

И.Б. Пешков, д-р техн. наук, профессор, президент  
Международной Ассоциации «Интеркабель»

# Инновационные материалы в кабельной технике

**Аннотация.** Дано краткое описание ряда новых материалов, которые уже используются при разработке и производстве кабелей и проводов или найдут применение в кабельной технике в ближайшем будущем. К их числу относятся многосердцевинные волоконные световоды, волоконные световоды с воздушной сердцевиной, композиции полиолефинов, не содержащие галогенов, фторполимеры, сшиваемые композиции на основе полиолефинов, полиэфирэфиркетон, термопластичный полиимид, волокна и нити из полиэтилена со сверхвысокой молекулярной массой, новые водоблокирующие материалы, новые смазочно-охлаждающие жидкости. Приводятся некоторые данные по особенностям технологии переработки новых материалов при производстве кабельных изделий.

**Ключевые слова:** многосердцевинные волоконные световоды; волоконные световоды с воздушной сердцевиной; композиции полиолефинов, не содержащие галогенов; фторполимеры; сшиваемые композиции на основе полиолефинов; полиэфирэфиркетон; термопластичный полиимид; волокна из СВМПЭ; водоблокирующие материалы; СОЖ.

**Abstract.** The author gives a brief description of some new materials that have already been used or will find use in the development and production of cable and wire in the nearest future. These include: multicore fiber lightguides, hollow-core fiber lightguides, halogen-free polyolefin compositions, fluoropolymers, polyolefin-based cross-linkable compounds, polyetheretherketone, thermoplastic polyimide, polyethylene fiber and yarn with super-high molecular mass, new waterblocking materials, and new drawing lubricant-coolants. Information concerning specific technologies of cable and wire production is given.

**Key words:** multicore fiber lightguides; hollow-core fiber lightguides; halogen-free polyolefin compositions; fluoropolymers; polyolefin-based cross-linkable compounds; polyetheretherketone; thermoplastic polyimide; polyethylene fiber and yarn with super-high molecular mass; waterblocking materials; drawing lubricant-coolants.

Материал поступил в редакцию 25.08.2015  
E-mail: vniikp@vniikp.ru

На научно-техническом симпозиуме, состоявшемся в рамках 49-го общего собрания Международной Ассоциации (МА) «Интеркабель» 15–20 июня 2015 г. в Вене (Австрия), одной из основных тем были инновационные материалы в кабельной технике.

В докладе директора Научного центра волоконной оптики РАН академика Е.М. Дианова рассмотрено новое поколение волоконных световодов [1]. Как известно, все волоконные световоды можно разделить на световоды телекоммуникационного назначения и специальные. К числу последних относятся световоды активные, поддерживающие поляризацию излучения на больших длинах, световоды для компенсации дисперсии, световоды нелинейные фоточувствительные, световоды со специальными покрытиями, световоды для среднего инфракрасного диапазона, световоды микроструктурированные (фотонно-кристаллические).

Для производства оптических кабелей связи в настоящее время используются стандартные одномодовые волоконные световоды, предельная скорость передачи информации по которым составляет ~ 100 Терабит/сек. Преодолеть этот предел скорости можно только с новым поколением волоконных световодов. К этому поколению

относятся прежде всего многосердцевинные волоконные световоды (рис. 1) [2, 3].

С помощью таких световодов достигается трансокеанский уровень передачи информации с использованием пространственного (SDM) и спектрального (WDM) уплотнения каналов со скоростью 140 Терабит/сек на расстоянии 7326 км, а непосредственно скорость передачи информации на расстояние 52 км может достигать 1,01 Петабит/сек. Другой тип волоконного световода – волоконный световод с воздушной сердцевиной. В настоящее время с помощью такого световода достигнута величина потерь 1,7 дБ/км (рис. 2).

К инновационным решениям в этой области относятся также волоконные световоды, легированные висмутом [4]. Созданы также висмутовые лазеры [5, 6].

С помощью многосердцевинных телекоммуникационных волоконных световодов для протяженных, в том числе трансокеанских (высокоскоростных), систем связи уже в ближайшие годы могут быть проложены кабельные линии связи. Волоконные световоды с воздушной сердцевиной могут найти широкое применение для высокоскоростных протяженных линий связи при условии снижения оптических потерь до уровня ниже оптических потерь волоконных световодов на основе кварцевого стекла (< 0,1 дБ/км).

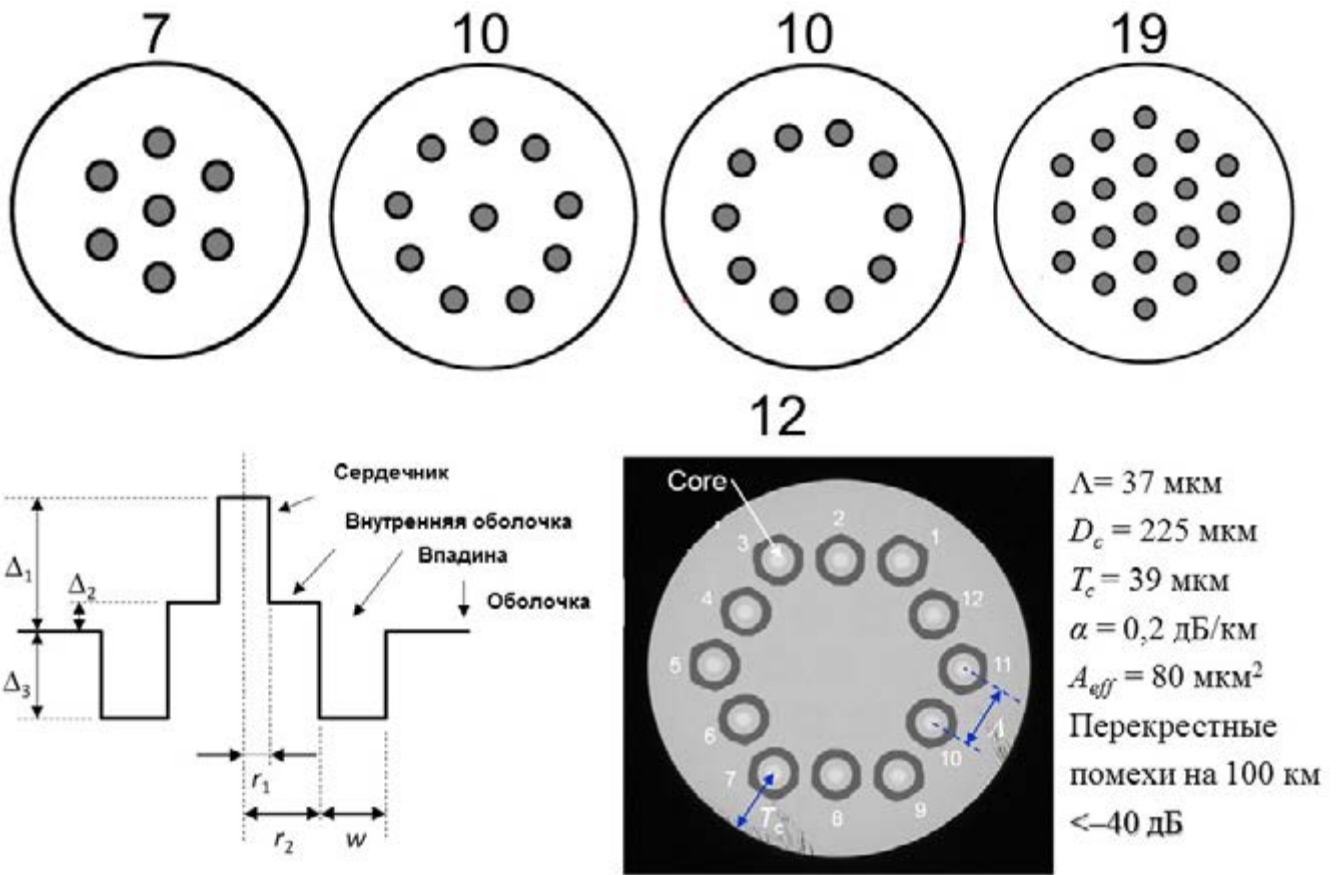


Рис. 1. Многосердцевинные волоконные световоды

Легированные висмутом активные волоконные световоды перспективны для создания эффективных волоконных лазеров и оптических усилителей для спектральных областей 1300–1550 нм и 1600–1700 нм, что позволит использовать эти спектральные области для передачи информации и достичь петабитных скоростей передачи информации.

В рамках научно-технического симпозиума заметное внимание было уделено экструдированным нагревостойким материалам и особенностям технологии их переработки.

В докладе менеджера фирмы Rosendahl Nextrom GmbH (Австрия) [7] Г. Хофера рассмотрены с этой точки зрения инновационные нагревостойкие пластмассы, характеристики которых приведены в табл. 1.

Рассмотрены и другие инновационные пластмассы, а также кремнийорганические резины. В презентации представлены области применения указанных материалов в различных типах кабелей и проводов, а также типовые планировки линий для производства этих типов кабельных

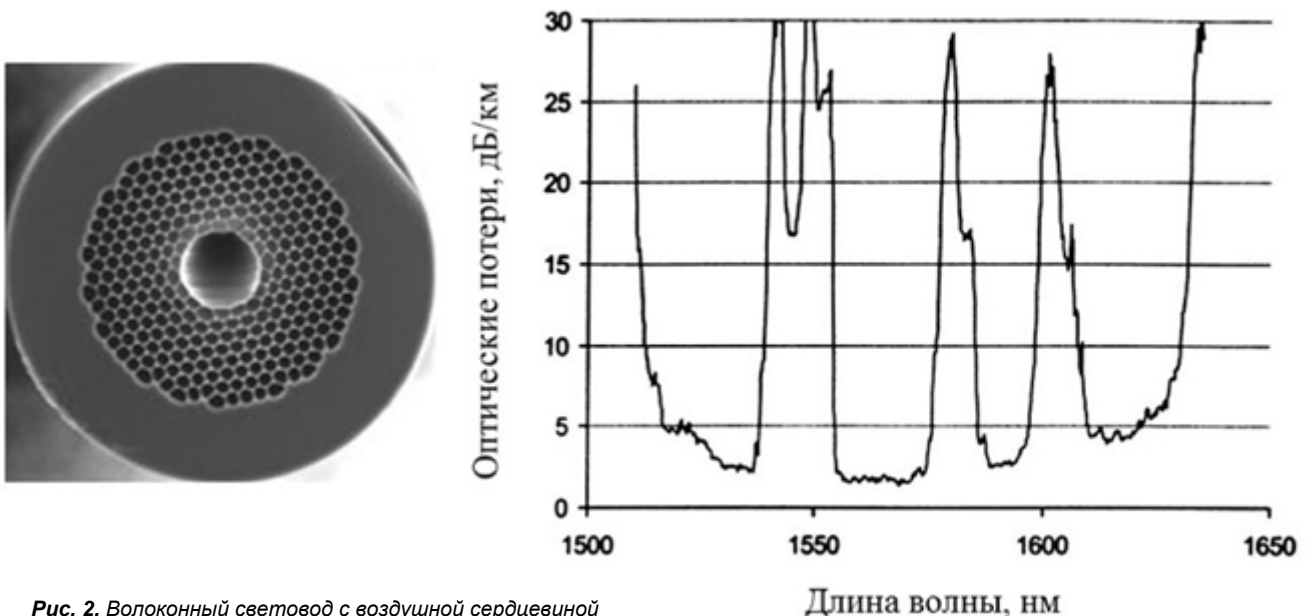


Рис. 2. Волоконный световод с воздушной сердцевиной

**Сравнительные характеристики фторэтиленпропилена (FEP), полиэфирэфиркетона (PEEK) и термопластичного полиимида (TPI)**

Таблица 1

Характеристика	FEP	PEEK	TPI
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2150	1320	1420
Модуль Юнга (E), МПа	586	3600	2000–3000
Предел прочности, МПа	23	90–100	170
Относительно удлинение при разрыве, %	325	50	8–70
Температура стеклования, °С	Аморфный материал	143	250
Температура плавления, °С	280	~343	~388
Кoeffициент теплопроводности, Вт/м·°С	0,24	0,25	0,35
Абсорбция воды за 24 ч, %	< 0,01	< 0,01	< 0,2–2,5
Длительная рабочая температура, °С	205	250	250–320

рассмотрены также в докладе технического директора фирмы Proplast GmbH (Австрия) О.Н. Кузнецовой [9]. Фирма представляет гамму силанольносшиваемых безгалогенных композиций и безгалогенный компаунд на основе сополимера этилена и бутилакрилата, рекомендуемый для производства кабелей, стойких к пониженной температуре. Представляют интерес зависимости предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве, плотности и размеров образцов от длительности пребывания некоторых композиций при

изделий. Одна из инновационных технологий, предлагаемых фирмой, – сшивание с помощью инфракрасного облучения.

В докладе руководителя отдела новых разработок и отдела экструзии фирмы SAMP S.p.A. Sampsistemi Division (Италия) А. Гумины рассмотрен ряд инновационных материалов (композиции полиолефинов, не содержащие галогенов, фторполимеры, поливинилхлоридные пластики повышенной пожаробезопасности) и вытекающие из их характеристик специфические требования к кабельному оборудованию для волочения и экструзии [8]. Так, при переработке композиций полиолефинов, не содержащих галогенов, необходимо обеспечить регулировку температуры расплава в цилиндре и матрице головки экструдера, а также выбирать размеры и форму экструзионного инструмента для того, чтобы получить необходимую скорость сдвига, напряжение сдвига и т.д. Чтобы снизить вероятность разрыва конуса расплава, обусловленную превышением максимально допустимой скорости сдвига, неоднородностью полимера, превышением линейной скорости движения кабельного изделия, превышением требуемой температуры плавления, фирма рекомендует применять специальный экструзионный инструмент со смешанным (меняющимся) обжатием. При экструзии пожаробезопасных композиций, не содержащих галогенов, требуется более мощный электропривод, червяки экструдера с низкой компрессией, специальный профиль червяка для снижения скорости сдвига, правильная форма и размеры экструзионного инструмента, рассекатель с более глубокими каналами, терморегулирование червяка. Следует учитывать, что пожаробезопасные композиции, не содержащие галогенов, экструдированы при низкой частоте вращения червяка, а максимальная температура расплава при переработке зависит от типа присадок.

Для стабилизации и терморегулирования производительности экструдера червяк должен иметь отверстие для подачи воды или масла, расположенное на входе в зону подачи материала, а для стабилизации температуры плавления имеется отверстие для выхода воды или масла в выходной зоне червяка (рис. 3).

Инновационные экструзионные полимерные материалы, не содержащие галогенов, фирмы Condor Compounds GmbH

температурах 100–135 °С.

Менеджер по проектам фирмы Evonik Industries AG (Австрия) У. Канненгизер в своей презентации представил ряд инновационных материалов для кабельной промышленности [10], в линейку которых входит и полиэфирэфиркетон (PEEK). Однако в докладе основное внимание было сосредоточено на материалах, в т.ч. повышенной пожаробезопасности (торговая марка Vestamid), применяемых в качестве оболочек кабельных изделий, в частности, оптических кабелей. Эти материалы на основе полиамидов обладают исключительно высокой механической прочностью. Оболочки кабельных изделий из некоторых материалов типа Vestamid обеспечивают защиту от муравьев и термитов, которые не только прогрызают оболочки кабелей, но и выделяют муравьиную кислоту, разрушающую многие полимерные материалы.

В отечественной практике фирма DSM Desotech bv (Нидерланды) традиционно известна как поставщик покрытий для оптических волокон, отверждаемых с помощью ультрафиолетового облучения. Однако на симпозиуме старший менеджер фирмы по развитию бизнеса Д. Жанетски и менеджер по развитию бизнеса М.А. Кочурихина представили доклад по новому экструзионному термопласту Arnitel [11]. Arnitel представляет собой термопластичный сополимер, молекулярная цепь которого представляет собой чередование твердых и мягких сегментов. Твердый сегмент – полибутилентерефталат, мягкий сегмент – полиэфир, поликарбонат и др. Различные типы термопластов имеют температуру плавления от 160 °С до 221 °С, длительную температуру эксплуатации до 175 °С, обладают высокой стойкостью к истиранию и к усталости при изгибе. В спектре материалов Arnitel имеются композиции повышенной пожаробезопасности, не содержащие галогенов. Экструдированные термоэластопласты Arnitel применяются в кабелях для головных электроламп, в нагревательных кабелях, в автопроводах, в кабелях для электронных приборов.

Интерес вызвала презентация инженеров по технической поддержке фирмы Vogealis AG (Австрия) [12] А. Урбанчика и А. Саитгалеева «Новые достижения в технологии силанольно сшивки полиэтилена», хотя в данном случае речь идет не об инновационных, а традиционных материалах.

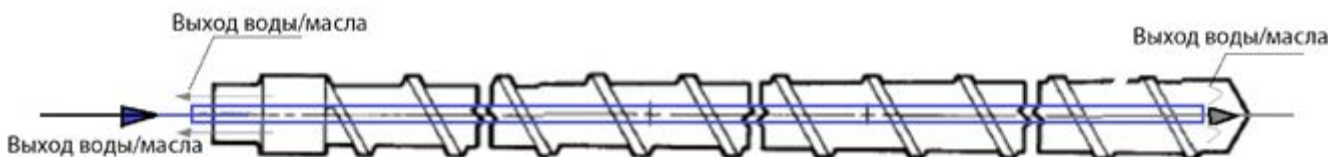


Рис. 3. Схема червяка экструдера с терморегулировкой



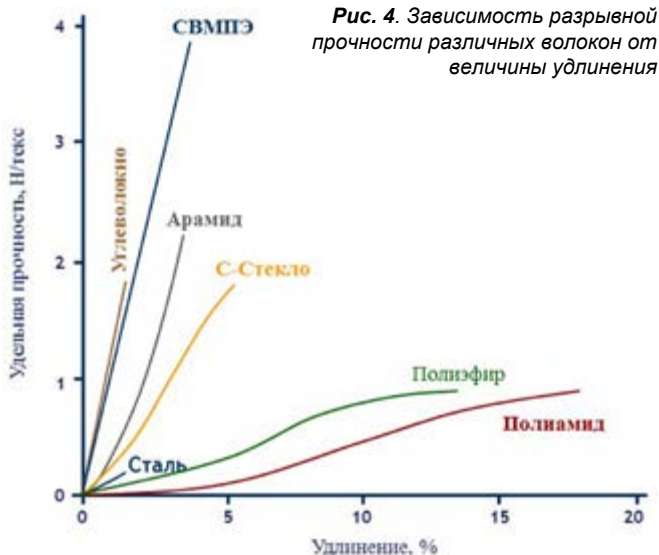


Рис. 4. Зависимость разрывной прочности различных волокон от величины удлинения

В презентации ставится задача – полностью заменить в изоляции силовых кабелей низкого напряжения поливинилхлоридный пластикат силанольно-сшиваемой композицией типа Visico. Приводится технико-экономическое обоснование этого перехода с учетом 40-летнего срока эксплуатации кабелей и реальных токовых нагрузок в процессе эксплуатации. Тем не менее фирмой предлагается и новое поколение инновационных силанольно-сшиваемых полиэтиленов MV Visico, которые могут использоваться для силовых кабелей среднего напряжения. Для изоляции кабелей, которые применяются для соединения солнечных панелей между собой, а также для соединения панелей с сетью, фирмой разработана новая безгалогенная, не распространяющая горение система на базе силанольно-сшиваемой композиции Visico.

Новым инновационным материалом для кабельной промышленности являются также волокна и нити из полиэтилена со сверхвысокой молекулярной массой (СВМПЭ),

представленные в докладе Т. Кида, менеджера по развитию бизнеса фирмы DSM Dyneema DSM Desotech bv (Нидерланды) [13]. Сверхвысокие характеристики волокна из СВМПЭ иллюстрируются рис. 4, на котором показаны зависимости разрывной прочности от величины удлинения для волокон из различных материалов.

В целом ряде конструкций кабелей волокна из СВМПЭ успешно заменяют арамидные волокна. При использовании волокон из СВМПЭ конструкции кабеля в ряде случаев оптимизируются (рис. 5). Волокна из СВМПЭ рекомендуется применять в самонесущих кабелях различных конструкций.

В [9] фирмой Proplast GmbH (Австрия) кроме экструзионных материалов представлены новые волочильные масла и смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) фирмы Vechem Labrication Technology (Германия). В последние годы фирмой были разработаны волочильные масла с низкой вязкостью с синтетическими присадками для повышения смазывающей способности. Эти масла имеют высокую стойкость к окислению за счет наличия в составе специальных восстановителей и ингибиторов. Волочильные масла с низкой вязкостью фильтруются через бумажное полотно. Однако общими недостатками волочильных масел являются возможность образования взрывоопасной воздушно-масляной смеси и загрязнение окружающей среды. По сравнению с волочильными маслами СОЖ имеют такие преимущества как отсутствие опасности взрыва и легкая фильтруемость. Известная торговая марка СОЖ фирмы Vechem – Унопол, но в презентации приводятся характеристики водосмешиваемых СОЖ нового поколения (табл. 2).

Следует отметить, что при применении водосмешиваемых СОЖ наблюдается более высокий износ контактных колец отжигающего устройства. Кроме того, требуется более интенсивный технический сервис.

Новым водоблокирующим материалам для кабельных изделий была посвящена презентация Д. Нетсунски, менеджера по продажам фирмы LANTOR bv (Нидерланды) [14]. Фирма LANTOR предлагает комплекс нетканых материалов, включая производство рулонов, ламинирование и нарезку ленты. Одним из новых водоблокирующих материалов являются вспенивающиеся ленты, применяемые в качестве уплотняющих («подушечных») элементов оптических кабелей. Такие же ленты рекомендуются для применения в подводных кабелях, где они предохраняют изоляцию из сшитого полиэтилена от продавливания бронепроволокой (рис. 6). Кроме того, слой нетканой ленты защищает изоляцию от проникновения битума.

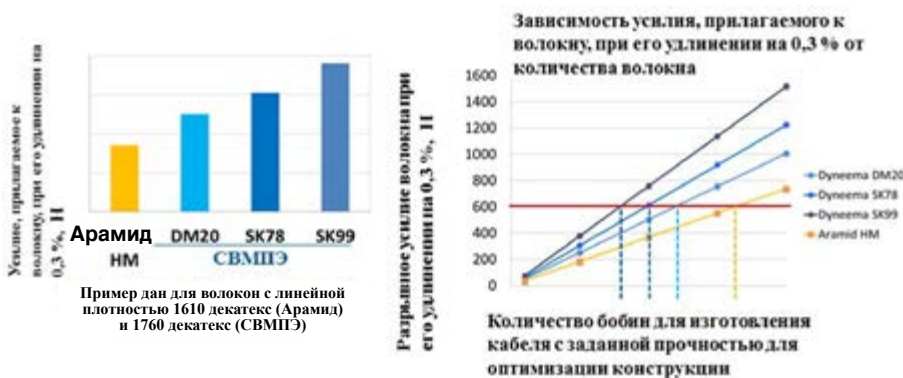


Рис. 5. Сравнительные технологические характеристики волокна из полиэтилена со сверхвысокой молекулярной массой и арамидного волокна

### Характеристики водосмешиваемых СОЖ нового поколения

Таблица 2

Характеристики	Vechem Унопол AI 560	Vechem Унопол AI 570	Стандарты на методы испытаний
Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	0,95–0,98	0,935–0,965	DIN 51757
Кинетическая вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	550–900	150–300	DIN 51562
pH эмульсия в 5%-деионизированной воде при 20 °С	9,2–9,4	9,4–9,6	DIN EN ISO 2592
Электропроводность эмульсии в 5%-деионизированной воде при 20 °С, мкСм/с	350–650	400–700	DIN 51412

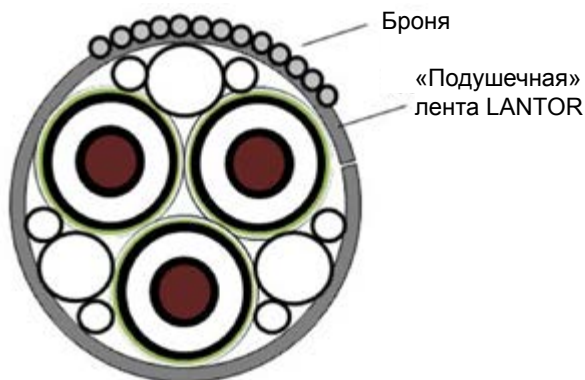


Рис. 6. Конструкция силового подводного кабеля с применением «подушечной» ленты

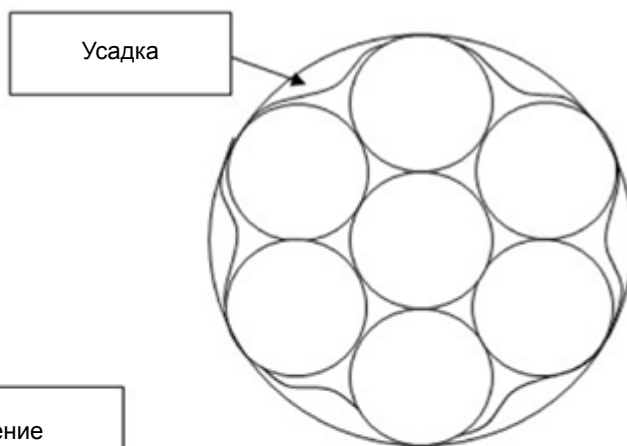


Рис. 7. Применение нетканых лент, препятствующих проскальзыванию

Кроме «подушечных» лент фирма информировала о новых типах непроводящих нетканых лент в любой цветовой кодировке и аналогичных лент, препятствующих проскальзыванию (рис. 7).

Возможность проскальзывания связана с усадкой при экструзии покрытия и скольжением разделительной ленты во

время перемотки или транспортировки кабеля. Для морских кабелей, эксплуатируемых в воде, рекомендуется применение специальных водоблокирующих лент. Такие же ленты рекомендуется применять для водоблокирования кабелей, прокладываемых в местах с повышенной концентрацией солей и минералов (прибрежные районы, солончаки и т.д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дианов Е.М. Новое поколение волоконных световодов // Инновационные материалы в кабельном производстве и технология их переработки: сб. презентаций научно-технического симпозиума МА «Интеркабель». (Вена, Австрия, 15–20 июня 2015 г.). – М., 2015. – С. 50–68.
2. Sh. Matsu et al. (Fujikura Ltd, Hokkaido Univ). Opt. Express, 20, 28398 (2012).
3. B.J. Mangan, T.A. Birks et. al. Low loss (1,7 dB/km) hollow core photonic bandgap fiber, OFC. 2004, PDP 24.
4. V.V. Dvoyzin et al. ECOC. 2005.
5. Васильев С.А., Рыбалтовский А.О., Колташев В.В. и др. Ускоренная диффузия молекулярного водорода в германосиликатных световодах, насыщенных при высоком давлении // Квантовая электроника. – 2005. – Т. 35, № 3. – С. 278.
6. S.V. Virstov et al. Opt. Lett, 39, 6927 (2014).
7. Хоффер Г. Высокотемпературные материалы // Инновационные материалы в кабельном производстве и технология их переработки: сб. презентаций научно-технического симпозиума МА «Интеркабель». (Вена, Австрия, 15–20 июня 2015 г.). – М., 2015. – С. 69–85.
8. Гумина А. Новые материалы: их характеристики и вытекающие из них специфические требования к оборудованию для волочения и экструзии // Инновационные материалы в кабельном производстве и технология их переработки: сб. презентаций научно-технического симпозиума МА «Интеркабель». (Вена, Австрия, 15–20 июня 2015 г.). – М., 2015. – С. 176–201.
9. Кузнецова О.Н. Инновационные смазочные материалы для волочения алюминиевой проволоки. Инновационные экструзионные безгалогенные материалы и технология их переработки // Ин-

- новационные материалы в кабельном производстве и технология их переработки: сб. презентаций научно-технического симпозиума МА «Интеркабель». (Вена, Австрия, 15–20 июня 2015 г.). – М., 2015. – С. 86–113.
10. Канненгизер У. Инновационные материалы для кабельной промышленности // Инновационные материалы в кабельном производстве и технология их переработки: сб. презентаций научно-технического симпозиума МА «Интеркабель». (Вена, Австрия, 15–20 июня 2015 г.). – М., 2015. – С. 133–154.
11. Жанетски Д., Кочурихина М.А. Материалы Arnitel® для использования в кабелях и проводах // Инновационные материалы в кабельном производстве и технология их переработки: сб. презентаций научно-технического симпозиума МА «Интеркабель». (Вена, Австрия, 15–20 июня 2015 г.). – М., 2015. – С. 202–222.
12. Урбанчик А., Саитгалеев А. Новые достижения в технологии силанольной сшивки полиэтилена // Инновационные материалы в кабельном производстве и технология их переработки: сб. презентаций научно-технического симпозиума МА «Интеркабель». (Вена, Австрия, 15–20 июня 2015 г.). – М., 2015. – С. 114–132.
13. Кид Т. Инновационные конструкции кабелей с использованием новых материалов Duneema® // Инновационные материалы в кабельном производстве и технология их переработки: сб. презентаций научно-технического симпозиума МА «Интеркабель». (Вена, Австрия, 15–20 июня 2015 г.). – М., 2015. – С. 223–241.
14. Нетсунски Д. Защита и качество кабелей // Инновационные материалы в кабельном производстве и технология их переработки: сб. презентаций научно-технического симпозиума МА «Интеркабель». (Вена, Австрия, 15–20 июня 2015 г.). – М., 2015. – С. 155–175.