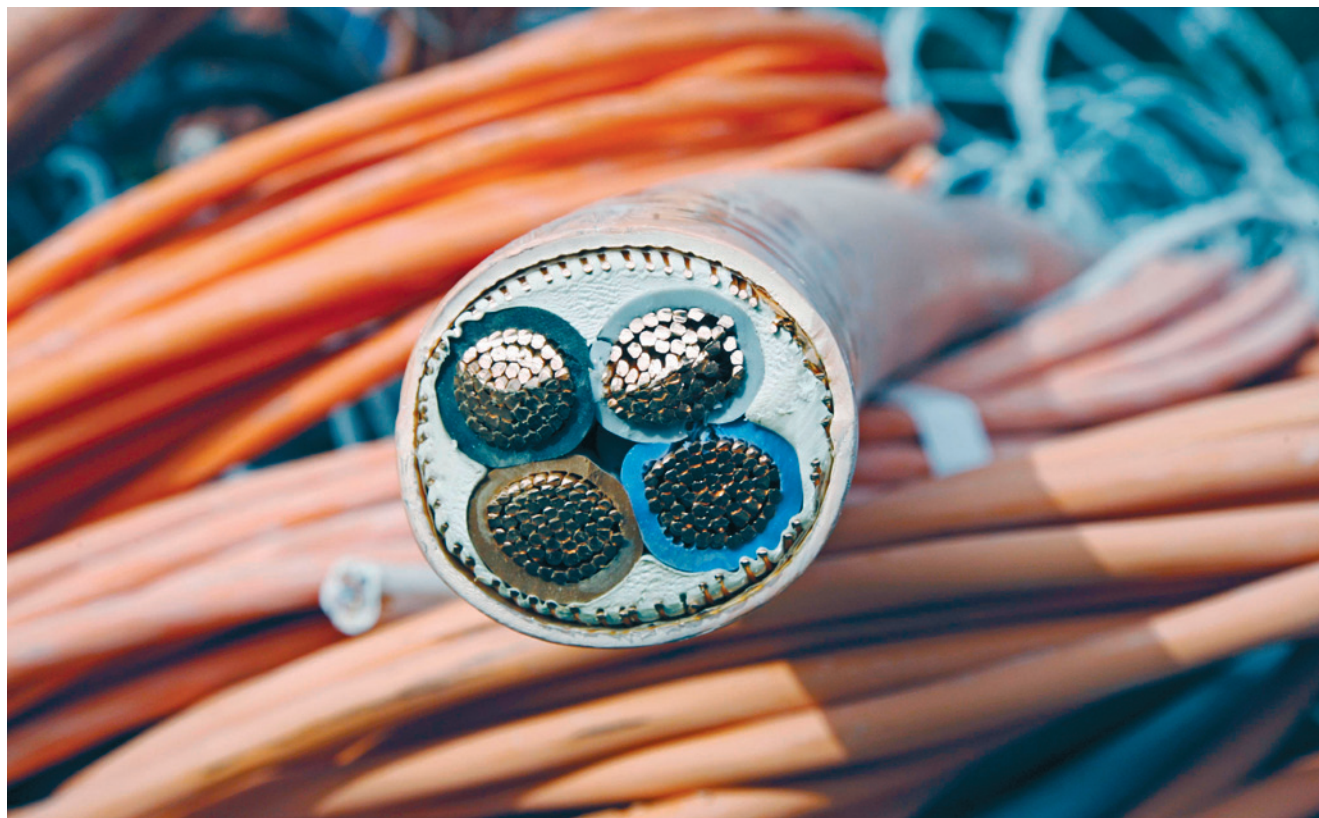




ФОТООТВЕРЖДАЕМЫЕ КРАСКИ – НОВЫЙ ПОДХОД К ЦВЕТОВОЙ КОДИРОВКЕ ВОЛОКОН ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Олег Эдуардович БАБКИН^{1,2}, д.т.н., профессор, **Любовь Анатольевна БАБКИНА**², к.т.н., доцент,
Виктория Валентиновна ИЛЬИНА¹, к.т.н., доцент

¹ Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения

² «S&N Technology», Санкт-Петербург

Авторы описали новый подход к технологии маркирования волокон оптического кабеля. Предлагается использование фотоотверждаемых красок на основе композиций эпоксиакрилатных лаковых систем с колеровочными пастами. Прогнозируемо технология фотоотверждения красящих композиций позволит существенно ускорить процесс получения оптического волокна на финишном этапе его производства.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

Современное общество уже невозможно представить без высокоскоростных коммуникаций: телевидения, Интернета, сотовой и телефонной связи. Общество нуждается в коммуникационных системах, обеспечивающих бесперебойную высокоскоростную связь, и, желательно, при максимальной информационной безопасности, которая пока не на самом высоком уровне.

Цифровизация уже неотвратима, и задача общества предусмотреть технологии, обеспечивающие безопасность как непосредственно передаваемых данных, так и управления интернет-вещами (концепция «умного дома» с управлением по Wi-Fi набирает все большее количество адептов), в конце концов, – личную безопасность своих граждан. Определяющая черта цифровой экономики – отказ от участия каких-либо посредников, санкционированных или не санкционированных, и она должна быть реализована в полной мере. Увы, традиционные линии связи на основе электрических кабелей (ЭК) этого обеспечить не могут. Единственным техническим решением является применение волоконных оптических кабелей (ВОК), объединенных в волоконные оптические линии связи (ВОЛС). Их характеристики по параметрам скорости передачи информации и защищенности от несанкционированного доступа, в том числе электромагнитной помехозащищенности пока считаются непревзойденными [1]. Плюс, ВОЛС характеризуются минимальной потерей сигнала при передаче на большие расстояния (малое затухание), что тем более актуально, если вспомнить, что для России фактор расстояний традиционно является одним из определяющих.

Актуальность прокладки ВОЛС не подвергается сомнению, и монтирование новых сетей на ВОК, а также модернизация старых, на основе ЭК – это сегодняшний день связи. Тем более, что основные этапы строительства линий связи на ВОК и ЭК совпадают. Высокая востребованность ВОК обуславливает развитие рынка их производства. Сейчас он постепенно насыщается отечественным производителем, планомерно вытесняя конкурентов. С начала 2000-х годов в России существенно расширился

список производителей ВОК, что обеспечило покрытие до 90% всех линий ВОЛС продукцией отечественного производства от российских компаний: «Сарансккабель-оптика» и «Оптиковолокonné системы» (Саранск, Мордовия), «Телеком-групп» (Шебекино, Белгородская область), «Самарская оптическая кабельная компания» (Самара), «Эликс-кабель» (Одинцово, Московская область), «Пермский завод по производству оптического кабеля (Инкаб)» (Пермский край), «НПП “Спецкабель”» (Москва), «Кабельный завод “Полимет”» (Сальск Ростовской области) и др. [2].

СПЕЦИФИКА КОНСТРУКЦИИ

Конструкции ВОК весьма разнообразны, но основаны на нескольких обязательных элементах: непосредственно оптическое волокно (ОВ – оптический световод с комплексом оболочек), усиливающие элементы (часто – стальные или кевларовые нити) и оболочки кабеля – буферная и внешняя [1]. Варьирование конструктивных особенностей ВОК в основном определено технологиями строительства, монтажа и эксплуатации ВОЛС: принципиальным моментом при прокладке ВОК является создание минимально напряженных условий для ВОК, для которых характерна все-таки относительно малая стойкость к растягивающим и сдавливающим усилиям, а также небольшие поперечные размеры и масса в сравнении с длиной прокладки. Соответственно, рассматриваются конструкции ВОК для прокладки в телефонной канализации, прокладки в зданиях (в трубной разводке, под фальшполом или за фальшпотолком, в желобах), при воздушной подвеске кабеля и др. Например, кабели для задувания в трубы имеют самую простую конструкцию, в которой отсутствуют дополнительные защитные элементы, кроме оболочки на сердечнике с ОВ. Кабели, используемые при прокладке в канализацию, уже имеют дополнительную защиту – сальную ленту или стальные проволоки (для защиты от грызунов). Кабели для прокладки в грунт могут иметь в конструкции двойной провив силовых элементов (например, стальной проволоки и стеклопластикового прута). Если условия прокладки требуют обеспечение диэлектрики, в конструкцию вводят

Таблица 1. Цветовая кодировка оптического волокна

Число волокон в модуле				
24	16	12	8	4
синий	синий	синий	синий	синий
оранжевый	оранжевый	оранжевый	оранжевый	оранжевый
зеленый	зеленый	зеленый	зеленый	зеленый
коричневый	коричневый	коричневый	коричневый	коричневый
серый	серый	серый	серый	
белый	белый	белый	белый	
красный	красный	красный	красный	
черный	черный	черный	черный	
желтый	желтый	желтый		
фиолетовый	фиолетовый	фиолетовый		
розовый	розовый	розовый		
бирюзовый	бирюзовый	бирюзовый		
синий с черным кольцом	синий с черным кольцом			
оранжевый с черным кольцом	оранжевый с черным кольцом			
зеленый с черным кольцом	зеленый с черным кольцом			
коричневый с черным кольцом	коричневый с черным кольцом			
серый с черным кольцом				
белый с черным кольцом				
красный с черным кольцом				
натуральный				
желтый с черным кольцом				
фиолетовый с черным кольцом				
розовый с черным кольцом				
бирюзовый с черным кольцом				

дополнительные элементы, например, используют стеклонити, наложенные поверх сердечника и промежуточной оболочки кабеля [3].

МАРКИРОВКА ВОК

Однако, неотъемлемой частью любых конструкций является ОВ, несущее на себе основную функцию передачи информации. Поскольку в ВОК может быть уложено до нескольких оптических модулей с сотнями ОВ, важным этапом производства, обеспечивающим впоследствии удобство монтажа, является цветовая маркировка волокон (табл.1). Сейчас наиболее распространена 12-цветная маркировка, однако возможны и другие варианты. До сих пор под требования заказчика выпускают кабели из 4 и 8 волокон в модуле, и соответственно, в этих случаях используют 4-х или 8-цветную

маркировку. Все чаще заказчики требуют ВОК с 16 или 24 волокнами в модуле, тогда используют кодировку на базе 12 основных цветов с дополнительным элементом кодирования «черное кольцо». Как известно, количество волокон будет определять пропускную способность кабеля, которая, с учетом перспектив развития местных линий связи, может многократно возрасти. Соответственно, 24 волокна – далеко не предел, и ввод дополнительных элементов кодирования лишь вопрос времени. Цвета соответствия каталогу RAL по стандарту IEC 304 МЭК приведены в таблице 2.

Цветовое кодирование ОВ обусловлено, безусловно, в первую очередь, необходимостью облегчения монтажа, в том числе в случае необходимости сращивания кабелей. Но не стоит забывать, что красочный слой может нести дополнительную функ-

Таблица 2. Цвета маркирования ОВ по стандарту IEC 304 МЭК

Цвет	Цвет по каталогу RAL
синий	RAL 5015
оранжевый	RAL 2003
зеленый	RAL 6018
коричневый	RAL 8003
серый	RAL 7000
белый	RAL 1013
красный	RAL 3000
черный	RAL 9005
желтый	RAL 1021
фиолетовый	RAL 4005
розовый	RAL 3015
бирюзовый	RAL 6017

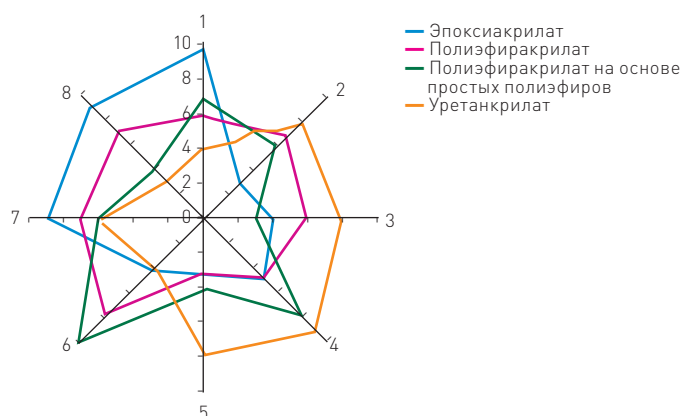
цию. Например, дать дополнительную защиту волокна от гидролиза. Возможен также дополнительный эффект улучшенного скольжения в оптическом модуле. Наиболее значимая дополнительная функция – усиление эффекта полного внутреннего отражения на границе «световод/оболочка», что способствует уменьшению потерь мощности при передаче сигнала. Немаловажным вопросом является влияние этого дополнительного покрытия на конечные характеристики ОВ.

Обычно ОВ поставляют в виде прозрачной нити, смотанной в катушки, и цветовая кодировка проводится позже. Особенность технологии нанесения фотоотверждаемой краски на ОВ заключается в том, что красочный слой в этом случае полностью формируется в течение нескольких секунд, что позволяет реализовывать высокоскоростной процесс. Отверждение проводится под воздействием УФ-источника излучения в атмосфере азота, это способствует структурированию красочного слоя и получением качественного сплошного цветового покрытия (при толщине ~ 4-6 мкм).

Контроль процесса отверждения красочного слоя в условиях реального производства обычно проводят субъективным не инструментальным методом «wipe-test». Метод достаточно эффективный и дает качественную оценку стадии готовности маркированного ОВ к скрутке в катушки. Метод достаточно прост: используют чистую белую батиловую ткань, которую смачивают растворителем (метилэтилкетон, ацетон) и, далее, удерживая ткань большим и указательным пальцами, многократно, с усилием, протирают окрашенное волокно. Критерием оценки является окрашивание протирочной ткани смываемой (или не-

Рисунок 1 – Диаграмма свойств промышленных олигомеров и фотоотверждаемых покрытий на их базе, где:

- 1 – твердость пленки покрытия, 2 – эластичность пленки, 3 – прочность пленки на истирание, 4 – абразивная устойчивость пленки, 5 – адгезия, 6 – вязкость композиции, 7 – химическая стойкость пленки, 8 – реактивность композиции.



смываемой) с волокна краской. Полностью отвержденный красочный слой не должен приводить к окрашиванию протирочной ткани.

СОСТАВЫ ДЛЯ КОДИРОВКИ

Безусловно, приоритетной технологической задачей является получение фотоотверждаемой краски с минимальным временем отверждения. Желательно использование для цветового кодирования ОВ красок, образующих несмываемое покрытие в течение 1-2 секунд, что обеспечивает высокую производительность линии производства ОВ (до 3000 м/мин). Время отверждения зависит от рецептуры красочных композиций и характеристик используемого оборудования (УФ-источников излучения).

Таблица 3. Характеристики фотоотверждаемой краски «S&N TechnoUV OF Ink 540» для ОВ (ТУ 2313-010-27445233-2016)

Наименование показателя	Значение по НТД
Внешний вид пленки краски	Равномерное покрытие без механических включений
Твердость пленки по ТМЛ-2124, метод А, у.е., не менее	0,4
Динамическая вязкость, мПа·с Brookfield RVDV-E, sp 04/50 rpm при 25°C	1000 – 4000
Динамическая вязкость, мПа·с Brookfield RVDV-E, sp 04/50 rpm при 35°C	1000 – 4000
Время отверждения (с) при толщине покрытия ≤ 5 мкм, не более (ртутная лампа высокого давления с интенсивностью излучения мВт/см²: HA=43-62; HB=40-52; HC=6-9,2; HV=33-45)	2,0
Плотность при 20°C, г/см³	1,0 – 1,2
Стойкость к растворителю (ацетон)	не оставляет след на ткани при протирке волокна после нанесения и отверждения красочного слоя



© www.brady.ru

Что касается рецептур, то при их разработке надо учитывать ряд технологических вопросов, в том числе обеспечение высокой реактивности композиции, получение композиций промышленной вязкости, создание стабильных композиций с колеровочными пастами, поскольку для красок важна также получаемая цветовая палитра красочного слоя.

Красочность фотоотверждаемым системам придают пигменты, которые могут вводиться в базовый лак как непосредственно в виде твердого микрокристаллического пигмента, так и в виде заранее приготовленных колеровочных паст. Пигментирование фотополимеризующихся систем – отдельная технологическая задача, поскольку в данном случае пигменты перестают играть роль инертного наполнителя, и могут участвовать в процессе полимеризации, ингибируя скорость отверждения. Ранее проведенные исследования [4-6] позволили получить пигментированные УФ-отверждаемые эмали по каталогу RAL, но там не стояла приоритетом задача высокой реактивности композиции. Предлагаемый вариант составления рецептур базируется

на использовании эпоксиакрилатных лаковых систем с колеровочными пастами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для получения базовых лаковых фотоотверждаемых композиций, которые впоследствии пигментировали колеровочными пастами, использовали принцип традиционных рецептур фотополимеризующихся систем [7]. Композиция включала олигомер, активный разбавитель, смесь фотоинициаторов, технологические добавки (диспергатор, смачиватель, пеногаситель). В качестве базового олигомера рецептуры использовали эпоксиакрилат, характеристики которого позволяют создавать композиции с высокой скоростью отверждения, а покрытия из них характеризуются достаточной химической стойкостью и твердостью в сравнении с другими промышленными олигомерами, имеющими сопоставимые молекулярные массы (ММ ~ 600-650 у.е.) и функциональность ($f = 2$) (рис.1).

Полученные экспериментальные партии фотоотверждаемых красок получали в реакторе с якорной мешалкой, с использованием базовой композиции эпоксиакри-

Таблица 4. Цвета кодировки фотоотверждаемой краской «S&H TechnoUV OF Ink 540» для ОБ (ТУ 2313-010-27445233-2016)

Код	Цвет краски	Цвета кодировки		
		L	a	b
OF 540-1	синий	33,1–46,1	-13,3–3,9	-40,5–30,3
OF 540-2	оранжевый	48,8–60,8	35,7–48,2	26,3–38,3
OF 540-3	зеленый	48,2–57,9	-48,5–34,8	14,0–28,9
OF 540-4	коричневый	27,9–41,0	-0,7–10,5	-2,8–9,8
OF 540-5	серый	47,9–60,8	-4,1–0,1	-7,2–3,0
OF 540-6	белый	87,6–98,4	-3,5–0,5	-2,5–2,6
OF 540-7	красный	37,4–49,1	35,9–53,9	8,0–21,7
OF 540-8	черный	22,5–30,3	-1,5–1,8	-2,9–2,1
OF 540-9	желтый	72,7–83,6	-0,2–15,8	57,8–73,9
OF 540-10	фиолетовый	50,0–60,5	12,2–20,7	-40,8–24,8
OF 540-11	розовый	64,0–75,3	23,3–34,9	3,1–12,1
OF 540-12	бирюзовый	59,4–68,4	-33,4–22,8	-27,9–15,4

латного лака с введением в него 10 мас.% колеровочных паст в соответствии с цветовой кодировкой. Контроль вязкости красок проводили при помощи ротационного вискозиметра Brookfield RVDV-E в соответствии с ГОСТ 1929-87. Отверждение красок проводили на установке ОРК-21М с ртутной лампой ДРТ-400. Интенсивность излучения контролировали УФ-фотометром UV Power Puck II в областях UV-A, UV-B, UV-C и UV-V.

Как уже было сказано выше, важным параметром для цветового кодирования ОБ является высокая реактивность фотоотверждаемых красок, поскольку процесс их нанесения на ОБ осуществляется на высокой скорости. С учетом, что скорость

формирования готового покрытия зависит от многих факторов: рецептуры композиции, толщины наносимого слоя покрытия, источника излучения, были проведены исследования по подбору фотоинициирующей смеси и выбору соотношений в смеси «олигомер: активный разбавитель: колеровочная паста» с позиций вязкости композиций и полноты воспроизведения цвета при формировании красочного слоя.

С соблюдением условия необходимой скорости отверждения слоя ≤ 2 сек., были разработаны рецептуры и начато производство на базе «S&H Technology» (СПб) УФ-отверждаемых красок для цветовой кодировки ОБ (табл.3,4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Выболдин Ю. К., Кривошейкин А. В., Нурмухамедов Л. Х. Методы обработки сигналов в системах передачи дискретной информации // СПб.: СПбГИКиТ, 2015. 320 с.
2. Российские производители оптических кабелей // URL: <https://fabricators.ru/produkt/opticheskie-kabelya>
3. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы / под. ред. Дмитриева С.А., Слепова Н.Н. // М.: Волоконно-оптическая техника, 2005. 576 с.
4. Бабкин О. Э., Бабкина Л. А., Айкашева О. С., Ильина В. В. Фотополимерные покрытия оптоволоконных кабелей // Химические волокна. 2018. № 6. С. 14–16.
5. Максимова М. А., Бабкин О. Э., Бабкина Л. А. Влияние размеров и формы частиц пигментов на реактивность УФ-композиций // Лакокрасочные материалы и их применение. 2013. № 4. С. 44–46.
6. Бабкин О. Э., Максимова М. А., Бабкина Л. А., Есеновский А. Г., Проскуряков С. В. Рецептурные особенности эмалей УФ-отверждения // Лакокрасочные материалы и их применение. 2012. № 6. С. 56–59.
7. Бабкин О. Э., Бабкина Л. А., Айкашева О. С., Ильина В. В. Принципы составления рецептур, определяющих свойства фотополимерных покрытий и изделий // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2019. № 48 (74). С. 63–67.