

6. Roslyakov A.V. et al. *Internet of Things*. Samara: PSUTI Publ., 2014, 342 p. (In Russian.)
7. Schmitt J., Roedig U. Sensor network calculus – a framework for worst case analysis. *Proc. Distributed Computing on Sensor Systems*, 2005, pp. 141–154.
8. Schmitt J.B., Zdarsky F.A., Thiele L. A comprehensive worst-case calculus for wireless sensor networks with in-network processing. *Proc. 28th IEEE International Real-Time Systems Symposium*, 2007, pp. 193–202.
9. Koubaa A., Alves M., Tovar E. Modeling and worst-case dimensioning of cluster-tree wireless sensor networks. *Proc. 27th IEEE International Real-Time Systems Symposium*, 2006, pp. 412–421.
10. Zhang L., Yu J., Deng X. Modelling the guaranteed QoS for wireless sensor networks: a network calculus approach. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2011. URL: <http://www.researchgate.net/publication/48208700> (accessed 22.12.2019).
11. Schmitt J., Zdarsky F., Roedig U. Sensor network calculus with multiple sinks. *Proc. Performance Control in Wireless Sensor Networks Workshop at the IFIP NETWORKING*, 2006, pp. 6–13.
12. Schmitt J., Roedig U. Worst case dimensioning of wireless sensor networks under uncertain topologies. *Proc. 1st Workshop on Resource Allocation in Wireless Networks*, IEEE Computer Society Press, 2005.
13. Roedig U., Gollan N., Schmitt J. Validating the sensor network calculus by simulations. *Proc. Performance Control in Wireless Sensor Networks Workshop at WICON*, 2007.
14. Roslyakov A.V., Drozdova E.A. The study of the boundary values of delays in wireless sensor networks. *Proc. INTHITEN 2016*. St. Petersburg: SPbGUT Publ., 2016, pp. 12–16. (In Russian.)
15. Roslyakov A.V., Vanyashin S.V. *Future Networks*. Samara: PSUTI Publ., 2015, 274 p. (In Russian.)
16. Azodolmolky S. et al. An analytical model for software defined networking: a network calculus-based approach. *Proc. IEEE Global Communications Conference*, 2013, pp. 1397–1402.
17. Zhang L. et al. A stochastic network calculus approach for the end-to-end delay analysis of LTE networks. *2011 International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking (iCOST)*, 2011, pp. 30–35.
18. Yin Q. et al. Analysis on generalized stochastically bounded bursty traffic for communication networks. *Proc. IEEE LCN02*, 2002, pp. 141–149.
19. Roslyakov A.V., Lysikov A.A. *Network Calculus and Its Application for Evaluating Network Characteristics*. Samara: PSUTI Publ., 2019, 222 p. (In Russian.)

*Received 13.03.2020*

---

## ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

---

УДК 621.315.2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ СКРУТКИ МНОГОПАРНЫХ LAN-КАБЕЛЕЙ НА ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕДАЧИ

*Андреев Р.В., Попов В.Б.*

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ*

*E-mail: inkat@inbox.ru*

Обосновывается необходимость проведения исследования влияния методов скрутки кабельного сердечника многопарных LAN-кабелей на их основные электрические характеристики передачи. Проведены экспериментальные исследования электрических характеристик передачи многопарных LAN-кабелей категории 5е в диапазоне частот до 100 МГц. Приводятся результаты экспериментальных исследований низкочастотных и высокочастотных электрических характеристик передачи указанных LAN-кабелей. Проводится детальный анализ результатов экспериментальных исследований. Установлено, что наиболее подверженными влиянию методов скрутки кабель-

ного сердечника являются такие высокочастотные характеристики передачи, как волновое сопротивление и возвратные потери. Анализируются частотные характеристики этих характеристик передачи. Показано, что высокая геометрическая и структурная однородность изолированных жил, а также применение современного высокоскоростного специализированного оборудования скрутки пар обеспечивают высокие параметры передачи четырехпарного LAN-кабеля категории 5e. Установлено, что технология SZ-скрутки по причине внесения геометрических неоднородностей при изготовлении многопарных кабелей неприемлема. Рекомендовано для минимизации геометрических неоднородностей использовать рамочные крутильные машины однонаправленной скрутки.

**Ключевые слова:** LAN-кабели, характеристики передачи, волновое сопротивление, возвратные потери, четырехпарный кабель, многопарный кабель, однонаправленная скрутка, SZ-скрутка, крутильные машины

### Общие положения

В настоящее время в России в структурированных кабельных системах (СКС) и на сетях фиксированного широкополосного доступа (ШПД) широко используются симметричные LAN-кабели. В [1; 2] показано, что сегодня основная доля объема производства кабелей связи с медными жилами приходится на LAN-кабели (более 75 %). Прогнозам о том, что LAN-кабели доживают свое время, а их место займет оптика, уже около 30 лет. Жизнь показала, что востребованность этих кабелей не только не снижается, а наоборот – все более возрастает. Активное развитие технологий Интернета вещей открывает потребность в передаче электроэнергии по витой паре до 60 (90) Вт для экономичных и эффективных приложений PoE, а это резко увеличивает потребность в высококачественных LAN-кабелях. Сегодня наибольшим спросом пользуются малопарные кабели емкостью до четырех пар и многопарные, в основном емкостью двадцать пять пар.

При изготовлении симметричных LAN-кабелей основное внимание уделяется обеспечению симметрии конструкции кабельных цепей, как в отношении геометрического расположения жил, так и в отношении однородности диэлектрических свойств изоляции. Оба эти фактора и определяют величину электрических характеристик передачи и взаимного влияния. Высококачественный LAN-кабель можно изготовить только на основе применения современного технологического оборудования, оснащенного системами автоматического регулирования параметров качества кабеля, а также использованием материалов надежных отечественных поставщиков [3; 4]. Здесь уместно сказать, что в 2019 г. АО «Самарская кабельная компания» (СКК) приобрела для производства LAN-кабелей современное высокоскоростное импортное специализированное оборудование и освоила выпуск высококачественного кабеля. Это оборудование позволяет изготавливать пользующийся наибольшим спросом четырехпарный LAN-кабель категории 5e типа U/UTP 4×2×0,52 для передачи информации

на скоростях до 1 Гбит/с с полосой пропускания до 100 МГц. Выпускаемый LAN-кабель полностью обеспечивает удовлетворение норм и требований нормативных и регламентных технических документов [5–7].

Многопарные кабели емкостью 25×2×0,52 состоят из шести четырехпарных пучков 4×2×0,52, скрученных в общий кабельный сердечник, в центре которого расположена одна пара. Скрутка многопарных кабелей осуществляется на крутильных машинах, которые отличаются многообразием конструкций. Машины, в которых вокруг оси кабельного сердечника вращается отдающее или приемное устройство, являются машинами классической однонаправленной скрутки. Машины, в которых отдающее и приемное устройства неподвижны, а вокруг оси кабельного сердечника вращается самостоятельный крутильный узел, – это машины разнонаправленной скрутки. Часто их называют машинами SZ (левая, правая)-скрутки. Машины однонаправленной скрутки предлагают геометрически однородный кабельный сердечник, что важно для обеспечения величины и стабильности электрических характеристик кабеля. Однако они имеют относительно низкую производительность. Машины SZ-скрутки более скоростные, однако в месте изменения направления скрутки образуются нескрученные участки, то есть геометрические неоднородности. В этой связи возникает практический интерес в исследовании влияния методов скрутки многопарных LAN-кабелей на их электрические характеристики. Этим вопросам и посвящена настоящая статья.

### Результаты измерения электрических характеристик передачи LAN-кабелей

Прежде чем проводить анализ влияния методов скрутки многопарных LAN-кабелей на их электрические характеристики, необходимо сказать следующее. Для этих кабелей специалистами ВНИИ КП разработан ГОСТ Р 54429-2011 «Кабели связи симметричные для цифровых систем передачи. Общие технические условия» [5],

Таблица. Низкочастотные характеристики кабеля

$R$ , Ом/км		$\Delta R$ , %		$C$ , нФ/км		$e$ , пФ/км	
$R_{cp}$	$\sigma$	$\Delta R_{cp}$	$\sigma$	$C_{cp}$	$\sigma$	$e_{cp}$	$\sigma$
84,4	1,13	0,04	0,33	48,21	1,25	40	106

в основу которого положен международный стандарт ISO/IEC 11801 [6]. В данном ГОСТ приведены нормы на электрические характеристики LAN-кабелей, применяемых в СКС и на сетях ШПД, которые взяты за основу при разработке Технического регламента Таможенного союза «О безопасности низковольтного оборудования» (ТР ТС-004-2011) [7]. Эти нормы на электрические характеристики LAN-кабелей взяты за основу и при проведении анализа в настоящей статье.

Рассмотрим основные электрические характеристики передачи кабеля типа U/UTP cat 5e производства АО «СКК» емкостью  $4 \times 2 \times 0,52$  и  $25 \times 2 \times 0,52$ . Многопарные кабели емкостью  $25 \times 2 \times 0,52$  были изготовлены на крутильной машине однонаправленной скрутки с откруткой и на машине SZ-скрутки. Электрические характеристики определены с использованием стационарной измерительной системы AESA-9500.

**Низкочастотные характеристики передачи.** К низкочастотным характеристикам передачи относятся: электрическое сопротивление медных жил постоянному току  $R$  – не более 80–95 Ом/км; омическая асимметрия жил в рабочей паре  $\Delta R$  – не более 2 %; рабочая емкость  $C$  – не более 56 нФ/км; емкостная асимметрия рабочей пары  $e$  – не более 1600 пФ/км. Для анализа электрических характеристик было взято 10 протоколов испытаний кабеля стандартной длиной 305 м, которые поставляются заказчику вместе с кабелем. Результаты измерения низкочастотных характеристик отдельных пар кабеля статистически обработаны, с учетом того что они подчиняются нормальному закону распределения и характеризуются статистическим средним значением и среднеквадратическим отклонением от среднего значения [8; 9]. Результаты статистической обработки приведены в таблице.

Проводя анализ статистических данных результатов измерения низкочастотных характеристик передачи интегрально, можно сказать, что исследуемый кабель полностью отвечает требованиям указанного выше ГОСТ. Сопротивление медных жил близко к минимальному допуску и очень стабильно; омическая асимметрия практически на порядок меньше допустимых 2 %; рабочая емкость заметно меньше максимально допустимого значения; емкостная асимметрия как

минимум в 5 раз меньше (лучше) допустимой величины. При этом, как и следовало ожидать, низкочастотные характеристики кабелей емкостью  $4 \times 2 \times 0,52$  и  $25 \times 2 \times 0,52$  практически не отличаются.

**Высокочастотные характеристики передачи.** К основным высокочастотным характеристикам передачи относятся: коэффициент затухания,  $\alpha$ , дБ/100 м; волновое сопротивление  $Z_c$ , Ом; возвратные потери (Return Loss), дБ/100 м; время задержки сигнала  $\tau_p$ , нс/100м; максимальная разность времени задержки сигнала между любыми парами  $\Delta t_p$ , нс/100 м.

Проведенный анализ результатов измерения высокочастотных характеристик кабелей емкостью  $4 \times 2 \times 0,52$ , проведенный по 10 протоколам заводских испытаний, позволяет отметить, что нормы на все указанные характеристики выполняются, и даже с определенным запасом. Анализ результатов измерения многопарного кабеля емкостью  $25 \times 2 \times 0,52$ , изготовленного по технологии однонаправленной скрутки с откруткой, показал, что все высокочастотные характеристики, кроме возвратных потерь Return Loss, отвечают нормам кабеля категории 5e. Возвратные потери Return Loss оказались несколько ниже требований категории 5e, однако они соответствуют нормам категории 5. Совсем другая картина относительно кабеля, изготовленного по технологии SZ-скрутки.

Здесь нормам кабеля категории 5e отвечают: коэффициент затухания  $\alpha$ ; время задержки сигнала  $\tau_p$  и максимальная разность времени задержки сигнала между любыми парами  $\Delta t_p$ .

Кабелю, изготовленному по технологии SZ-скрутки, присущи равномерно распределенные по строительной длине неоднородности, поэтому чувствительные к ним волновое сопротивление  $Z_c$  и возвратные потери (Return Loss) имеют сильно изрезанные частотные характеристики и не отвечают установленным нормам.

На рисунках 1, 2 для сравнения показаны частотные характеристики волнового сопротивления и возвратных потерь многопарных кабелей емкостью  $25 \times 2 \times 0,52$  соответственно, изготовленных по технологии однонаправленной и SZ-скруток.

Для оценки влияния методов скрутки многопарных LAN-кабелей на их электрические характеристики был проведен анализ крутильных

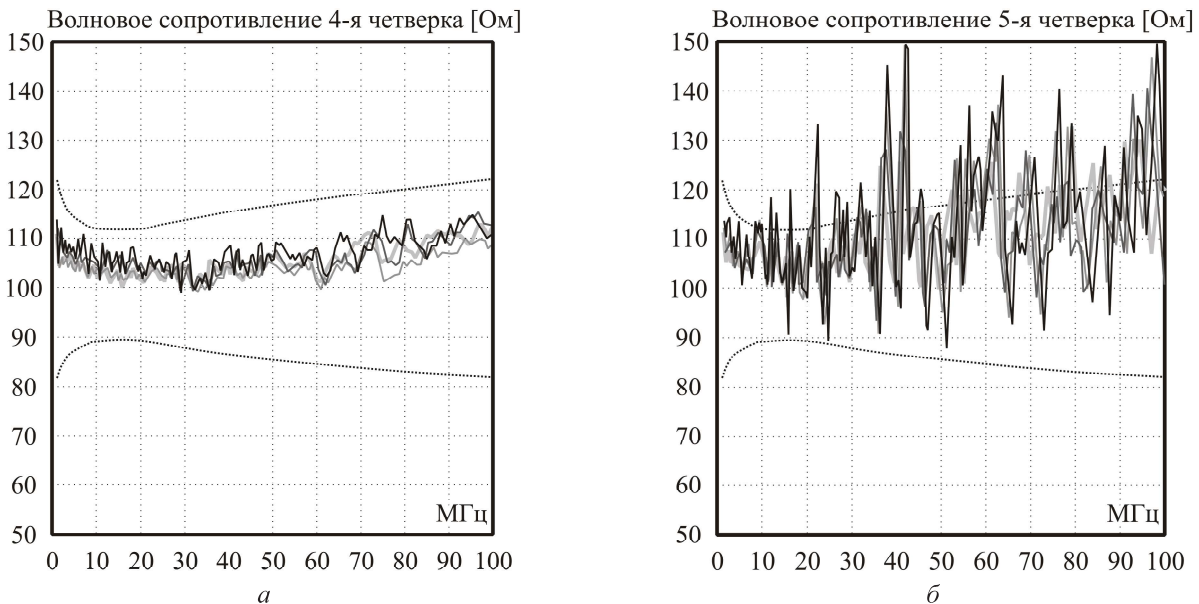


Рисунок 1. Частотные характеристики волнового сопротивления кабеля U/UTP 25×2×0,52, изготовленного по технологии: *a* – однонаправленная скрутка; *б* – SZ-скрутка

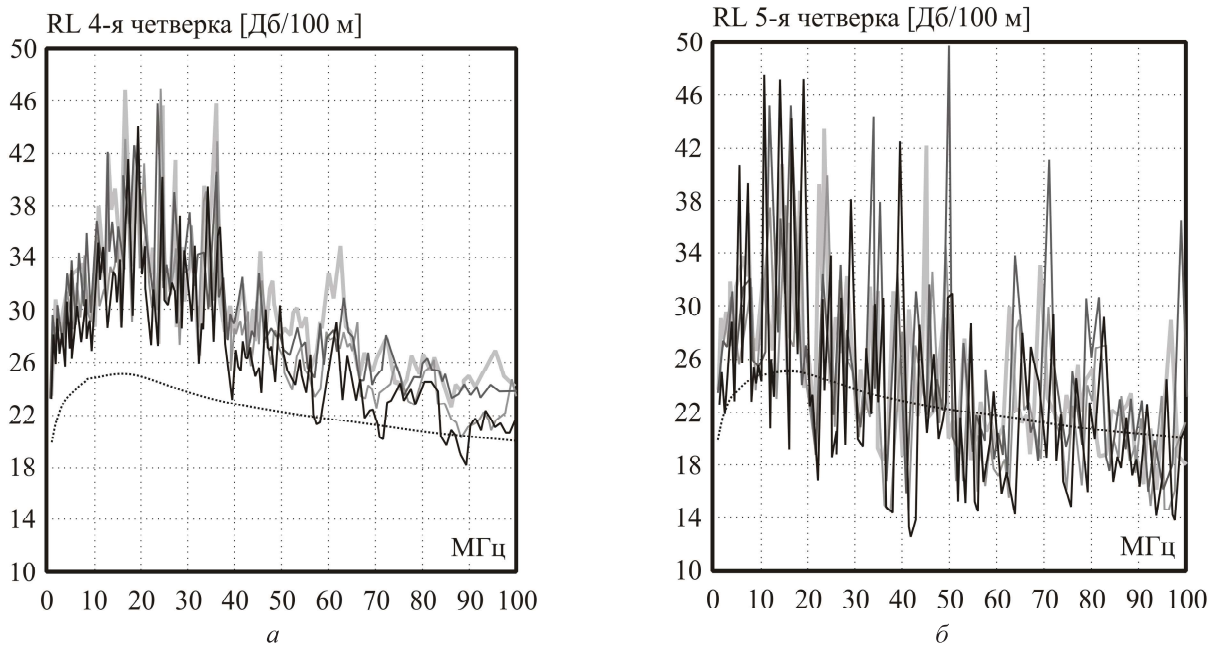


Рисунок 2. Частотные характеристики возвратных потерь кабеля U/UTP 25×2×0,52, изготовленного по технологии: *a* – однонаправленная скрутка; *б* – SZ-скрутка

машин. Этот анализ показал, что для скрутки многопарных LAN-кабелей из четырехпарных пучков следует применять только машины классической однонаправленной скрутки с откруткой. Обусловлено это тем, что однонаправленная скрутка обеспечивает геометрически более однородный кабельный сердечник. В результате выполняются нормы на электрические характеристики кабеля, в первую очередь на наиболее чувствительные к неоднородностям волновое сопротивление, возвратные потери и переходные затухания на ближнем и дальнем концах. Здесь

уместно отметить, что в многопарных кабелях эти электрические характеристики несколько ниже, чем в четырехпарных. Все это говорит о необходимости уделять особое внимание технологии скрутки многопарных LAN-кабелей из высокооднородных четырехпарных пучков. Следует минимизировать механические воздействия на кабельный сердечник при его скрутке на крутильных машинах. Эти условия наиболее оптимально выполняются при использовании рамочных крутильных машин. В настоящее время рамочные крутильные машины для однонаправ-

ленной скрутки являются основными машинами для скрутки сердечников LAN-кабелей. Обусловлено это отсутствием тяжелых вращающихся масс. Частота вращения относительно легкой малоинерционной крутильной рамки ограничивается лишь ее конструктивной прочностью и может достигать нескольких тысяч оборотов в минуту, что обеспечивает высокую линейную скорость скрутки [10].

### Заключение

Выводы по результатам настоящей статьи сводятся к следующему.

1. Высокая геометрическая и структурная однородность изолированных жил, а также применение современного высокоскоростного специализированного оборудования скрутки пар обеспечивают высокие параметры передачи четырехпарного LAN-кабеля категории 5е.

2. Технология SZ-скрутки при изготовлении многопарных кабелей неприемлема, так как по причине равномерно распределенных по строительной длине неоднородностей чувствительные к ним волновое сопротивление и возвратные потери имеют сильно изрезанные частотные характеристики и не отвечают установленным нормам.

3. С целью минимизации механических воздействий и геометрических неоднородностей для скрутки кабельного сердечника из четырехпарных пучков рекомендуется использовать рамочные крутильные машины однонаправленной скрутки с откруткой.

### Литература

1. Воронцов А. Российские кабели для телекоммуникаций: динамика производства в 2017 году // Первая миля. 2018. № 2. С. 24–27.
2. 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.
3. Баннов В.В. Разработка и исследование кабеля с пленко-пористо-пленочной изоляцией для широкополосного абонентского доступа: дис. ... канд. техн. наук. М.: ВНИИКП, 2010. 149 с.
4. Качество LAN-кабелей – основа надежной работы СКС и сетей ШПД / В.А. Андреев [и др.] // Первая миля. 2020. № 1. С. 24–27.
5. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности низковольтного оборудования» (ТР ТС-004-2011), 2011. 13 с.
6. ГОСТ Р 54429-2011. Кабели связи симметричные для цифровых систем передачи. Общие технические условия, 2012. 48 с.
7. ISO/IEC 11801. Международный стандарт телекоммуникационной инфраструктуры коммерческих зданий, 1995. 89 с.
8. Шварцман В.О. Взаимные влияния в кабелях связи. М.: Связь, 1996. 431 с.
9. Направляющие системы электросвязи: учеб. для вузов / под ред. В.А. Андреева. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 396 с.
10. Кабели СКС на сетях электросвязи: теория, конструирование, применение / Е.В. Власов [и др.]. М.: Эко-Трендз, 2006. 280 с.

Получено 21.05.2020

**Андреев Роман Владимирович**, к.т.н., доцент, директор колледжа связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 228-00-66. E-mail: andreev-rv@psuti.ru

**Попов Виктор Борисович**, к.т.н., профессор кафедры линий связи и измерений в технике связи ПГУТИ. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF TWISTING METHODS MULTI-PAIR LAN CABLES ON THEIR ELECTRICAL TRANSMISSION CHARACTERISTICS

*Andreev R. V., Popov V. B.*

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

*E-mail: inkat@inbox.ru*

The need to study the influence of twisting methods of cable core of multi-pair LAN cables on their main electrical transmission characteristics is justified. Experimental studies of the electrical transmission characteristics of multi-pair LAN cables of category 5e in the frequency range up to 100 MHz have been conducted. The results of experimental studies of low-frequency and high-frequency electrical

transmission characteristics of these LAN cables are presented. A detailed analysis of the results of experimental studies is carried out. It has been found that high-frequency transmission characteristics such as wave resistance and return losses are most affected by cable core twisting methods. Frequency behavior of these transmission characteristics is analyzed. It was shown that high geometric and structural uniformity of isolated cores, as well as the use of modern high-speed specialized equipment for twisting the pairs provide high transmission parameters of a four-pair LAN cable of category 5e. It was found that SZ twisting technology is unacceptable due to the introduction of geometric inhomogeneities in the manufacture of multi-pair cables. It is recommended to use unidirectional twisting bow-type stranders to minimize geometric inhomogeneities.

**Keywords:** LAN cables, transmission characteristics, wave resistance, return losses, four-pair cable, multi-pair cable, unidirectional twisting, SZ twisting, stranders

**DOI:** 10.18469/ikt.2020.18.3.02

**Andreev Roman Vladimirovich**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Director of the College of Communications, PhD in Technical Sciences, Associate Professor. Tel. +7 846 228-00-66. E-mail: andreev-rv@psuti.ru

**Popov Victor Borisovich**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Professor of Communication and Measurement in Communications Technology Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 846 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

## References

1. Vorontsov A. Russian cables for telecommunications: dynamics of production in 2017. *First Mile*, 2018, no. 2, pp. 24–27. (In Russian.)
2. Ovchinnikova I.A., Sholudenko M.V. Cables for structured cable systems (LAN-cables) and optical cables: production forecast. *Cables and Wires*, 2018, no. 1, pp. 8–11. (In Russian.)
3. Bannov V.V. Development and research of a cable with film-porous-film insulation for broadband subscriber access. *Dissertation for the degree of candidate of technical Sciences*, VNIKP, 2010, 149 p. (In Russian.)
4. Andreev V.A. et al. The quality of LAN cables is the basis for reliable operation of SCS and broadband networks. *First Mile*, 2020, no. 1, pp. 24–27. (In Russian.)
5. *Technical regulations of the Customs Union «On the safety of low-voltage equipment»* (TR CU-004-2011), 2011, 13 p. (In Russian.)
6. GOST R 54429-2011. *Communication cables are symmetrical for digital transmission systems. General specifications*, 2012, 48 p. (In Russian.)
7. ISO/IEC 11801. *International standard for telecommunications infrastructure of commercial buildings*, 1995, 89 p. (In Russian.)
8. Shvartsman V.O. *Mutual Influences in Communication cables*. Moscow: Svyaz Publishing House, 1996, 431 p. (In Russian.)
9. *Telecommunication Guide Systems. Textbook for Universities*. Ed. by V.A. Andreev. Moscow: Hotline – Telecom, 2018, 396 p. (In Russian.)
10. Vlasov E.V. et al. *SCS Cables on Telecommunication Networks: Theory, Design, Application*. Moscow: Eco-Trends, 2006, 280 p. (In Russian.)

*Received 21.05.2020*