

Кабели для железнодорожного подвижного состава

Для обеспечения в будущем беспрепятственных перевозок грузов по железным дорогам между европейскими странами требуется выполнение жестких требований к техническим системам, в том числе к кабельной технике. В течение нескольких лет различные комитеты по стандартизации занимаются разработкой стандартов prEN 45545 и prEN 50264 с целью общеевропейской унификации требований к железнодорожным кабелям. Принимать во внимание результаты этой деятельности особенно важно в кабельной промышленности, так как речь идет не о какой-то определенной разновидности кабелей, а предлагается целый ряд альтернативных вариантов. Кроме того, в настоящее время в существующих стандартах имеются противоречия, которые затрудняют определение целей для дальнейших разработок.

Компания Huber + Suhner (Германия) относится к наиболее известным предприятиям, занимающимся производством кабельной техники. Учитывая рыночную ситуацию, она постоянно обновляет ассортиментный ряд выпускаемой продукции в соответствии с потребностями клиентуры. Так, компания разработала кабель для информационной шины категории 5 (Cat 5), предназначенный для обмена данными между системами подвижного состава с высоким качеством передачи данных.

Объединение европейских государств и насущная необходимость в быстрых и беспрепятственных перевозках грузов между ними требуют создания единой инфраструктуры с высокими качественными характеристиками на территории всех этих стран. Свободе перевозок не должны мешать региональные различия технических систем и различные требования инструкций, действующих в отдельных странах.

В связи с этими обстоятельствами Европейский комитет по стандартизации (CEN) уже более 10 лет занимается разработкой стандарта prEN 45545 [1], определяющего нор-

мы надежности и безопасности для всех технических средств, устанавливаемых на подвижном составе, включая кабели. Впоследствии этот стандарт, в который войдут также законодательные требования, станет обязательным для подвижного состава, используемого в международных сообщениях. Действующие стандарты NF F 16101 (Франция), BS 6853 (Великобритания) и DIN 5510 (Германия) должны быть заменены единым стандартом prEN 45545.

На основе стандарта prEN 45545 Европейским комитетом по стандартизации электротехнических средств (CENELEC) специально

для кабелей разрабатываются другие стандарты — prEN 50264 и prEN 50306. Эти стандарты не ограничиваются одними только противопожарными требованиями, но определяют также наряду с физическими, химическими и механическими свойствами геометрические характеристики кабеля. Необходимость стандартизации ставит перед изготовителями кабелей новые задачи по совершенствованию своей продукции.

Необходимость обновления продукции диктуется также и растущими требованиями клиентуры. Так, современные информационные технологии уже давно выдвинулись на первый план на пассажирском подвижном составе, где для информирования и развлечения пассажиров все чаще устанавливаются мониторы. Для такого вида сервиса требуются мощные, надежные и обладающие высоким быстродействием системы передачи данных с соответствующими кабелями, которые должны не только отвечать требованиям в отношении качества передачи, но также и соответствовать условиям железнодорожной эксплуатации, таким, как противопожарная безопасность, устойчивость к вибрациям, прочность и т. д. В связи с этим от разработчиков кабельной продукции требуются новые творческие решения, учитывающие существующие рыночные цены.

Таблица 1

Уровни риска по стандарту prEN 45545

Класс эксплуатации поезда	Конструктивное исполнение вагонов поезда			
	N (стандартный)	A (автоматизированный)	D (двухэтажный)	S/DS (спальный/двухэтажный спальный)
1	HL1	HL2	HL2	HL2
2	HL2	HL3	HL3	–
3	HL3	HL4	HL4	HL4
4	HL4	HL4	HL4	HL4

Железнодорожные кабели, соответствующие европейским стандартам (EN)

Требования по безопасности (prEN 45545)

Европейский стандарт prEN 45545 определяет как нормы испытаний, так и предельно допустимые

мые параметры для кабелей, которые прокладываются внутри поезда (инструкция R14) и снаружи его (инструкция R15), по следующим трем категориям опасности:

- сопротивляемость распространению пожара;
- токсичность образующихся при пожаре газов;
- ограничение видимости по причине задымления.

Наряду с разделением поездных кабелей на категории для внутренней и наружной прокладки в стандарте определяются еще четыре уровня риска (HL). Уровни риска приведены в матрице (табл. 1), в которой поезда разделяются по типу эксплуатации и конструктивному исполнению. Поезда по типу эксплуатации делятся на четыре класса, охватывающие спектр от поездов местного, регионального и дальнего сообщения, пассажиры которых в случае аварии могут в любое время покинуть поезд и пешком выйти к надежному месту укрытия, до поездов, которые не дают возможности немедленной безопасной эвакуации и в случае пожара должны сохранять способность дойти до следующей станции или в течение 15 мин достичь ближайшего остановочного пункта, где пассажиры могут покинуть поезд, не подвергаясь опасности (табл. 2).

С точки зрения конструкции пассажирские вагоны разделяются на следующие пять категорий:

- А — автоматизированных поездов без контролирующего персонала;
- D — двухэтажные;
- S — спальные и плацкартные;
- DS — двухэтажные спальные и плацкартные;
- N — стандартные.

Железнодорожные кабели по стандарту prEN 50264-3-1

На основании требований рассмотренного стандарта prEN 45545 Европейский комитет по стандартизации электротехнического оборудования (CENELEC) разработал для кабелей специальный стандарт. Действие его распространя-

Таблица 2
Классы эксплуатации согласно стандарту prEN 45545

Класс эксплуатации	Типы поездов	Вид инфраструктуры	Возможности эвакуации в случае пожара
1	Пригородные, региональные и дальнего сообщения	Без подземных участков, тоннелей и эстакад	Покинуть поезд пассажиры могут в любом пункте участка. В случае эвакуации в боковом направлении расстояние до ближайшего безопасного места не более 500 м
2	Пригородные и региональные	Подземные участки, тоннели и эстакады с безопасными путями эвакуации в боковом направлении	Поезд продолжает движение до ближайшего безопасного места. Время хода до ближайшего безопасного места не более 4 мин. Если такого безопасного места нет, должна быть обеспечена возможность эвакуации в боковом направлении
3	Региональные и дальнего сообщения	Подземные участки, тоннели и эстакады с путями отхода и возможностью безопасной эвакуации в боковом направлении	Поезд продолжает движение до ближайшего безопасного места. Время хода до ближайшего безопасного места не более 15 мин. Если такого безопасного места нет, должна быть обеспечена возможность эвакуации в боковом направлении
4	Пригородные, региональные и дальнего сообщения	Подземные участки, тоннели и эстакады с путями отхода без возможности безопасной эвакуации в боковом направлении	Поезд должен продолжать движение до следующего остановочного пункта. Боковая эвакуация невозможна, так как отсутствуют пути отхода. Время безопасного пребывания в поезде должно быть более 15 мин

ется на неэкранированные одножильные кабели для трех классов напряжения (600, 1800 и 3600 В) и многожильные неэкранированные для двух классов напряжения (300 и 600 В).

В обоих стандартах (prEN 45545 и prEN 50264) даны одинаковые определения основных факторов риска: сопротивляемость распространению пожара, токсичность дымовых газов и интенсивность дымообразования. Однако требования по безопасности отличаются по своему содержанию. Так, различаются способы определения степени, в которой кабели (диаметром менее 6 мм) способствуют распространению пожара (табл. 3). Для всех кабелей диаметром менее 12 мм стандартом EN 45545 в качестве единого руководства по испытаниям предписывается стандарт EN 50266-5, в то время как стандарт prEN 50264 ограничивает поле действия этого руководства только кабелями диаметром от 6 до 12 мм. Для кабелей меньших диаметров

в качестве руководства предписан пункт 9.1.2 стандарта EN 50305.

Способы определения токсичности дымовых газов также отличаются в этих стандартах. Для расчета коэффициента токсичности используются разные газы с различными весовыми коэффициентами (табл. 4).

Требования стандартов в отношении дымообразования также различались до 2005 г., т. е. до появления последнего издания стандарта (табл. 5).

В то время как стандарт prEN 50264 не дает предельных значений светопропускаемости для уровня риска HL1, по стандарту prEN 45545 она должна составлять не менее 25%. Для уровней риска HL2 и HL3 требования к светопропускаемости по стандарту prEN 50264 составляли 60% и были выше, чем по стандарту более высокого уровня (prEN 45545), который устанавливал норму 50%. Только для самых высоких уровней риска требования стандартов совпадают, так как оба

Таблица 3

Сравнение требований по пожарной безопасности

Стандарт	Метод проверки по стандарту	Наружный диаметр кабеля, мм	Интенсивность дымообразования, л/мин	Способствование распространению пожара, м
DIN 5510	EN 50266-2-4	≥ 12	1,5	< 2,5
	EN 50266-2-5	< 12	0,5	< 2,5
EN 45545	EN 50266-2-4	≥ 12	1,5	< 2,5
	EN 50266-2-5	< 12	0,5	< 2,5
EN 50264	EN 50266-2-4	≥ 12	1,5	< 2,5
	EN 50266-2-5	От 6 до 12	0,5	< 2,5
	EN 50305 cl.9.1.2	≤ 6	0,5	< 1,5
EN 50306	EN 50266-2-4	≥ 12	1,5	< 2,5
	EN 50266-2-5	От 6 до 12	0,5	< 2,5
	EN 50305 cl.9.1.2	≤ 6	0,5	< 1,5

Таблица 4

Сравнение требований по токсичности газов

Предмет рассмотрения и параметр	Стандарт	
	prEN 45545	prEN50264
Выделяющиеся газы	Углекислый газ (CO ₂)	
	Окись углерода (CO)	
	Синильная или циановодородная кислота (HCN)	
	Двуокись серы (SO ₂)	
	Окислы азота (NO _x)	
	Хлор (в составе HCl)	–
	Бром (HBr)	–
Фтор (HF)	–	
Температура, °C	600	800
Расчет коэффициента	Разным весовым коэффициентам соответствуют различные способы расчета	

Таблица 5

Сравнение требований по дымообразованию на базе параметра светопрозрачности

Уровень риска	Стандарт	
	prEN 45545	prEN50264 (с июля 2005 г.)
HL1	> 25 %	–
HL2	> 50 %	> 50 % (было 60 %)
HL3		
HL4		> 70 %

Таблица 6

Уровни опасности по стандарту prEN 50264

Область применения		HL1	HL2/HL3	HL4
		Светопроводность		
		–	50 %	70 %
		Индекс токсичности		
		–	5	3
Низкая температура	–25 ... +90 °C	A	B	C
Нормальная маслостойкость	IRM902, 24 ч, 100 °C			
Особо низкая температура	–40 ... +90 °C	D	E	F
Нормальная маслостойкость	IRM902, 24 ч, 100 °C			
Низкая температура	–25 ... +90 °C	G	H	I
Особо высокая маслостойкость	IRM902, 72 ч, 100 °C			
Устойчивость к жидкому топливу	IRM903, 168 ч, 70 °C			
Особо низкая температура	–40 ... +90 °C	J	K	L
Особо высокая маслостойкость	IRM902, 72 ч, 100 °C			
Устойчивость к жидкому топливу	IRM903, 168 ч, 70 °C			

стандарта предписывают величину светопрозрачности при пожаре 70%. В последнем издании стандарта prEN 50264 в основном приняты нормы из стандарта prEN 45545.

Наряду с классическими требованиями по безопасности (сопротивляемости по распространению пожара, уровень дымообразования и токсичность дымовых газов) в стандарте определяются также нормы для других важных характеристик кабелей:

- проводимость проводов и свойства изоляции (устойчивость к перенапряжениям, сопротивление изоляции, устойчивость к постоянному току);
- механические свойства изоляции (изменение характеристик в процессе старения, после нагревания и под воздействием низких температур);
- химическая устойчивость (к воздействию озона, щелочей, кислот, минеральных масел и топлива).

С точки зрения устойчивости к воздействию агрессивных сред и температур имеется в общей сложности четыре уровня: по два уровня устойчивости кабелей к воздействию агрессивных сред и к температурному воздействию (табл. 6).

Первый уровень допускает использование кабеля при температурах от –25 до 90 °C. На втором уровне область использования кабеля расширяется за счет сдвига нижней предельно допустимой температуры до –40 °C.

С точки зрения устойчивости к воздействию агрессивных сред различают нормальную и особую устойчивость к маслу при одинаковой устойчивости к топливу. Кроме того, определены предельные размеры кабеля для двух вариантов конструктивного исполнения: для кабелей со стандартной и с уменьшенной толщиной стенки.

Если с учетом выравнивания требований обоих стандартов рассмотреть различные уровни опасности, области применения в зависимости от допустимых температур, устойчивость к агрессивным

средам и варианты конструктивных исполнений, то получается в общей сложности 128 семейств для одножильного кабеля. В связи с этим перед изготовителями кабеля встает сложная задача: с одной стороны, обеспечить требуемое разнообразие изделий, с другой стороны, эффективно организовать экономичную по срокам и затратам разработку этих изделий.

Кабели на напряжение 600 В по стандарту prEN 50264-3-1. Если сравнить размеры, предусмотримые стандартом для одножильных кабелей с уменьшенной толщиной стенки на напряжение 600 В, и размеры выпускающихся промышленностью, то можно увидеть, что толщина изоляции у стандартизируемых кабелей малого сечения несколько больше. У кабелей большого сечения она, наоборот, уменьшена на 10—20% (рис. 1). Содержащиеся в стандарте высокие требования к электрическим параметрам и химической устойчивости вызывают, с одной стороны, необходимость применения новых изоляционных материалов, с другой стороны, требуют замены в некоторых случаях однослойного изоляционного покрытия двухслойным.

Кабели на напряжение 1800 В по стандарту prEN 50264-3-1. С кабелями на напряжение 1800 В ситуация иная: толщина изоляционного покрытия для кабелей сечением до 35 мм² по стандарту значительно больше, чем у кабелей, предлагаемых на рынке. Только с увеличением сечения по меди толщина изоляционного покрытия задается такой же, как у существующих кабелей (рис. 2). Вполне понятно, что стоимость изготовления таких кабелей вряд ли может быть ниже, чем выпускаемых в настоящее время, поскольку на изготовление стандартных кабелей затраты материалов в 4,5 раза выше.

Стандартизация, осуществляемая Европейскими комитетами CEN и CENELEC, безусловно, является важным и необходимым шагом по унификации требований

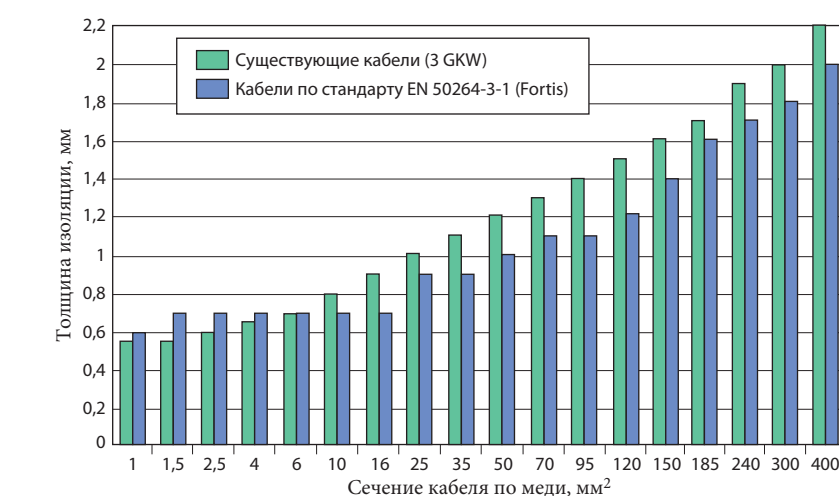


Рис. 1. Толщина изоляции кабелей на напряжение 600 В

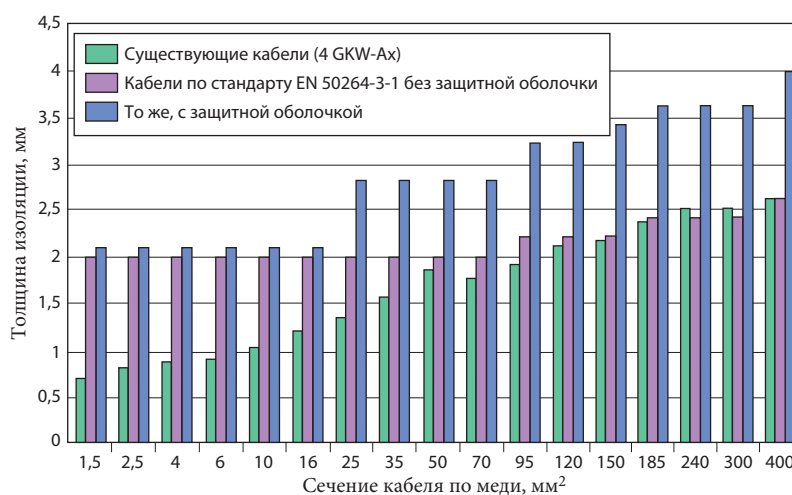


Рис. 2. Толщина изоляции кабелей на напряжение 1800 В

к безопасности кабелей и создает важные предпосылки для беспрепятственного обращения поездов в международных сообщениях. В то же время остается неясной перспектива снижения расходов, к которому так стремились и на которое надеялись. Во-первых, этому мешает все еще остающееся большое многообразие типов кабелей, во-вторых, в результате новых конструктивных требований увеличивается расход материалов, удлиняется производственный цикл и, таким образом, неизбежно возрастают затраты. Для сокращения разнотипности кабелей компания Huber + Suhner нацеливается на то, чтобы разрабатываемые ею кабели отвечали требованиям 4-го уровня опасности, так как в вопросах надежности и безопасности не

должно быть компромиссных решений. Кроме того, существуют противоречия между стандартом prEN 50264, который разрабатывается специально для кабелей и частично уже введен в действие, и общим стандартом по безопасности prEN 45545.

Кабель для шины данных (Cat 5)

Поездная сеть обмена информацией

На железнодорожном транспорте порядок передачи данных определяется стандартом IEC 61375, разработанным Международной электротехнической комиссией (IEC) для нужд железнодорожного транспорта. Этот стандарт опреде-

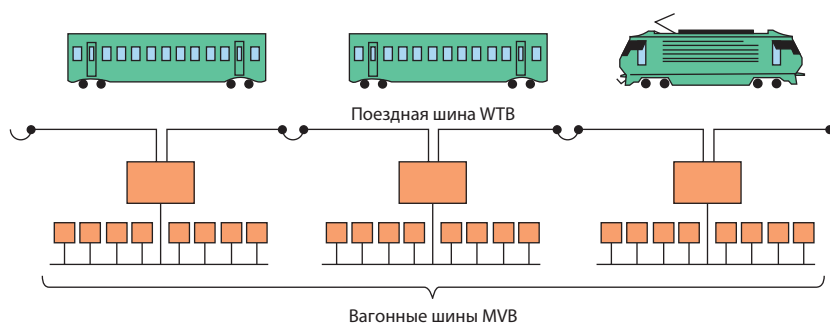


Рис. 3. Сеть обмена данными в поезде

ляет требования к кабелям, кабельным разъемам, интерфейсам и протоколам, совокупность которых образует поездную сеть обмена данными (TCN), показанную на рис. 3. Целью стандарта является обеспечение совместимости систем обмена данными как внутри единицы подвижного состава (локомотива или вагона), так и между этими единицами в поезде, т. е. для каждого вагона по схемам вагон — вагон и вагон — локомотив.

Поездная сеть TCN имеет иерархическую структуру с двухуровневой системой шин для передачи данных, основные характеристики которых приведены в табл. 7. Сеть образована вагонными шинами обмена информацией MVB и поездной шиной WTB.

Кабель категории 5 (Cat 5) для обмена цифровыми данными

В конце 1990-х годов был разработан стандарт IEC 61156 на симметричные кабели парной скрутки и четверочной (звездной), предназначенные для передачи данных. Параллельно с этим был выпущен европейский стандарт EN 50288 с описанием сравнимых характеристик. В отличие от рассмотренного ранее стандарта на системы MVB и WTB эти два стандарта прежде

всего определяют характеристики, относящиеся к передаче данных для кабельных систем, состоящих из кабеля и разъемов (табл. 8). Проблемы выбора более высокого уровня протокола системы и электронных интерфейсов в этих стандартах не рассматриваются.

В обоих стандартах определяется несколько диапазонов частот (категорий), которые на практике обозначаются символом Cat X (где X определяет номер категории). Частично определяются также требования к кабелям в зависимости от области применения, например кабели для сетей в зданиях или для подключения приборов. Эти стандарты не являются специализированными для железнодорожного транспорта и поэтому не учитывают специфических требований этой области применения. В связи с этим кабели и разъемы, соответствующие требованиям этих стандартов, не всегда пригодны для использования в поездах.

Сравнение поездной информационной сети (TCN) и высокочастотной связи

Частотный диапазон информационной сети TCN сверху ограничивается частотой 2 МГц (см. табл. 7) в отличие от высокочастотной

шины данных, работающей с частотой 100 МГц (см. табл. 8). Скорость передачи данных на частоте 2 МГц в прошлом была вполне достаточной. В связи с возрастающим объемом передачи данных и регулирования, а также для информирования пассажиров) потребовались более быстродействующие системы.

Решающее преимущество стандартов IEC 61156 и EN 50288 заключается в том, что они являются промышленными и поэтому имеют широкую сферу применения. Стандарты MVB и WTB, наоборот, используются исключительно на железнодорожном транспорте. Круг охватываемого ими оборудования сильно ограничен, что делает используемые устройства сравнительно более дорогими. Это является достаточной причиной для того, чтобы и в железнодорожной промышленности перейти к промышленным стандартам, для чего, однако, требуется дополнительное согласование системы с железнодорожным оборудованием. Только при этом условии можно получить пригодные для железной дороги информационные системы с соответствующими кабелями.

Использование высокочастотных информационных систем (например, Ethernet) позволяет реализовать с помощью кабеля экономичную связь в реальном масштабе времени со стандартным протоколом и стандартными компонентами.

Конструктивное исполнение кабеля Cat 5 для шины данных

Кабель для железнодорожного транспорта должен удовлетворять требованиям соответствующих отраслевых норм и информационных стандартов (табл. 9).

Стандарты по информационным сетям определяют требования к параметрам в отношении передачи данных, а также к соответствующим конструкционным характеристикам и частично к механическим свойствам. Высокие требования к кабелям с целью разработки стандарт-

Таблица 7

Характеристики поездной сети TCN

Параметр	Шина данных	
	WTB	MVB
Максимальная длина линии, м	820	200
Частотный диапазон, МГц	0,5 – 2	
Волновой импеданс, Ом	120 ± 10 %	
Затухание, дБ/100 м	1 при частоте 1 МГц; 1,4 при частоте 2 МГц	1,5 при частоте 1 МГц; 2 при частоте 2 МГц

ной продукции высшего качества требуют нетрадиционных решений.

Сечение проводов. Выбор поперечного сечения должен не только удовлетворять железнодорожным нормам и требованиям стандартов по информационным шинам, но также гарантировать прочность кабеля. Однако в разных стандартах указываются различные диапазоны возможных поперечных сечений (см. табл. 9). На железнодорожном транспорте существуют ограничения по применению кабелей с поперечным сечением менее 20 AWG (0,5 мм²) и тем более с поперечным сечением менее 22 AWG (0,34 мм²). Отсюда следует, что выбор наибольшего поперечного сечения целесообразно вести в соответствии со стандартами для информационных шин.

Требования к жилам кабеля и их обработке. В соответствии со стандартом на информационные шины число многопроволочных жил в структуре кабелей для гибкого применения не может быть больше семи. Нанесение покрытия на жилы кабеля, предназначенного для использования на железнодорожном транспорте, является обязательным. В качестве такого покрытия стандарт, как правило, предусматривает лужение. При частоте 100 МГц (кабели Cat 5) олово в качестве покрытия является вполне приемлемым решением. Однако при более высоких частотах такое покрытие ухудшает передачу данных из-за поверхностного эффекта. В связи с этим здесь целесообразно серебрение поверхности. Провода с этим покрытием могут использоваться в диапазоне частот от 250 до 600 МГц, в результате чего системы становятся более перспективными, удлиняется срок их службы.

Структура кабеля. Структура кабеля должна отвечать требованиям всех соответствующих стандартов. Распространенной структурой является симметричный кабель со звездной четверочной скруткой (рис. 4). Оптимальные характеристики по передаче данных обеспечиваются точным расчетом жил и

Таблица 8

Характеристики кабелей категории 5 (Cat 5)

Параметр	Стандарт	
	EN 50288-2-2	IEC 61156-6-1 Cat 5
Максимальная длина линии, м	100	–
Частотный диапазон, МГц	4 – 100	
Волновой импеданс, Ом	100 ± 5 Ом (при частоте 100 МГц)	100 ± 15 Ом (весь диапазон частот)
Затухание, дБ/100 м	32 (при частоте 100 МГц)	26,4 (при частоте 100 МГц)

Таблица 9

Требования к кабелю в соответствии с железнодорожными и информационными стандартами

Параметр	Стандарт			
	EN 50288-2-2	IEC 61156-6 Cat 5E	EN 50264 (питающие кабели)	EN 50306 (питающие кабели)
Диаметр провода по меди, мм	0,36 – 0,65 (много- проволочный); 0,8 (одножиль- ный)	0,4 – 0,65 (до 0,8)	–	–
Площадь сечения по меди, мм ²	–	–	> 1	0,5 – 2,5
Число проводов	1 или 7	От 1 до 7 предпочти- тельно	–	–
Поверхность провода	Чистая или луженая	Чистая или луженая	Луженая	Луженая

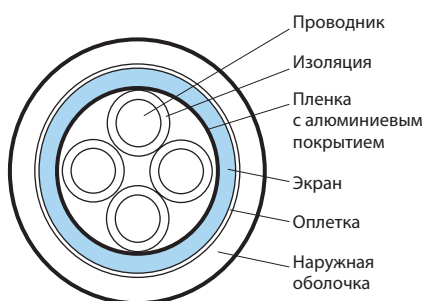


Рис. 4. Симметричный кабель со звездной скруткой

оптимизацией элементов экранирования (пленка с алюминиевым покрытием и экранирующая оплетка).

Противопожарная безопасность и устойчивость к условиям окружающей среды обеспечиваются материалом наружной оболочки, специально разработанным для применения на железнодорожном транспорте.

Результаты измерений

Соответствие стандартам проверяется с помощью типовых испытаний. Результаты испытаний вполне соответствуют требованиям. Это означает, что даже при негативных воздействиях отклонений от техно-

логии изготовления или сложных условий эксплуатации обеспечивается надежное выполнение требований. Так, полученная при измерениях величина затухания кабеля Cat 5 на 8–13 дБ ниже предельно допустимого значения (в зависимости от стандарта, с которым производится сравнение).

Выводы

Компания Huber + Suhner разрабатывала кабель Cat 5 на основе систематического анализа стандартов на железнодорожные устройства и системы обмена информацией, чтобы предложить перспективную альтернативу традиционным кабелям с учетом соотношения цены и качества. Творческий подход к конструкции кабеля, касающийся компоновки его сечения и обработки поверхности проводника, обеспечивает высокий уровень качества и надежности продукции.

S. Ott et al. *Glaser's Annalen*, 2005, 129 *Tagungsblatt SFT*.