

Современные тенденции развития кабельного производства

Юрий СВЕТИКОВ,
к. т. н.
yuri_welcome_you@mail.ru

Кабели и провода применяются для транспортировки информационных сигналов и /или электрической энергии. И спрос на них растет год от года: необходимо прокладывать новые кабельные линии, реконструировать или заменять старые тракты согласно регламенту их эксплуатации, ликвидировать последствия таких форс-мажорных факторов, как аварии, войны, природные явления — землетрясения, наводнения, обледенение, а также вибрация, избыточные ветровые нагрузки, коррозия и т. п.

В мире за последнее десятилетие произошло 2730 природных катастроф (35% — наводнения, 29% — ураганы) [1].

Доходы и прибыль компаний — производителей кабелей — растут. Так, в соответствии с отчетом британской компании Integer Research, доходы примерно 60 самых крупных производителей выросли с \$47,4 млрд в 2004 году до более чем \$56,4 млрд в 2005 году. Суммарный доход от продаж (общие поступления) в кабельной промышленности составил примерно \$82 млрд в 2004 году и \$97 млрд в 2005 году. В отчете отмечается, что значительная часть глобального роста связана с расширением китайского кабельного рынка [2].

Увеличение цены на медь на 60% в 2006 г. (для сравнения, в ноябре 2001 года она была равна \$1400 за тонну, а сейчас примерно в 5 раз выше) также означает, что уровень доходов кабельной промышленности, по всей вероятности, превзойдет \$120 млрд [3].

Успех производителя кабельной продукции на рынке определяется следующими характеристиками: отношение цена/качество, соответствие требованиям современных и перспективных сфер применения и, как минимум, требованиям эксплуатации, закрепленным, в том числе, в национальных и международных стандартах. В целом же, спрос на кабельные изделия определяется характером и темпами развития отраслей, являющихся их потребителями.

Стандартный срок службы кабелей (время, в течение которого гарантируются их рабочие характеристики) — 25 лет. Затем возникает вопрос о замене кабелей и проводов на изделия новых поколений. Требования к последним, как правило, более жесткие и, кроме прочего, определяются характеристиками новых поколений оборудования, совместно с которым используется кабельная продукция.

Коммуникационные кабели

Электрические и оптические кабели

Одним из важнейших сегментов кабельного рынка являются коммуникационные кабели, то есть те, что предназначены для передачи информационных сигналов.

В прошлом использовались простейшие двухпроводные телеграфные и телефонные медные проводные линии связи, сейчас, в условиях современной глобальной телекоммуникационной сети, основные информационные потоки транспортируются в цифровом формате по оптическим кабелям связи, функциональной основой конструкции которых является оптическое волокно.

По мере развития средств телефонной связи пары медных проводов превратились в витые экранированные пары. Причем количество пар в кабелях связи доходило до 10 тысяч. Когда на смену аналоговой технике пришла цифровая, потребовались кабели, где по физической паре можно было организовать передачу до 10 000 телефонных каналов. Но затухание сигнала в таких кабелях было большим, а ширина рабочей полосы частот недостаточной. Как следствие, возникали проблемы при создании и эксплуатации линий связи и современных сетей связи, решение которых выходило за рамки экономической целесообразности.

Помимо использования кабелей в сетях связи они применяются в самых разнообразных приложениях для передачи электрических сигналов по медным проводникам — от бытовой техники до сложных промышленных систем.

Номенклатура предлагаемых на рынке кабелей для передачи электрических сигналов обширна. При этом трудно ожидать существенного прогресса в улучшении таких характеристик, как затухание и рабочая полоса

частот. Основные работы ведутся в направлении улучшения эксплуатационных свойств кабелей. Ожидать существенных изменений в конструкциях кабелей для передачи электрических сигналов нет оснований. Такое заключение подтверждается тем, что патенты, выдаваемые на новые решения, в основном связаны с использованием новейших материалов для элементов изоляции в кабелях и для изготовления их оболочек, что позволяет снижать горючесть кабелей; уменьшать выделение при горении токсических и коррозионно-активных веществ, а также количество дыма при горении; улучшать механические характеристики кабелей и т. п. Тем не менее, в будущем спрос на кабели в традиционном исполнении на рынке гарантирован, хотя во многих областях применения электрические кабели будут постепенно заменяться оптическими.

Телекоммуникационная техника развивалась, так как требовалось все больше широкополосных и экономически приемлемых трактов передачи для перехода от предоставления абоненту возможностей только телефонной связи к предоставлению всего воображаемого спектра информационно-коммуникационных услуг — вплоть до видеотелеконференций и «видео на заказ». Параллельно этому в мире развернулись работы по созданию не электрического тракта передачи — оптических волокон, которые, как показывала теория, могли обладать требуемой рабочей полосой частот при небольшом погонном затухании.

Такие волокна были созданы в компании Corning Glass (США) более 30 лет назад. В настоящее время многие компании в мире производят оптические кабели, пригодные для использования в качестве тракта передачи как в коротких линиях, так и в линиях дальней связи — вплоть до глобальных со скоростями передачи в сотни Гбит/с (при скорости передачи 10 Гбит/с по паре волокон можно пе-

редать сигнал, соответствующий примерно 30 000 телефонных каналов).

После того как затухание в оптических кабелях было снижено до величины порядка 0,3–0,2 дБ/км (что близко к физическому пределу), во всем мире начался бум по их внедрению в национальные сети связи. Были созданы и сверхпротяженные оптические линии связи, как в национальных масштабах, так и международные наземные и подводные линии, соединившие страны и континенты: Америку и Европу, Европу и Африку, Европу и Индию, Японию, Австралию. В 2005 году общая протяженность оптического волокна, уложенного в оптических кабелях во всем мире, превысила полмиллиарда километров. Только одна компания Alcatel к 2004 году проложила более 450 000 км подводных оптических кабелей, соединяющие все континенты [4].

Современные волокна и новые оптические технологии позволяют, в принципе, достигать эквивалентных скоростей передачи в десятки Тбит/с [5].

Когда были удовлетворены основные потребности в развитии линий дальней связи, спрос на оптические кабели, особенно для международных проектов, резко упал (2002–2004 гг.). Спрос же на оптические кабели для протяженных линий передачи был и будет большим, но со временем ситуация может измениться.

Техника передачи сигналов в оптическом диапазоне предоставляет широкие и разнообразные возможности для совершенствования известных и создания новых систем передачи, обеспечивающих новый уровень телекоммуникационного сервиса. Для их реализации потребовались оптические волокна и кабели с новыми специфическими характеристиками (уменьшенной дисперсией, возможностью работать в широком спектральном диапазоне и др.). Такие волокна и, соответственно, оптические кабели были созданы и предлагаются на рынке.

В настоящее время исследователями разных стран ведутся поиски решения проблем при разработке так называемых фотонно-кристаллических волокон [6, 7].

Однако, по мнению Д. Пэйна, эти волокна мало перспективны в качестве передающей среды, во-первых, в силу экономических причин, а во-вторых, они не позволяют существенно снизить потери [8].

Окончательные выводы относительно будущего этого направления исследований делать преждевременно.

Расширение номенклатуры и объемов услуг широкополосной связи характерно для развития телекоммуникационного сервиса в мире и в значительной степени определяется факторами экономического развития, в частности — в США, Японии, Китае, европейских странах. При этом стимулируется и рынок оптических кабелей.

Одновременно с ослаблением спроса на оптические кабели для протяженных линий пе-

редачи возрастает потребность в оптических кабелях связи для сетей доступа. Это обстоятельство связано с тем, что активно разрабатываются и внедряются новые цифровые технологии широкополосного доступа, которые позволяют предоставлять абоненту постоянно расширяющийся спектр всевозможных однонаправленных и интерактивных услуг [9].

Согласно отчету американской компании KMI Research только европейский рынок оптических кабелей для сетей доступа вырастет с \$950 млн в 2005 г. до \$7,05 млрд в 2010 г. при среднегодовых темпах роста 49% [10]. В этом отчете указывается, что общая протяженность оптических кабелей, которые будут проложены в европейских сетях широкополосного доступа за период с 2005-го по 2010 год достигнет 37,3 млн километров в одноволоконном «исчислении». Эта величина превышает общую длину проложенного в Европе волокна, включая внутригородские и международные сети, после упадка телекоммуникационного рынка в 2001–2005 гг.

По прогнозу KMI Research на следующие три года, общая длина проложенных оптических кабелей превзойдет максимальный уровень 2001 года, после которого начался спад на мировом телекоммуникационном и волоконно-оптическом рынках. Предполагается, что на протяжении периода с 2006-го по 2010 год спрос на эту продукцию на рынках США и Китая составит приблизительно 50% от общемирового уровня. Западная Европа увеличит свою долю рынка с 6% в 2006-м до 22% в 2010 году. К одному из наиболее перспективных сегментов рынка KMI Research относит оптические кабели для структурированных кабельных систем, обеспечивающие создание коммуникационно-вычислительных сетей и функционирование систем диагностики, контроля и управления, обработки и хранения информации с использованием компьютеров.

В настоящее время для указанных целей используются оптические и медные тракты передачи. Однако в будущем доля оптических кабелей будет возрастать. KMI прогнозирует превышение объема продаж оптических кабелей по сравнению с медными в 2008 г. и достижение уровня продаж до \$4 млрд в 2010 году (для сравнения в 2005 г. — \$2,1 млрд).

На российском рынке СКС доля оптических кабелей еще очень мала, но можно наблюдать объективную тенденцию ее увеличения [11].

Пластиковые волокна

Растут и масштабы использования оптического волокна из пластика (ПВ) — в качестве трактов передачи сигналов в оптическом диапазоне. В 2004 г. доля ПВ на волоконно-оптическом рынке не превысила 2%, но потенциально она легко может быть увеличена вдвое, в частности, за счет других применений, помимо жгутов для передачи данных в автомобилях. Впервые ПВ в автомобилях

начала применять компания DaimlerChrysler из-за простоты их эксплуатации, долговечности и легкости подключения. Компания BMW использует оптическое волокно с 2001 года.

Европейские производители разработали стандарт MOST, который был принят 16 автомобильными компаниями. Этот стандарт определяет характеристики оптического кольца, предназначенного для соединения электронных устройств по пластиковому оптическому волокну. В 2004 г. более 30 уже эксплуатируемых европейских моделей автомобилей были оборудованы оптическими устройствами (их количество превышает 30 млн), которые соединяются пластиковым волоконном.

Положительный опыт применения ПВ в автомобильной промышленности приведет к его проникновению в бытовую электронику, медицинскую технику, контрольно-измерительные системы и другие области.

Применение ПВ сдерживалось его относительно большим погонным затуханием, ограничивающим возможную длину линии передачи сотней метров. Однако появились публикации о создании ПВ с затуханием 20 дБ/км. Именно после снижения затухания в стеклянных оптических волокнах до этой величины началось бурное применение оптических кабелей как в коротких, так и протяженных линиях передачи [12].

Компания FiberFin Inc. предложила на рынок США полимерное оптическое волокно с градиентным профилем показателя преломления диаметром 750 и 1000 мкм. При длине волокна 50 м оно имеет ширину полосы пропускания свыше 3 ГГц. Кабель, выполненный из этого волокна, может использоваться с любым стандартным соединителем и стандартными компонентами [13].

Для передачи данных в автомобилях до сих пор в основном использовались волокна из полиметилметакрилата (РРМА). Возрастающие требования к рабочему диапазону температур, потерям и ширине полосы пропускания стимулировали поиски других материалов.

Хорошей альтернативой РРМА-волокнам в настоящее время считаются оптические волокна с кварцевой сердцевинной и полимерной оболочкой (PCS) [14]. К достоинствам волокон из PCS, по сравнению с волокнами из РРМА, относят меньшее затухание, большую полосу пропускания, более высокую максимальную рабочую температуру (125 °С, в то время как у волокон из РРМА — до 90 °С), низкую воспламеняемость, высокую химическую устойчивость и прочность.

Кабели для электроэнергетики

Традиционные кабели

Одним из наиболее емких секторов кабельного рынка является электроэнергетика, где провода и кабели используются для обеспечения электроэнергией потребителей.

В развивающихся экономических зонах гарантирован рост спроса на провода и кабели электропитания, устанавливаемые в зданиях. При этом конкурентное преимущество на рынке имеют производители, продукция которых соответствует национальным и международным стандартам, устанавливающим нормы пожаробезопасности, то есть на количество выделяемого при горении дыма и содержание в продуктах горения токсических и вызывающих коррозию веществ, а также на содержание в материалах конструкции проводов и кабелей вредных веществ, на возможность экологически и экономически приемлемой утилизации использованной кабельной продукции.

Важное значение имеет также и удовлетворение норм на электромагнитную совместимость (ЭМС). Эта проблема отражена в «Руководящих указаниях 2004/108/EG» Евросоюза, которые вступили в действие с декабря 2004 года. Этот документ определяет граничные условия ЭМС и должен быть конкретизирован в национальных стандартах стран, входящих в Евросоюз.

Документ был разработан на основе принципа «Изделие не должно нарушать функционирование других средств и само должно быть помехоустойчивым».

Упомянутые факторы важны, в принципе, для любых типов кабелей и проводов.

Поистине необъятным и перспективным является рынок кабелей и проводов для линий электропередачи — от низковольтных распределительных до сверхвысоковольтных.

Во всем мире сейчас ощущается дефицит электрических мощностей. При этом постоянно растет потребление электроэнергии. По прогнозам, в странах-членах ЕС оно будет возрастать в среднем на 1,5% в год [15].

Дефицит электрических мощностей нарастает и в России. Только в Московской области ОАО «Мосэнерго» имеет дефицит собственной мощности 1500 МВт, зимой он возрастает до 2500–3000 МВт. Понятно, что это положение необходимо менять, то есть инвестировать соответствующие средства, в том числе и в реконструкцию и развитие электроэнергетической сети. По прогнозам Мосэнергопроекта, на развитие московской энергосистемы в 2006–2020 гг. будет вложено около 310 млрд руб.

При этом следует иметь в виду, что в московском регионе 50% кабельных линий выработало свой ресурс и потому нуждаются в замене. Безусловно, что одновременно должны строиться новые линии электропередачи. В настоящее время здесь создают кольца на 500 и на 750 кВ [16].

Для ликвидации дефицита электроэнергии строятся генерирующие станции и прокладываются большое количество магистральных линий передачи с использованием неизолированных фазных проводов. К этим изделиям кабельной промышленности предъявляются жесткие эксплуатационные требования — это малые погонные потери, высокая

механическая прочность (на разрыв), вибростойкость, способность выдерживать совокупные гололедные и ветровые нагрузки, устойчивость к коррозии в разнообразных климатических условиях.

Практически по всем этим параметрам имеющаяся на кабельном рынке продукция, как в нашей стране, так и за рубежом, далеко не полностью удовлетворяет требованиям энергетиков. Они несут колоссальные убытки в связи с авариями на линиях электропередачи и необходимостью восстанавливать их работоспособность в минимальные сроки, часто в крайне жестких климатических условиях — при температурах от +50 до –60 °С, при сильных ветрах, в тяжелых географических условиях — в горах, болотах, вечной мерзлоте, пустынях — при отсутствии подъездных дорог и электроснабжения.

Понятно, что фазные провода и грозотросы, имеющие лучшие показатели по некоторым или по совокупности некоторых из вышеупомянутых параметров, будут иметь конкурентные преимущества на рынке.

Проблема здесь, однако, в том, что качественное улучшение эксплуатационных свойств фазных проводов и грозотросов требует решения комплекса крайне сложных научно-технических задач, связанных с созданием испытательной базы для новых разработок, натурными испытаниями фазных проводов в реальных условиях эксплуатации, сертификацией готовой продукции и т. п.

Следует отметить, что в нашей стране опрделенные решения указанных проблем в комплексе были получены и защищены патентами [17].

Практическая реализация этих идей и появление соответствующей продукции на рынке соответствует потребностям рынка и в настоящее время, и в будущем.

О масштабах этого рынка можно судить, в частности по тому, что только в Европе до 2020 г. в развитие воздушных линий передачи и распределительных электросетей необходимо вложить около 500 млрд евро [15].

Следует принимать во внимание и планы по созданию глобального энергетического кольца, которое должно объединить все электросетевые системы мира в одну сеть [18].

Существенной проблемой надежной эксплуатации линий электропередачи является их повреждение ударами молний. Производители проводов для линий электропередачи, защищенных от ударов молнии, получают важное конкурентное преимущество в своем секторе рынка.

Судя по публикациям, например [19], существует объективная тенденция перевода распределительных низковольтных электросетей и сетей на средние напряжения (5–30 кВ) на подземные кабельные. Впрочем, это относится и к высоковольтным линиям. Этой тенденции, в частности, следуют электросети Великобритании, Голландии, Германии и Скандинавских стран.

Переход к подземным распределительным сетям на средние напряжения вызвал стремительный рост потребности в силовых кабелях в Северной Европе в 1980–1990-е годы.

В настоящее время многие лидеры кабельной промышленности работают в тесном контакте с энергораспределяющими компаниями для совершенствования конструкций силовых кабелей с использованием сшитого полиэтилена (XLPE). Это привело к созданию компаундов, задерживающих распространение горения, высококачественных материалов для изготовления кабельных оболочек, влагозащищенных кабелей и др. Результатом также стала возможность снижения затрат не только на установку высоковольтных кабелей, но и на использование сверхвысоковольтных XLPE-кабелей.

Естественным перспективным направлением использования высоковольтных кабелей является их применение в подводных линиях электропередачи постоянного и переменного тока. Количество таких линий в мире превышает 30, в конце 2006 г. введена в строй стокилометровая высоковольтная кабельная линия Estlink, которая соединяет Эстонию и Финляндию и является последней частью «Балтийского кольца» [20]. Длина подводного кабеля составляет 2×74 км, подземного — 2×31 км. Эта линия соединяет 330-кВ электростанцию в Эстонии с 400-кВ станцией в Финляндии. Стоимость проекта составила 110 млн евро.

Устойчивый спрос на подводные высоковольтные кабели подтверждается следующими сообщениями. Например, компания Nexans получила заказ на \$129 млн на поставку подводного сверхвысоковольтного силового кабеля общей длиной 175 км в Ливию и на прокладку подводного XLPE-кабеля на напряжение 69 кВ длиной 15 км в районе Аляски. Nexans начала производство высоковольтных подводных кабелей на введенном в строй в 2006 г. совместном с японской компанией Furukawa Electric Co. новом заводе в Токийском заливе [21].

Следует отметить высокую стоимость подводных высоковольтных кабельных линий электропередачи.

Силовые кабели на основе высокотемпературной проводимости

Принципиально новым перспективным направлением развития кабелей для передачи электроэнергии при больших величинах тока является создание кабелей на основе высокотемпературной сверхпроводимости (HTSC — ВТСП). Обусловлено это тем, что ВТСП-кабели способны передавать в 3–5 раз большую мощность, чем обычные. Ожидается, что будет меньше проблем с их лицензированием и получением разрешения на их использование в линиях электропередачи, поскольку они более эффективны, позволяют снизить потери при передаче электроэнергии в электросети на 7–10% и уменьшить

эмиссию углекислого газа, дают возможность передавать электроэнергию при более низких уровнях напряжения, что приводит к снижению количества повышающих и понижающих трансформаторов. В ВТСП-кабелях для охлаждения используется невоспламеняющийся жидкий азот вместо масла, применяемого в обычных кабелях, что позволяет избежать пожара или даже взрыва при утечке электричества или перегрузках [22].

Передовые зарубежные компании ведут активные исследовательские работы по созданию коммерческих ВТСП-кабелей.

Компания Sumitomo в 2003 году разработала технологию массового производства высокотемпературного сверхпроводящего кабеля в достаточных количествах для нужд энергетики. Возможно производство жилы сверхпроводящих кабелей со скоростью 15 м/ч. Компания объявила о планах начать в течение трех ближайших лет продажу на мировом рынке сверхпроводящего провода с использованием редкоземельного элемента гольмия (Holmium) [23].

В 2004 г. компания Intermagnetics General Corp. (Япония) объявила о начале проектирования сверхпроводящего кабеля длиной 350 м своим дочерним предприятием Super Power. Стоимость четырехлетнего проекта составляет \$26 млн. В результате должен быть изготовлен 350-метровый 800-амперный кабель на 34,5 кВ для установки в подземной распределительной системе [24].

Весьма перспективным считается внедрение ВТСП-кабелей в США. «Сверхпроводимость является одной из перспективных технологий, которая, как ожидается, должна сыграть значительную роль в решении проблем национальной электроэнергетической сети», считает директор Американского энергетического департамента. Департамент участвует в демонстрационном кабельном проекте, который является чрезвычайно важным этапом в процессе разработки новых мощных ВТСП-кабелей, необходимых для обеспечения требуемой безопасности и надежности национальных энергетических сетей. В рамках этого проекта компания AMSC (American Superconductor Corp.) получила контракт на изготовление 30 миль провода с высокотемпературной сверхпроводимостью. По плану, начало эксплуатации ВТСП-кабеля было намечено на середину 2006 года [25].

Получение этого контракта стало следствием того, что еще в 2004 году AMSC объявила, что ей удалось вдвое улучшить электрические характеристики своего ВТСП-провода в сильных магнитных полях при относительно высоких температурах, что необходимо для широкого диапазона усовершенствованных проводов для коммерческого и военного применений. При этом была достигнута плотность тока 102 А на сантиметр ширины сечения в проводе второго поколения при 65 °К в сильном магнитном поле, приложенном перпендикулярно поверхности лентообразного провода. Эта

величина составляет 88% от значения, установленного два года назад правительственным агентством DARPA (Агентство перспективных исследовательских проектов для Министерства обороны). Поставленная цель — достижение 115 А на сантиметр ширины проводника к началу 2007 года при 65 °К и магнитном поле 3Т, приложенном перпендикулярно поверхности провода.

Достигнутый результат оказался возможным благодаря добавлению редкоземельного материала гольмия в покрытие сверхпроводника [24].

Компания AMSC в 2005 г. объявила о совместном с четырьмя китайскими исследовательскими и промышленными организациями успехе — демонстрации 75-метрового трехфазного силового кабеля на основе ВТСП в реальной распределительной электросети напряжением 6,6 кВ. Испытания проводились при напряжениях до 10,5 кВ и переменном токе до 1600 А. А с декабря 2004 г. такой кабель используется для электроснабжения завода в китайском городе Байин (Baiyin) [26]. AMSC также должна поставить ВТСП-провод компании Ultera, которая изготовит из него 200 м сверхпроводящего кабеля для большой электроподстанции в г. Колумбус (Columbus, США). Этот кабель заменит действующую воздушную линию в секции с напряжением 13 кВ [27].

Японская компания Furukawa Electric Co. и New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) совместно разработали новый сверхпроводящий материал для силовых ВТСП-кабелей, которые смогут пропускать ток в 100 раз большей величины, чем обычные медные кабели, при приблизительно одинаковой стоимости производства [28]. Провода, из которых будет изготавливаться новый кабель, сделаны из тонкопленочного материала типа иттрия, обладающего ВТСП. Материал наносится в виде тонкой пленки на никелевую основу. Из двадцати таких проводов был сделан жгут для изготовления одного метра прототипа кабеля, который способен пропускать 1459 А.

В большей части работ по ВТСП используются материалы типа висмута. Для изготовления таких проводов требуется большое количество серебра, при этом стоимость кабелей оказывается большой. Стоимость кабеля на основе материала типа иттрия составит около 5 йен за ампер, что соизмеримо со стоимостью обычных медных кабелей и составляет около четверти стоимости кабеля на основе материала типа висмута.

Компания Furukawa планирует создать реальный кабель для практического использования приблизительно к 2015 году, когда большая часть высоковольтных линий передачи, построенных в Японии в 1970-е и 1980-е годы, по имеющимся планам должна быть модернизирована. Компания Furukawa намерена предложить кабель энергетическим компаниям как в Японии, так и за рубежом [28].

В программу очередной конференции CIGRE (Париж, 27 августа — 1 сентября 2006 г.) в секции «Изолированные кабели» был включен доклад японских авторов «Демонстрация и результаты проверочных испытаний 500-метрового кабеля на основе высокотемпературной сверхпроводимости» [29].

Проводящие элементы

Основой любого электрического кабеля являются проводящие элементы, которые традиционно изготавливаются из меди или алюминия. Однако не прекращаются поиски альтернативных материалов, обеспечивающих новые конкурентные преимущества.

Силовые кабели на нанотрубках

Одним из перспективных направлений совершенствования силовых кабелей является применение в качестве токопроводящей жилы чистых углеводородных нанотрубок, известных как квантовые провода. Они могут проводить в 10 раз больший ток, чем медь, при весе в одну шестую часть от медного провода.

Важность решения проблемы связана, в том числе, и с ситуацией на рынке меди — ее дефицитом и постоянно растущей ценой.

В США разработка прототипа силового кабеля на нанотрубках будет проводиться Лабораторией углеводородной технологии университета Райса. В соответствии с контрактом, в 2010 г. для NASA должен быть изготовлен прототип квантового провода длиной 1 м [30].

Наноматериалы в перспективе могут быть с успехом использованы в электрических кабелях на основе ВТСП для повышения их эффективности и безопасности и уменьшения диаметра. При этом отпадает необходимость передачи электроэнергии на высоких и сверхвысоких уровнях напряжения.

Проводятся исследования по достижению сверхпроводимости при температуре, близкой к комнатной. Решение этой задачи позволит избежать криогенного охлаждения кабелей [31, 32].

Биметаллические провода

Экономически приемлемой альтернативой медным проводящим элементам, как для силовых, так и для высокочастотных кабелей, считаются биметаллические проводники — например, на основе алюминия, покрытого медью (АпМ).

При передаче высокочастотных сигналов последние протекают по наружному медному слою, в то время как более легкий и более дешевый алюминиевый сердечник обеспечивает структурное единство. АпМ используется как легкий проводник, в котором объединены такие характеристики медных проводников, как коррозионная стойкость и надежная работа в местах контактов, с малым весом и хорошей проводимостью алюминиевых проводников.

Современные цены на базовые материалы определяют значительное превосходство АПМ-проводов по стоимости с медью для любых применений. Несмотря на то, что процесс нанесения покрытия требует использования передовых технологий, что увеличивает стоимость по сравнению со стоимостью базового металла, АПМ остается экономически эффективным исходным материалом для использования в процессе производства кабелей [33].

Если АПМ-проводник обладает проводимостью 64% от чистой меди, он имеет массу, которая составляет всего 34% от массы меди. И когда АПМ-проводник делают большего диаметра для того, чтобы достичь той же проводимости, что и у медного проводника, он еще на 40% легче. Например, медный проводник AWG 12 (3,3 мм²) может быть заменен биметаллическим проводником AWG 10 (5,5 мм²), который имеет не только меньший вес, но и меньшую стоимость.

Кабели для силовых применений, изготовленные из АПМ-провода, имеют не только меньший вес и меньшую стоимость, чем эквивалентные медные, но они обладают еще одним положительным качеством — на них не образуются поверхностные оксиды, что происходит на местах соединения алюминиевых проводников.

Еще больший выигрыш от применения АПМ-проводников может быть получен при их использовании для передачи сигналов. В этом случае нет необходимости увеличивать поперечное сечение для получения той же величины импеданса и снижение веса может быть более, чем на 60%, а снижение стоимости может быть значительным. Эти особенности уже реализованы в коаксиальных кабелях, где АПМ активно используется в качестве центрального проводника. Тот же уровень экономии может быть достигнут и в других областях применения, например — в кабелях передачи данных [33].

Другим перспективным типом биметаллического провода считается медный проводник, покрытый никелем.

Никель обладает хорошей устойчивостью к высоким и низким температурам, окислению и коррозии, поэтому он используется, прежде всего, в проводах и кабелях, которые эксплуатируются при высоких температурах, и в средах, вызывающих коррозию.

По некоторым оценкам [34], в мире в год более 10 метрических тонн меди покрываются либо никелем, либо серебром.

Эти провода в основном используются для изготовления скрученных проводящих элементов в высококачественных электрических кабелях для применения в космической, авиационной и оборонной технике, в компьютерах и оборудовании телекоммуникаций и др.

Провода, покрытые никелем, могут выдерживать температуры до 750 °С. Они устойчивы к коррозии и хорошо паяются. Скрученные жилы покрываются материалами, которые устойчивы к воздействию высоких

температур. Этот процесс проходит при высоких температурах (провода с серебряным покрытием при этом будут окисляться). К недостаткам медных проводников, покрытых никелем, относятся проблема их легкой пайки без применения специальных флюсов и необходимость проводить покрытие никелем при тщательно контролируемых условиях во избежание образования пор и для получения гибкого покрытия.

Кабели с медными проводниками, покрытыми никелем, используются в авиации и космической технике, поскольку они могут выдерживать тепловые шоки, длительный непрерывный нагрев и, в течение некоторого времени, температуры выше температуры плавления медной основы. В большинстве случаев рабочая температура кабелей ограничивается свойствами изоляционных материалов.

Медные проводники с никелевым покрытием используются также на заводах, перерабатывающих железо, сталь, алюминий, стекло, на нефтехимических предприятиях.

Гибридные провода

Перспективным направлением совершенствования проводов (и кабелей на их основе) являются гибридные металлополимерные проводники, представляющие собой полимерные волокна, покрытые проводящим металлическим слоем. Они предназначены для замены традиционных медных жил в проводах, используемых для передачи информационных сигналов.

Компания Syscom Technology Inc. (США) изготовила провод, представляющий собой скрутку из прочных и в то же время гибких жил, выполненных из высококачественного полимерного волокна с металлическим покрытием. Такие провода на 300% прочнее и на 50% легче, чем медные [35]. Эта компания получила федеральный грант в \$600 000 для продолжения разработки комбинированного провода для ВВС и НАСА, предназначенного для замены проводов с медными жилами, которые при использовании в ограниченных пространствах летательных аппаратов со временем разрушаются и теряют проводимость.

Провода из сплавов

Продолжаются поиски сплавов, которые эффективно могут заменить медь и алюминий при изготовлении проводящих элементов.

Новый высококачественный с высокой проводимостью сплав на основе меди для изготовления проводов выпустила на рынок американская компания Phelps Dodge [36]. Этот сплав, не содержащий кадмия и бериллия, удовлетворяет экологическим требованиям и обладает необходимыми физическими, электрическими и механическими свойствами. Из него можно делать провода для конструкций со скруткой различных диаметров, а также профильные провода. Они могут с успехом использоваться для авиакосмических, военных и автомобильных применений. Сплав

не попадает под действие европейских директив по ограничению использования опасных веществ RoHS [37].

Заключение

Провода и кабели пользуются неизменным спросом уже третье столетие. Традиционной основой кабелей являются медные (реже алюминиевые) проводники. На их основе создана и предлагается на рынок номенклатура кабелей и проводов самого разнообразного назначения. Совершенствуются такие характеристики кабелей, как прочность, гибкость, масса, коррозионная и химическая стойкость, пожаростойкость, выделение токсических и коррозионно-активных веществ при горении, устойчивость к радиационному воздействию, обеспечение требований по электромагнитной совместимости. Все эти проблемы должны решаться и для новых, не традиционных типов кабелей. В частности, ожидается создание проводов для линий электропередачи, которые удовлетворяли бы требованиям по эксплуатации в экстремальных условиях (обледенение проводов, воздействие ветровых нагрузок и вибрации, устойчивость к коррозии и воздействию молний и т. п.)

К новым типам относятся кабели, в которых для передачи сигналов используется оптическое кварцевое волокно. Собственно оптическое волокно прошло существенный путь улучшения рабочих характеристик и их приближения к физическому пределу. Исследуется также возможность создания нового типа волокна — фотонно-кристаллического, которое, как считается, может привести к появлению следующего поколения оптических кабелей.

Как новое направление в области создания трактов для передачи оптических сигналов рассматриваются пластиковые волокна, которые обеспечивают ряд технических и экономических преимуществ в конкретных областях применения.

Принципиально новым направлением развития электрических кабелей является создание кабелей на основе высокотемпературной сверхпроводимости. Созданы реально эксплуатируемые образцы таких кабелей. Предполагается, что при создании технологии массового производства они могут быть конкурентоспособными по стоимости.

К перспективным направлениям совершенствования проводящих элементов относятся нанотехнологии, их освоение позволит производить провода не только с уникальными характеристиками, но и ускорить процесс создания экономически рентабельных силовых кабелей на основе высокотемпературной сверхпроводимости.

Также реальны перспективы создания, совершенствования и расширения областей использования новых биметаллических проводов, проводов из сплавов и гибридных проводов. ■

Литература

1. Tsunami follow-up: tragedy is far too familiar // Wire Journal International. 2005. № 3.
2. Современное состояние мировой кабельной промышленности. [w www.ruscable.ru](http://www.ruscable.ru)
3. Radbourne P. Buoyant profits around the globe // Wire and Cable Technology International. 2007. № 2.
4. Alcatel to buy Pirelli submarine telecom unit // Wire Journal International. 2004. № 6.
5. Оптическая связь: взгляд в прошлое и перспективы // Lightwave. Russian edition. 2004. № 4.
6. Наний О. Е., Павлова Е. Г. Фотонно-кристаллические волокна // Lightwave Russian edition. 2003. № 3.
7. Павлова Е. Г. Механизмы потерь в фотонно-кристаллических волокнах // Lightwave. Russian edition. 2005. № 3.
8. Новости ECOC // Lightwave. Russian edition. 2006. № 4.
9. Старовойт В. Ю. Широкополосный доступ: безграничные возможности выкачивания денег? // Lightwave. Russian edition. 2006. № 4.
10. Аналитический отчет компании KMI Research о состоянии и перспективах европейского и мирового рынков волоконно-оптических кабелей. Аналитические статьи и обзоры. [ww w.ruscable.ru](http://www.ruscable.ru).
11. В 2008 году объем продаж волоконных кабелей на рынке СКС превысит объем продаж медных кабелей // Lightwave. Russian edition. 2005. № 3.
12. Polishuk P. The next fiber optic star: plastics // Wire Journal International. 2005. № 1.
13. Обзор зарубежной прессы // Кабели и провода. 2005. № 4.
14. Оптические волокна с полимерной оболочкой для передачи данных в автомобилях // Lightwave. Russian edition. 2006. № 4.
15. Bulteel P. Competitive competition // Power Engineering International. 2005. № 2.
16. Дьяков А. Ф. Проблемы надежности и безопасности электроснабжения Московского региона // Энергия. 2006. № 5.
17. Кошиц И. Н. Применение высокопрочных коррозионностойких грозотросов, оттяжек опор и энергосберегающих фазных проводов нового поколения для повышения эффективности и надежности работы ЛЭП // Энергия. 2001. № 8.
18. Ишкин В. Х. Создание глобальной электроэнергетической системы // Вести в электроэнергетике. 2006. № 4.
19. Radbourne P. Undergrounding Utility Power Cables // Wire and Cable Technology International. 2005. № 1.
20. The ABB Group: Estlink HVDC Light link. [w www.abb.com](http://www.abb.com)
21. Nexans holds inauguration for power cable plant in Japan // Wire Journal International. 2006. № 2.
22. IGC stresses significance of technology in HTS cable project in New York // Wire Journal International. 2005. № 8.
23. HTS cable "can be mass produced" // Modern Power Systems. 2003. № 8.
24. AMSC to provide HTS wire for power cable project, notes wind farm contract // Wire Journal International. 2005. № 6.
25. American Superconductor Corporation reports advance in its HTS wire // Wire Journal International. 2005. № 1.
26. AMC is part of upgrade to Chinese power cable // Wire Journal International. 2005. № 5.
27. Further orders for HTS/D-VAR systems // Wire Industry. 2005. № 853.
28. Joint venture reports that superconductivity material is very cost-effective // Wire Journal International. 2005. № 8.
29. 2006 CIGRE Session. Technical Programme. [w www.sigre.org](http://www.sigre.org)
30. Cizmic H. Nanotechnology to optimize & construct special cables // Wire Journal International. 2005. № 4.
31. Cizmic H. HVDC or HVAC — It's all down to cable design // Wire and Cable Technology International. 2006. № 1.
32. Cizmic H. Nanotechnology: new small is the nano-world in cable industry // Wire Journal International. 2007. № 3.
33. Gibson A. The economics of Copper-Clad Aluminum Bimetallic Cables // Wire and Cable Technology international. 2005. № 3.
34. Harput S. Fields of application of nickel-plated copper conductor // Wire Journal International. 2006. № 12.
35. Company to use grant to produce hybrid metal-polymer wire for signal wire // Wire Journal International. 2005. № 5.
36. Corrado J., Lefitz D., Taylor R. New Environmentally Friendly Copper Alloy for Wire Application // Wire and Cable Technology International. 2004. № 4.
37. Звонарев Е. Бессвинцовые технологии, или Жизнь без свинца // Новости электроники. 2005. № 9.