

Glushak Elena Vladimirovna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Associate Professor of Networks and Communication Systems Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 917 118-65-66. E-mail: evglushak@yandex.ru

References

1. Osseiran A. 5G radio access: research and vision. *Pervaya milya*, 2013, vol. 38, no. 5, pp. 16–21. (In Russ.)
2. Gaydamaka Yu.V. et al. *Models and methods of analysis and calculation of performance indicators of wireless heterogeneous networks: monograph*. Moscow: FITZ IU RAN, 2018, 71 p. (In Russ.)
3. Nikishin K.I. Research and simulation of a 5g network and transmission characteristics in anylogic. *Izvestiya SPbGETU «LETI»*, 2023, vol. 16, no. 3. pp. 15–24. (In Russ.)
4. Kiselnikov A.E., Uss M.O., Shidlovsky D.Y. *Development of communication systems of the 5G standard using the 5G TOOLBOX of the MATLAB software package*. Center for Engineering Technologies and Modeling «Exponent», 2023, 10 p. URL: <https://hub.exponenta.ru/post/razrabotka-sistem-svyazi-standarta-5g-s-primeneniem-instrumentariya-5g-toolbox-programmno-go-paketa-matlab126> (accessed: 20.10.2023). (In Russ.)
5. Xiaolong J., Geyong M. Modelling and analysis of priority queueing systems with multi-class self-similar network traffic: a novel and efficient queue-decomposition approach. *IEEE Transactions on Communications*, 2007, vol. 57, pp. 1444–1452.
6. Fokin G.A. Simulation model of 5G NR network positioning technology with meter accuracy. Part 1. PRS signals configuration. *Trudy uchebnykh zavedeniy svyazy*, 2022, vol. 8, no. 2, pp. 48–63. (In Russ.)
7. Nikishin K.I. Modeling of wireless sensor network using. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*, 2021, no. 78, pp. 46–54. (In Russ.)
8. Boev V. D. About adequacy of systems of imitating modelling GPSS world and Anylogic. *Prikladnaya informatika*, 2010, no. 6 (30), pp. 69–82. (In Russ.)
9. Boev V. D. On the adequacy of GPSS and Anylogic simulation system. *Prikladnaya informatika*, 2011, no. 4 (34), pp. 30–40. (In Russ.)
10. Glushak E.V., Lysikov A.A. Problems of modeling a deterministic 5G base network. *Aktual'nye problemy informatiki, radiotekhniki i svyazi: materialy XXX Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*, Samara, 2023, pp. 30–31. (In Russ.)
11. Glushak E.V., Lysikov A.A. Problems of modeling a deterministic 5G radio access network. *Aktual'nye problemy informatiki, radiotekhniki i svyazi: materialy XXX Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Samara, 2023, pp. 31–32. (In Russ.)

Received 08.11.2023

ЛИНИИ СВЯЗИ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.315.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ И ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ СИГНАЛЬНО-БЛОКИРОВОЧНЫХ КАБЕЛЕЙ С ТОКОПРОВОДЯЩИМИ ЖИЛАМИ ПОВЫШЕННОЙ ГИБКОСТИ

Попов В.Б.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: inkat@inbox.ru

В последние годы интенсивное развитие пассажирского скоростного и грузового тяжеловесного движения определяет повышенные требования к организации и обеспечению перевозок, разработке и внедрению новых, пре-

жде всего, инфокоммуникационных технических средств и технологий железнодорожной инфраструктуры путевого комплекса. «Российские железные дороги» реализуют целый ряд значимых инфраструктурных проектов, несколько из которых получили статус федеральных. Одним из основных направлений развития сети железных дорог является их широкая электрификация, разработка и внедрение инновационных инфокоммуникационных технических средств и технологий железнодорожной инфраструктуры путевого комплекса. В процессе функционирования электрифицированных железных дорог возникают электромагнитные поля высокой мощности, что является серьезной проблемой с точки зрения электромагнитной совместимости оборудования. Поэтому предъявляются высокие требования к качеству кабелей систем сигнализации, централизации и блокировки железных дорог. В настоящей статье проводится исследование параметров передачи и обоюдного влияния сигнально-блокировочных кабелей и токопроводящих жил повышенной гибкости.

Ключевые слова: *сигнально-блокировочный кабель, низкочастотные параметры, высокочастотные параметры*

Общие положения

ОАО «РЖД» реализует целый ряд значимых инфраструктурных проектов. Несколько из них получили статус федеральных. Одним из основных направлений развития сети железных дорог является их широкая электрификация, разработка и внедрение инновационных инфокоммуникационных технических средств и технологий железнодорожной инфраструктуры путевого комплекса.

На электрифицированных железных дорогах серьезной проблемой являются электромагнитные поля высокой мощности, возникающие в процессе их функционирования. С целью снижения степени внешнего электромагнитного воздействия на кабели в их конструкции предусмотрены алюминиевые оболочки и стальные бронепокрытия.

По цепям сигнально-блокировочных кабелей передаются сигналы систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) [1]. Так, как российские железные дороги являются важным стратегическим объектом государства – к железнодорожным кабелям предъявляются жесткие требования, особенно к стабильности их эксплуатационных параметров в условиях воздействия негативных факторов.

Чаще всего кабели систем СЦБ имеют полиэтиленовую изоляцию и алюминиевую оболочку. На АО «Самарская кабельная компания» (АО «СКК») изготавливаются конструкции кабелей систем СЦБ со сплошной алюминиевой оболочкой и стальной броней из спирально наложенных лент [2–5], обеспечивающие защиту от воздействия внешних электромагнитных полей, а также механических и климатических условий.

В регламентирующем документе [6] установлены нормативные значения коэффициента затухания α и переходного затухания на ближнем конце A_0 . Сигнально-блокировочные кабели выпускаются как с однопроволочными, так и с многопроволочными токопроводящими жилами повышенной гибкости. Кабели с многопроволоч-

ными жилами применяются в тех местах, где в соответствии с монтажными и эксплуатационными условиями к токопроводящим жилам предъявляются требования повышенной гибкости. В источниках информации практически отсутствуют сведения об указанных параметрах кабелей систем СЦБ, особенно применительно к кабелям с многопроволочными токопроводящими жилами.

Технология производства сигнально-блокировочных кабелей в АО «Самарская кабельная компания»

На предприятии АО «СКК», которое в этом году отметило свое 71-летие, внедрена и успешно действует система менеджмента качества (СМК).

Предприятие АО «СКК» является одним из лидеров российской кабельной промышленности и специализируется на разработке и серийном выпуске телекоммуникационных, сигнально-блокировочных и контрольных кабелей, волоконно-оптических кабелей, автомобильных проводов, силовых кабелей и проводов для электроэнергетики. Осваивается выпуск новых видов кабельно-проводниковой продукции, номенклатура выпускаемой предприятием продукции постоянно расширяется. На предприятии реализуются новые бизнес-планы, внедряются новейшие технологии. Предприятие успешно вышло на мировой рынок кабельно-проводниковой продукции. Теперь перед компанией стоит задача прочно закрепиться на нем.

Благодаря функционированию СМК на предприятии АО «СКК» организовано производство высококачественной кабельно-проводниковой продукции, отвечающей запросам потребителей и соответствующей нормам и требованиям законодательных документов. На предприятии регулярно проводятся аттестации СМК. По результатам аттестаций выдаются сертификаты соответствия стандартам ISO 9001, ISO 14001 и ГОСТ РВ 0015-002.

Процесс производства сигнально-блокировочных кабелей имеет ряд очень важных тех-

нологических особенностей. Для изготовления кабеля высокой однородности особенно важной технологической операцией является операция наложения изоляции на токопроводящую жилу. Изоляция на токопроводящую жилу накладывается на поточной экструзионной линии с системой автоматического регулирования. В процессе наложения изоляции в режиме online выполняются измерения ряда параметров. Измеряются следующие параметры: погонная емкость, диаметр и эксцентриситет жилы, а также электрическая прочность изоляции. По результатам измерения указанных параметров системой автоматического регулирования поддерживаются нормативные значения величин емкости, диаметра, толщины и концентричности изоляции токопроводящей жилы [7, 8]. Толщина изоляции имеет допуск $\pm 1\%$ (0,003 мм), номинальная емкость – менее 2 пФ, концентричность изоляции – более 0,95. Скрутка кабельных пар выполняется на крутильных машинах с подобранными разными значениями шагов скрутки (не превышающими 100 мм). Весь этот комплекс технологических мероприятий направлен на обеспечение высоких и стабильных параметров передачи и взаимного влияния сигнально-блокировочных кабелей.

Результаты измерений параметров передачи и взаимного влияния

Исследуемый сигнально-блокировочный кабель марки СБМВБАБпШп 19х2х1,0 имеет конструкцию с алюминиевой оболочкой и многопроволочными токопроводящими жилами сечением 1,0 мм². Многопроволочные токопроводящие жилы этого кабеля представляют собой стренгу. Стренга токопроводящих жил скручивается из 7 однородных по структуре и геометрии медных проволок диаметром 0,427 мм. Электрические параметры исследуемого кабеля определялись в заводских условиях на строительных длинах 112 м и 300 м с использованием измерительного комплекса «ПИКА ИКС» и измерительного прибора PSM-39.

Низкочастотные параметры кабеля. К низкочастотным параметрам передачи относятся: сопротивление жил постоянному току (R), норма не более 17,8 – 19,9 Ом/км; омическая асимметрия жил (ΔR) – не более 0,8 Ом; рабочая емкость (C) – не более 70 нФ/км.

Низкочастотные параметры кабеля очень сильно зависят от геометрической и структурной однородности медных токопроводящих жил и изоляции.

При статистической обработке результатов измерений низкочастотных параметров кабеля дела-

лось предположение что они имеют нормальный закон распределения, а также характеризуются статистическими средними значениями (R_{cp} , ΔR , C) и среднеквадратическими отклонениями от средних значений (σ) [9]. Результаты статистической обработки низкочастотных параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1 Низкочастотные параметры сигнально-блокировочного кабеля марки СБМВБАБпШп 19х2х1,0

R , Ом/км		ΔR , %		C , нФ/км	
R_{cp}	σ	ΔR_{cp}	σ	C_{cp}	σ
17,75	0,34	0,03	0,23	48,56	0,92

Анализ результатов измерения показывает, что электрическое сопротивление медных токопроводящих жил имеет минимальное отклонение от статистического среднего значения и очень стабильно; омическая асимметрия значительно меньше допустимых 0,8 Ом; рабочая емкость также меньше максимально допустимого значения 70 нФ/ км. Следует отметить, что в сигнально-блокировочных кабелях требования к омической асимметрии по сравнению с другими симметричными кабелями более высокие. При этом обеспечить низкое значение ΔR удается благодаря применению в многопроволочных проводниках для скрутки в стренгу высокооднородных медных проволок диаметром 0,427 мм. Все это в конечном итоге положительно сказывается на высокочастотных параметрах передачи и взаимного влияния кабеля и оказывает положительное влияние на эффективность применения кабелей, благодаря повышению их потребительских свойств.

Высокочастотные параметры кабеля. К основным высокочастотным параметрам сигнально-блокировочных кабелей относятся: коэффициент затухания, α , дБ/км; переходное затухание на ближнем конце, A_0 , дБ и защищенность на дальнем конце, A_z , дБ. Указанные параметры требуется учитывать при организации технологической связи по сигнально-блокировочным кабелям. В ГОСТ 34679-2020 приведены нормы на коэффициент затухания в диапазоне частот до 39 кГц, а переходного затухания на ближнем конце до 160 кГц. В этой статье указанные параметры исследуются в более широком диапазоне частот до 250 кГц. Также исследован такой важный параметр, как защищенность на дальнем конце. В таблице 2 и приведены усредненные значения коэффициента затухания кабеля марки СБМВБАБпШп 19х2х1,0. На рисунке 1 приведен график частотной характеристики коэффициента затуха-

ния α (усредненные значения параметра) исследуемого сигнально-блокировочного кабеля.

Измерения выполнялись измерительным прибором PSM-39.

Анализ результатов измерения коэффициента затухания α , приведенных в таблице 2 и на рисунке 1, показывает, что затухание в кабеле возрастает пропорционально квадратному корню из частоты. Это свидетельствует о том, что в кабеле определяющими характеристиками являются потери в металле. При этом нормы величины коэффициента затухания α цепей кабеля в соответствии с ГОСТ 34679-2020 выполняются.

В таблице 3 приведены усредненные значения параметров взаимного влияния кабеля. На рисунке 2 приведены графики частотных характеристик этих параметров. Измерения выполнялись измерительным комплексом «ПИКА ИКС».

Анализируя результаты, можно сказать, что значения переходных затуханий соответствуют требованиям ГОСТ 34679-2020. Скорость снижения значений переходного затухания на ближнем конце A_0 и защищенности на дальнем конце A_z при увеличении частоты не более 6 дБ на октаву. Таким образом, подтверждаются тео-

ретические положения о том, что в данном случае наведенная помеха формируется в основном за счет непосредственного электромагнитного влияния, а именно его нерегулярной составляющей [10]. Это свидетельствует о высокой геометрической и структурной однородности сигнально-блокировочного кабеля марки СБМВБАБпШп 19х2х1,0.

Заключение

Подводя итоги проведенного исследования параметров передачи и взаимного влияния сигнально-блокировочного кабеля марки СБМВБАБпШп 19х2х1,0 в алюминиевой оболочке с многопроволочными токопроводящими жилами повышенной гибкости, можно сделать вывод, что по низкочастотным параметрам кабель соответствует нормам [6] в исследуемом диапазоне частот до 250 кГц. Достаточно высокие значения параметров передачи и взаимных влияний дают возможность рекомендовать сигнально-блокировочные кабели производства предприятия АО «СКК» для применения на сетях железных дорог при организации высокочастотной технологической связи в диапазоне частот до 250 кГц.

Таблица 2. Усредненные значения коэффициента затухания сигнально-блокировочного кабеля марки СБМВБАБпШп 19х2х1,0

Частота, кГц	0,8	10	15	20	40	60	100	160	250
α , дБ/км	0,72	1,13	1,23	1,37	1,94	2,55	3,23	3,74	4,98

Таблица 3. Усредненные значения переходного затухания на ближнем конце и защищенности на дальнем конце сигнально-блокировочного кабеля СБМВБАБпШп 19х2х1,0

Частота, кГц	0,8	10	15	20	40	60	100	160	250
A_0 , дБ	106	104	101	99	94	90	86	82	76
A_z , дБ	105	103	100	98	93	91	84	80	75

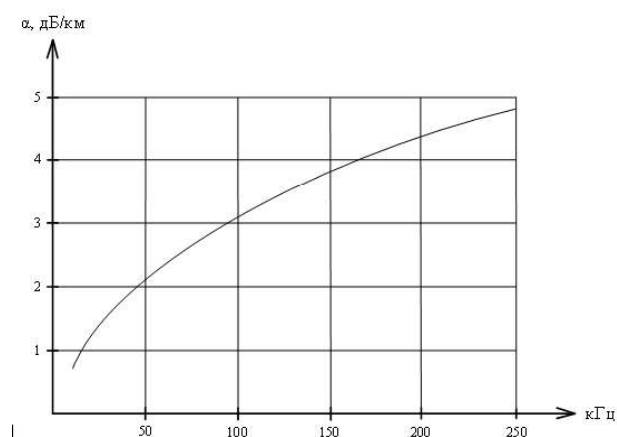


Рисунок 1. Частотная характеристика коэффициента затухания α (усредненные значения) сигнально-блокировочного кабеля марки СБМВБАБпШп 19х2х1,0

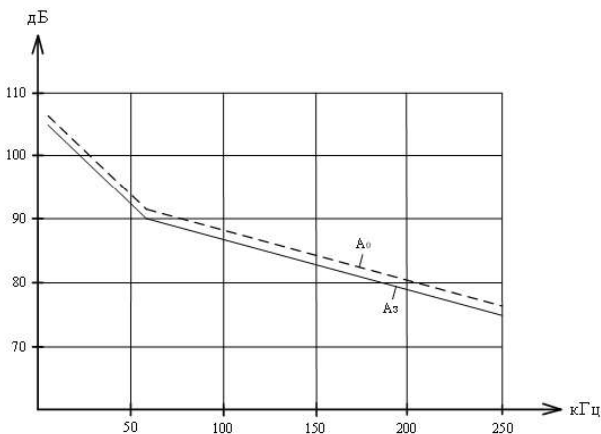


Рисунок 2. Частотные характеристики переходного затухания на ближнем конце A_0 и защищенности на дальнем конце A_z (усредненные значения) кабеля СБМВБАБпШп 19х2х1,0

Литература

1. Кабели и провода. Основы кабельной техники / А.И. Балашов [и др.]; под ред. И.Б. Пешкова. М.: Энергоатомиздат, 2009. 467 с.
2. Андреев В.А., Попов Б.В. Экранирующие характеристики сигнально-блокировочных кабелей // Автоматика, связь, информатика. 2015. № 4. С. 14–16.
3. Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов / В.А. Андреев [и др.]. М.: Горячая линия-Телеком, 2018. 396 с.
4. Исследование стойкости сигнально-блокировочных кабелей / Н.И. Алехин [и др.] // Автоматика, связь, информатика. 2018. №7. С. 23–25.
5. Гроднев И.И., Сергейчук К.Я. Экранирование аппаратуры и кабелей связи. М.: Связьиздат, 1960. 316 с.
6. ГОСТ 34679-2020 «Кабели для сигнализации и блокировки. Общие технические условия». М.: Стандартиформ, 2020. 38 с.
7. Качество LAN-кабелей – основа надежной работы СКС и сетей ШПД / В.А. Андреев [и др.] // Первая миля. 2020. № 1. С. 24–27.
8. Бабицкий О.Ш., Лехтман Д.Я. Технология скрутки кабелей. М.: Энергия, 1978. 133 с.
9. Шварцман В.О. Взаимные влияния в кабелях связи. М.: Связь, 1966. 416 с.
10. Андреев В.А. Теория электромагнитных влияний между цепями связи. М.: Радио и связь, 1999. 320 с.

Получено 06.09.2023

Попов Виктор Борисович, к.т.н., профессор кафедры линий связи и измерений в технике связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, д. 77. Тел. +7 846 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

STUDY OF TRANSMISSION PARAMETERS AND MUTUAL INFLUENCE OF SIGNAL-BLOCKING CABLES WITH CURRENT-CONDUCTIVE CORES WITH INCREASED FLEXIBILITY

Popov V.B.

Povolzhskiy State University of telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation
E-mail: inkat@inbox.ru

In recent years, the intensive development of passenger high-speed and freight heavy traffic created increased demands on the organization and provision of transportation, the development and implementation of new, primarily infocommunication technical means and technologies of the track complex. Russian Railways is implementing a number of significant infrastructure projects, several of which have obtained federal status. One of the main directions of the railway network development is its widespread electrification, development and implementation of innovative infocommunication technical means and technologies for the railway infrastructure of the track complex. During the operation of electrified railways, generated high-power electromagnetic fields posing a serious problem related to electromagnetic compatibility of equipment. Therefore, requirements are placed on the quality of cables of signaling, centralization and blocking systems of railways are rather high. The article observes the transmission parameters and mutual influence of signal-blocking cables and current-carrying cores with high-flexibility.

Keywords: *signal-blocking cable, low-frequency characteristics, high-frequency characteristics*

DOI: 10.18469/ikt.2023.21.2.03

Popov Victor Borisovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, 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. Balashov A.I. et al. *Cables and wires. Fundamentals of cable technology*. Ed. by I.B. Peshkov. Moscow: Energoatomizdat, 2009, 467 p. (In Russ.)
2. Andreev V.A., Popov B.V. Shielding characteristics of signal-blocking cables. *Avtomatika*,

- svyaz', *informatika*, 2015, no. 4, pp. 14–16. (In Russ.)
3. Andreev V.A. et al. *Directing telecommunication systems: Textbook for Universities*. Moscow: Hotline-Telecom, 2018, 396 p. (In Russ.)
 4. Alekhin N.I. et al. Study of the durability of signal-blocking cables. *Automation, communications, computer science*, 2018, no. 7, pp. 23–25. (In Russ.)
 5. Grodnev I.I., Sergeychuk K.Ya. *Shielding of equipment and communication cables*. Moscow: Svyazizdat, 1960, 316 p. (In Russ.)
 6. GOST 34679 -2020 Cables for signaling and blocking. General technical conditions. Moscow: Standartinform, 2020. 38 p. (In Russ.)
 7. Andreev V. et al. Quality of lan cables – the basis for reliable work of scs and broadband. *Pervaya milya*, 2020, no.1, pp. 24–27. (In Russ.)
 8. Babitsky O.Sh., Lekhtman D.Ya. *Technology twisting cables*. Moscow: Energiya, 1978, 133 p. (In Russ.)
 9. Shvartsman V.O. *Mutual influences in communication cables*. Moscow: Svyaz', 1996, 416 p. (In Russ.)
 10. Andreev V.A. *The theory of electromagnetic influences between communication circuits*. Moscow: Radio i svyaz', 1999, 320 p. (In Russ.)

Received 06.09.2023

РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ И РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА, ТЕЛЕВИДЕНИЕ

УДК 629.78

ПЕРЕОРИЕНТАЦИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ РОТОРОВ

Алексеев А.В., Голушкова А.О.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, РФ
Email: alekseev.av@ssau.ru

В статье описывается способ переориентации спутника-гиростата дистанционного зондирования Земли с помощью двигателя-маховика, при нахождении в одной вертикальной плоскости с объектом наблюдения. В ходе исследования выведена геометрическая зависимость угла нутации от времени, построены дифференциальные уравнения движения космического аппарата относительно центра масс и получены их решения. Полученные уравнения позволяют определять параметры движения (координаты и скорости) в зависимости от инерционно-массовых характеристик системы, начальных условий и времени, а также управлять воздействием данных параметров на систему. В статье представлены результаты проведенных исследований, которые показывают работоспособность разработанной математической модели. Благодаря разработанной модели, можно с высокой точностью определить необходимые управляющие воздействия для нацеливания спутника-гиростата на объект наблюдения.

Ключевые слова: гиростат, роторы, математическая модель, уравнения движения, дистанционное зондирование, углы Эйлера, угловая скорость, кинетический момент

Введение

С каждым днем появляется все больше потребностей в дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ). Дистанционное зондирование – это процесс наблюдения и изучения нашей планеты, при котором используются специальные инструменты и технологии, используемые на спутниках или самолетах. Существуют и другие задачи, в которых требуется нацеливание космического аппарата (КА) на определенный объект.

Чаще всего при переориентации КА для на-

целивания антенны или камеры используются двигатели малой тяги, которые подразделяются на несколько категорий: на сжатом газе, на монотопливе, на двухкомпонентном топливе; специальные установки и двигатели на закиси азота, аммиаке, газообразном водороде и кислороде; электроракетные системы на базе импульсных плазменных, ионных или стационарных плазменных двигателей [1].

Все вышеперечисленные инструменты для переориентации КА подразумевают расход рабочего