60 °С. В результате многочисленных теоретических и экспериментальных исследований были определены основные принципы конструирования ОК, позволяющие обеспечить выполнение данной задачи.

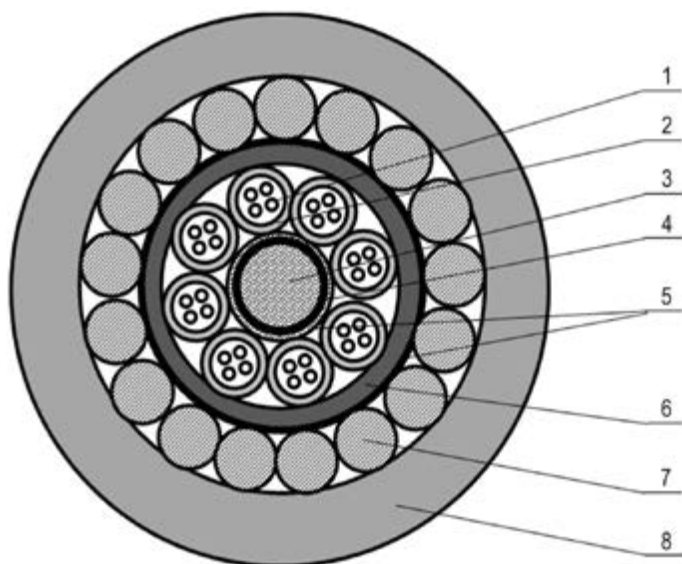
При этом наиболее эффективный способ защиты оптического волокна при растяжении, помимо использования различных упрочняющих элементов, обеспечивается путем расположения его в модуле с запасом избыточной длины (длина волокна на доли процентов больше, чем длина модульной трубки – при растяжении трубка удлиняется, а оптическое волокно не растягивается, а выпрямляется). Скрутка оптических модулей вокруг центрального силового элемента позволяет компенсировать растягивающую нагрузку и уменьшает воздействие изгибов на ОВ при отрицательной температуре. Диаметр модуля также играет существенную роль в обеспечении стойкости к механическим нагрузкам и температуре.

С учётом этих технических приёмов в 2001 г. была завершена разработка полностью диэлектрического оптического кабеля, обладающего универсальным комплексом характеристик, позволяющим прокладывать его в земле, по поверхности земли, через водные преграды, между крышами домов, подвешивать на столбах и деревьях при температурах от минус 60 до 70 °С. Данный кабель успешно применяется в различных волоконно-оптических системах связи.

В первое десятилетие XXI века велась активная работа по созданию кабелей для подвижных объектов морской техники. В этот период созданы судовые кабели с продольной и радиальной герметичностью при гидростатическом давлении 0,5 МПа [2] и 10 МПа, а также комбинированные ОК: кабель морской оптический грузонесущий для соединения гидроакустической антенны с бортовой аппаратурой и передачи сигналов переменного электрического тока с 4 оптическими волокнами и 11 токопроводящими жилами, стойкий к воздействию растягивающей нагрузки 15кН и комбинированный оптический пожаробезопасный кабель для подвижных объектов морской техники с 12 ОВ и 4 токопроводящими жилами [3] – первый в России оптический кабель специального назначения, не распространяющий горение при вертикальной групповой прокладке. В тот же период была проведена уникальная работа по созданию сматываемой волоконно-оптической линии передачи информации систем управления и наведения объектов в условиях воздействия гидростатического давления до 10 МПа. Разработанный для этой линии оптический микрокабель имеет строительную длину до 50 км, диаметр всего 0,9 мм, при этом способен сматываться со специальной катушки (также разработанной в рамках той же НИОКР) со скоростью до 30 м/с (рис. 2). В конструкции микрокабеля отсутствовали упрочняющие элементы. Проблема

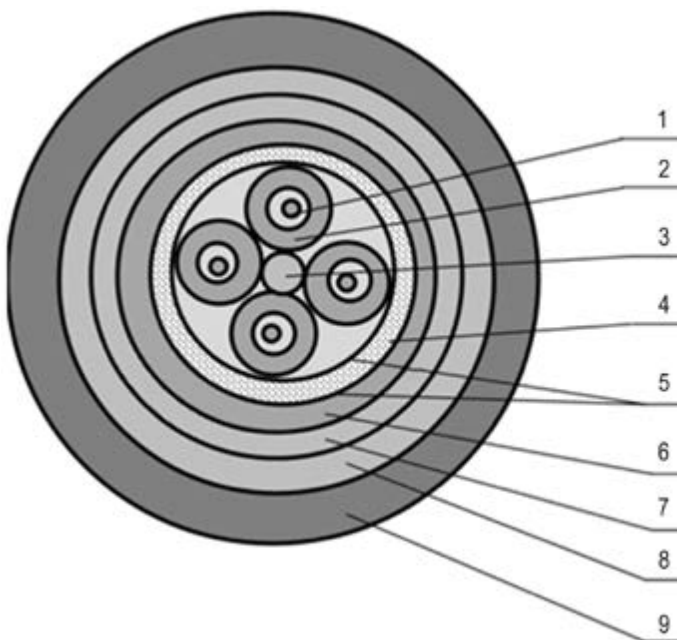


Рис. 2. Безынерционная катушка для высокоскоростной намотки оптического микрокабеля



**Рис. 3.** Кабель оптический пожаробезопасный огнестойкий для АЭС:

- 1 – оптическое волокно;
- 2 – оптический модуль из полимерного материала, не содержащего галогенов;
- 3 – центральный силовой элемент (ЦСЭ) – стеклопластиковый пруток или стальной трос;
- 4 – оболочка ЦСЭ из полимерного материала;
- 5 – водоблокирующие элементы;
- 6 – кремнийорганический наполнитель;
- 7 – броня из стальной проволоки;
- 8 – наружная оболочка из безгалогенной полимерной композиции



**Рис. 4.** Пожаробезопасный огнестойкий и термостойкий ОК:

- 1 – оптическое волокно;
- 2 – модульная трубка из термостойкого полимерного материала, не содержащего галогенов;
- 3 – центральный силовой элемент;
- 4 – арамидные и водоблокирующие нити;
- 5 – водоблокирующая лента;
- 6 – внутренняя оболочка из термостойкого полимерного материала, не содержащего галогенов;
- 7 – бронепокров из стальной гофрированной ленты;
- 8 – внутренняя оболочка из термостойкого полимерного материала, не содержащего галогенов;
- 9 – наружная оболочка из кремнийорганической резины

отсутствия упрочняющих элементов с требуемой строительной длиной, усугубленная миниатюрным диаметром кабеля, была в этом случае решена использованием дополнительных ОВ в качестве упрочняющих, что позволило обеспечить стойкость кабеля к растягивающей нагрузке 50 Н.

На протяжении последних 15 лет ОАО «ВНИИКП» занимается созданием комбинированных электрооптических изделий, в том числе кабелей-тросов, предназначенных для подвижных объектов, в которых содержатся токопроводящие жилы для питания объектов и передачи управляющих сигналов, а также ОВ для передачи информационных сигналов.

ОК могут применяться не только для передачи информационного сигнала. В последнее время их всё чаще используют в качестве распределённого чувствительного элемента в системах температурного мониторинга, системах охраны и пр. Для этих целей могут использовать обычные ОК, при этом основную роль играет оконечное оборудование, которое анализирует возникающее в ОВ рассеяние. Но иногда повышают чувствительность и самого кабеля либо путем использования специальных волокон, либо определёнными конструктивными приёмами. Работы по созданию таких кабелей также проводятся во ВНИИКП в последнее время.

С 2011 по 2014 г. для удовлетворения потребности предприятий атомной промышленности совместно с ЗАО «Торговый Дом ВНИИКП» в инициативном порядке была проведена работа по созданию первых в России кабелей для систем 2 и 3 класса безопасности атомных станций (рис. 3). Разработанные ОК являются сейсмостойкими, не распространяют горение при групповой прокладке (категория А), не имеют в своём составе галогеносодержащих и коррозионно-активных материалов (для чего пришлось подбирать новый материал для оптического модуля, так как традиционно применяемый в ОК полибутилентерефталат не соответствует по показателю рН), обладают огнестойкостью в течение 60 мин. Кабель освоен в серийном производстве и поставляется предприятиям атомной промышленности [4, 5].

И совершенно уникальные по своим характеристикам ОК разработаны в последнее время. На рис. 4 представлен один из таких кабелей. ОК имеют рабочий температурный диапазон от минус 60 до 125 °С, работоспособны при температуре 200 °С в течение 5 часов, сохраняют работоспособность в условиях воздействия пламени в течение 60 минут (рис. 5), не распространяют горение при вертикальной групповой прокладке по категории А (рис. 6, 7), не содержат галогенов, имеют низкое дымо-, газовыделение



**Рис. 5.** Испытания ОК на огнестойкость



**Рис. 6.** Упрочнённый термостойкий огнестойкий ОК (диаметр 16 мм) на завершающей стадии испытаний на нераспространение горения при вертикальной групповой прокладке по категории А (ГОСТ ИЕС). Длина обугленного участка по окончании испытания 40 см

и эффективный показатель токсичности более 40 г/м<sup>3</sup>, стойки к воздействию гидростатического давления 1 МПа, синусоидальной вибрации, агрессивным средам, плесневым грибам и другим внешним факторам [6, 7].

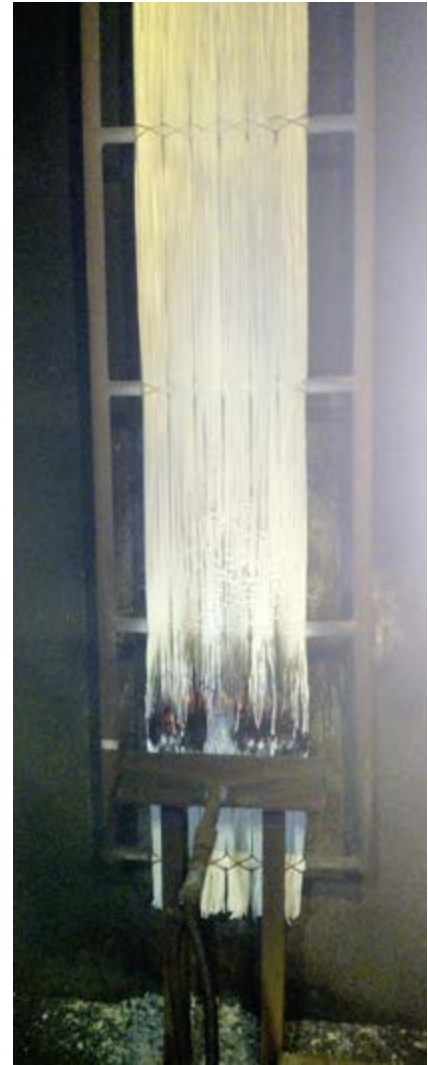
До последнего времени не существовало ни отечественные материалы для оболочек (отечественные – только полиэтилен и поливинилхлоридный пластикат), ни стеклопластиковых прутков, применяющихся в качестве центрального силового элемента ОК, ни гидрофобных заполнителей, ни материала для изготовления оптических модулей. За последние несколько лет при активном участии ОАО «ВНИИКП» были созданы, опробованы в кабелях, испытаны, доработаны и даже в некоторых случаях внедрены в кабельное производство отечествен-

ные кремнийорганические резины, стеклопластиковые прутки, безгалогенные пожаробезопасные композиции и некоторые другие материалы.

Кроме того, тяжёлая ситуация наблюдалась несколько лет назад и с нормативной документацией на оптические кабели. В начальный период развития волоконной оптики в СССР было разработано несколько стандартов на ОК, содержащих терминологию, условные обозначения и некоторые методы измерений. Но с момента распада Советского Союза ОВ и ОК сделали огромный шаг: появилось большое разнообразие волокон, расширился набор их характеристик, были разработаны многочисленные методы испытаний. Все эти изменения находили отражение в международных нормативных документах. А в России продолжали действовать старые стандарты. За последние 10 лет ВНИИКП начал активно исправлять ситуацию. Подготовленными за это время стандартами были охвачены практически все существующие методы испытаний ОВ (издано 22 стандарта), разработаны «Общие технические требования» на оптические кабели специального назначения, и терминологический стандарт, стандарт на методы испытаний ОК специального назначения и «Общие технические условия» на ОК специального назначения для морской техники.

Перспективными направлениями деятельности ВНИИКП является дальнейшая работа по поиску и доработке отечественных материалов для создания ОК, в том числе пожаробезопасных, исследования в области надёжности, в том числе доработка методов оценки надёжности для повышения их достоверности. Важнейшим направлением работы являются исследования по созданию оптических кабелей на основе ОВ, стойких к ионизирующим излучениям, так как их появления с нетерпением ждут предприятия космической отрасли, судостроители (для

использования на подвижных объектах с ядерными энергоустановками), а также предприятия атомной энергетики (для применения в гермозоне).



**Рис. 7.** Миниатюрный термостойкий ОК (диаметр 3,5 мм) на завершающей стадии испытаний на нераспространение горения по категории А (ГОСТ ИЕС 60332-3-22). Длина обугленного участка по окончании испытания 90 см

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технологии и кабельные измерения линий связи. Окна прозрачности оптоволоконка. URL: <http://www.izmer-ls.ru/ot4.html> (дата обращения: 04.09.2017).
2. Овчинникова И.А., Васильев Е.Б., Семенов П.А. и др. Кабель судовой оптический // Патент на полезную модель № 166244 по заявке 2016104094/28 от 09.02.2016, опублик. 20.11.2016. Бюл. № 32.
3. Овчинникова И.А., Шкалова Н.Д., Корякин А.Г. и др. Пожаробезопасный оптический кабель. Патент на полезную модель № 103938 по заявке 2010152745/28 от 23.12.2010, опублик. 27.04.2011. Бюл. № 12.
4. Овчинникова И.А., Васильев Е.Б., Васильев Р.Е. и др. Кабель оптический, не распространяющий горение, огнестойкий // Па-

- тент на полезную модель № 153285 по заявке 2015102207/28 от 26.01.2015, опублик. 10.07.2015. Бюл. № 19.
5. Овчинникова И.А., Васильев Е.Б., Шкалова Н.Д. и др. Кабель оптический монтажный // Патент на полезную модель № 157696 по заявке 2015102206/28 от 26.01.2015, опублик. 10.12.2015. Бюл. № 34.
6. Овчинникова И.А., Васильев Е.Б., Семенов П.А. и др. Огнестойкий пожаробезопасный оптический кабель // Патент на полезную модель № 159036 по заявке 2015135216/28 от 20.08.2015, опублик. 27.01.2016. Бюл. № 3.
7. Овчинникова И.А., Васильев Е.Б., Семенов П.А. и др. Огнестойкий пожаробезопасный упрочнённый оптический кабель // Патент на полезную модель № 161669 по заявке 2015135217/28 от 20.08.2015, опублик. 27.04.2016. Бюл. № 12.