



Симметричный кабель широкополосного доступа повышенной однородности

В. В. Баннов¹, Б. В. Попов², В. Б. Попов²

¹ АО «Самарская кабельная компания», Самара, Россия

² Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Целью настоящей работы является обоснование того, что определяющее влияние на однородность кабеля широкополосного доступа оказывает процесс наложения на медные жилы пленко-пористо-пленочной полиэтиленовой изоляции. На основе экспериментальных исследований показано, что основные электрические характеристики симметричного кабеля широкополосного доступа повышенной однородности полностью отвечают требованиям современных высокоскоростных систем xDSL, а также структурированных кабельных систем.

Ключевые слова: симметричный кабель, пленко-пористо-пленочная изоляция, волновое сопротивление, рабочее затухание, переходное затухание

Для цитирования:

Баннов В. В., Попов Б. В., Попов В. Б. Симметричный кабель широкополосного доступа повышенной однородности // Радиопромышленность. 2018. Т. 28, № 3. С. 71–77. DOI: 10.21778/2413-9599-2018-28-3-71-77

Symmetric cable with enhanced uniformity for broadband access

V. V. Bannov¹, B. V. Popov², V. B. Popov²

¹ Samara Cable Company JSC, Samara, Russia

² Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

The purpose of the study is substantiation of the determining influence caused on the homogeneity of the broadband access cable by the process of application of polyethylene film-porous polyethylene film insulation on copper cores. Based on the experimental research it has been demonstrated that key electrical characteristics of the symmetrical cable with enhanced uniformity for broadband access fully meet the requirements of advanced high-speed xDSL systems and structured cabling systems.

Keywords: symmetric cable, film-porous-film insulation, wave impedance, operational attenuation, transient attenuation

For citation:

Bannov V. V., Popov B. V., Popov V. B. Symmetric broadband access cable with improved uniformity. Radiopromyshlennost, 2018, vol. 28, no. 3, pp. 71–77. (In Russian). DOI: 10.21778/2413-9599-2018-28-3-71-77

Общие положения

Увеличение объемов и скорости передачи информации на сетях фиксированного широкополосного доступа ведет к повышению требований по обеспечению надежной работы кабельных линий связи [1–3]. Наряду с наиболее перспективной технологией широкополосного доступа архитектуры FTTH, при которой предусмотрена прокладка оптического кабеля от узла агрегации оператора до квартиры многоэтажного дома или отдельного коттеджа, пока еще широко распространены технологии абонентского широкополосного доступа, работающие по медножильным кабелям (технологии семейства xDSL). Последние применяются не только в пригородных и сельских населенных пунктах, но и у основного оператора – ПАО «Ростелеком» – даже в больших городах. Это обусловлено тем, что архитектура FTTH требует значительных капитальных вложений. И до сих пор операторы связи чаще используют более дешевые архитектуры FTTB и FTTC, в которых на абонентском участке проложены медные кабели с использованием высокоскоростного оборудования Ethernet и xDSL. Применять медножильные кабели при строительстве широкополосного доступа продолжают операторы связи многих стран Западной Европы. Так, по данным компании Deutsche Telekom, капитальные затраты на развертывание сетей широкополосного доступа с технологий VDSL2 на 70% ниже, чем с технологией FTTH [1]. В районных центрах и крупных сельских пунктах чаще выбирают архитектуру FTTC. При ней оптический кабель прокладывают на сегменте сети от узла агрегации до микрорайона или квартала, а на абонентском участке применяют медножильные кабели, к которым подключают оборудование технологий семейства xDSL.

В последние годы благодаря разработке и внедрению метода векторизации, заключающегося в компенсации взаимных влияний между цепями кабеля, достигнут значительный прогресс в увеличении скорости передачи по медножильным кабелям. Метод векторизации эффективно применяют для оборудования VDSL2. В данном случае удается обеспечить скорость передачи до 100 Мбит/с при длине линии связи до 400 м и скорость передачи до 40 Мбит/с при длине линии связи до 1000 м [2]. Технология G.fast позволяет передавать данные со скоростью до 1 Гбит/с, если длина линии связи не превышает 250 м [1]. Для того чтобы обеспечивать на сетях широкополосного доступа такие высокие показатели, необходимо применять высококачественные кабели связи повышенной однородности.

Экономически целесообразно на новых сетях широкополосного доступа, создаваемых с использованием технологий семейства FTTH, добиваться уплотнения всех цепей кабелей. Для этого необходимо применять геометрически и диэлектрически высокооднородные специальные кабели, которые бы обеспечили заданные характеристики взаимных электромагнитных влияний. Серийный выпуск кабелей связи, отвечающих указанным параметрам, осуществляет АО «Самарская кабельная компания». Компания производит симметричные «цифровые» кабели связи, имеющие пленко-пористо-пленочную изоляцию токопроводящих жил. Новые кабели маркируют аббревиатурой КЦПппП (кабель цифровой с пленко-пористо-пленочной изоляцией и полиэтиленовой оболочкой). Существуют также кабели с гидрофобным заполнением кабельного сердечника (КЦПппПЗ). Емкость кабелей составляет от 5 до 100 пар. Токопроводящие жилы имеют диаметр 0,40;

0,50; 0,64; 0,70 мм. Сердечник кабелей состоит из пятипарных однонаправленно скрученных пучков. Пятипарные пучки могут быть экранированными с целью повышенной защищенности от взаимных влияний. Для скрутки кабельных пар использована технология витой пары. Ее применяют при производстве LAN-кабелей, с помощью которых создают структурированные кабельные системы. В этой связи кабели марки КЦПппП подходят как для сетей широкополосного доступа, так и для структурированных кабельных систем.

Особенности наложения изоляции

Технология производства кабелей широкополосного доступа главным образом направлена на обеспечение однородности их конструкции. Это нужно для того, чтобы снизить степень взаимных влияний между цепями кабелей. Именно взаимные влияния становятся определяющими для поддержания высокой скорости передачи по цепям кабеля связи. Важнейшим моментом при этом является обеспечение высокой симметрии конструкции кабельных цепей как в отношении геометрического расположения жил, так и в отношении однородности диэлектрических свойств изоляции. Эти два фактора и определяют величину электромагнитных влияний между цепями.

Как отмечалось выше, АО «Самарская кабельная компания» производит кабели широкополосного доступа, которые имеют трехслойную пленко-пористо-пленочную полиэтиленовую изоляцию токопроводящих жил. Изоляцию накладывают на жилы с применением метода физического вспенивания азотом. Данный метод реализован на червячном экструдере (технология EXTRUCELL) [4]. Пленко-пористо-пленочная изоляция является высокооднородной. Изоляция имеет вспененный слой, который уменьшает величину ее диэлектрическую проницаемости. В результате кабели имеют улучшенные параметры передачи и массо-габаритные параметры [3].

Как известно, электрические параметры линий связи нормируются [5]. Соответствие реальных параметров линий связи установленным нормам во многом зависит от стабильности параметров изолированной токопроводящей жилы. Эксцентриситет и неоднородная диэлектрическая проницаемость изоляции токопроводящих жил изоляции приводят к значительным взаимным влияниям между цепями кабеля. Существует взаимосвязь между диаметром изолированной токопроводящей жилы и величиной диэлектрической проницаемости изоляции.

На предприятии АО «Самарская кабельная компания» технологию EXTRUCELL реализуют на экструзионной поточной линии типа TEL-35 компании Mallefer с экструдером NMB 80-30D.

Для изоляции используют технологию skin-foam-skin. На токопроводящую жилу накладывают сразу все три слоя изоляции:

- тонкую пленку из бесцветного сплошного полиэтилена;
- толстый слой вспененного полиэтилена;
- тонкую наружную пленку из сплошного окрашенного полиэтилена.

Пленко-пористо-пленочная изоляция имеет хорошую адгезию с токопроводящей жилой и гладкую поверхность снаружи. Это обеспечивает стабильные параметры передачи цепей по всей длине кабеля, а также снижает взаимные влияния между цепями. Технология, реализующая метод физического вспенивания азотом, имеет свои особенности. При экструзии полиэтилена в его расплавленную массу под давлением 35 МПа подают азот, равномерно распространяющийся по всему объему полиэтилена. В результате происходит образование во всем объеме полиэтилена множества очень мелких, герметичных, равномерно распределенных пор. Диаметр пор не превышает 20 мкм. Экструзионная линия имеет систему автоматического регулирования диаметра, погонной емкости и контроля эксцентриситета изолированной токопроводящей жилы, что позволяет поддерживать высокую стабильность технологического процесса наложения пленко-пористо-пленочной изоляции. Так обеспечивается высокая геометрическая и диэлектрическая однородность изолированной токопроводящей жилы.

Технология EXTRUCELL отличается высокой производительностью и непрерывностью технологического процесса наложения пленко-пористо-пленочной изоляции на токопроводящую жилу. За счет этого получается производить изолированную токопроводящую жилу большими длинами, а также совмещать технологические операции отжига, волочения медной проволоки и наложения изоляции [6]. Применение метода физического вспенивания азотом позволяет получать изоляцию токопроводящей жилы с меньшей плотностью. Поэтому возможно снизить величину коэффициента затухания цепей кабеля при неизменном значении волнового сопротивления. Коэффициент затухания цепей кабеля уменьшается при снижении рабочей емкости и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ со значения $(6-9) \cdot 10^{-4}$ до $(1-3) \cdot 10^{-4}$. При реализации метода физического вспенивания азотом образуются микроскопические герметичные поры ячеистой структуры. Вода не может проникнуть внутрь такой изоляции. Это важное преимущество, значительно увеличивающее надежность кабелей связи в процессе их технической эксплуатации.

Результаты исследования

Электрическими характеристиками кабеля широкополосного доступа, от которых зависит качество передачи, являются:

- волновое сопротивление;
- рабочее затухание;
- переходное затухание;
- защищенность на ближнем и дальнем концах.

Экспериментальные исследования указанных характеристик были выполнены для кабеля марки КЦПпВП 20 x 2 x 0,5. Работу проводили в частотном диапазоне до 100 МГц. Такой частотный диапазон был выбран исходя из того, что исследуемые кабели могут применяться не только для работы с оборудованием xDSL на сетях широкополосного доступа, но в структурированных кабельных системах. Измерения осуществлялись с помощью прибора PSM-39 и системы AESA 9500/9600. Полученные частотные характеристики волнового сопротивления Z_B и собственного затухания цепей кабеля (по одной реализации из каждого пятипарного пучка) приведены соответственно на рис. 1 и 2.

Анализ полученных результатов показывает, что собственное затухание на 3–4 дБ ниже предельного значения, а разброс волнового сопротивления от номинального значения 100 Ом не превышает 3–4% (норма отклонения 5%).

Чаще других технологий xDSL применяются асимметричные технологии ADSL2+ и VDSL2. Для последних наиболее важен параметр защищенности на

дальнем конце A_3 (ELFEXT). Ключевую роль этот параметр играет между цепями внутри пучков кабеля, потому что именно в этом месте происходит самое сильное взаимное влияние.

Взаимное влияние на дальнем конце происходит в основном за счет непосредственного перехода энергии по причине наличия нерегулярной составляющей электромагнитной связи [7]. Получена формула, которой можно пользоваться для расчетной оценки степени взаимного влияния между цепями кабеля внутри пучков:

$$A_3(\omega) = -20 \lg \left(\frac{F_{\Pi} e^{-\alpha L} \sqrt{2 - 2 \cos \Delta T_3 L}}{2 \Delta T_3} \right) - \alpha L,$$

где F_{Π} – величина электромагнитной связи на дальнем конце; α – коэффициент затухания, дБ/км; L – строительная длина кабеля, км; $\Delta T_3 = t_{31} - t_{32}$ – разница времени задержки сигнала во взаимодействующих цепях, с/км; $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота, Гц.

Параметр ΔT_3 зависит от шагов скрутки взаимодействующих цепей. Поэтому, подбирая величину ΔT_3 и используя токопроводящие жилы с пленко-пористо-пленочной изоляцией высокой однородности, возможно обеспечить соблюдение норм защищенности цепей на дальнем конце кабеля.

Частотные характеристики переходного затухания на ближнем (NEXT) и дальнем (ELFEXT) концах между цепями внутри пятипарных пучков (3-го и 2-го из четырех пучков) кабеля приведены соответственно на рис. 3 и 4.

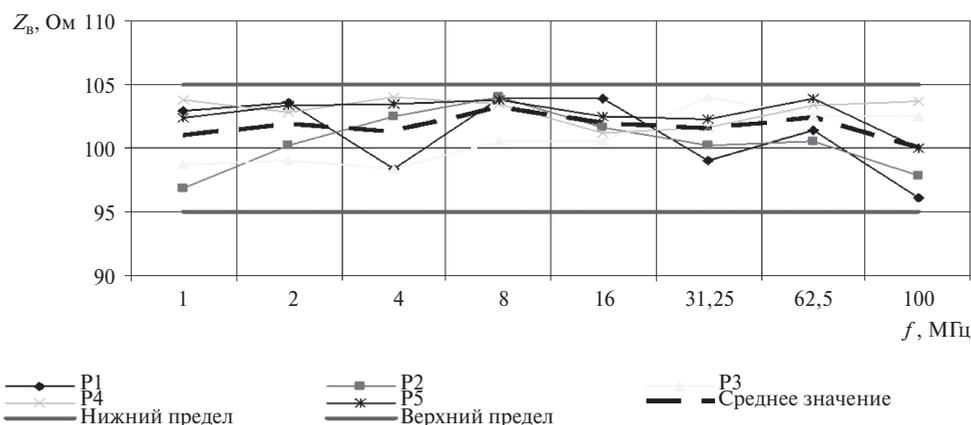


Рисунок 1. Частотные характеристики волнового сопротивления кабеля марки КЦПпВП 20 x 2 x 0,5: Z_B – волновое сопротивление, Ом; f – частота, МГц; P1–P5 – реализации (измерение каждой пары в пятипарном пучке – одна реализация, каждому измерению соответствует своя реализация частотной характеристики)

Figure 1. Frequency characteristics of the wave resistance of КЦПпВП 20 x 2 x 0.5 cable: Z_w – wave impedance, Ohm; f – frequency, MHz; R1–R5 – realizations: measuring every pair in five paired beam means one realization (every measurement corresponds with its own realization of frequency response)

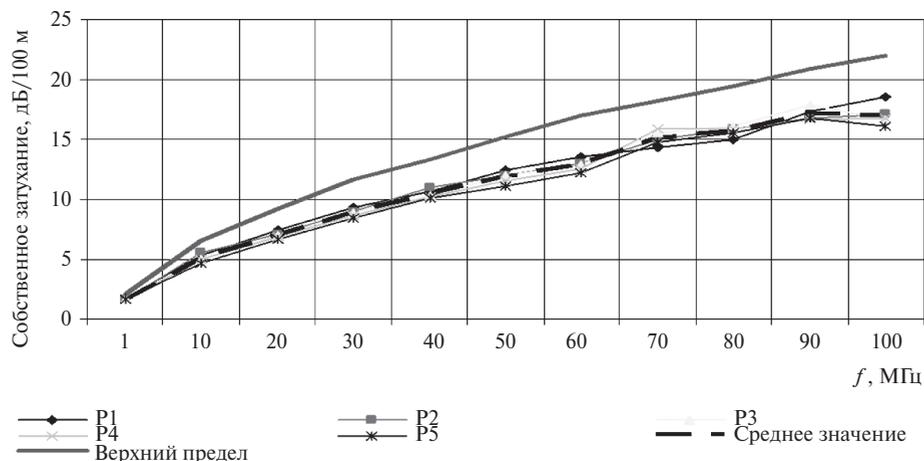


Рисунок 2. Частотные характеристики собственного затухания кабеля марки КЦПппВП 20 x 2 x 0,5
Figure 2. Frequency characteristics of the self-attenuation of КЦПппВП 20 x 2 x 0.5 cable

По результатам измерения параметров взаимного влияния установлено следующее:

- параметры взаимного влияния в частотном диапазоне до 100 МГц удовлетворяют нормам помехозащищенности систем абонентского цифрового широкополосного доступа и структурированных кабельных систем категории 5е;
- снижение параметра защищенности на дальнем конце цепей (ELFEXT) с ростом частоты составляет не более 6 дБ на октаву, что свидетельствует о том, что в исследуемых кабелях определяющим является непосредственное электромагнитное влияние между цепями.

Можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что электрические характеристики кабелей широкополосного доступа с пленко-пористо-пленочной изоляцией удовлетворяют требованиям систем абонентского цифрового широкополосного доступа (оборудования xDSL), а также структурированных кабельных систем категории 5е.
2. Экструзионная линия имеет систему автоматического регулирования диаметра, погонной емкости и контроля эксцентриситета, что позволяет поддерживать высокую стабильность технологического процесса наложения пленко-пористо-

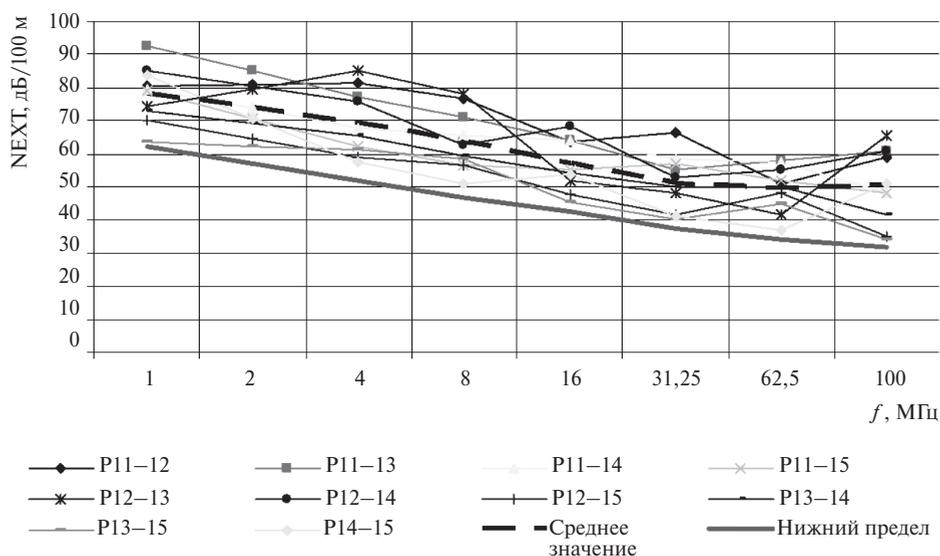


Рисунок 3. Частотные характеристики переходного затухания на ближнем конце (NEXT) внутри 3-го пятипарного пучка
Figure 3. Frequency characteristics of transient attenuation on the NEXT near end inside the 3rd five-pair bundle

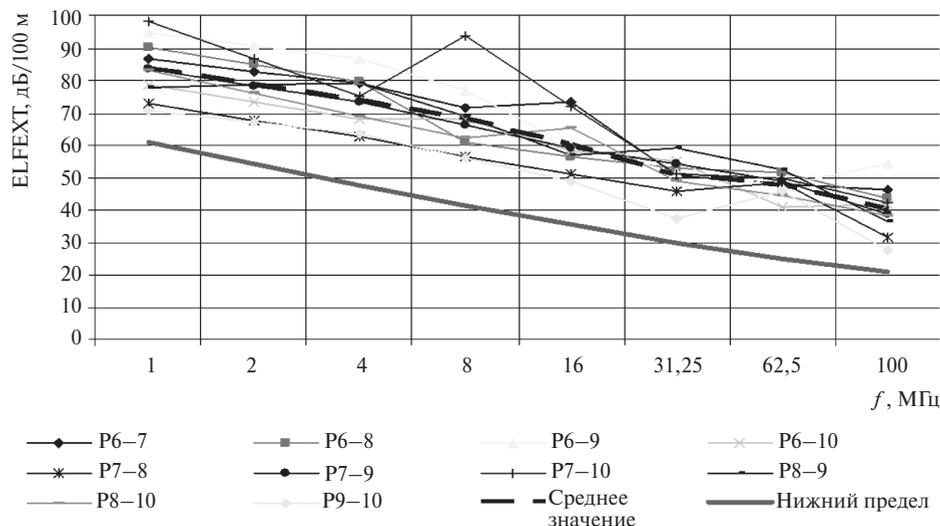


Рисунок 4. Частотные характеристики защищенности на дальнем конце (ELFEXT) внутри 2-го пятипарного пучка

Figure 4. Frequency characteristics of protection on the ELFEXT far end inside the 2nd five-pair bundle

пленочной изоляции. Так достигается высокая геометрическая и диэлектрическая однородность изолированной токопроводящей жилы.

3. Применение экструзионных линий, оснащенных системами автоматического регулирования диаметра, погонной емкости и контроля эксцентриситета изолированной токопроводящей жилы обеспечивает выпуск кабелей широкополосного доступа высоких однородности и качества.

4. Наличие на отечественном рынке дешевых низкокачественных абонентских кабелей иностранного производства [8, 9] и, самое главное, их массовое использование операторами связи существенно снижают качественные характеристики передачи линий связи и приводят к нарушению требований отечественных стандартов. Приобретение операторами связи кабельной продукции у надежных, проверенных временем, отечественных поставщиков с хорошей репутацией могло бы исправить ситуацию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Спрайт П., Ванхастл С. Векторизация 2.0: G.fast становится еще быстрее // Первая миля. 2015. № 1. С. 62–65.
2. Спрайт П., Ванхастл С. Повышение скорости передачи в линиях VDSL2 методом векторизации // Первая миля. 2014. № 5. С. 64–67.
3. Овчинникова И. А., Шолуденко М. В. Кабели для структурированных кабельных систем (LAN-кабели) и оптические кабели: прогноз производства // Кабели и провода. 2018. № 1. С. 8–11.
4. Банвин П., Родригес Р., Чамов А. В. Линии изолирования коаксиальных кабелей с процессом физического вспенивания EXTRUSELL // Кабели и провода. 2004. № 5. С. 13–18.
5. ОСТ 45.36–97. Линии кабельные, воздушные и смешанные городских телефонных сетей. Нормы электрические эксплуатационные. М.: ЦНТИ «ИНФОРМСВЯЗЬ», 1997. 23 с.
6. Кабели и провода. Основы кабельной техники / А. И. Балашов, М. А. Боев, А. С. Воронцов и др. М.: Энергоатомиздат, 2009. 470 с.
7. Баннов В. В., Попов В. Б. Математическая модель электромагнитных влияний на дальнем конце между цепями кабеля для широкополосного абонентского доступа // Электросвязь. 2010. № 2. С. 18–21.
8. Леваков А. К., Арифиллин И. Ш. Несколько слов об абонентских кабелях // Вестник связи. 2016. № 11. С. 18.
9. Воронцов А. С. Российские кабели связи для телекоммуникаций. Динамика производства в 2017 году // Первая миля. 2018. № 2. С. 24–27.

REFERENCES

1. Spruyt P., Vanhastel S. Innovations in vectoring technology that eliminate crosstalk in G.fast are considered. *Pervaya milya*, 2015, no. 1, pp. 62–65. (In Russian).
2. Spruyt P., Vanhastel S. Improvement of the transfer rate in VDSL-2 lines by vectorization. *Pervaya milya*, 2014, no. 5, pp. 64–67. (In Russian).
3. Ovchinnikova I. A., Sholudenko M. V. Cables for structured cabling systems (LAN cables) and optical cables: production forecast. *Kabeli i provoda*, 2018, no. 1, pp. 8–11. (In Russian).

4. Banvin P., Rodrigues R., Chamov A. V. EXTRUSELL physical foaming process-based insulation lines for coaxial cables. *Kabeli i provoda*, 2004, no. 5, pp. 13–18. (In Russian).
5. OST 45.36–97. *Linii kabelnye, vozdushnye i smeshannye gorodskikh telefonnykh setei. Normy elektricheskie ekspluatatsionnye* [Industry Standard 45.36-97 [Industry Standard 45.36–97. Cable, air and mixed lines of city phone networks. Electrical operating standards]. Moscow, TSNTI «INFORMSVYAZ» Publ., 1997, 23 p. (In Russian).
6. Balashov A. I., Boev M. A., Vorontsov A. S., etc. *Kabeli i provoda. Osnovy kabelnoi tekhniki* [Cables and wires. Basics of cable engineering]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2009, 470 p. (In Russian).
7. Bannov V. V., Popov V. B. Mathematical model of electromagnetic effects at the far end between cable circuits for broad subscriber access. *Elektrosvyaz*, 2010, no. 2, pp. 18–21. (In Russian).
8. Levakov A. K., Arifullin I. Sh. A few words about subscriber cables. *Vestnik svyazi*, 2016, no. 11, p. 18. (In Russian).
9. Vorontsov A. S. Russian communication cables for telecommunications, production dynamics in 2017. *Pervaya milya*, 2018, no. 2, pp. 24–27. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Баннов Владимир Вениаминович, к.т.н., заместитель генерального директора, технический директор, АО «Самарская кабельная компания», 443022, Самара, ул. Кабельная, д. 9, тел.: +7 (927) 706-45-12, e-mail: bannov@samaracable.ru.

Попов Борис Владимирович, к.т.н., профессор, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 443010, Самара, ул. Льва Толстого, д. 23, тел.: +7 (902) 336-16-03, e-mail: inkat@inbox.ru.

Попов Виктор Борисович, к.т.н., профессор, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 443010, Самара, ул. Льва Толстого, д. 23, тел.: +7 (902) 371-47-77, e-mail: inkat@inbox.ru.

AUTHORS

Vladimir V. Bannov, Ph.D. (Engineering), deputy general director, technical director, Samara Cable Company JSC, 9, ulitsa Kabelnaya, Samara, 443022, Russia, tel.: +7 (927) 706-45-12, e-mail: bannov@samaracable.ru.

Boris V. Popov, Ph.D. (Engineering), professor, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23, ulitsa Lva Tolstogo, Samara, 443010, Russia, tel.: +7 (902) 336-16-03, e-mail: inkat@inbox.ru.

Viktor B. Popov, Ph.D. (Engineering), professor, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23, ulitsa Lva Tolstogo, Samara, 443010, Russia, tel.: +7 (902) 371-47-77, e-mail: inkat@inbox.ru.

Поступила 02.07.2018; принята к публикации 19.07.2018; опубликована онлайн 24.08.2018.
Submitted 02.07.2018; revised 19.07.2018; published online 24.08.2018.