

Математическое и компьютерное моделирование

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 004.7

doi: 10.30987/2658-6436-2023-4-28-36

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ОШИБОК ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ И ТРАКТОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ПЛЕЗИОХРОННУЮ И СИНХРОННУЮ ЦИФРОВЫЕ ИЕРАРХИИ

Кирилл Александрович Батенков

МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия

pustur@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6083-1242>

Аннотация. Целью работы является обобщение основных особенностей нормирования параметров ошибок цифровых каналов и трактов для современной аппаратуры телекоммуникационных сетей. Методами исследования является сравнительный анализ в сочетании с анализом отечественных стандартов и зарубежных рекомендаций, касающихся нормирования параметров ошибок цифровых каналов и трактов. Представлены основные расчетные соотношения для характеристик ошибок цифровых каналов и трактов: долговременные нормы на коэффициент секунд с ошибками, коэффициент секунд с существенными ошибками и коэффициент блоков с фоновыми ошибками. На примерах показан порядок их расчета и анализа. Указывается, что число подлежащих контролю блоков в секунду следует увеличивать со скоростью передачи, чтобы обеспечивался постоянный размер блока. Подчеркивается, что показатели ошибок синхронных цифровых трактов остаются нулевыми в течение длительных периодов времени даже для скоростей передачи в Гбит/с, и что значительный коэффициент секунд с ошибками соответствует трактам плохого качества, поэтому для целей технического обслуживания контроль секунд с ошибками должен выполняться. Выводы: долговременные нормы на параметры ошибок цифровых каналов и трактов учитывают не только вид цифровой иерархии и скоростные режимы, но и состав гипотетического эталонного тракта и его длину.

Ключевые слова: параметры ошибок, цифровые каналы, цифровые тракты, долговременные нормы, телекоммуникационная сеть

Для цитирования: Батенков К.А. Анализ параметров ошибок цифровых каналов и трактов, использующих плезиохронную и синхронную цифровые иерархии // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2023. №4 (22). С. 28-36. doi: 10.30987/2658-6436-2023-4-28-36.

Original article

Open Access Article

ANALYSING DIGITAL CHANNEL AND PATH ERROR PARAMETERS USING PLESIOCHRONOUS AND SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHIES

Kirill A. Batenkov

MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

pustur@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6083-1242>

Abstract. The aim of the work is to summarize the main features of normalizing the of digital channel and path error parameters for modern telecommunications network equipment. The research methods are comparative analysis combined with the analysis of domestic standards and foreign recommendations regarding the standardization of digital channel and path error parameters. The main calculated relationship for the digital channel and path error characteristics are presented, namely long-term standards for the coefficient of seconds with errors, the coefficient of seconds with significant errors and the coefficient of blocks with background errors. Examples show the procedure for their calculation

and analysis. The paper specifies that the number of units to be monitored per second should be increased with the transmission rate to keep a unit size constant. The error rates of synchronous digital paths are emphasized to remain zero for long periods of time even at Gbit/s rates, and a significant factor of error seconds corresponds to poor quality paths, so monitoring the error seconds must be performed for maintenance purposes. The findings are that long-term standards for error parameters of digital channels and paths don't only take into account the type of digital hierarchy and rate modes, but also the composition of the hypothetical reference path and its length.

Keywords: error parameters, digital channels, digital paths, long-term norms, telecommunication network

For citation: Batenkov K.A. Analysing Digital Channel and Path Error Parameters Using Plesiochronous and Synchronous Digital Hierarchies. Automation and modeling in design and management, 2023, no. 4 (22). pp. 28-36. doi: 10.30987/2658-6436-2023-4-28-36.

Введение

Рекомендация ITU-T G.826 [1] определяет сквозные параметры ошибок и нормы для международных цифровых трактов, а также для международных цифровых каналов. Нормы на параметры ошибок не зависят от физической сети, формирующей канал или сетевой тракт.

Нормы качества распределяются по уровням параметров ошибок, наблюдаемым на национальных и международных частях эталонных каналов и трактов (рис. 1). В рекомендации ITU-T G.826 [1] граница между национальной и международной частями определяется как граница между международным шлюзом, который обычно соответствует кросс-коммутатору, мультиплексу более высокого уровня или коммутатору (N-ISDN (narrowband integrated services digital network – узкополосная цифровая сеть с интегрированным обслуживанием) или B-ISDN (broadband ISDN – широкополосная ISDN)). Международный шлюз всегда является наземным оборудованием, физически находящимся в оконечной (или промежуточной) стране. Между международными шлюзами могут использоваться тракты более высокого порядка, соответствующие международной части соединения.

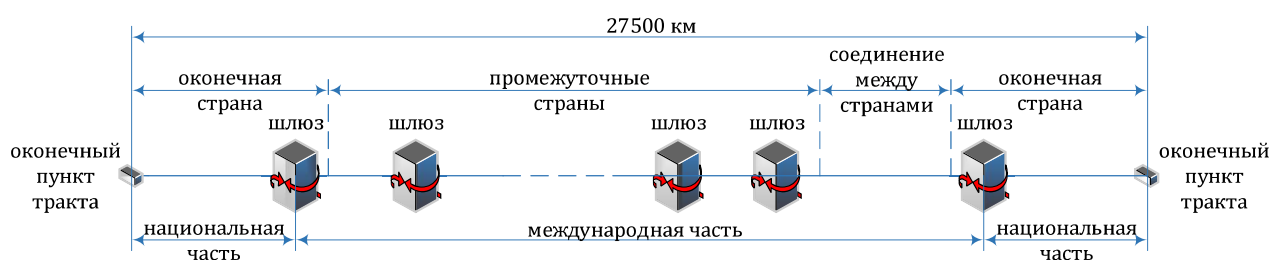


Рис. 1. Эталонное соединение согласно рекомендации ITU-T G.826 [1]

Fig. 1. Reference connection according to ITU-T G.826 recommendation [1]

Нормирование параметров ошибок для эталонных каналов и трактов согласно ITU-T G.826

В табл. 1 приведены нормы на параметры ошибок для эталонных каналов и трактов максимальной протяженностью 27 500 км согласно рекомендации ITU-T G.826 [1]. Каждое направление канала или тракта должно одновременно удовлетворять нормам [2]. Канал или тракт не соответствует нормам, если какой-нибудь параметр превышает требуемое значение за период измерений (рекомендуется использовать интервал в один месяц).

Существует ряд регламентированных размеров блоков, приведенный в табл. 2. Сетевой тракт E1 – первичный тракт европейской иерархии, T1, T2, T3 – первичный, вторичный, третичный тракты североамериканской иерархии [3]. Виртуальные контейнеры VC-11, VC-12, VC-2 соответствуют трактам низких порядков; VC-3, VC-4 – высоким порядков. Виртуальные контейнеры VC-2-nc образуются посредством смежного объединения (конкатенации) $n = 1, 2, \dots, 7$ виртуальных контейнеров VC-2, а VC-4-nc – $n = 1, 2, \dots, 64$ виртуальных контейнеров VC-4 [4].

Таблица 1

Долговременные нормы на показатели ошибок для международного соединения протяженностью 27 500 км согласно рекомендации ITU-T G.826 [1]

Table 1

Long-term standards for error rates for an international connection with a length of 27,500 km according to ITU-T G.826 recommendation [1]

Скорость канала или тракта, Мбит/с	Размер блока, кбит	ESR, r'_e	SESR, r'_s	BBER, r'_m
0,064 ... 1,5 (2)	—	0,040	0,002	—
1,5...5	0,8...5	0,040	0,002	$2 \cdot 10^{-4}$
5...15	2...8	0,050	0,002	$2 \cdot 10^{-4}$
15...55	4...20	0,075	0,002	$2 \cdot 10^{-4}$
55...160	6...20	0,160	0,002	$2 \cdot 10^{-4}$
260...3500	15...30	—	0,002	10^{-4}

Таблица 2

Размер блоков трактов PDH и SDH согласно рекомендации ITU-T G.826 [1]

Table 2

Size of PDH and SDH path blocks according to ITU-T G.826 recommendation [1]

Скорость, Мбит/с	Тип тракта	Интенсивность, блок/с	Размер блока, кбит	EDC
1,544	T1	333	4,632	CRC-6
2,048	E1	1 000	2,048	CRC-4
6,312	T2	2 000	3,156	CRC-5
44,736	T3	9 398	4,760	контроль четности
1,664	VC-11	2 000	0,832	BIP-2
2,240	VC-12	2 000	1,120	BIP-2
6,848	VC-2	2 000	3,424	BIP-2
48,96	VC-3	8 000	6,120	BIP-8
150,336	VC-4	8 000	18,792	BIP-8
6,848n	n VC-2	2 000n	3,424	n BIP-2
34,240	VC-2-5c	2 000	17,120	BIP-2
601,344	VC-4-4c	8 000	75,168	BIP-8

Нормирование параметров ошибок для эталонных каналов и трактов согласно ITU-T G.828

В рекомендации ITU-T G.828 [5, 6] даются более жесткие нормируемые значения для показателей ошибок (табл. 3), в том числе для тандемных соединений (ТС – tandem connection). Отметим, что при прочих равных условиях предпочтительнее использовать данные более жесткие нормы [7].

Таблица 3

Долговременные нормы на показатели ошибок для международного синхронного цифрового соединения протяженностью 27 500 км согласно рекомендации ITU-T G.828 [6]

Table 3

Long-term standards for error rates for an international synchronous digital connection with a length of 27,500 km according to ITU-T G.828 recommendation [6]

Скорость, Мбит/с	Тип тракта	Интенсивность, блок/с	Размер блока, кбит	ESR, r'_e	SESR, r'_s	BBER, r'_m	EDC
1,664	VC-11, TC-11	2 000	0,832	0,01	0,002	$5 \cdot 10^{-5}$	BIP-2
2,240	VC-12, TC-12	2 000	1,120	0,01	0,002	$5 \cdot 10^{-5}$	BIP-2
6,848	VC-2, TC-2	2 000	3,424	0,01	0,002	$5 \cdot 10^{-5}$	BIP-2
48,960	VC-3, TC-3	8 000	6,120	0,02	0,002	$5 \cdot 10^{-5}$	BIP-8
150,336	VC-4, TC-4	8 000	18,792	0,04	0,002	10^{-4}	BIP-8
601,344	VC-4-4c, TC-4-4c	8 000	75,168	—	0,002	10^{-4}	BIP-8
2 405,376	VC-4-16c, TC-4-16c	8 000	300,672	—	0,002	10^{-4}	BIP-8
9 621,504	VC-4-64c, TC-4-64c	8 000	1 202,688	—	0,002	10^{-4}	BIP-8

При определении нормируемых значений одну неопределенность создает недостаточно точная информация о величине оцениваемых блоков [7]. Этот недостаток скорректирован в ИТУ-Т G.828 [6], где была определена точная длина блока на всех скоростях передачи (табл. 3): число блоков, контролируемых в секунду, для скоростей передачи от *VC-3* до *VC-4-64c* остается постоянным и равным 8000. Это означает, что размер блока увеличивается с увеличением скорости передачи. В то же время для определения ошибок остается ВІР-8. Этот увеличивающийся размер блока приводит к постоянному уменьшению эффективности контроля ошибок, так как скорость увеличивается [8]. Таким способом не могут быть точно определены более высокие значения коэффициента ошибок. В результате более глубокого теоретического рассмотрения было предложено, что число подлежащих контролю блоков в секунду следует увеличивать со скоростью передачи, чтобы обеспечивался постоянный размер блока.

Нормирование параметров ошибок для эталонных каналов и трактов согласно ИТУ-Т G.829

Нормы на коэффициент секунд с ошибками ESR имеют тенденцию терять значимость при увеличении скорости передачи и поэтому не устанавливаются для трактов, работающих на скоростях выше 160 Мбит/с [6, 7]. Тем не менее обнаружено, что показатели ошибок синхронных цифровых трактов остаются нулевыми в течение длительных периодов времени даже для скоростей передачи в Гбит/с и, что значительный коэффициент секунд с ошибками ESR соответствует трактам плохого качества. Поэтому для целей технического обслуживания контроль секунд с ошибками ES должен выполняться.

Норма на коэффициент блоков с фоновыми ошибками BBER соответствует эквивалентному коэффициенту ошибочных битов, равному $8,3 \cdot 10^{-10}$ или откорректированному коэффициенту, равному $5,3 \cdot 10^{-9}$ для скоростей передачи *VC-4*. Эквивалентный коэффициентом ошибочных битов полезен в качестве независимого от скорости передачи параметра ошибок, так как нормы на коэффициент блоков с фоновыми ошибками BBER не могут оставаться постоянными при увеличении размеров блоков.

Для мультиплексных и регенераторных секций SDH в рекомендации ИТУ-Т G.829 [9] определены только события ошибок, но не нормы [7]. Данная рекомендация тоже основана на принципе контроля ошибок по блокам, причем допускается, чтобы измерения были сделаны без прекращения связи. Поэтому в рекомендации определяется величина блока, число блоков в цикле SDH, число передаваемых в секунду блоков и код обнаружения ошибок (EDC), подлежащий использованию на различных скоростях передачи SDH вплоть до STM-64 (STM – synchronous transport module – синхронный транспортный модуль) (табл. 4).

Таблица 4

Размер блоков мультиплексных и регенераторных секций SDH согласно рекомендации ИТУ-Т G.829 [9]

Table 4

The size of the blocks of multiplex and regenerator sections SDH according to the recommendation ITU-T G.829 [9]

Модуль STM	Размер блока, бит	Число блоков в кадре	Интенсивность, блок/с	EDC
Мультиплексная секция				
sSTM-1k	36k	8	64 000	8 ВІР-1
sSTM-2n	108n	8	64 000	8 ВІР-1
STM-0	801	8	64 000	8 ВІР-1
STM-1	801	24	192 000	24 ВІР-1
STM-4	801	96	768 000	96 ВІР-1
STM-16	801	384	3 072 000	384 ВІР-1
STM-64	801	1536	12 288 000	1536 ВІР-1
Регенераторная секция				
sSTM-1k	288k	1	8 000	–
sSTM-2n	864n	1	8 000	–
STM-0	6 480	1	8 000	ВІР-8
STM-1	19 440	1	8 000	ВІР-8
STM-4	19 440	4	32 000	4 ВІР-8
STM-16	19 440	16	128 000	16 ВІР-8

Интерфейсы передачи sSTM-2n транспортируют один или несколько трибутарных блоков (TU – tributary unit) TU-2 с заголовком секции (9 байт на кадр) [10]. Число n групп трибутарных блоков (TUG – tributary unit group) TUG-2 в интерфейсах sSTM-2n может быть $n = 1, 2, 4$.

Интерфейсы передачи sSTM-1k транспортируют один или несколько трибутарных блоков TU-12 с заголовком секции (9 байт на кадр) [10]. Число n трибутарных блоков TU-12 в интерфейсах sSTM-1k может быть $k = 1, 2, 4, 8, 16$.

Рекомендация ITU-T G.829 [9] также определяет пороги для регистрации секунд с существенными ошибками SES для мультиплексных и регенераторных секций SDH (табл. 5) [7]. Данный порог в обеих рекомендациях ITU-T G.826 [1] и G.828 [6] соответствует 30 % блоков с ошибками, что не совсем подходит для мультиплексных и регенераторных секций. Вследствие отличия механизмов обнаружения ошибок в тракте и секции эквивалентные пороги приводят у несогласованности между этими двумя уровнями – на уровне секции секунда с существенными ошибками SES фиксируется при определенном числе блоков с ошибками, а на уровне тракта нет, а иногда наоборот.

Таблица 5

Величина порогов регистрации секунд с существенными ошибками SES для мультиплексных и регенераторных секций SDH согласно рекомендации ITU-T G.829 [9]

Table 5

The value of the thresholds for recording seconds with significant SES errors for multiplex and regenerator SDH sections according to ITU-T G.829 recommendation [9]

Модуль STM	Порог регистрации SES для мультиплексной секции, %	Порог регистрации SES для регенераторной секции, %
sSTM-11	10	10
sSTM-21	10	10
sSTM-12	15	25
sSTM-22	15	25
sSTM-14	25	45
sSTM-24	25	45
sSTM-18	35	60
sSTM-116	40	60
STM-0	15	10
STM-1	15	30
STM-4	25	30
STM-16	30	30
STM-64	30	–

Учет протяженности цифровых соединений

Категории длины L задаются интервалами, кратными 500 км, максимальной протяженностью 2500 км для национальной части и 25 000 км для международной. Коэффициент длины:

$$k = \left\lceil \frac{L}{0,5} \right\rceil,$$

где L – длина части, тыс. км.

Длина L национальной и международной частей каналов и трактов соответствует минимальному значению двух величин: действительной протяженности части и расчетного значения [1, 11], аналогично определяемой длине при расчете интервалов готовности. Действительная протяженность L_f части соответствует полной длине кабеля между рассматриваемыми пунктами (для национальной части между конечным пунктом тракта и шлюзом, а для международной между шлюзами). Зачастую, подобный параметр L_f оценить не представляется возможным. С другой стороны, на основе координат объектов довольно просто определяется длина L_a воздушной трассы (расстояние по прямой), которая позволяет вычислить расчетную длину L_c части, тыс. км:

$$L_c = \begin{cases} 1,5L_a, L_a < 1, \\ 1,5, 1 \leq L_a < 1,2, \\ 1,25L_a, L_a \geq 1,2, \end{cases}$$

где L_a – длина воздушной трассы, тыс. км.

Таким образом, длина L национальной или международной части:

$$L = \min(L_f, L_c).$$

Каждой национальной части (см. рис. 1) выделяется фиксированная доля нормы в размере 17,5 % от предельных значений. Кроме того, к допуску добавляется доля, определяемая протяженностью маршрута L . Если национальная часть использует спутниковые системы передачи, то на обе национальные части выделяется доля в 42 % от нормы (см. табл. 1) – в этом случае доля в размере 42 % полностью заменяет как фиксированную долю в 17 %, так и долю, определяемую протяженностью [12, 13]. Таким образом, без использования спутниковых систем передачи коэффициент длины двух национальных частей:

$$k_n = 0,35 + 0,01(k_1 + k_2),$$

где k_i – коэффициент длины i -й национальной части.

А с использованием спутниковых систем передачи:

$$k_n = 0,42.$$

На международную часть выделяется доля нормы в размере 2 % на промежуточную страну и 1 % на каждую конечную страну [14, 15]. Кроме того, к допуску добавляется доля, определяемая протяженностью маршрута L , вычисляемой аналогично длине национальной части. Длина маршрута L не должна превышать 26 500 км. В случае, если доля нормы на международную часть составляет менее 6 %, то в качестве доли используется значение 6 %. Если международная часть использует спутниковые системы передачи, то на нее выделяется доля в 35 % от нормы (см. табл. 1) – в этом случае доля в размере 35 % полностью заменяет доли на страны и долю, определяемую протяженностью [16]. Таким образом, без использования спутниковых систем передачи коэффициент международной части:

$$k_u = \max[0,06; 0,02(1 + n) + 0,01k],$$

где n – число промежуточных стран; k – коэффициент длины международной части.

А с использованием спутниковых систем передачи:

$$k_u = 0,35.$$

В результате долговременные нормы на коэффициент r_e секунд с ошибками ESR, коэффициент r_s секунд с существенными ошибками SESR и коэффициент r_m блоков с фоновыми ошибками BBER определяются исходя из соотношений:

$$r_e = (k_n + k_u)r'_e, r_s = (k_n + k_u)r'_s, r_m = (k_n + k_u)r'_m,$$

где r'_e – предельное значение коэффициента секунд с ошибками ESR для международного соединения протяженностью 27 500 км (см. табл. 1); r'_s – предельное значение коэффициента секунд с существенными ошибками SESR для международного соединения протяженностью 27 500 км (см. табл. 1); r'_m – предельное значение коэффициента блоков с фоновыми ошибками BBER для международного соединения протяженностью 27 500 км (см. табл. 1).

Анализ долговременных норм на характеристики ошибок цифрового тракта

Тракт виртуального контейнера второго порядка $VC-2$ образован двумя национальными участками протяженностью 150 км и 530 км и одним международным участком протяженностью 18 500 км с двумя промежуточными странами. Измерения проводились в течении 1 сут. Секунды, в которых зарегистрирована потеря сигнала: 14...16, 1945...2003, 2007, 3976...3978. Номера ошибочных блоков: 18...26, 365...396.

Определить соответствие результатов измерений долговременным нормам на характеристики ошибок этого тракта при измерении асинхронным методом.

Дано: $L_1 = 150$ км, $L_2 = 530$ км, $L_3 = 18 500$ км, $T = 1$ сут., $S_m = 14...16, 1945...2003, 2007, 3976...3978$, $N_m = 18...26, 365...396$.

Найти: r_e, r_s .

Коэффициенты длины:

$$k_i = \left\lceil \frac{L_i}{0,5} \right\rceil;$$
$$k_1 = \left\lceil \frac{0,15}{0,5} \right\rceil = 1; k_2 = \left\lceil \frac{0,53}{0,5} \right\rceil = 2; k_3 = \left\lceil \frac{18,5}{0,5} \right\rceil = 37.$$

Коэффициент длины двух национальных частей:

$$k_n = 0,35 + 0,01(k_1 + k_2) = 0,35 + 0,01 \cdot (1 + 2) = 0,38.$$

Коэффициент длины международной части:

$$k_u = \max[0,06; 0,02(1 + n) + 0,01k_3] = \max[0,06; 0,02(1 + 2) + 0,01 \cdot 37] = 0,43.$$

Долговременные нормы на коэффициент r_e секунд с ошибками ESR (см. табл. 3):

$$r_e = (k_n + k_u)r'_e = (0,38 + 0,43) \cdot 0,05 = 8,1 \cdot 10^{-3}.$$

Долговременные нормы на коэффициент r_s секунд с существенными ошибками SESR (см. табл. 3):

$$r_s = (k_n + k_u)r'_s = (0,38 + 0,43) \cdot 0,002 = 1,62 \cdot 10^{-3}.$$

Долговременные нормы на коэффициент r_m блоков с фоновыми ошибками BBER (см. табл. 3):

$$r_m = (k_n + k_u)r'_m = (0,38 + 0,43) \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 4,05 \cdot 10^{-5}.$$

Скорость цифрового тракта равна 6,848 Мбит/с. Размер блока (см. табл. 3) – 3,424 кбит.

Интенсивность передачи блоков (см. табл. 3) – $v = \frac{6848}{3,424} = 2000$ блоков в секунду.

При асинхронном методе за первую секунду зарегистрировано (от 1 до 2000 блока) $b_{m,1} = 26 - 18 + 1 + 396 - 365 + 1 = 41$ ошибочный блок. Коэффициент ошибочных блоков:

$$r_{b,1} = \frac{b_{m,1}}{v} = \frac{41}{2000} = 0,021.$$

Значит, эта секунда относится к секундам с ошибками ES.

В секунды с 14 по 16 зафиксирована потеря сигнала. Значит, эти секунды относятся и к секундам с ошибками ES и к секундам с существенными ошибками SES.

В 17-ую секунду ошибочных блоков и дефектов не зафиксировано. Таким образом, зарегистрировано только 3 идущих подряд секунд с существенными ошибками, а следовательно, тракт продолжает находиться в состоянии готовности.

Секунды с 1945 по 2007 (63 секунды) относятся к состоянию неготовности канала.

В секунды с 3976 по 3978 (4 секунды) зафиксирована потеря сигнала. Значит, эти секунды относятся и к секундам с ошибками ES и к секундам с существенными ошибками SES.

Таким образом, за интервал измерения зафиксировано 63 секунды состояния неготовности канала, восемь секунд с ошибками $s_e = 1 + 3 + 4 = 8$, семь секунд с существенными ошибками $s_s = 3 + 4 = 7$. Блоки с фоновыми ошибками зафиксированы на первой секунде: $b_b = 41$. Интервал измерения $T = 1$ сут., что соответствует передаче $24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 1 = 86\,400$ секунд. Из них только $s = 86\,400 - 63 = 86\,337$ секунд относятся к интервалу готовности тракта.

Коэффициент r_e секунд с ошибками ESR:

$$r_e = \frac{s_e}{s} = \frac{8}{86\,337} = 9,266 \cdot 10^{-5}.$$

Коэффициент r_s секунд с существенными ошибками SESR:

$$r_s = \frac{s_s}{s} = \frac{7}{86\,337} = 8,108 \cdot 10^{-5}.$$

Всего переданных блоков за интервал измерения $2000 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 1 = 172\,800\,000$, за интервалы неготовности тракта $63 \cdot 2000 = 126\,000$, а количество блоков за периоды готовности – $b = 172\,800\,000 - 126\,000 = 172\,774\,000$. Коэффициент r_m блоков с фоновыми ошибками BBER:

$$r_m = \frac{b_b}{b} = \frac{41}{172\,774\,000} = 2,373 \cdot 10^{-7}.$$

Таким образом, виртуальный контейнер удовлетворяет нормам (табл. 6).

Таблица 6

Соответствие нормам параметров ошибок виртуального контейнера

Table 6

Compliance with the norms of virtual container error parameters

Показатель	ESR r_e	SESR r_s	BBER r_m
Норма	$8,100 \cdot 10^{-3}$	$1,620 \cdot 10^{-3}$	$4,052 \cdot 10^{-5}$
Измеренные значения	$9,266 \cdot 10^{-5}$	$8,108 \cdot 10^{-5}$	$2,373 \cdot 10^{-7}$

Заключение

В работе обобщены основные особенности нормирования параметров ошибок цифровых каналов и трактов. На примере рассмотрен порядок расчета и анализа на соответствие нормам этих параметров.

Следует заметить, что анализ рассмотренных долговременных норм требует значительных временных затрат и его проведение в ситуациях экстренного характера весьма проблематично. В результате используются также и оперативные нормы, рассмотрение которых выходит за рамки настоящей работы, которые отличаются менее значительными временными рамками, но в то же время ограничены с точки зрения точности измерений, особенно при наличии ошибок, параметры которых близки к порогам принятия решения о готовности цифровых каналов и трактов.

Список источников:

1. Rec. G.826. End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit-rate digital paths and connections. – Geneva: ITU-T, 2002. – 34 p.
2. Батенков К.А. Точные и граничные оценки вероятностей связности сетей связи на основе метода полного перебора типовых состояний // Труды СПИ-ИРАН. – 2019. – Т. 18. – №5. – С. 1093–1118.
3. Винокуров В.М. Цифровые системы передачи: учеб. пособие. – Федеральное агентство по образованию, гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, Ин-т доп. образования, факультет повышения квалификации. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. – 160 с.
4. Rec. G.707/ Y.1321. Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH). – Geneva: ITU-T, 2008. – 196 p.
5. Батенков К.А. Формирование сечений телекоммуникационных сетей для анализа их устойчивости с различными мерами связности // Информатика и автоматизация. – 2021. – Т. 20. – №2. – С. 371-406.
6. Rec. G.828. Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate synchronous digital paths. – Geneva: ITU-T, 2001. – 24 p.
7. Мельникова Н.Ф. Эволюция рекомендаций МСЭ-Т по показателям ошибок цифровых каналов и трактов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: analytic.ru/articles/lib217.pdf.
8. Батенков К.А. Вероятность связности телекоммуникационной сети на основе приведения нескольких событий несвязности к объединению независимых событий // Информационно-управляющие системы. – 2021. – №6 (115). – С. 53-63.

References:

1. Rec. G.826. End-to-End Error Performance Parameters and Objectives for International, Constant Bit-Rate Digital Paths And Connections. Geneva: ITU-T; 2002.
2. Batenkov K.A. Accurate and Boundary Estimate of Communication Network Connectivity Probability Based on Model State Complete Enumeration Method. SPIIRAS Proceedings. 2019;18(5):1093-1118.
3. Vinokurov V.M. Digital Transmission Systems. Tomsk: Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics; 2012.
4. Rec. G.707/ Y.1321. Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy (SDH). Geneva: ITU-T; 2008.
5. Batenkov K.A. Forming Telecommunication Networks' Cross-Sections to Analyze Their Stability With Various Measures of Connectivity. Informatics and Automation. 2021;20(2):371-406.
6. Rec. G.828. Error Performance Parameters and Objectives for International, Constant Bit-Rate Synchronous Digital Paths. Geneva: ITU-T; 2001.
7. Melnikova N.F. Evolution of ITU-T Recommendations on Error Indicators of Digital Channels and Paths [Internet]. Available from: analytic.ru/articles/lib217.pdf
8. Batenkov K.A. Analysis of the Probability of Connectivity of a Telecommunication Network Based on the Reduction of Several Non-Connectivity Events to a Union of Independent Events. Information and Control Systems. 2021;6(115):53-63.

9. Rec. G.829. Error performance events for SDH multiplex and regenerator sections. – Geneva: ITU-T, 2003. – 16 p.

10. Rec. G.708. Sub STM-0 network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH). – Geneva: ITU-T, 1999. – 23 p.

11. Rec. G.827. Availability performance parameters and objectives for end-to-end international constant bit-rate digital paths. – Geneva: ITU-T, 2003. – 26 p.

12. Батенков К.А. Необходимые условия оптимальности операторов модуляции и демодуляции // Сборник статей всероссийской научно-практической конференции. – 2013. – С. 58-62.

13. Батенков К.А. Дискретные отображения модели непрерывного канала связи на основе обобщенного ряда Фурье // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2013. – №43. – С. 12-20.

14. Батенков К.А. К вопросу оценки надежности двухполюсных и многополюсных сетей связи // Успехи современной радиоэлектроники. – 2017. – С. 604.

15. Границы вероятности символьной ошибки для канала связи с логнормальными замираниями при использовании предискажений и помехоустойчивого кодирования / Батенков К.А., Гусев В.В., Илюшин М.В., Катков О.Н., Мельников А.А., Стремоухов М.В. // Телекоммуникации. – 2018. – №2. – С. 45-48.

16. Батенков К.А. Обобщенный пространственно-матричный вид энергетических ограничений систем связи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – №3. – С. 238-245.

9. Rec. G.829. Error Performance Events for SDH Multiplex and Regenerator Sections. Geneva: ITU-T; 2003.

10. Rec. G.708. Sub STM-0 Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy (SDH). Geneva: ITU-T; 1999.

11. Rec. G.827. Availability Performance Parameters and Objectives for End-to-End International Constant Bit-Rate Digital Paths. Geneva: ITU-T; 2003.

12. Batenkov KA. Necessary Conditions for the Optimality of Modulation and Demodulation Operators. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference; 2013. p. 58-62.

13. 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.

14. Batenkov K.A. To the Question of Assessing the Reliability of Bipolar and Multipolar Networks. Achievements of Modern Radioelectronics. 2017:604.

15. Batenkov K.A., Gusev V.V., Ilyushin M.V., Katkov O.N., Melnikov A.A., Stremoukhov M.V. Boundaries of Symbolic Error Probability for Communication Channel With Logonormal Decay in Case of Use of Pre-corrections and Antinoise Coding. Telecommunications. 2018;2:45-48.

16. Batenkov K.A. Communications System Energy Limitation Generalised Spatially Matrix View. Izvestiya of Tula State University. 2013;3:238-245.

Информация об авторах:

Батенков Кирилл Александрович
доктор технических наук, профессор РТУ МИРЭА, ID
ORCID-0000-0001-6083-1242

Information about the authors:

Batenkov Kirill Alexandrovich
Doctor of Technical Sciences, Professor of MIREA –
Russian Technological University, ID ORCID-0000-
0001-6083-1242

Статья поступила в редакцию 01.10.2023; одобрена после рецензирования 31.10.2023; принята к публикации 07.11.2023.

The article was submitted 01.10.2023; approved after reviewing 31.10.2023; accepted for publication 07.11.2023.

Рецензент – Горбунов А.Н., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Gorbunov A.N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.