УДК 621.315

ВЛИЯНИЕ АГРЕССИВНЫХ СРЕД НА КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

И.А. Овчинникова, заведующая лабораторией, ОАО «ВНИИКП», к.т.н.; irovchinnikova@rambler.ru

Ключевые слова: *оптическое волокно, агрессивные среды, арамидные среды, надежность ОК, теплохимические, термомеханические характеристики.*

В процессе эксплуатации оптические кабели (ОК) постоянно подвергаются не только механическим и климатическим внешним воздействиям, но и воздействию некоторых агрессивных сред, которые могут оказывать существенное влияние на основные характеристики конструктивных элементов ОК. Последствия этого влияния могут отразиться на надежности оптического кабеля в целом.

Негативное влияние воды на оптическое волокно (ОВ) изучено давно и описано в различной литературе [1—10], поэтому при разработке новых конструкций ОК одна из основных задач — исключение доступа влаги к ОВ. Но влага может представлять угрозу для ОВ не только при прямом контакте с ним, но и путем ухудшения свойств конструктивных элементов кабеля, «ответственных» за защиту волокна от различных воздействий.

В ОАО «ВНИИКП» было проведено исследование влияния воды (морской) на арамидные нити известных марок, применяемые в конструкциях ОК в качестве упрочняющих элементов (Кевлар, Тварон и Русар). После нахождения нитей в воде в течение двух недель значение растягивающей нагрузки, соответствующей 0,5% относительного удлинения. ощутимо снизилось для карбоциклических нитей на основе полипарафенилентерефталамида (нитей марок Кевлар и Тварон), хотя при этом произошло некоторое увеличение значения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве (рис. 1-2) [11]. Для нитей Русар, изготавливаемых на основе гетероциклического парадиамина, парафелиндиамина и терефталоилхлорида [12] изменения характеристик ОВ менее заметны (рис.3). Для надежной работы ОВ важно сохранить его относительное удлинение при эксплуатационных механических воздействиях на минимальном уровне, т.е. на уровне, не превышающем значение 0,3 %. Поэтому незначительное улучшение показателей для нитей при разрыве (при заметном ухудшении зависимости относительного удлинения от растягивающей нагрузки в процессе растяжения) нельзя считать положительным фактором для ОК. К тому же, это явление, скорее всего, является результатом процесса деструкции.

Согласно опубликованным данным, выдержка в воде приводит к снижению и механических свойств стеклопластиков. Например, за 5 лет выдержки в воде снижение предела прочности при растяжении составляет 13%, при сжатии – 15%, при изгибе – 17%, снижение модуля нормальной упругости – 6-10% [13]. Взаимодействие воды со стеклопластиками, как и с многими другими материалами, представляет собой сложную совокупность различных физических и химических процессов, таких как пластификация материала и заполнение его микро- и макропор водой, что (особенно при многократном переходе через 0 °С) снижает физико-механические свойства и обуславливает разрушение материала.

Для выявления воздействия на усиливающие элементы других агрессивных сред было проведено исследование влияния регулярно присутствующих в окружающей среде двуокиси азота, озона и аммиака.

Двуокись (диоксид) азота присутствует в атмосфере практических во всех местах, где могут эксплуатироваться кабели. Средняя концентрация NO_2 принимается равной 6 мкг/м^3, между тем как в крупных городах она увеличивается в 100 раз. Например в Москве средняя концентрация двуокиси азота достигает 100 мкг/м^3 [14]. Двуокись азота в атмосфере появляется в результате окисления окиси азота, которая вырабатывается путем естественных процессов бактериальной денитрификации в почве и поверхностных водах, а также при образовании озона под действием ультрафиолетового солнечного излучения, при электрических разрядах, а также в результате вулканической деятельности и в случае естественных пожаров. Однако основной «вклад» в образование диоксида азота вносит высокотемпературное сжигание топлива – в автомобильных двигателях, в топках ТЭЦ; сжигание твердых бытовых, промышленных и сельскохозяйственных отходов; выбросы химической и металлургической промышленности.

Появление озона в приземной атмосфере тесно связано с образованием окислов азота. В условиях высоких темпе-

ратур и давления в топках предприятий или в автомобильных двигателях из природных компонентов воздуха (азота и кислорода) образуются окислы азота. В процессе крекинга топлива образуются активные радикалы типа CH3 CH2*. Фотохимическое окисление углеводородных радикалов и двуокиси азота под действием солнечных лучей приводит к образованию атомарного кислорода, который вступает в новую фотохимическую реакцию с молекулярным кислородом, в результате чего образуется озон.

В качестве катализатора этой реакции способен выступать изопрен, который в атмосферу активно выделяют растения [15].

Для исследования влияния агрессивных газов на упрочняющие элементы ОК применялся режим ускоренных испытаний на воздействие двуокиси азота, озона и аммиака, который имитировал эксплуатацию в натурных условиях в течение 10 лет. После выдержки нитей марки Тварон (карбоциклические параарамидные нити) в камере с агрессивной средой определяли их разрывное усилие и удлинение при разрыве и сравнивали эти характеристики с подобными показателями «чистых» образцов. Было выявлено, что арамидные нити устойчивы к воздействию аммиака; после воздействия озона их показатели ухудшились почти на 40 %; воздействие же диоксида азота привело к снижению разрывной прочности и относительного удлинения при разрыве на 70 %. При этом после воздействия аммиака и озона видимых изменений образцов отмечено не было, а после изъятия образцов из камеры с NO_2 наблюдалось небольшое изменение цвета.

Известно, что диоксид азота эффективно взаимодействует с различными низкомолекулярными и высокомолекулярными органическими соединениями. NO_2 является свободным радикалом средней реакционной способности, поэтому радикалы двуокиси азота могут инициировать свободнорадикальные реакции путем отрыва атомов водорода от наименее прочных С-Н-связей, либо обратимо присоединяться по двойным С=С-связям. Но с учетом того, что нити из ароматических полиамидов не имеют таких связей, механизм взаимодействия с диоксидом азота должен быть другим. В соответствии с [16], основными радикальными продуктами взаимодействия диоксида азота с полимерами, содержащими амидные группы, являются иминоксильные и ацилалкиламиноксильные радикалы, для образования которых необходимы оксимы и ацилниросоединения, связанные с образованием оксида азота. Поэтому в радикальном инициировании могут участвовать димерные формы – планарный димер $O_2N\text{-}NO_2$ и нитрозилнитрат $ONONO_2$, образование которых наиболее вероятно в атмосфере двуокиси азота. Амидные группы могут индуцировать переход энергетически более устойчивых планарных димеров диоксида азота в нитрозилнитрат. Этот процесс определяет высокую активность к диоксиду азота таких стабильных соединений как ароматические полиамиды.

Еще один эксперимент проводился с образцами стеклопластиковых прутков, имеющих матрицу из полиакрилата, изготовленных по технологии УФ-отверждения, а также стеклопластиковых прутков с эпоксидной матрицей, изготовленных традиционным методом пультрузии. После 20 дней экспозиции в атмосфере диоксида азота с концентрацией (100±25) мг/м^3 при температуре (50±2) °С и относительной влажности (95±3)% (что имитирует эксплуатацию в обычных условиях в течение 20 лет) все стеклопластиковые прутки потемнели, а после 25 дней испытаний началось расслаивание образцов.

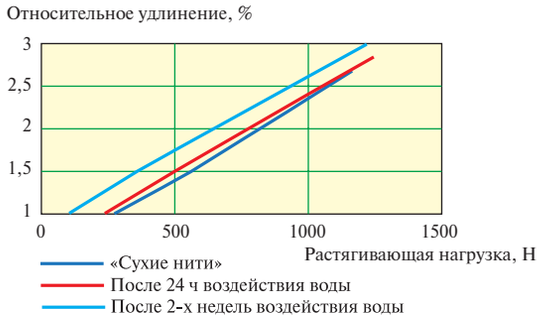

Рис. 1. **Зависимость относительного удлинения от прикладываемой нагрузки для нитей марки Тварон до и после воздействия морской воды**

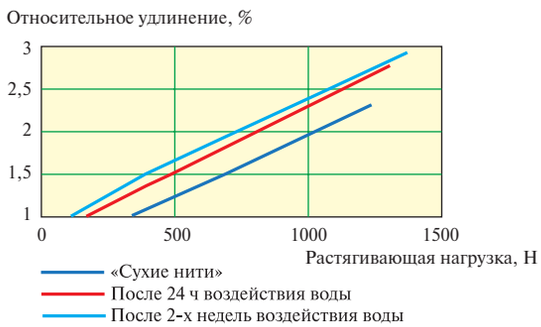

Рис. 2. **Зависимость относительного удлинения от прикладываемой нагрузки для нитей марки Кевлар до и после воздействия морской воды**

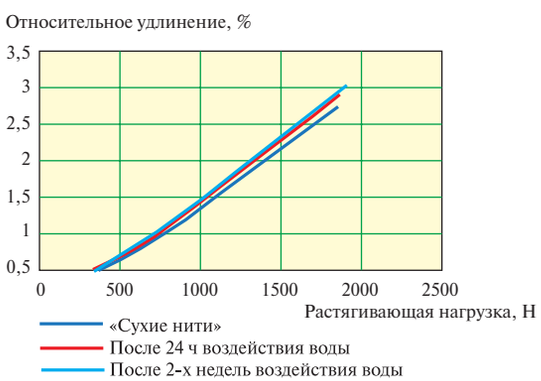

Рис. 3. **Зависимость относительного удлинения от прикладываемой нагрузки для нитей марки Русар до и после воздействия морской воды**

После воздействия озона видимых изменений образцов стеклопластиков не набдюдалось.

Помимо агрессивных сред, воздействующих на ОК извне, существует вероятность негативного влияния на элементы кабельной конструкции внутримодульных и межмодульных гидрофобных заполнителей (ГЗ) и герметизирующих составов. Для исследования влияния ГЗ на механические параметры были проведены испытания арамидных нитей на старение в гидрофобных составах. Зависимость относительного удлинения арамидных нитей Кевлар от приложенной нагрузки определяли до старения в гидрофобном составе в течение 24 часов и после. Испытания на растяжение проводили в соответствии с ГОСТ 6611.2-73 «Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве» и стандартом ASTM D885-98. Результаты испытаний нитей Кевлар 948 представлены на рис. 4

Марка гидрофобного заполнителя	Модуль упругости *E*, ГПа	
	а	*б*
Образцы, не подвергшиеся воздействию ГЗ	131,5 ± 1,1	124,3 ± 1,6
ЛЗК-1	130,4 ± 1,2	123,7 ± 1,2
LUNECTRA OC-393	132,5 ± 0,9	124,1 ± 1,6
LUNECTRA OC-601	131,7 ± 0,7	124,9 ± 0,5
Naptel OP-308	131,4 ± 1,5	124,4 ± 0,7

Полученный график показывает некоторое увеличение относительного удлинения нитей, выдержанных в гидрофобных составах.

При исследовании старения нитей марки Русар в ГЗ образцы жгутов из 14 крученых и некрученых нитей с линейной плотностью 58,8 текс выдерживали при температуре 80°С в течение 24 ч в сосудах с образцами ГЗ разных марок, после чего проводилось измерение механических параметров в нормальных климатических условиях (н.к.у.).

В диапазоне нагрузок 30—40 сН/текс определялся модуль упругости

$$E\,[\text{ГПа}] = E\,[\text{Н/текс}] \cdot \rho\,[\text{г/см}^3],$$

где ρ=1,45 г/см3 – объемная плотность.

Результаты испытаний представлены в таблице в виде средних значений *E*, полученных по пяти измерениям (± стандартное отклонение) до и после воздействия гидрофобных заполнителей (*а* – из крученых нитей; *б* – из некрученых нитей).

Как можно видеть, взаимодействие жгутов Русар с гидрофобными заполнителями разных марок в течение 24 часов при повышенной температуре и бензином не оказало влияния на *E*.

Проведенные исследования также не выявили существенных изменений относительного удлинения при заданных значениях нагрузки и значений разрывной нагрузки арамидных нитей марки Русар после выдержки их в ГЗ в течение месяца в н.к.у.

Для определения механических параметров арамидных нитей в процессе всех описанных выше испытаний концы исследуемых образцов проклеивались клеем ПВА и просушивались. Крепление образцов к машине осуществлялось с помощью тисочных зажимов. Скольжение и повреждение нитей в зажимах во время испытаний исключалось. Длина нагружаемой части образцов составляла 500 мм, а скорость растяжения 50 мм/мин. Усилие предварительного натяжения рассчитывалось по формуле

$$F\text{v}\,[\text{Н}] = 0{,}02\,[\text{Н/текс}] \cdot \lambda\,[\text{текс}],$$

где λ — линейная плотность.

Исследование влияния агрессивных сред на ОВ и некоторые типы ОК (разработанные в ОАО «ВНИИКП») также были проведены путем имитации режима эксплуатации в натурных условиях в течение 10 лет по методике, указанной в комплексе стандартов «Мороз-6» [17]. Было отмечено изменение цвета защитной оболочки ОК из полиамида и покрытия ОВ из полиакрилата после воздействия двуокиси азота. Кроме того, отмечалось снижение механической прочности ОВ (оно ломалось при зачистке). Остальные среды (озон, аммиак) и среды заполнения (гелиево-воздушная и аргоно-воздушная) заметного влияния на внешний вид и оптические параметры ОВ и ОК не оказали.

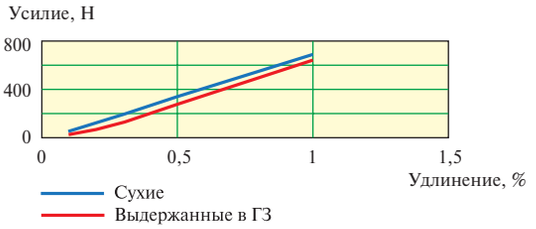

Рис. 4. **Влияние ГЗ на относительное удлинение арамидных нитей от приложенной нагрузки**

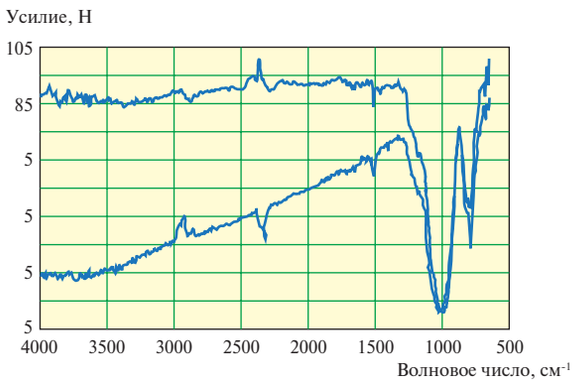

Рис. 5. **ИК-спекторграммы световодов, подвергшихся воздействию диоксида азота (верхняя кривая), и эталонного образца (нижняя кривая)**

Для определения наличия или отсутствия признаков проникновения диоксида азота в материал световода (оптическую оболочку) были проведены сравнительные исследования образцов световодов (оптические волокна были очищены от защитного покрытия), подвергавшихся воздействию двуокиси азота, с «эталонным» образцом. Оценка структурных изменений в образцах световодов проводилась методом ИК-спектроскопии на ИК-Фурье спектрофотометре в диапазоне длин волн 4000...400 см$^{-1}$. Предметом поиска были неорганические соединения азота. Полученные ИК-Фурье-спектры приведены на рис. 5. Из анализа спектрограмм «чистых» образцов ОВ и ОВ, подвергшихся воздействию диоксида азота, следует, что в ИК-спектрах исследуемых образцов ОВ отсутствуют характеристические полосы поглощения неорганических соединений, содержащих азот.

Полученные результаты (изменение цвета покрытия ОВ, сохранение оптических параметров и отсутствие следов соединений азота в материале световода), показывают, что диоксид азота влияет не на волоконный световод непосредственно, а на полимерное покрытие ОВ из полиакрилата, вызывая в нем физико-химические изменения (разрушение химических связей, усадка, микротрещины), вследствие чего возникают неблагоприятные воздействия на световод.

Изучение теплофизических свойств керамизирующейся кремнийорганической резины и термоэластопласта марки Тепогран (использующихся в качестве внешних оболочек испытываемых ОК), подвергшихся воздействию агрессивных сред и не обнаруживших видимых изменений после этих воздействий (исследование проводилось методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрического анализа (ТГА) в соответствии с методиками, изложенными в документах ISO: 11357-1:1997; 11357-2:1999; 11357-3:1999; 11359-1:1999; 11359-3:2002) , показало следующие результаты:

- термоэластопласт практически не изменяет своих свойств после воздействия агрессивных сред (озона, двуокиси азота, аммиака), за исключением амила, однако и при

воздействии амила эти изменения не представляются значительными;

- в кремнийорганической резине после воздействия диоксида азота происходят существенные изменения, в результате чего теплофизические и термомеханические характеристики ухудшаются.

Изложенные факты и полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что при разработке конструкций ОК и прогнозировании их надежности нельзя пренебрегать воздействием на кабель таких факторов как двуокись азота и озон.

При проектировании конструкции ОК необходимо предвидеть контакты упрочняющих элементов с агрессивной окружающей средой, предотвращать их или «закладывать» большее количество упрочняющих элементов (запас, учитывающий существенную потерю их прочностных свойств в процессе эксплуатации), а при выборе наружной оболочки кабеля, прокладываемого в крупных городах, в районе промышленных зон, больших транспортных магистралей и других местах, где есть источники диоксида азота и озона, использовать материал, обладающий стойкостью к указанным средам (ПВХ-пластикаты, полиэфирэфиркетон, термоэлатопласт и другие материалы, стойкость которых к агрессивным средам подтверждена результатами исследований).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бухтиарова Т.В., Дьяченко А.А, Иноземцев В.П., Соколов А.В.** Прочность и долговечность волоконно-оптических световодов// М.: ВИНИТИ, Итоги науки и техники, серия «Связь». — Т. 8. – 1991. – С. 110–169
2. **Богатырев В.А., Бубнов М.М., Вечканов Н.Н. и др.** Влияние воды на прочность волоконных световодов // Квантовая электроника, 1984. – Т. 11. – № 7. – С. 1467–1469.
3. **Michalske T.A., Freiman S.W.** Molecular mechanism for stress corrosion in vitreous silica // J. Amer. Ceramic Soc., 1983. – V. 66. – № 4. – P. 284–288.
4. **Wiederhorn S.M.** Influence of water vapor on crack propagation in soda-lime glass // J. Amer. Ceramic Soc., 1967. — V. 50. — № 8. — P. 407—414.
5. **Пух В.П., Латернер С.А, Ингал В.Н.** Кинетика роста трещин в стекле. — Физика твердого тела, 1970. — Т. 12. — № 4. — С. 1128–1132.
6. **Roach D.H.** Comparison of the liquid-nitrogen strength and the high-stressing-rate strength of glass. — J. Amer. Ceram. Soc., 1986. — V. 69. — № 8. — С. 168—169.
7. **Bogatyrev V.A., Bubnov M.M., Dianov E.M.** High strength hermetically sealed optical fibers // Sov. Tech. Phys. Lett., 1988. — V. 14. – № 5. – P. 343–344.
8. **Берштейн В.А.** Механогидролитические процессы и прочность твердых тел. — Л.: Наука, 1987. — 318 с.
9. **Семенов С.Л.** Физические процессы, определяющие прочность и долговечность волоконных световодов // Диссертация на соискание ученой степени к. ф-м.н., Москва, 1997 г.
10. **Дяченко А.А., Шушпанов О.Е., Соколов А.В.** Гидролитическая модель разрушения кварцевого стекла и световодов // Радиотехника. — 2006. — № 5. – С. 37–49.
11. **Овчинникова И.А., Корякин А.Г.** Влияние внешних факторов на надежность оптических кабелей // «Вестник МЭИ». —2011. — № 3. — С. 52—56.
12. **Михайлин Ю.А.** Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. — СПб.: Профессия, 2006. — 624 с.
13. **Корецкая Л.С.** Атмосферостойкость полимерных материалов. М.: Наука, 1993. — 206 с.
14. **Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В.** Воздух городов и его изменения. URL: http://www.sir35.ru/prognozirovanie-koncentraciie-ozona.html . Дата обращения: 01.05.2011
15. Ежегодник. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2007 год/ Под ред. Безуглой Э.Ю. – СПб: ГУ «ГГО» Росгидромета, 2009. – 196 с.
16. Горение, деструкция и стабилизация полимеров. / Под ред. Заикова Г.Е. — СПб.: Научные основы и технологии, 2008. – 422 с.
17. **Овчинникова И.А, Семенов П.А.** Исследования влияния внешних факторов на элементы конструкции оптических кабелей// Кабели и провода. — 2009. – № 3. – С. 8–9

Получено 26.11.12

ИНФОРМАЦИЯ

РЕШЕНИЯ ДЛЯ БИЗНЕС-ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ОТ FUJITSU

На состоявшейся в Москве пресс-конференции компания Fujitsu в рамках корпоративной инициативы «Новый взгляд на рабочее место» представила решения, предназначенные для корпоративных пользователей.

Производители персональных устройств стремятся предложить бизнес-сегменту максимально адаптированные к современному ритму жизни продукты. Легкость, простота в управлении, надежность – каждый из этих параметров имеет существенное значение, особенно для решений премиум-класса. Обширная линейка устройств Fujitsu оптимизирована для платформы Windows 8. Эти устройства мобильны и имеют улучшенную систему безопасности конфиденциальной информации. Все представленные на конференции продукты уже доступны для российских пользователей.

Среди новых устройств – ноутбук-трансформер Fujitsu LIFEBOOK T902 с экраном 33,8 см (13,3 дюйма). Наличие технологии Intel® vPro и устройства для чтения карт SmartCard гарантирует пользователю безопасную работу. Модульный отсек для продления времени работы от батарей или увеличения дискового пространства обеспечивает максимальное удобство и гибкость, а стандарт 4G/LTE – надежное подключение, что облегчает работу пользователя в деловых поездках.

Мобильные бизнес-пользователи по достоинству оценят преимущества нового решения Fujitsu – планшетного ПК и ноутбука в одном устройстве со встроенной поддержкой сетей 3G/UMTS или 4G/LTE. Мультисенсорный дисплей с диагональю 29,5 см (11,6 дюйма) с антибликовым покрытием, оптимизированный для перьевого и сенсорного ввода, позволяет легко работать даже при ярком дневном свете. Высокая производительность обеспечивается благодаря процессорам Intel® Core™ i3 или i5 3-го поколения с поддержкой технологии Intel® vPro™. Fujitsu STYLISTIC Q702 можно использовать как планшетный ПК в поездках или, присоединив к нему клавиатуру, превратить в обычный ноутбук для более комфортной работы в офисе. Благодаря встроенной в клавиатуру второй батарее он может бесперебойно функционировать в течение всего дня в любом месте без дополнительной подзарядки. Легкий, но прочный корпус из магниевого сплава защищает STYLISTIC Q702 от ударов и царапин.

Гибридный планшетный ПК также поставляется с мощным набором средств безопасности, включая биометрический датчик отпечатка пальца, поддержку Computrace®, защиту жесткого диска и BIOS при помощи пароля, встроенный модуль Trusted Platform Module (TPM), технологию защиты от краж Intel® Anti-Theft.