

КОНСТРУКТИВНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИММЕТРИЧНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

Б. Попов, профессор ПГУТИ, к.т.н.

В. Попов, доцент ПГУТИ, к.т.н.

В статье дается сравнительный анализ конструктивных и электрических характеристик железнодорожных кабелей с кордельно-трубчатой, кордельно-полистирольной и пленко-пористо-пленочной изоляцией жил. Показаны преимущества кабелей с пленко-пористо-пленочной изоляцией и возможность их применения в качестве вставок на линиях связи с кордельно-трубчатой и кордельно-полистирольной изоляцией.

Сейчас в единой сети электросвязи России используются в основном волоконно-оптические кабели связи (ВОК), обладающие очень высокой пропускной способностью. ВОК используются и на ведомственных линиях связи, например на магистральных линиях железнодорожного транспорта. Для решения технологических задач на железных дорогах еще достаточно широко применяются симметричные кабели с кордельно-трубчатой полиэтиленовой и кордельно-полистирольной изоляцией, а в последние годы стали использоваться и кабели с пленко-пористо-пленочной изоляцией. Кабели с кордельно-трубчатой и кордельно-полистирольной изоляцией должны содержаться под избыточным воздушным давлением. Кабели же с пленко-пористо-пленочной изоляцией, в зависимости от требования заказчика, могут выпускаться с гидрофобным наполнителем или водоблокирующими материалами, которые

обеспечивают хорошую защиту от влаги и позволяют отказаться от содержания кабеля под избыточным воздушным давлением.

В статье рассматриваются конструктивные и основные электрические характеристики симметричных кабелей с пленко-пористо-пленочной изоляцией четверочной конструкции производства ЗАО "Самарская кабельная компания", разработанные совместно с ВНИИКП для российских железных дорог. Это самый совершенный тип изоляции в кабельной технике как по конструктивному, так и по диэлектрическим характеристикам. Неслучайно в СКС-кабелях категории 6 и выше применяется только он.

Конструктивные особенности и основные электрические характеристики, определяющие эффективность использования кабелей с пленко-пористо-пленочной изоляцией, рассматриваются в сравнении с соответствующими характеристиками аналогичных по назначению

кабелей с кордельно-трубчатой и кордельно-полистирольной изоляцией, применяемых на железнодорожном транспорте.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СИММЕТРИЧНЫХ КАБЕЛЕЙ

На железных дорогах России используются симметричные кабели с медными жилами диаметром 1,05 мм с кордельно-трубчатой изоляцией, диаметром 1,2 мм с кордельно-полистирольной изоляцией и диаметром 1,05 или 1,2 мм (по требованию заказчика) с пленко-пористо-пленочной изоляцией. Все перечисленные кабели разработаны с учетом требования идентичности таких основных характеристик, как коэффициент затухания и волновое сопротивление.

Важнейшей электрической характеристикой, зависящей от конструкции изолированной жилы и кабеля в целом и влияющей на величину коэффициента затухания и волнового сопротивления, является рабочая емкость $C_{\text{раб}}$. Для рассматриваемых кабелей с жилами диаметром 1,05 мм $C_{\text{раб}} = 23,5 \pm 1$ нФ/км, а с жилами диаметром 1,2 мм $C_{\text{раб}} = 24,5 \pm 1$ нФ/км.

Чем стабильнее величина рабочей емкости, тем стабильнее и величина волнового сопротивления $Z_{\text{в}}$, характеризующая однородность линейного тракта. Именно по величине рабочей емкости делается подбор строительных длин кабеля на линии связи: среднее значение рабочей емкости $C_{\text{раб}}$ двух соединяемых строительных длин не должно отличаться друг от друга более чем на 0,2 нФ/км. Индуктивность L слабо зависит от изменения конструктивных размеров кабеля (диаметра жил и расстояния между ними), а емкость $C_{\text{раб}}$ сильно меняется при изменении конструктивных размеров конкретной строительной длины кабеля, и в конечном итоге она и определяет стабильность $Z_{\text{в}}$. Подбор кабельных цепей по емкости эквивалентен подбору по волновому сопротивлению, поскольку на высоких частотах между ними существует зависимость $Z_{\text{в}} \approx \sqrt{L/C}$.

Практика производства высокочастотных кабелей четверочной конструкции в ЗАО "СКК" показывает, что наибольшей стабильностью рабочей емкости, а следовательно, и других электрических характеристик, обладают кабели с пленко-пористо-пленочной изоляцией. Обусловлено это тем, что такому типу изоляции, в отличие от других типов, присуща высокая однородность. Изоляция жилы состоит из трех

концентрических слоев полиэтилена низкой плотности. Наружный и внутренний слой представляют собой сплошное пленочное покрытие. Между ними расположен основной промежуточный слой, имеющий вспененную (пористую) структуру. Изоляция окрашивается в четыре цвета: красный, зеленый, желтый и синий. Пигмент вводится в наружное пленочное покрытие.

Повышенная геометрическая и диэлектрическая однородность пленко-пористо-пленочной изоляции обусловлена автоматическим регулированием диаметра, погонной емкости и эксцентриситета изолированной жилы в процессе ее изготовления на экструдере.

Для оценки стабильности рабочей емкости статистически обработаны результаты измерения 40 строительных длин кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией марки МКПпАШп 4×4×1,2. В результате обработки 320 значений рабочей емкости определено среднее значение $C_{\text{раб}} = 24,3$ нФ/км при среднеквадратическом отклонении 0,36 нФ/км. Результаты измерения позволяют сделать вывод о высокой геометрической и диэлектрической однородности кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией в целом.

Весьма актуален вопрос о возможности применения кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией жил в качестве вставок на линиях связи, где используются кабели с кордельно-полистирольной и кордельно-трубчатой изоляцией. С точки зрения параметров передачи, ответ положительный, так как основные характеристики практически одинаковы. Внутренние диаметры алюминиевой оболочки тоже достаточно близки друг к другу. Например, у кабеля 4×4 с кордельно-полистирольной изоляцией этот диаметр составляет 16,3 мм, а у аналогичного кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией – 17,3 мм. Рассматриваемые кабели хорошо согласуются по электрическим характеристикам передачи и легко монтируются с помощью соединительных кабельных муфт.

ПАРАМЕТРЫ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ МЕЖДУ ЦЕПЯМИ

Основными параметрами, определяющими качество передачи по высокочастотным симметричным кабелям при работе аналоговых (АСП) и цифровых (ЦСП) систем передачи, считаются параметры взаимного влияния

Переходное затухание на ближнем и защищенность на дальнем концах кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией

Параметр	Частота, кГц	Норма для $l_{стр} = 825\text{м}$	Результаты измерений
Переходное затухание A_0 , дБ	1–252	≥ 59	68
	4200 (ИКМ-120)	≥ 39	49
Защищенность A_3 , дБ	1–252	≥ 68	75
	4200 (ИКМ-120)	≥ 34 (внутри четверок) ≥ 44 (между четверками)	43 57

между цепями на ближнем и дальнем концах. Для АСП и ЦСП нормы на параметры взаимного влияния (переходное затухание на ближнем A_0 и защищенность на дальнем конце A_3) кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией установлены в соответствии с требованиями ГОСТ 15125-92 [1].

В таблице представлены нормативные значения этих параметров в соответствии с ГОСТ 15125-92 и измеренные значения параметров кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией марки МКПпАШп 4×4×1,2. Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что строительные длины кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией полностью отвечают требованиям, предъявленным к кабелю как АСП, так и ЦСП, при этом параметры взаимного влияния в среднем на 7–10 дБ выше установленных норм.

Авторы принимали участие в работе по обеспечению нормативных значений A_0 и A_3 на пяти усилительных участках длиной 10–15 км десятичетверочного кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией, проложенного вдоль железной дороги в Турции. Строительные длины кабеля удалось сгруппировать так, что среднее значение $C_{раб}$ в местах их соединения (муфтах) отличалось не более чем на 0,1 нФ/км. Это позволило обеспечить нормативные параметры взаимного влияния в основном за счет подбора оптимальных операторов скрещивания основных цепей кабельных четверок в симметрирующих муфтах.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ПЛЕНКО-ПОРИСТО-ПЛЕНОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Необходимость исследования электрической прочности кабеля с пленко-пористо-пленочной

изоляцией обусловлена тем, что в пористом слое изоляции имеется большое количество газовых пор, которые могут вызывать снижение электрической прочности изоляции. В соответствии с ГОСТ 2990-78, испытания на пробой образцов метровой длины кабеля марки МКПпАШп 4×4×1,2 проводились при помощи пробойной установки УМУ-1М переменным напряжением между жилами, а также между жилами и экраном. Для исключения перекрытия разряда по поверхности концов испытуемых образцов, изолированные жилы на концах разносились на максимально возможные расстояния.

Результаты испытаний обработаны методами математической статистики. Обработка сводилась к определению характеристик случайной величины: среднего значения пробивного напряжения $U_{ср}$ и среднеквадратического отклонения s . Статистическая обработка результатов испытания показала, что среднее значение пробивного напряжения исследуемых образцов кабеля с пленко-пористо-пленочной полиэтиленовой изоляцией составляет: между жилами $U_{ср} = 18$ кВ при $s = 1,1$ кВ, а между жилами и экраном $U_{ср} = 16,2$ кВ при $s = 1,9$ кВ.

Для определения электрической прочности изоляции на линии необходимо знать среднее значение пробивного напряжения на строительной длине кабеля. С увеличением длины кабеля величина пробивного напряжения снижается. Это можно объяснить тем, что с увеличением длины увеличивается и вероятность появления в кабеле более неоднородного участка изоляции. По методике, изложенной в [3], выполнен пересчет

пробивного напряжения с образцов метровой длины на строительную длину 850 м. В результате пересчета получились следующие минимальные значения электрической прочности на строительную длину кабеля: $U_{\text{стр.жж}} = 14,8$ кВ; $U_{\text{стр.жэ}} = 14,3$ кВ.

Анализируя полученные результаты статистической обработки, можно сделать вывод о высокой электрической прочности кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией. Сравнение этого кабеля с кабелем марки МКСАШп 4×4×1,2 показывает, что пробивное напряжение между жилами и между жилами и экраном (алюминиевой оболочкой) исследуемого кабеля в 3-4 раза выше, чем у кабеля с кордельно-полистирольной изоляцией. Обусловлено это наличием в изоляции двух пленок из сплошного полиэтилена и высокой однородностью пористого слоя.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

В результате проведенного сравнительного анализа конструктивных и электрических характеристик симметричных кабелей четверочной конструкции, применяемых на железнодорожном транспорте, показано:

- кабели с пленко-пористо-пленочной изоляцией жил в сравнении с кабелями с кордельно-трубчатой и кордельно-полистирольной изоляцией имеют более высокую геометрическую и диэлектрическую однородность;
- все рассмотренные конструкции кабелей имеют весьма близкие основные

электрические характеристики передачи, в первую очередь $C_{\text{раб}}$, $Z_{\text{в}}$ и коэффициент затухания, следовательно, с точки зрения параметров передачи, эти кабели можно в случае необходимости соединить друг с другом;

- геометрические размеры защитной алюминиевой оболочки рассматриваемых кабелей (внутренний диаметр) отличаются не более чем на 1-3 мм, поэтому их можно соединять друг с другом при помощи стандартных кабельных муфт;
- переходное затухание на ближнем и защищенность на дальнем конце строительных длин кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией в среднем на 7-10 дБ выше установленных норм для АСП и ЦСП;
- кабели с пленко-пористо-пленочной изоляцией обладают более высокой электрической прочностью изоляции, что весьма важно при прокладке их вдоль железных дорог.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 15125-92. Кабели связи высокочастотные с кордельно-полистирольной изоляцией.
2. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.Наука. 1971.
3. Калинин Н.Д., Лиманский Н.С. Электрическая прочность симметричных кабелей связи. – М.: Электротехническая промышленность, 1975, сер. "Кабельная техника", вып.11, с.5-8.