

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, системы автоматизации проектирования

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.391.883

DOI 10.30987/2658-6436-2022-4-4-11

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНОСТИ И ФАЗОВЫХ СООТНОШЕНИЙ АНАЛОГОВЫХ ОКОНЧАНИЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Кирилл Александрович Батенков

Академия ФСО России, Россия

pustur@yandex.ru

Аннотация. Целью работы является обобщение основных особенностей нормирования параметров нелинейности и фазовых соотношений аналоговых окончаний телекоммуникационных сетей. Методы исследования: сравнительный анализ. Результаты исследования и новизна: представлены основные расчетные соотношения для характеристик нелинейности и подходы к нормированию группового времени прохождения. Характеристики нелинейности и фазовых соотношений канала тональной частоты имеют ряд параметров, системно описывающих состояние канала тональной частоты.

Ключевые слова: амплитудная характеристика, коэффициенты нелинейных искажений, групповое время прохождения, сеть связи, канал тональной частоты

Для цитирования: Батенков К.А. Анализ параметров нелинейности и фазовых соотношений аналоговых окончаний телекоммуникационных сетей // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2022. №4 (18). С. 4-11. doi: 10.30987/2658-6436-2022-4-4-11.

Original article

Open Access Article

ANALYSING NON-LINEARITY PARAMETERS AND PHASE RELATIONSHIP OF TELECOMMUNICATION NETWORK ANALOG-OUTPUT TERMINATIONS

Kirill A. Batenkov

Russian Federation Security Guard Service Federal Academy

pustur@yandex.ru

Abstract. The main calculation ratios for the characteristics of nonlinearity are presented: amplitude characteristic, dynamic range and coefficients of nonlinear distortions (harmonic coefficients). The examples show the order of their calculation and analysis. The article indicates that due to the diversity of reception and transmission of multi-channel transfer systems measuring the phase-frequency characteristic is extremely difficult. As a result, approaches to normalising the group transmission time are proposed. The article presents that the value deviation of the group signal transmission time in the channel from the value measured at a frequency of 1.9 kHz in a simple voice frequency channel is normalised, as well as the relative group transmission time regarding the minimum value for various types of endings built on the basis of digital transmission systems.

Keywords: amplitude characteristic, coefficients of non-linear distortions, group transmission time, communication network, voice frequency channel

For citation: Batenkov K.A. Analysing non-linearity parameters and phase relationship of telecommunication network a nalog-output terminations. Automation and modeling in design and management, 2022, no. 4 (18). pp. 4-11. doi: 10.30987/2658-6436-2022-4-4-11.

Введение

Основным аналоговым сетевым окончанием телекоммуникационных сетей в настоящее время является канал тональной частоты – (КТЧ) (voice frequency transmission circuit) – типовой аналоговый канал передачи с полосой частот от 300 до 3400 Гц [1]. При этом важными его параметрами оказываются параметры нелинейности и фазовых соотношений.

Нормирование амплитудной характеристики

В силу нелинейности характеристик усилительных элементов канал тональной частоты всегда будет вносить некоторые нелинейные искажения в сигнал [2]. Оценка нелинейности производится по его амплитудной характеристике, динамическому диапазону и коэффициентам нелинейных искажений (коэффициентам гармоник) [3].

Амплитудная характеристика – зависимость действующего значения выходного напряжения от действующего значения входного напряжения [4, 5]. Амплитудная характеристика нормируется в форме отклонения от остаточного затухания Δa (variation of gain with input level), относительного нормированного затухания a на частоте 1,02 кГц при изменении уровня передаваемого сигнала L в канал (рис. 1) [6, 7].

$$\Delta a = a_L - a,$$

где a – остаточное затухание канала (для опорного сигнала); $a_L = L - L'$ – остаточное затухание канала при уровне передаваемого сигнала L и уровне принимаемого сигнала L' .

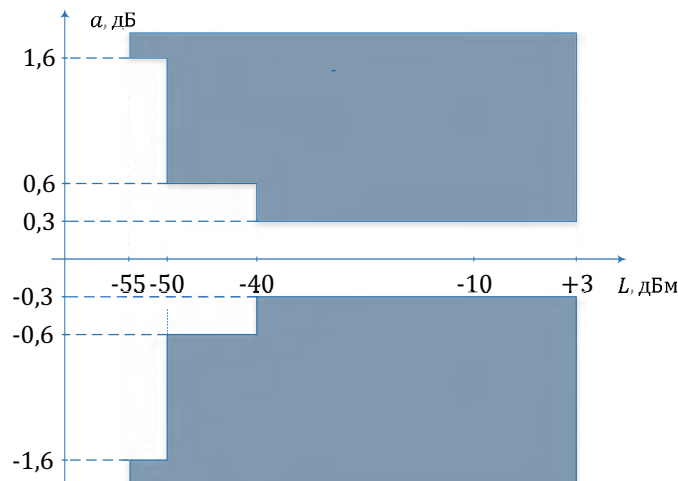


Рис. 1. Нормы отклонения от остаточного затухания Δa при изменении уровня передаваемого сигнала

Анализ амплитудной характеристики

Выходные уровни сигналов при подаче сигналов – 45 дБо и 12 дБо составили величины: – 37,5 дБм и 28,6 дБо соответственно для четырехпроводного канала. Определить отклонения остаточных затуханий и соответствие амплитудной характеристики нормам.

Дано: $L_1 = -45$ дБо, $L_2 = 12$ дБо, $L'_1 = -37,5$ дБм, $L'_2 = 28,6$ дБо.

Найти: a_n, a_f .

Абсолютный уровень сигнала рассчитывается исходя из точки нулевого относительно уровня $L_0 = -10$ дБм0:

$$L'_1 = L''_1 - L_0 = -37,5 \text{ дБм} - (-10 \text{ дБм}0) = -27,5 \text{ дБо}.$$

Остаточное затухание для уровня входного сигнала $L_1 = -45$ дБо (–55 дБм):

$$a_1 = L_1 - L'_1 = -45 - (-27,5) = -17,5 \text{ (дБ)}.$$

Изменение остаточного затухания для уровня входного сигнала $L_1 = -45$ дБо:

$$\Delta a_1 = -17,5 - (-17) = -0,5 \text{ (дБ)}.$$

Остаточное затухание для уровня входного сигнала $L_2 = 12$ дБо (2 дБм):

$$a_2 = L_2 - L'_2 = 12 - 28,6 = -16,6 \text{ (дБ)}.$$

Изменение остаточного затухания для уровня входного сигнала $L_2 = 12$ дБо:

$$\Delta a_2 = -16,6 - (-17) = 0,4 \text{ (дБ)}.$$

Абсолютный уровень первого входного сигнала на 10 дБ ниже относительного и составляет -55 дБм, соответственно отклонение остаточного затухания удовлетворяет норме ($-1,6 < -0,5 < 1,6$), а для второго абсолютный уровень 2 дБм, значит, здесь отклонение остаточного затухания не удовлетворяет норме ($0,4 > 0,3$). Таким образом, амплитудная характеристика не соответствует норме (табл. 1).

Таблица 1

Соответствие нормам на амплитудную характеристику

Table 1

Compliance with the norms for the amplitude characteristic

абсолютный уровень входного сигнала, дБм	-55	2
показатель	изменение остаточного затухания Δa_1 , дБо	изменение остаточного затухания Δa_2 , дБо
верхняя граница	1,6	-0,3
нижняя граница	-1,6	0,3
измеренные значения	-0,5	0,4

Нормирование динамического диапазона

Динамический диапазон – логарифм отношения максимально допустимого напряжения U_{\max} к минимально допустимому U_{\min} [3]:

$$d = 20 \lg \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$$

В соответствии с нормами на изменение остаточного затухания (см. рис. 1) динамический диапазон канал тональной частоты составляет:

$$d = 3 - (-55) = 58 \text{ (дБ)}.$$

Нормирование коэффициентов нелинейных искажений

Суммарный коэффициент нелинейных искажений – отношение квадратного корня из суммы квадратов амплитуд всех гармоник, кроме основной, к амплитуде основного колебания [3, 8]:

$$k = \frac{\sqrt{U^2 - U_1^2}}{U_1}$$

Коэффициент нелинейных искажений по третьей гармонике – отношение квадратного корня из суммы квадратов амплитуд второй и третьей гармоник к амплитуде основного колебания [9]:

$$k' = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2}}{U_1}$$

Коэффициенты нелинейных искажений (при включенном ограничителе амплитуд) при номинальном относительном уровне передачи в простом и составном канале тональной частоты не должен превышать 1,5 % для суммарного коэффициента и 1 % для коэффициента по третьей гармонике.

Анализ коэффициентов нелинейных искажений

При номинальном уровне входного сигнала в четырехпроводном канале тональной частоты напряжение первой гармоники составило 54,8 мВ, второй – 40 мкВ, третьей – 20 мкВ. Определить суммарный коэффициент нелинейных искажений по третьей гармонике и их соответствие нормам.

Дано: $U_1 = 54,8$ мВ, $U_2 = 40$ мкВ, $U_3 = 20$ мкВ.

Найти: k , k' .

Коэффициент нелинейных искажений по третьей гармонике:

$$k' = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2}}{U_1} = \frac{\sqrt{0,04^2 + 0,02^2}}{54,8} = 8,2 \cdot 10^{-4}.$$

Номинального уровень сигнала на согласованной нагрузке для четырехпроводного канала тональной частоты составляет $L_i = -23$ дБм. Опорное напряжение – $U_0 = 775$ мВ. Соответствующее напряжение:

$$U = U_0 \cdot 10^{\frac{L_i}{20}} = 775 \cdot 10^{\frac{-23}{20}} = 54,866 \text{ (мВ)}.$$

Суммарный коэффициент нелинейных искажений:

$$k = \frac{\sqrt{U^2 - U_1^2}}{U_1} = \frac{\sqrt{54,866^2 - 54,8^2}}{54,8} = 0,049.$$

Норма для коэффициента по третьей гармонике удовлетворяется, а для суммарного нет (табл. 2).

Таблица 2

Соответствие нормам на коэффициенты нелинейных искажений

Table 2

Compliance with the norms for nonlinear distortion coefficients

показатель	коэффициент нелинейных искажений по третьей гармонике k'	суммарный коэффициент нелинейных искажений
норма	0,01	0,015
измеренные значения	$8,2 \cdot 10^{-4}$	0,049

Нормирование фазовых соотношений

Фазочастотная характеристика – частотная зависимость разности начальных фаз гармонической реакции и гармонического воздействия в установившемся режиме [3]. Измерение фазочастотной характеристики вследствие разнесенности приема и передачи многоканальных систем передачи чрезвычайно затруднено. Поэтому обычно проводят измерение группового времени прохождения.

Скачкообразные изменения фазы в канале тональной частоты следует измерять в обоих направлениях передачи. В канал подают измерительный сигнал частотой 1020 Гц с уровнем не выше -10 дБм0. Регистрируют число скачков фазы выше установленного порога 15° длительностью 5 мс и более при достаточно быстром изменении фазы (100° за 20 мс и менее). Не должны регистрироваться скачки фазы длительностью менее 4 мс и медленные изменения фазы (100° за 50 мс и более). Максимальная скорость счета скачков фазы – 8 раз в секунду: «мертвое» время, т.е. время, по истечении которого прибор готов регистрировать следующий скачок фазы, равно (125 ± 25) мс. Длительность цикла измерения должна быть не менее 24 ч. Считывание или документальная регистрация результата измерения должна осуществляться каждые 15 мин.

Изменение фазы передаваемого сигнала в канале тональной частоты протяженностью 12 500 км (при 49 транзитах на высокой и тональной частотах) вследствие переключения генераторного оборудования систем передачи не должно быть чаще одного раза за 1,5 ч.

При числе транзитов n , отличающемся от 49, изменение фазы не должно быть чаще одного раза за:

$$N = 1,5 \sqrt{\frac{49}{n}}.$$

Групповое время прохождения t (absolute group delay) – производная фазочастотной характеристики по частоте. Групповое время прохождения t , мс нормируется в форме минимального значения (для аналоговых систем значение $t_{1,9}$ на частоте 1,9 кГц) для каналов с различными типами окончаний (табл. 3) [10]:

$$t = \min_i t_i,$$

где t_i – групповое время прохождения на i -й частоте.

Нормы на групповое время прохождения

Table 3

Norms for group passage time

типы окончаний передачи	типы окончаний приема	максимально допустимое групповое время прохождения, мс
четырехпроводные аналоговые	четырехпроводные аналоговые	0,60
двухпроводные аналоговые	двухпроводные аналоговые	0,75
четырехпроводные аналоговые	цифровые	0,36
цифровые	четырехпроводные аналоговые	0,24
двухпроводные аналоговые	цифровые	0,45
цифровые	двухпроводные аналоговые	0,30

Также нормируется отклонение значения группового времени прохождения Δt сигнала в канале от значения, измеренного на частоте 1,9 кГц (относительное групповое время прохождения) в простом канале тональной частоты (с использованием только аналоговых систем передач) (рис. 2) [9]:

$$\Delta t = t_f - t_{1,9},$$

где t_f – групповое время прохождения сигнала текущей частоты f ; $t_{1,9}$ – групповое время прохождения сигнала частотой 1,9 кГц.

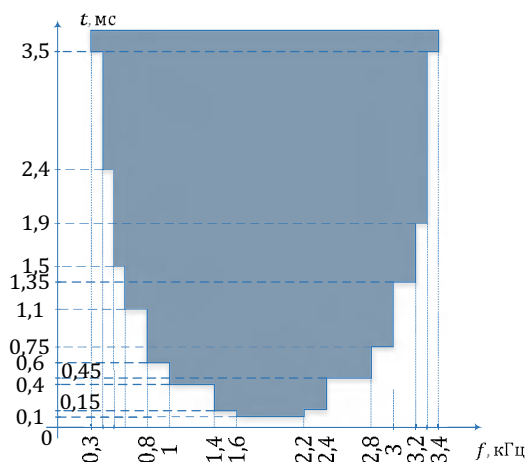


Рис. 2. Нормы на отклонение значения группового времени прохождения Δt сигнала в канале от значения, измеренного на частоте 1,9 кГц (относительное групповое время прохождения) в простом канале тональной частоты (аналоговые системы передачи)

Fig. 2. Norms for the deviation of the value of the group transit time Δt of the signal in the channel from the value measured at a frequency of 1.9 kHz (relative group transit time) in a simple channel of the tonal frequency (analog transmission systems)

Кроме того, нормируется относительное групповое время прохождения Δt относительно минимального значения t для различного типа окончаний, построенных на основе цифровых систем передач: для аналоговых четырехпроводных (рис. 3, а) и двухпроводных (рис. 3, б) и для смешанных аналого-цифровых четырехпроводных (рис. 4, а) и двухпроводных (рис. 4, б) окончаний [11]:

$$\Delta t = t_f - t,$$

где t_f – групповое время прохождения сигнала текущей частоты f ; $t = \min_i t_i$ – минимальное групповое время прохождения на измерительных частотах.

Анализ фазовых соотношений

Значения группового времени прохождения, измеренные на трех частотах 0,8 кГц, 1,9 кГц и 2,7 кГц для двухпроводных аналоговых окончаний, составили 50 мкс, 70 мкс и 580 мкс соответственно. Определить отклонения значения группового времени прохождения и их соответствие нормам для канала тональной частоты, построенного с использованием аналоговых и цифровых систем передачи.

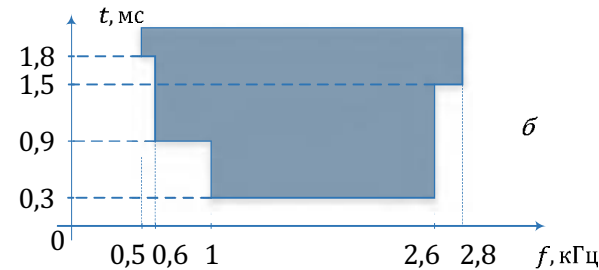
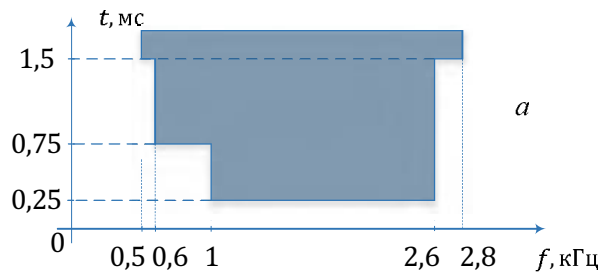


Рис. 3. Нормы на отклонение значения группового времени прохождения Δt сигнала в канале (цифровые системы передачи) в четырехпроводном (а) и двухпроводном (б) аналоговых окончаниях канала тональной частоты

Fig. 3. Norms for the deviation of the value of the group time of passage of the signal in the channel (digital transmission systems) in the four-wire (a) and two-wire (b) analog endings of the tonal frequency channels

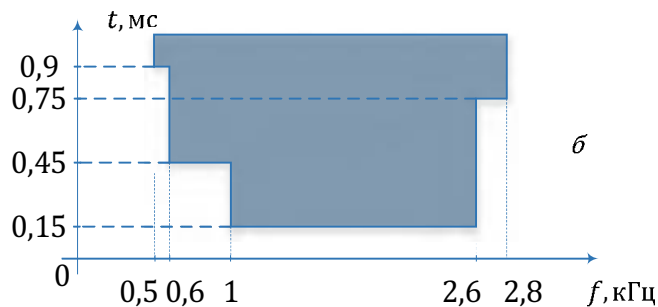
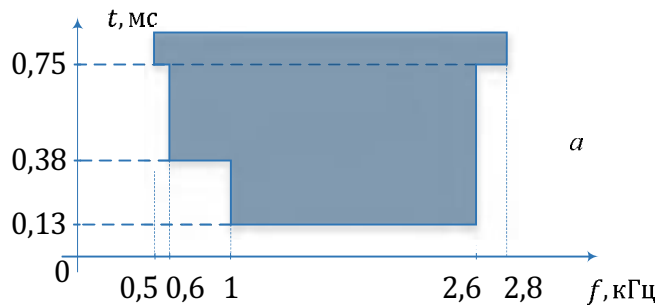


Рис. 4. Нормы на отклонение значения группового времени прохождения Δt сигнала в канале (цифровые системы передачи) в четырехпроводном (а) и двухпроводном (б) смешанных аналого-цифровых окончаниях канала тональной частоты

Fig. 4. Norms for the deviation of the value of the group time of passage of the signal in the channel (digital transmission systems) in the four-wire (a) and two-wire (b) mixed analog-digital endings of the tonal frequency channels

Дано: $f_1 = 0,8$ кГц, $f_2 = 1,9$ кГц, $f_3 = 2,7$ кГц, $t_1 = 50$ мкс, $t_2 = 70$ мкс, $t_3 = 580$ мкс.

Найти: t , t' , Δt_1 , Δt_3 , $\Delta t_2'$, $\Delta t_3'$.

Для аналоговых систем передачи абсолютное групповое время прохождения измеряется на частоте 1,9 кГц:

$$t = t_{1,9} = t_2 = 70 \text{ (мкс)}.$$

Для цифровых систем передачи абсолютное групповое время прохождения имеет минимальное из измеренных значений:

$$t = \min_{i=1,2,3} t_i = \min(50, 70, 580) = 50 \text{ (мкс)}.$$

И для аналоговых систем, и для цифровых значения абсолютных групповых времен прохождения соответствуют нормам для двухпроводных окончаний (табл. 3): $0,05 < 0,07 < 0,75$.

Для аналоговых систем отклонение группового времени прохождения:

$$\Delta t_1 = t_1 - t_{1,9} = 50 - 70 = -20 \text{ (мкс)},$$

$$\Delta t_3 = t_3 - t_{1,9} = 580 - 70 = 510 \text{ (мкс)}.$$

Для частоты $f = 0,8$ кГц отклонение группового времени прохождения соответствуют норме (см. рис. 2): $-0,02 < 0,6$, а для частоты $f_3 = 2,7$ кГц нет: $0,51 > 0,45$ (табл. 4). Таким образом, канал тональной частоты, построенный с использованием аналоговых систем передачи не удовлетворяет нормам.

Соответствие нормам на групповое время прохождения

Таблица 4

Table 4

Compliance with the norms for the group time of passage

системы передачи	аналоговые			цифровые		
	1,90	0,80	2,70	0,80	1,90	2,70
частота, кГц						
показатель	абсолютное групповое время прохождения t , мс	отклонение группового времени прохождения, мс	отклонение группового времени прохождения, мс	абсолютное групповое время прохождения t , мс	отклонение группового времени прохождения, мс	отклонение группового времени прохождения, мс
норма	0,75	0,60	0,45	0,75	0,90	1,50
измеренные значения	0,07	-0,02	0,51	0,05	0,02	0,53

Для цифровых систем отклонение группового времени прохождения:

$$\Delta t'_2 = t_2 - t' = 70 - 50 = 20 \text{ (мкс)},$$

$$\Delta t'_3 = t_3 - t' = 580 - 50 = 530 \text{ (мкс)}.$$

Для обеих частот $f_2 = 1,9$ кГц и $f_3 = 2,7$ кГц отклонения групповых времен прохождения соответствуют норме (см. рис. 3, б): $0,02 < 0,9$, $0,53 < 1,5$ (см. табл. 4). Таким образом, канал тональной частоты, построенный с использованием цифровых систем передачи удовлетворяет нормам.

Заключение

В работе обобщены основные особенности нормирования параметров нелинейности и фазовых соотношений аналоговых окончаний телекоммуникационных сетей. На примерах рассмотрены порядки расчетов этих параметров для различных типов аналоговых окончаний.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нормы на электрические параметры каналов тональной частоты магистральной и внутризональных первичных сетей: Утв. М-вом связи РФ 15.04.96. – М.: МК-Полиграф. 1996. 96 с.
2. Батенков К.А. Необходимые условия оптимальности операторов модуляции и демодуляции // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов. Сборник статей всероссийской научно-практической конференции. составители: А.В. Калачев, В.В. Белозерских. 2013. С. 58-62.
3. Улахович Д.А. Основы теории линейных электрических цепей: Учеб. Пособие. СПб.: БХВ-Петербург. 2009. 816 с.
4. Батенков К.А. Дискретные отображения модели непрерывного канала связи на основе обобщенного ряда Фурье // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 43. С. 12-20.

References:

1. Norms for the Electrical Parameters of the Voice Frequency Channels of the Main and Intrazonal Primary Networks. Approved by the Ministry of Communications of the Russian Federation. Moscow: MK-Polygraph; 1996.
2. Batenkov K.A. Necessary Conditions for the Optimality of Modulation and Demodulation Operators. In: Kalachev AV, Belozersky VV, editors. Proceedings of All-Russian Scientific-Practical Conference: Multi-Core Processors, Parallel Programming, FPLD, Signal Processing Systems; 2013. p. 58-62.
3. Ulakhovich D.A. Fundamentals of the Theory of Linear Electrical Circuits. Saint Petersburg: BHV-Petersburg; 2009.
4. Batenkov K.A. Discrete Mappings of a Continuous Communication Channel Model Based on a Generalized Fourier Series. Vestnik of Ryazan State Radio Engineering University. 2013; 43: 12-20.

5. Батенков К.А. К вопросу оценки надежности двух-полюсных и многополюсных сетей связи // Успехи современной радиоэлектроники. 2017. С. 604.
6. Rec. Q.552. Transmission characteristics at 2-wire analogue interfaces of digital exchanges. Geneva: ITU-T. 1996. 11. 43 p.
7. Rec. Q.553. Transmission characteristics at 4-wire analogue interfaces of digital exchanges. Geneva: ITU-T. 2001. 11. 22 p.
8. Границы вероятности символьной ошибки для канала связи с логнормальными замираниями при использовании предсказаний и помехоустойчивого кодирования / Батенков К.А., Гусев В.В., Илюшин М.В. и др. // Телекоммуникации. 2018. № 2. С. 45-48.
9. ГОСТ 21655-87. Каналы и тракты магистральное первинной сети единой автоматизированной системы связи. Электрические параметры и методы измерений. М.: Издательство стандартов. 1988. – 106 с.
10. Rec. G.712. Transmission performance characteristics of pulse code modulation channels. Geneva: ITU-T, 2001. 11. 38 p.
11. Батенков К.А. Обобщенный пространственно-матричный вид энергетических ограничений систем связи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 3. С. 238-245.
5. Batenkov K.A. To the Question of Assessing the Reliability of Bipolar and Multipolar Networks. Achievements of Modern Radioelectronics. 2017:604.
6. Rec. Q.552. Transmission Characteristics at 2-Wire Analogue Interfaces of Digital Exchanges. Geneva: ITU-T; 1996.
7. Rec. Q.553. Transmission Characteristics at 4-Wire Analogue Interfaces of Digital Exchanges. Geneva: ITU-T; 2001.
8. Batenkov K.A., Gusev V.V., Ilyushin M.V., Katkov O.N., Melnikov A.A., Stremoukhov M.V. Likelihood Limits of Symbol Error for Communication with Log-normal Fades at Use of Emphasis and Antinoise Coding. Telecommunications. 2018;2: 45-48.
9. GOST 21655-87. Channels and Links of Primary Trunk Network within All-Union Automatic Communication System. Electric Parameters and Methods of Measurement. Moscow: Publishing House of Standards; 1988.
10. Rec. G.712. Transmission Performance Characteristics of Pulse Code Modulation Channels. Geneva: ITU-T; 2001.
11. Batenkov K.A. Communications System Energy Limitation Generalised Spatially Matrix View. Izvestiya of Tula State University. Technical Science. 2013;3:238-245.

Информация об авторах:

Кирилл Александрович Батенков
доктор технических наук, сотрудник Академии ФСО России.

Information about authors:

Kirill Aleksandrovich Batenkov
Doctor of Technical Sciences, employee of the Russian Federation Security Guard Service Federal Academy.

Статья поступила в редакцию 30.08.2022; одобрена после рецензирования 19.09.2022; принята к публикации 02.10.2022.

The article was submitted 30.08.2022; approved after reviewing 19.09.2022; accepted for publication 02.10.2022.

Рецензент – Рытов М.Ю., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Rytov M. Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.