

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛЕФОННЫХ КАБЕЛЕЙ С ПЛЁНКО-ПОРИСТО- ПЛЁНОЧНОЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF TELEPHONE CABLES WITH SKIN-FOAM-SKIN
POLYETHYLENE INSULATION IN A WIDE FREQUENCY RANGE

V.V. Bannov, *Cand. Sc. (Engineering), Deputy General Director, Technical Director, JSC "Samara Cable Company";*

V.V. Smirnova, *Leading Strategic Development and Marketing Manager, JSC "Samara Cable Company";*

R.N. Sabirov, *Leading Metrology Specialist, JSC "Samara Cable Company";*

B.V. Popov, *Cand. Sc. (Engineering), Professor of Communication Lines Department, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics;*

V.B. Popov, *Cand. Sc. (Engineering), Professor of Communication Lines Department, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics*

В.В. Баннов, *канд. техн. наук, заместитель генерального директора, технический директор, АО «Самарская Кабельная Компания»;*

В.В. Смирнова, *ведущий менеджер службы стратегического развития и маркетинга, АО «Самарская Кабельная Компания»;*

Р.Н. Сабиров, *ведущий специалист по метрологии, АО «Самарская Кабельная Компания»;*

Б.В. Попов, *канд. техн. наук, профессор кафедры «Линии связи» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики;*

В.Б. Попов, *канд. техн. наук, профессор кафедры «Линии связи» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики*

*Статья посвящается памяти Анвара Камафовича Булькина
The article is dedicated to the memory of A.K. Bulkin*

Аннотация. Приводятся результаты экспериментальных исследований параметров передачи и взаимного влияния телефонного кабеля с плёнко-пористо-плёночной полиэтиленовой изоляцией ТПппПнг(А)-HF 100×2×0,5 в диапазоне частот до 16 МГц. Показано, что по низкочастотным характеристикам кабель с плёнко-пористо-плёночной изоляцией полностью отвечает нормам LAN-кабеля категории 5e, а по характеристикам взаимных влияний на ближнем и дальнем концах на 10–15 дБ выше нормативных значений для LAN-кабеля 3 категории. Даны рекомендации по их применению.

Ключевые слова: телефонный кабель, плёнко-пористо-плёночная изоляция, параметры передачи, характеристики взаимных влияний

Abstract. The results of experimental studies of transmission parameters and mutual influence of a telephone cable with TPppPng(A)-HF 100×2×0.5 skin-foam-skin polyethylene insulation in the frequency range up to 16 MHz are presented. It is shown that the low-frequency characteristics of the skin-foam-



skin insulated cable fully comply with the category 5e LAN cable standards, and the characteristics of mutual interference at the near and far ends are by 10–15 dB higher than the standard values for a Category 3 LAN cable. Recommendations for the cable use are given.

Key words: telephone cable, skin-foam-skin insulation, transmission parameters, characteristics of mutual interference

*Материал поступил в редакцию 7.02.2022
E-mail: scc@samaracable.ru; inkat@inbox.ru*

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В настоящее время на магистральных сетях электросвязи России широко используются волоконно-оптические кабели, обладающие максимальной на сегодняшний день пропускной способностью. Применяются они и на сетях фиксированного широкополосного доступа (ШПД), особенно на участках от узлов агрегации до кварталов и многоэтажных домов. Наибольшую пропускную способность сеть ШПД имеет при технологии FTTH (fiber to the home), когда оптическое волокно вводится непосредственно в квартиру или в индивидуальный дом. Однако сегодня в масштабах мира к волокну непосредственно подключено небольшое количество населения. Связано это с достаточно большими затратами не на оптическое волокно, а на оптические абонентские компоненты. По этой причине многие операторы связи используют уже проложенные в очень большом количестве медные кабели с применением технологий xDSL. Эти технологии ШПД в России используются на всех местных сетях: от небольших посёлков до городов областного подчинения, а также областных центров. Для повышения скорости передачи по медным кабелям в последнее время разработаны и стали применяться методы векторизации, обеспечивающие подавление помех от взаимных влияний между цепями связи. Наиболее простым методом подавления помех является векторизация в линиях с технологией VDSL2 [1]. Векторизация – это технология подавления помех, направленная на уменьшение разницы между максимальной теоретической скоростью и той скоростью, которую оператор способен обеспечить в реальных условиях эксплуатации кабельных линий связи. Устранение помех в медной паре достигается путём измерения перекрёстных наводок от всех остальных пар и генерации противофазного сигнала, что в результате значительно снижает уровень помех. Векторизация VDSL2 стала реальностью для провайдеров только тогда, когда новейшие достижения микроэлектроники дали возможность проводить сложные вычисления. Векторизация лучше всего подходит для небольших узлов, где число

линий не превышает 400, то есть для типичных российских вариантов развёртывания технологий FTTH. Работы по повышению скорости передачи путём подавления помех методом векторизации продолжаются. В этой связи международным союзом электросвязи разработан и принят стандарт технологии абонентского доступа по медным кабелям связи – G.fast. Его внедрение повышает на абонентской линии длиной не более 250 м совокупную скорость в восходящем и нисходящем каналах до 1 Гбит/с, что сравнимо с использованием абонентских оптоволоконных линий. При этом реализация данного стандарта на действующих абонентских линиях дешевле, чем прокладка оптики непосредственно до дома (квартиры) по технологии FTTH. К большому сожалению в России перспективная технология подавления помех методом векторизации пока не нашла применения [2]. Всё сказанное выше позволяет заключить, что кабели с медными жилами будут работать ещё достаточно долго [3]. Не случайно же для измерения LAN-кабелей группой российских компаний разработана система A132, которая позволяет измерять кабели ёмкостью до 32 пар в диапазоне частот до 1000 МГц [4].

Несмотря на сокращение числа устанавливаемых стационарных телефонных аппаратов, телекоммуникационные телефонные компании не прекращают прокладку медных телефонных кабелей. Эти кабели используются для ремонта действующих линий связи, а в некоторых случаях и для строительства новых. В АО «Самарская Кабельная Компания» (СКК) телефонные кабели выпускаются со сплошной и плёночнопористо-плёночной полиэтиленовой изоляцией ёмкостью от 5 до 1200 пар с диаметром медных жил 0,4; 0,5; 0,64 и 0,7 мм (по требованию заказчика).

Формально телефонные кабели являются низкочастотными, однако в АО «СКК» они практически изготавливаются по технологии высокочастотных. Изготовление изолированной жилы производится на экструзионной линии, оснащённой приборами контроля погонной ёмкости, диаметра и эксцентриситета. Измерители погонной ёмкости и диаметра включены в систему автоматического регулирования линии и

обеспечивают заданные требования к изолированной жиле, в том числе по ёмкости, диаметру, толщине изоляции, концентричности. Рабочие пары скручиваются в 10-парные элементарные пучки разнонаправленной скруткой с взаимно согласованными шагами не более 100 мм, подобранными по критерию минимизации взаимных влияний. На современном этапе заказчики отдают предпочтение кабелям с плёно-пористо-плёночной изоляцией, особенно кабелям с водоблокирующими материалами, в оболочке из полимерных композиций, не содержащих галогенов. Преимущество этих кабелей заключается в следующем:

- плёно-пористо-плёночная изоляция на сегодняшний день имеет лучшие диэлектрические характеристики;

- уменьшенная диэлектрическая проницаемость материала изоляции за счёт вспенивания приводит к уменьшению потерь в линии;

- физическое вспенивание материала изоляции позволяет уменьшить диаметр изолированной жилы.

Специалисты АО «СКК» разработали и запатентовали конструкцию кабеля с водоблокирующими материалами, в оболочке из полимерных композиций, не содержащих галогенов [5]. Техническое решение заключается в применении водоблокирующих материалов, обеспечивающих влагонепроницаемость кабеля в продольном и поперечном направлениях, что исключает проникновение и распространение влаги в случае повреждения кабеля и обеспечивает передачу сигналов даже при нарушении целостности оболочки. Водоблокирующая лента, ламинированная полиэтиленом, обеспечивает электрическую прочность между изолированными жилами и экраном, слой водоблокирующей ленты не допускает проникновение влаги между сердечником и алюмополимерной лентой. Использование полимерной композиции, не содержащей галогенов в оболочке кабеля, обеспечивает требования пожарной безопасности по категории А, что позволяет применять данные кабели при групповой прокладке, а также для прокладки в помещениях. Кроме того, наличие водоблокирующих материалов вместо гидрофобного заполнителя обеспечивает механическую

разделку концов кабеля без предварительной смывки гидрофобинола с изоляции жил специальными растворами, что снижает трудоёмкость монтажа кабеля.

В этой связи возникает практический интерес в исследовании электрических характеристик телефонных кабелей с плёно-пористо-плёночной полиэтиленовой изоляцией в широком диапазоне частот. В настоящей статье рассматриваются основные электрические характеристики передачи и взаимных влияний кабеля ТПппПнг(А)-HF 100×2×0,5 в диапазоне частот до 16 МГц. Измерения выполнялись в двух 10-парных пучках из внутреннего и внешнего повивов кабеля длиной 100 м.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАБЕЛЯ

Основные низкочастотные характеристики должны иметь следующие значения: электрическое сопротивление медных проводников постоянному току R , не более 90 Ом/км; омическая асимметрия жил в рабочей паре ΔR , не более 2 %; рабочая ёмкость C , не более 45 нФ/км; ёмкостная асимметрия рабочей пары e , не более 1600 пФ/км. Для анализа электрических характеристик были измерены 20 пар указанного выше кабеля. Результаты измерения низкочастотных характеристик отдельных пар кабеля статистически обработаны с учётом того, что они подчиняются нормальному закону распределения и характеризуются статистическим средним значением и среднеквадратическим отклонением от среднего значения. Результаты статистической обработки приведены в таблице.

Сравнение статистических данных результатов измерения низкочастотных характеристик, приведённых в таблице, с аналогичными характеристиками LAN-кабеля категории 5е показывает, что они отличаются, как и ожидалось, незначительно. Сопротивление медных проводников соответствует норме и очень стабильно; омическая асимметрия в 5 раз меньше (лучше) допустимой величины 2 %; рабочая ёмкость не превышает нормативного значения с отклонением заметно меньше допустимой величины 5 нФ/км.

Таблица

R , Ом/км		ΔR , %		C , нФ/км		e , пФ/км	
R_{cp}	σ	ΔR_{cp}	σ	C_{cp}	σ	e_{cp}	σ
89,8	0,44	0,03	0,34	43,7	0,67	334	418



Всё это говорит о достаточно высокой геометрической и структурной однородности изолированных проводников исследуемого кабеля.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАБЕЛЯ

Качество передачи информации на высоких частотах по кабелям связи вообще и по симметричным в частности в основном определяется следующими высокочастотными характеристиками: коэффициент затухания, α , дБ/100 м; суммарное переходное затухание на ближнем конце PS NEXT, дБ/100 м; суммарная защищённость на дальнем конце PS ELFEXT, дБ/100 м. Указанные электрические характеристики определены на длине кабеля 100 м. Обусловлено это тем, что в действующем ГОСТ Р 54429–2011 «Кабели связи симметричные для цифровых систем передачи. Общие технические условия» нормы на эти характеристики приведены на длину 100 м [6]. Здесь отметим, что высокочастотные характеристики исследуемого кабеля сравниваются с характеристиками LAN-кабеля 3 категории, которые работают в диапазоне частот до 16 МГц. Измерения характеристик проводились на стационарной измерительной системе AESA-9500 производства швейцарской компании AESA Cortailod (к системе подключалось по пять пар из двух 10-парных пучков).

На рис. 1 в качестве примера показана частотная характеристика коэффициента затухания первых пяти пар из 10-парного пучка внешнего повива исследуемого кабеля ТПппПнг(А)-HF 100×2×0,5 в диапазоне частот до 16 МГц.

Анализ частотных характеристик коэффициента затухания показывает, что они хорошо совпадают и заметно ниже (на 0,8–6 дБ) предельно допустимых значений для LAN-кабеля 3 категории, приведённых в [6]. При этом величина коэффициента затухания исследуемого кабеля в диапазоне частот до 16 МГц достаточно близка к коэффициенту затухания LAN-кабеля 5e категории с диаметром медных жил 0,52 мм. Это вполне объяснимо, так как потери в диэлектрике в кабеле с плёночково-пористо-плёночной изоляцией меньше, чем в кабеле со сплошной полиэтиленовой изоляцией.

На рис. 2 приведены результаты измерения суммарного переходного затухания на ближнем конце PS NEXT, а на рис. 3 – суммарной защищённости на дальнем конце PS ELFEXT третьих пяти пар из 10-парного пучка внутреннего повива исследуемого кабеля.

Анализируя результаты измерения электрических характеристик взаимных влияний исследуемого кабеля (рис. 2 и 3), нетрудно заметить, что величины PS NEXT и PS ELFEXT на 10–15 дБ во всём диапазоне ча-

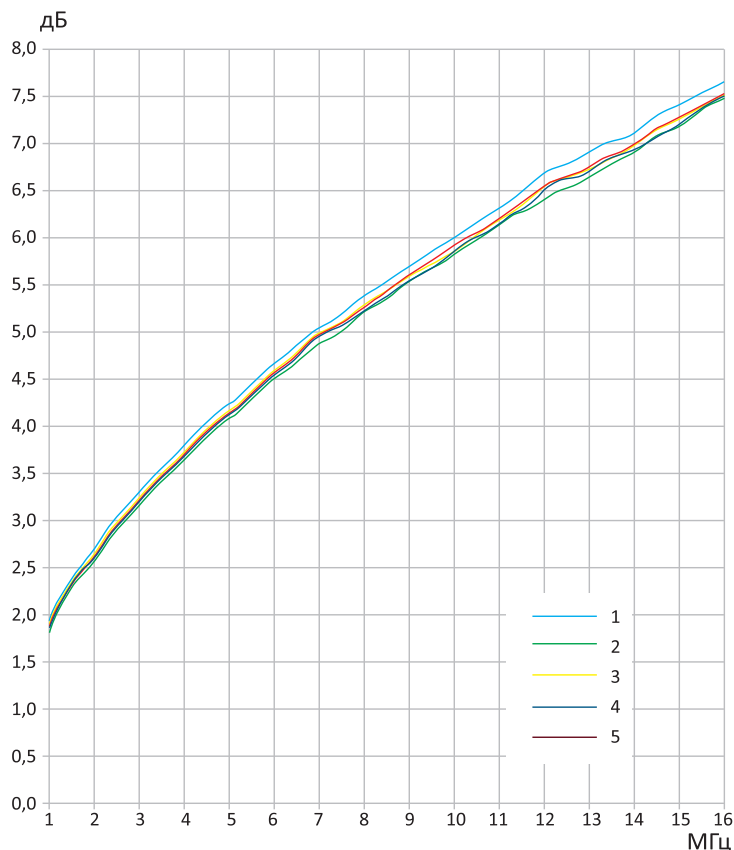


Рис. 1. Частотные характеристики коэффициента затухания кабеля ТПппПнг(А)-HF 100×2×0,5

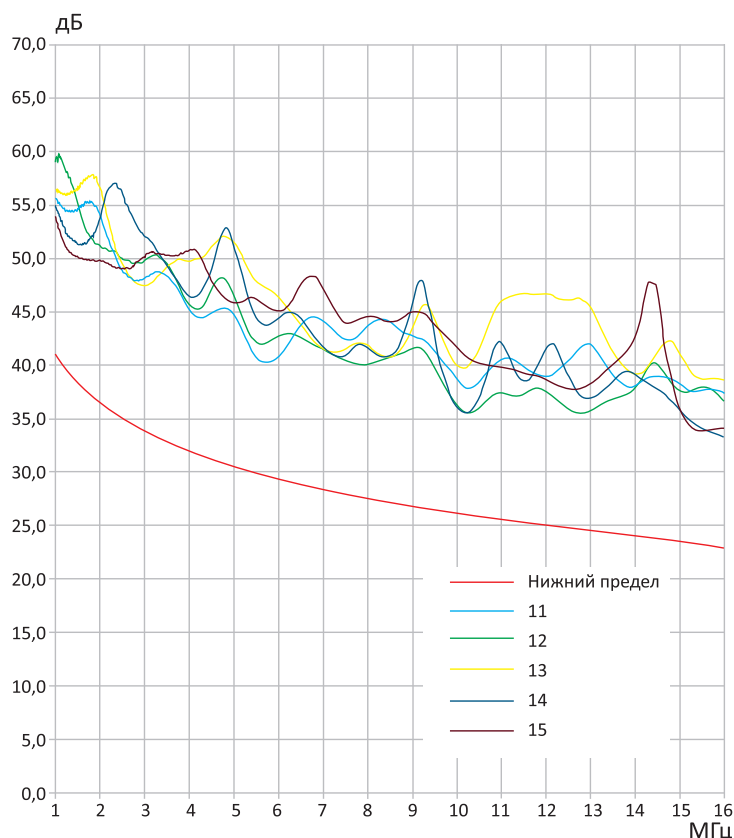


Рис. 2. Частотные характеристики суммарного переходного затухания на ближнем конце PS NEXT кабеля ТПппПнг(А)-HF 100×2×0,5

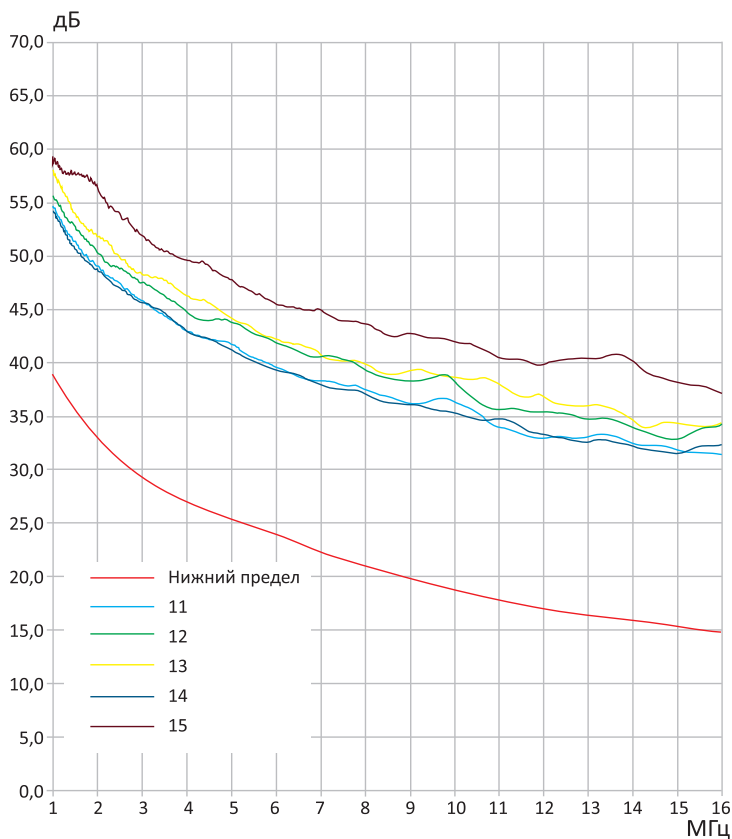


Рис. 3. Частотные характеристики суммарной защищенности на дальнем конце PS ELFEXT кабеля ТПппПнг(А)-HF 100×2×0,5

стот выше (лучше) нормативных значений для LAN-кабеля 3 категории, приведённых в [6]. При этом сни-

Список источников

1. Спрайт П., Ванхастл С. Повышение скорости передачи в линиях VDSL2 методом векторизации // Первая миля. – 2014. – № 5. – С. 64–67.
2. Попов С., Набоках Л. BBWF-2018: фиксированный широкополосный доступ берет курс на SDN // Первая миля. – 2018. – № 8. – С. 60–66.
3. Лиманский Г., Попов Б. Медные кабели связи должны служить ещё долго // Первая миля. – 2021. – № 1. – С. 14–17.
4. Кочеров А., Семенов А., Руденко В. Электрические параметры, LAN-кабелей: как нам реорганизовать контроль // Первая миля. – 2021. – № 7. – С. 44–55.
5. Ключников В.Ф., Баннов В.В., Родионов В.Н., Зуев А.А., Немцева Т.В. Кабель телефонный с водоблокирующими материалами в оболочке из полимерной композиции, не содержащей галогенов // Патент России № 182988. 2018. Бюл. № 25.
6. ГОСТ Р 54429–2011. Кабели связи симметричные для цифровых систем передачи. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012. – 48 с.
7. Андреев В.А. Теория электромагнитных влияний между цепями связи. – М.: Радио и связь, 1999. – 320 с.

жение значений PS NEXT с ростом частоты составляет 4–5 дБ/окт. Снижение защищенности PS ELFEXT с ростом частоты не превышает 6 дБ на октаву. Это говорит о том, что в исследуемом кабеле с плёно-пористо-плёночной изоляцией преобладает непосредственное влияние между цепями за счёт нерегулярной составляющей. Именно эта составляющая и определяется степенью геометрической и диэлектрической однородности кабеля [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги по результатам исследования основных электрических характеристик передачи и взаимных влияний кабеля ТПппПнг(А)-HF 100×2×0,5 в диапазоне частот до 16 МГц, отметим, что по низкочастотным характеристикам кабель с плёно-пористо-плёночной изоляцией полностью отвечает нормам LAN-кабеля категории 5е. Показано, что электрические характеристики взаимных влияний на ближнем и дальнем концах исследуемого кабеля на 10–15 дБ во всём диапазоне частот выше нормативных значений для LAN-кабеля 3 категории. Достаточно высокие электрические характеристики позволяют рекомендовать кабель с плёно-пористо-плёночной изоляцией к применению на вертикальных магистральных подсистемах СКС для передачи голосовых сообщений, а также на сетях ШПД с применением технологий xDSL, где требования по электрическим характеристикам соответствуют требованиям, предъявляемым к LAN-кабелям 3 категории. ■

List of Sources

1. P. Sprait, S. Vankhastl. The increase of speed in VDSL2 lines by vectorization method // First mile. – 2014. – № 5. – P. 64–67.
2. S. Popov, L. Nabokikh. BBWF-2018: fixed access is heading for SDN // First mile. – 2018. – № 8. – P. 60–66.
3. G. Limansky, B. Popov. Copper communication cables must serve for a long time // First mile. – 2021. – № 1. – P. 14–17.
4. A. Kocherov, A. Semenov, V. Rudenko. Electrical parameters of LAN cables: how should we reorganize the control // First mile. – 2021. – № 7. – P. 44–55.
5. V.F. Klyuchnikov, V.V. Bannov, V.N. Rodionov, A.A. Zuev, T.V. Nemtseva. Telephone cable with water-blocking materials in a halogen-free polymer compound sheath. Russian Patent № 182988. 2018. Byul № 25.
6. GOST R 54429–2011. Symmetrical telecommunication cables for digital communication. General specification. – M.: Standartinform, 2012. – 48 p.
7. V.A. Andreev. Theory of electromagnetic interference between communication circuits. – M.: Radio and communication, 1999. – 320 p.