

Плоский кабель: знакомый и неизвестный

Светлана ПЕСКОВА

Самое главное преимущество плоского кабеля перед другими разновидностями — он быстро монтируется на разъем. Однако его иные особенности приводили скорее к ограничениям в применении. Компания 3М смогла исправить это положение и предложила плоский кабель для тех применений, где ранее использовался только круглый.

История плоского кабеля началась в 1956 году, когда компания Ciscoil изобрела новый тип кабеля для компьютеров IBM. В течение десятилетий он был предпочтительным вариантом в производственных компьютерах, военной и аэрокосмической технике, робототехнике. Его преимущество перед круглым кабелем объяснялось превосходной гибкостью, малыми помехами и удобством корпусирования.

Конструкция круглого кабеля имеет ряд недостатков. Несмотря на применение наполнителя для рассеивания тепла, фрикционный нагрев между проводниками остается проблемой при регулярных циклах движения кабеля. Также существует проблема изменения электрического импеданса при движении проводников внутри оболочки.

В плоском же кабеле проводники расположены строго параллельно друг другу, их перемещение исключено самой конструкцией. Благодаря этому электрические характеристики, такие как импеданс, емкость, временная задержка прохождения сигнала, наводящие помехи и аттенуация, остаются неизменными. Да и проводники имеют одинаковую физическую и электрическую длину, поэтому изменения прохождения сигнала и дифференциальные задержки оказываются минимальными. Отсутствие наполнителя, дополнительной изоляции и противоскользких лент делает кабель легким и малогабаритным. Следует подчеркнуть, что плоская конструкция кабеля дает больший объем поверхности и лучше рассеивает тепло, а значит, можно пропускать более высокие токи при меньшем диаметре проводника.

Таким образом, для приложений, где требуется низкий уровень сигнал/шум, гибкость, малый нагрев при высокой плотности корпусирования, плоский кабель становится лучшим решением.

Основные характеристики шлейфа

Традиционно шлейф считается кабелем для внутриблочного соединения. Это вызвано

тем, что кабель имеет значительные ограничения по рабочей температуре, плохое экранирование и малое расстояние передачи сигнала. Однако компания 3М благодаря многолетнему опыту разработки и испытаний плоского кабеля доказала, что подобные ограничения можно преодолеть или устранить.

Среди основных характеристик кабелей:

- материал жилы;
- сечение жилы;
- количество проволок в жиле;
- материал изоляции;
- шаг проводников.

Остановимся кратко на каждом пункте и укажем, какие решения предлагает компания 3М.

Материал жилы

В большинстве плоских кабелей сечение жилы и количество проволок в ней унифицировано и составляет $7 \times 0,127$. Что касается материала жилы, в 99% случаев весь выпускаемый шлейф имеет жилы из луженой меди. Исключение составляют некоторые серии кабеля 3М с жилой из посеребренной меди. Выбор такого покрытия обусловлен требованием к снижению потерь на проводимость и эксплуатацией кабеля в широком диапазоне рабочих температур $-55...+200$ °С.

Сечение жилы и количество проводников

Чем больше проволок на единицу сечения, тем выше гибкость кабеля. И если стандартный кабель имеет жилу с семью проводниками (28–30AWG), то кабель повышенной гибкости 3М (например, серии 3539A, HF-319 и др.) имеет жилу из 19 проводников по 40AWG (0,079 мм). Гибкость кабеля — ключевой параметр в условиях высокой плотности внутрикорпусной сборки изделия. Как известно, кабель не рекомендуется сгибать более чем на 90° , чисто сгибов также ограничено. Применение гибкого кабеля 3М позволит избежать таких ограничений.

Материал изоляции

С одной стороны, изоляция защищает электрические проводники, с другой — при-

дает кабелю такие свойства, как гибкость, термостойкость, холодостойкость, пожаробезопасность и т. д. Очевидно, что поливинилхлорид (ПВХ), стандартный материал изоляции, не обладает всеми вышеперечисленными свойствами. Кабели с изоляцией ПВХ предназначены только для использования внутри блоков при комнатной температуре и для передачи данных на небольшие расстояния. Компания 3М выпускает шлейфы для жестких условий эксплуатации, где отрицательная температура может достигать -55 °С. В ассортимент входят шлейфы с различной изоляцией, что позволяет применять их в условиях скрытой проводки, минусовых температур, сверхплотного монтажа или для передачи сигналов на большие расстояния.

Шаг проводников

На российском рынке самыми распространенными типами плоского кабеля являются шлейфы с шагом 1 и 1,27 мм. Помимо этих популярных моделей, компания 3М выпускает кабель и с меньшим шагом, от 0,635 мм (минимальный шаг 0,15 мм предлагает фирма Molex в серии Temp-Flex с ограниченным числом жил).

Рассмотрим некоторые линейки в ассортименте плоского кабеля от компании 3М более подробно.

Жила целая и порезанная

Когда мы говорим о качестве жилы, то в первую очередь оцениваем ее материал и чистоту этого материала. Однако есть еще один фактор, который напрямую влияет на потери проводимости проводника, — его цельность. В любом плоском кабеле жила является сварной, а потому по всей длине бухты есть несколько точек спая для каждой жилы (например, бухта плоского кабеля 3М длиной 31 м может иметь до трех таких точек). Каждая точка стыка — это значительные потери качества сигнала, причина скачков полного сопротивления. Некоторые монтажники, встречая подобные участки в бухте кабеля, специально вырезают их, что-

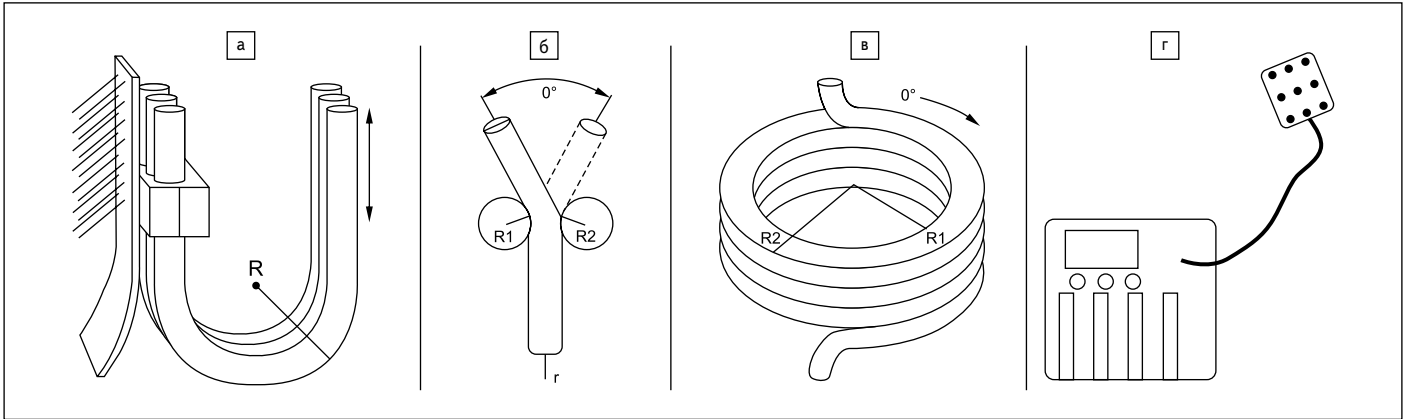


Рис. 1. Формы сгиба кабеля в автоматизированном оборудовании: а) изгиб; б) возвратные угловые изгибы; в) торсионные скручивающиеся изгибы; г) самопроизвольные изгибы [1]

бы не использовать в разводке. Однако это приводит к неэкономному расходу кабеля и лишает возможности использовать плоский кабель большой длины.

Компания 3М выпускает splice-free плоский кабель (в маркировке обозначается последними буквами -SF — например, HF-365/10SF). Качество передачи сигналов в таком варианте особенно заметно при использовании кабеля большой длины и с большим числом проводников.

Кабель с безгалогенной LSZH-изоляцией

В кабельной продукции широко используется ПВХ-оболочка, которая обладает низкой горючестью. Однако это лишь один из параметров общего термина «пожаробезопасность». К другим критериям относятся дымообразующая способность материала, токсичность продуктов горения, их коррозионная активность. При горении ПВХ-изоляции выделяется черный дым и токсичные продукты горения (включая СО и хлористый водород). Во избежание образования токсичных газов применяются безгалогенные композиции на основе полиолефинов.

Безгалогенные материалы не содержат таких вредных веществ, как фтор, хлор, бром, поэтому кабели в HF (halogen free) изоляции законодательно рекомендованы для использования на объектах с большой концентрацией людей и дорогостоящей техники: в транспортной инфраструктуре (метрополитен и пассажирские составы), в промышленном и жилищном строительстве, в местах массового скопления людей (аэропортах, школах, больницах, универмагах и т. д.), высотных зданиях, в установках аварийного электроснабжения, на предприятиях нефтегазового комплекса и т. д.

Все шлейфы 3М в LSZH-изоляции имеют префикс HF-, например HF-365 (табл. 1). Благодаря использованию композиции из полиолефина расширяется и температурный диапазон применения кабеля, составляющий -40...+105 °С.

Таблица 1. Ассортимент плоского кабеля в безгалогенной оболочке LSZH

Серия	HF447	HF625	HF365	HF100	HF017	HF759	HF659
Тип кабеля	Плоский кабель с круглым проводником			Плоский кабель со скруткой пар	Экранированный плоский кабель с внешней изоляцией	Плоский кабель в круглой изоляции	Экранированный плоский кабель в круглой изоляции
Шаг, мм	0,635	1	1,27				
Размер проводника, AWG	30		28				
Материал проводника	Луженая медь						
Тип проводника	Одножильный	7×0,127 (7×36)					
Первичная изоляция	Композиция из полиолефина (EVA/PO)						
Цвет первичной изоляции	Темно-серый			Голубой/серо-белые пары	Темно-серый		
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+90		-40...+105				

Гнуть или не гнуть?

Современное автоматизированное оборудование предназначено для работы на высоких скоростях, оно имеет интегрированные системы машинного зрения и множество датчиков. Новые рабочие условия могут повредить кабельную разводку, которая использовалась в оборудовании старого поколения, то есть круглый кабель.

В автоматизированном оборудовании сгибы кабеля имеют разную форму (рис. 1): изгиб, возвратные угловые, торсионные скручивающиеся и самопроизвольные изгибы. Каждый раз, когда кабель сгибается, медные проводники и экран кабеля испытывают повышенную нагрузку. Медь, как материал, имеет плохую стойкость к повторяющимся

нагрузкам, даже если они лежат на 15% ниже критического уровня. У меди также плохие характеристики по напряжению сдвига (касательному напряжению), она деформируется при нагрузках ниже своего пластического предела твердости. Поэтому кабели с медными проводниками имеют малый радиус сгиба и малый диаметр проводника.

Компания 3М выпускает ленточный кабель с тремя степенями свободы сгиба: стандартный с низкой гибкостью, со средней и высокой гибкостью (табл. 2). Не следует путать гибкий плоский кабель FFC с плоским кабелем повышенной гибкости 3М. В отличие от FFC, он имеет стандартный шаг 1,27 мм и используется со стандартными IDC-разъемами.

Гибкость кабеля характеризуется его способностью выдерживать последовательность

Таблица 2. Гибкие кабели 3М

Серия	3539(A)	3319	HF319	3834
Тип кабеля	Плоский кабель средней гибкости	Плоский кабель повышенной гибкости	Плоский кабель с круглым проводником повышенной гибкости	Плоский кабель повышенной гибкости в дополнительном кожухе
Шаг, мм	1,27			
Размер проводника, AWG	28			
Материал проводника	Луженая медь	Посеребренная медь		
Тип проводника	19×0,079 (19×40)			
Первичная изоляция	ПВХ		Композиция из полиолефина (EVA/PO)	ПВХ
Цвет первичной изоляции	Серый, черный	Черный	Темно-серый	Черный
Диапазон рабочих температур, °С	-20...+105		-40...+105	-20...+105

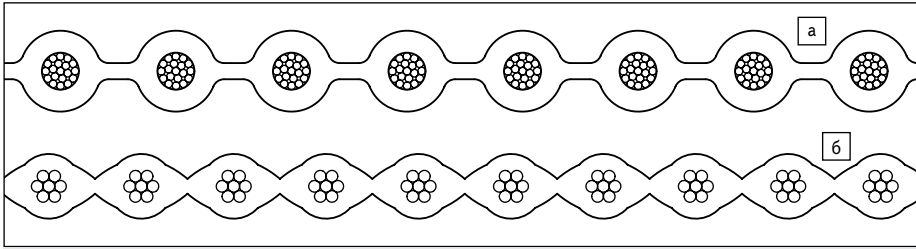


Рис. 2. Сравнение конструкции:
а) кабель повышенной гибкости; б) кабель стандартной гибкости гибкого и стандартного кабеля [2, 3]

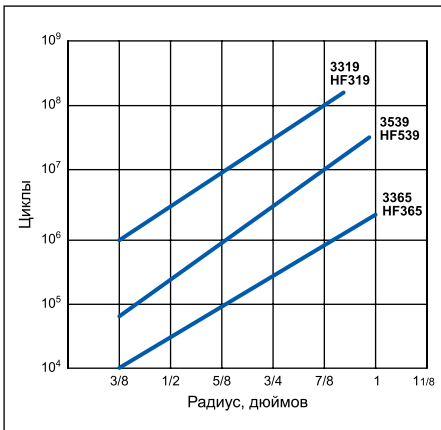


Рис. 3. Сравнение сверхгибкого и стандартного кабеля

сгибов без ломки проводника. Она определяется радиусом изгиба и конструкцией проводника (рис. 2). Если у стандартного кабеля 7-жильный проводник (7×0,127), то сверхгибкий кабель будет уже иметь 19-жильный проводник (19×0,079). Для того чтобы проводники не ломались при сгибе, применяется посеребрение меди.

На графике (рис. 3) показано сравнение количества сгибов разных моделей плоского кабеля, сверхгибкого (3319 и HF319 в безгалогенной изоляции) и средней гибкости (3539). Сверхгибкий кабель допускает от 18 млн сгибов радиусом 12,7 мм и от 113Млн сгибов радиусом 19 мм. Количество циклов сгиба такого кабеля в 100 раз превышает возможности круглого кабеля, при этом его вес в 4 раза меньше. Для сравнения приведем параметры отечественного низкотемпературного кабеля

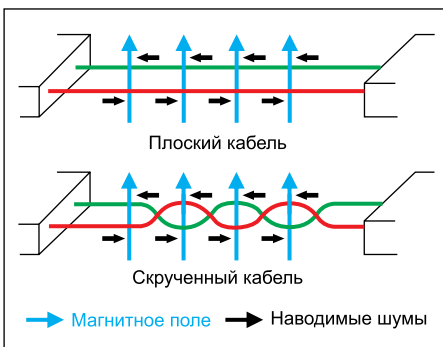


Рис. 4. Сравнение наводимых помех в параллельных и скрученных проводниках [4]

МС26-13, количество сгибов у которого составляет всего 130 раз на угол 90°.

Возможность частого сгиба кабеля с сотней миллионов циклов дает возможность применения такого плоского кабеля в станках с ЧПУ, робототехнике, манипуляторах захвата и перемещения и другом высокоскоростном автоматизированном оборудовании. Использование плоского гибкого кабеля уменьшает вес подвижных кабельных сборок, позволяет увеличить скорость перемещения, уменьшить вибрацию и колебания, сократить износ.

Ленточный кабель со скрученными жилами

Идея перекрутить два проводника принадлежит изобретателю телефона Беллу и датируется 1881 годом. Взаимная обивка проводников кабеля обеспечивает защиту от собственных и внешних наводок.

Шумы генерируются в сигнальных линиях магнитным полем. Ток помех в линиях данных является результатом влияния магнитного поля. В плоско расположенных

проводниках все токи помех текут в одном направлении, как в обычной обмотке трансформатора. Если проводники скручены друг вокруг друга, на некоторых участках сигнальных линий направление тока помех оказывается противоположным, чем в других частях кабеля (рис. 4). Таким образом обратные токи компенсируют друг друга и оказываются сбалансированы. Благодаря этому суммарные помехи становятся значительно ниже, чем в традиционном плоском кабеле.

Кабели со скрученными проводниками широко распространены в системах дифференциальной передачи данных. При передаче данных в дифференциальном режиме один электрический сигнал передается в виде двух противофазных сигналов, каждый идет по своему проводнику. Один представляет инвертированный сигнал другого. Приемник определяет разность потенциалов между инвертированным и неинвертированным сигналами (рис. 5).

Электромагнитные помехи влияют на оба проводника одновременно и одинаково. Но поскольку приемник определяет только разницу уровней между проводниками, витая пара является более устойчивой к воздействию электромагнитных помех, чем одиночные проводники, уровень которых изменяется относительно «земли» (рис. 5).

Дифференциальный сигнал похож на симметричный балансный сигнал (balanced), который очень важен для высокочастотной качественной связи, защищенной от синфазных помех. В скрученных кабелях с балансным сигналом потери в основном определяются только диэлектриком. В кабелях, где один проводник передает один сигнал (неба-

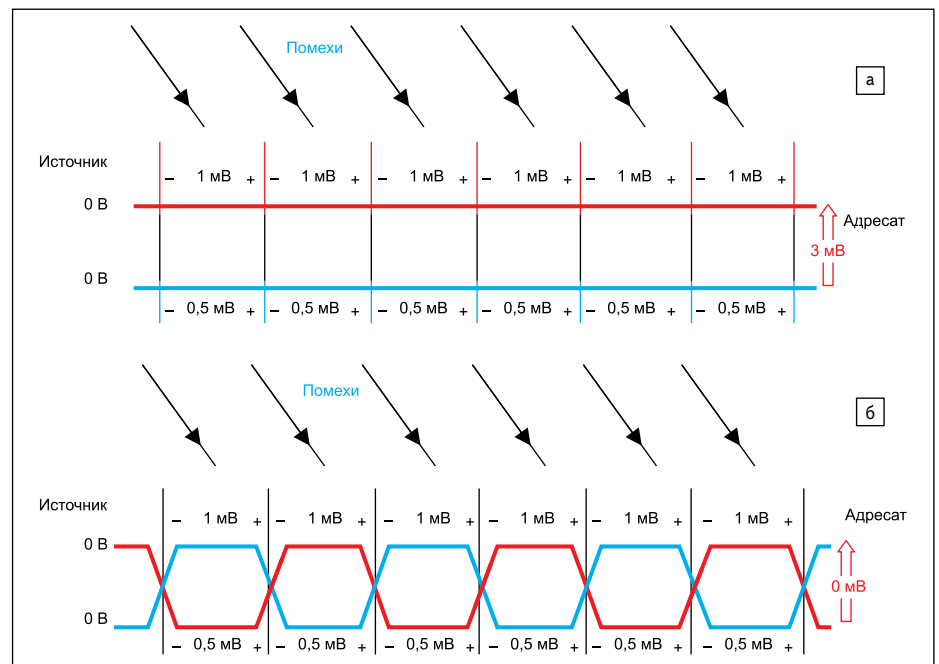


Рис. 5. Влияние помех на разные виды проводников:

а) в параллельных проводниках под влиянием помех напряжение на красном проводнике выше, чем на синем;
б) в скрученных проводниках помехи создают попеременно высокое и низкое напряжение в обоих проводниках



Рис. 6. Участки для монтажа на разъеме с параллельным расположением жил в скрученном плоском кабеле

Таблица 3. Линейка плоского кабеля со скрученными жилами

Серия	NF100	1785	1700	3782	3784
Тип кабеля	LSZH-кабель со скруткой пар	Экранированный кабель со скруткой жил в защитной оболочке	Цветной плоский кабель со скруткой пар		Экранированный кабель со скруткой жил в круглой оболочке
Шаг, мм	1,27				
Материал проводника	Луженая медь				
Первичная изоляция	Композиция из полиолефина (EVA/PO)	ПВХ			
Цвет изоляции	Голубой/серо-белые пары	Черный	10 цветов	10 цветов	Серый
Диапазон рабочих температур, °C	-40...+105	-20...+80			

ланское подключение), потери определяются сопротивлением металла, которое увеличивается с повышением частоты (скин-эффект).

Для дифференциальной передачи сигналов могут использоваться следующие кабели: витая пара, твинаксиальный кабель и плоский витой кабель.

Несмотря на дешевизну и простоту эксплуатации витой пары, этот кабель имеет и определенные недостатки: взаимное наложение сигналов между смежными проводниками (crosstalk), чувствительность к внешним электромагнитным полям, возможность несанкционированного перехвата информации, большая степень затухания сигнала по пути, чем у кабелей других типов.

Немаловажным фактором является и неудобство монтажа витой пары на разъеме. Этот трудоемкий процесс отнимает достаточное количество времени у монтажника, а качество установки зависит от квалификации специалиста. Оконцевание же плоского кабеля происходит за 1 мин с помощью IDC-разъема. Возможность быстрой накладки соединителя на плоский кабель — главное его преимущество перед другими видами витых проводников. Особенно принципиален этот момент при массовом производстве оборудования.

При скрученных проводниках монтаж на IDC-разъем может быть затруднен, поэтому плоский скрученный кабель 3М имеет участки с параллельно расположенными проводниками, которые специально предназначены для накладки кабеля на разъем (рис. 6). Также отметим, что все модели плоского скрученного кабеля имеют цветовую идентификацию жил.

Основная сфера применения плоского кабеля со скрученными жилами — подключение силовых модулей для управления электроприводом (например, в документации к модулям Semikron кабель 1700 3М прописан как рекомендованный). Здесь кабель со скрученными жилами обеспечивает защиту от перекрестных помех (табл. 3).

Суммируя вышесказанное, выделим основные преимущества скрученного витого кабеля в плоском исполнении:

- защита от электромагнитных помех;
- высокоскоростная передача данных на высоких частотах;
- возможность передачи сигнала по плоскому кабелю на большие расстояния;
- удобство монтажа на разъеме.

Низкотемпературный кабель

Для производства изоляции кабелей существует множество различных материалов. Однако среди них можно выделить три основные группы: ПВХ (поливинилхлорид), РUP (полиуретан) и ТРЕ (термопластичный эластомер). Каждый материал имеет свои преимущества, такие как влагозащита, износостойкость и гибкость.

ПВХ-изоляция широко известна и популярна. Этот материал отличается хорошей стойкостью к влаге и достаточно низкой стоимостью.

Полиуретановая изоляция применяется, как правило, европейскими и азиатскими производителями. Это безгалогенный материал, стойкий к истиранию, но с ограниченным температурным диапазоном -40...+80 °C.

ТРЕ-эластомер — гибкий материал с превосходными возможностями работы на низких температурах -50...+125 °C. Такой кабель будет стойким к солнечным лучам, ультрафиолету и озону. Гибкость изолятора тоже уникальна, он допускает до 10 млн циклов сгиба. Сравнение свойств изоляторов приведено в таблице 4.

Таблица 4. Сравнение свойств основных изоляторов кабеля

Параметр	ПВХ	PUR	TPE
Окисление	Отлично	Отлично	Превосходно
Нагрев	Хорошо/превосходно	Отлично	Превосходно
Масло	Удовлетворительно	Превосходно	Превосходно
Гибкость при низких температурах	Плохо/хорошо	Отлично	Превосходно
Погода, солнце	Хорошо/отлично	Отлично	Превосходно
Озон	Отлично	Отлично	Отлично
Трение	Удовлетворительно/хорошо	Отлично	Отлично
Электрические свойства	Удовлетворительно/хорошо	Отлично	Отлично
Воспламеняемость	Отлично	Отлично	Превосходно
Ядерная радиация	Хорошо	Отлично	Плохо
Вода	Хорошо/отлично	Хорошо/отлично	Отлично
Кислоты	Хорошо/отлично	Отлично	Отлично
Алкалоиды	Хорошо/отлично	Отлично	Отлично
Топливо	Плохо	Отлично	Отлично
Бензол	Плохо/удовлетворительно	Отлично	Отлично
Обезжиривающие растворители	Плохо/удовлетворительно	Отлично	Отлично
Алкоголь	Хорошо/отлично	Отлично	Отлично
Сварочный шлак	Удовлетворительно	Отлично	Отлично

ТРЕ — термопластовый эластомер или резина (TPR) — это комбинация пластика и резины. ТРЕ имеет очень прочный состав и хорошо выдерживает температурные колебания. Это позволяет применять кабель в ТРЕ-изоляции при самых неблагоприятных внешних условиях. Кабели в ТРЕ-изоляции имеют втрое лучшую гибкость при низких температурах по сравнению с ПВХ.

Защитные свойства кабелей в ТРЕ/PEP-изоляции сказываются на толщине изоляции, а это, в свою очередь, ведет к сложностям с монтажом IDC-разъемов. Разъемы китайских производителей, которые экономят на материале накалывающих контактов, просто гнутся при обжиме. При применении качественных разъемов 3М или TE Connectivity таких проблем не возникает. Приведем такой факт: в твинаксиальных плоских кабелях для высокоскоростной передачи данных добавление разъема на 20% снижает качество передачи сигнала. Поэтому экономить на разъемах, используя качественный кабель, значит нивелировать все преимущества этого кабеля.

Основные сферы применения таких кабельных сборок — контрольные кабели, автомобильная промышленность, робототехника,

Таблица 5. Плоский кабель для работы на минусовых температурах

Серия	3749	3609	3604	3355	3770	3601
Шаг, мм	0,635			1,27		
Материал проводника	Луженая медь	Посеребренная медь		Луженая медь		Посеребренная медь
Тип проводника	Одножильный	7×0,102 (7×38)	Одножильный	7×0,127 (7×36)	7×0,160 (7×34)	7×0,127 (7×36)
Первичная изоляция	ТРЕ (термопластовый эластомер)	FEP (фторсодержащий этилен-пропилен)		ТРЕ (термопластовый эластомер)		FEP (фторсодержащий этилен-пропилен)
Цвет первичной изоляции	Серый	Матово-белый		Серый		Голубой
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+105	-55...+150		-40...+105		-55...+150

медицинское оборудование. Ассортимент кабеля 3М с низкими рабочими температурами приведен в таблице 5.

Характеристики ТРЕ-изоляции:

- диапазон рабочих температур: -50...+125 °С;
- стойкость к возгоранию: превосходная;
- химическая стойкость: удовлетворительная;
- УФ-стойкость: превосходная;

- срок службы: хороший;
- гибкость: хорошая.

Плоский кабель хорошо подходит для применений, где требуется низкий уровень сигнал/шум, гибкость и малый нагрев при высокой плотности корпусирования. В статье мы привели описание лишь некоторых групп плоского кабеля 3М. В ассортименте

компании также есть кабели в круглой изоляции, экранированные плоские кабели и витая пара. ■

Литература

1. www.gore.com/resources/tech-note-understanding-cable-stress-and-failure-high-flex-applications
2. www.multimedia.3m.com/mws/media/798755O/3mtm-high-flex-life-cable-hf319-series-ts2342.pdf
3. www.multimedia.3m.com/mws/media/667945O/3mtm-round-conductor-flat-cable-hf365-series-ts2334.pdf
4. www.researchgate.net/post/What_is_the_basic_idea_behind_the_twisted_pair_Why_are_the_two_wires_twisted_How_does_this_arrangement_compensate_undesirable_disturbances