

УДК 65.014:658.5

*С.М. Куценко, Ю.С. Костромина*

*Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия*

## **ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КАНАЛОВ СВЯЗИ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ**

**Аннотация.** *Перечислены основные параметры бинарного цифрового канала. Рассмотрены и описаны методы измерения параметров бинарных цифровых каналов и методы вычисления параметров ошибок. Рассмотрено нормирование параметров цифровых каналов и представлен алгоритм определения параметров тракта. Рассмотрен случай и произведен расчет основных параметров каналов связи в цифровых системах передачи.*

**Ключевые слова:** *параметры каналов, цифровые системы передачи, цифровой сигнал, BER, ESR, SESR, BBER.*

*S.M. Kucenko, Y.S. Kostromina*

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia*

## **ESTIMATION OF COMMUNICATION CHANNELS IN DIGITAL TRANSMISSION SYSTEMS**

**Abstract.** *The main parameters of a binary digital channel are listed. Methods for measuring the parameters of binary digital channels and methods for calculating the error parameters are considered and described. The rationing of the parameters of digital channels is considered and an algorithm for determining the path parameters is presented. The case is considered and the main parameters of communication channels in digital transmission systems are calculated.*

**Keywords:** *channel parameters, digital transmission systems, digital signal, BER, ESR, SESR, BBER.*

### **Введение**

Современная система электросвязи базируется на цифровой первичной сети, которая основывается на применении цифровых систем передачи, и в качестве среды передачи применяет электрический и оптический кабели. Для того, чтобы они успешно функционировали и надлежащим образом выполняли свое предназначение, необходимо проводить своевременное техническое обслуживание, которое помимо всего прочего также включает в себя измерение параметров каналов и трактов. Для всего этого применяют измерительные технологии, которые представляют собой совокупность средств измерений, методов проведения измерений и обработку результатов.

### **Методы измерения параметров бинарных цифровых каналов**

Измерить параметры бинарных цифровых каналов можно двумя способами: с отключением канала и без отключения канала.

Способ измерения «с отключением канала» предполагает в качестве источника и приемника сигнала использование специальных приборов – анализаторов цифрового сигнала, в которых заранее предусмотрено принятие стандартизованного для каждого типа канала или тракта измерительного сигнала, который является тестовой последовательностью бит, которая анализируется на приеме.

Способ измерения «без отключения канала» называется мониторингом и применяется в аппаратуре, которая имеет встроенные средства контроля без прекращения связи, выполняющие оценку показателей ошибок по блокам реального сигнала и выводящие информацию об выявленных отклонениях и повреждениях в систему технической эксплуатации (ТЭ), которая производит их фиксацию и по специальным алгоритмам проводит их анализ.

Способ измерения «с отключением канала» является более точным. В качестве средств измерений (СИ), в данном способе, применяют генератор и анализатор тестовой последовательности, подключающиеся к разным концам цифрового канала. Возможен также вариант подключения «по шлейфу», при котором в качестве СИ применяется один анализатор, выполняющий одновременно функции как анализатора, так и генератора.

### **Основные параметры бинарного цифрового канала**

Для бинарного цифрового канала определены следующие основные параметры:

- AS (Availability Second) [с] – время готовности канала. Находится, как разность между общей длительностью теста и временем неготовности канала.
- AS (%) (Availability Seconds) – относительное время готовности канала.
- BIT (Bit Errors) – число ошибочных бит.
- BER (Bit Error Ratio) – коэффициент ошибок по битам, который за время AS можно найти, как отношение числа ошибочных бит к общему числу бит.
- ES (Errored Seconds) – секунда с ошибками. Это период, равный 1 с, в котором присутствует хотя бы одна ошибка.
- ES (%) – процент времени с ошибками.
- ESR (Errored Second Ratio) – коэффициент ошибок по секундам. Находится как отношение ES к общему числу секунд за время готовности канала.
- EFS (Error Free Seconds) – секунда, свободная от ошибок. Определяется, как время, в течение которого не было выявлено ошибок.
- EFS (%) - процент времени, свободного от ошибок.

Справедливо соотношение:

$$EFS (\%) + ES (\%) = AS (\%), \quad (1)$$

– SES (Severely Errored Second) – секунды, пораженные ошибками. Это число периодов длительностью в 1 с, у которых  $BER > 10^{-3}$ . SES является частью параметра ES, так как определяется в период AS.

– SES (%) – относительная продолжительность времени, которая многократно поражена ошибками.

– SESR (Severely Errored Second Ratio) – коэффициент ошибок по секундам, пораженными ошибками.

– UAS (Unavailability Seconds) – секунды неготовности канала. Они отсчитываются с начала регистрации 10 последовательных секунд SES. Эти 10 секунд считаются частью периода неготовности, который заканчивается до начала 10 последовательных секунд без SES (эти 10 секунд считаются частью периода готовности AS).

– EB (Errored Block) – число блоков с ошибкой, у которых один или несколько бит оказываются ошибочными. Блок является последовательностью бит, ограниченной по числу бит, которые относятся к данному тракту.

– BBE (Background Block Error) – блок с фоновой ошибкой. Это блок с ошибками, который не является частью SES.

– BBER (Background Block Error Ratio) – коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками. Он представляет собой отношение числа блоков с фоновыми ошибками ко всему количеству блоков в течение времени готовности за фиксированный интервал измерений за исключением всех блоков в течение SES.

– BLER (Block Error Rate) – коэффициент ошибок по блокам. Находится как отношение числа ошибочных блоков данных к общему числу переданных блоков.

– SLIP (Clock Slips) – число тактовых проскальзываний. Количество синхронных управляемых проскальзываний, появившихся с начала теста.

– CRC ERR (CRC Errors) – число ошибок. CRC (Cyclic Redundancy Check) это параметр ошибки, который определяется с применением циклического кода с избыточностью. Этот параметр оценивается с использованием встроенных средств самодиагностики и без отключения канала.

Параметр CRC ERR не может дать такой точной оценки качества канала или тракта как параметры BER, BLER. Это связано с тем, что несколько ошибок BER могут показаться как одна ошибка CRC ERR. Из-за этого параметр CRC ERR применяется не для подсчета достоверного числа ошибок, а для оценки качества канала и признается как удобный метод наблюдения.

– CRC RATE-CRC Errors Rate – частота ошибок параметра CRC.

– DGRM, DM (Degraded Minutes) – число минут деградации качества. Параметр представляет собой число интервалов длительностью 60 с, когда канал находится в состоянии готовности. На протяжении этого времени параметр BER хуже, чем  $10^{-6}$ . Параметр определяется на скоростях 64 кбит/с.

– DGRM (%) – процент минут деградации качества.

– LOSS (Loss of Signal Seconds) – число секунд потери сигнала.

### Методы вычисления параметров ошибок в цифровых каналах

Считается, что время работы канала ( $T_L$ ) разделяется на два периода: период готовности канала (AS) и период неготовности канала (UAS). Вычисление и нормирование качества передачи осуществляется только в период готовности канала. Распределение времени работы тракта по параметрам его готовности представлены на рисунке 1 [6].

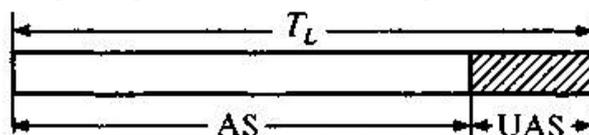


Рисунок 1 – Распределение времени работы тракта по параметрам его готовности

Система считается неготовой с того момента времени, после которого имеют место 10 последовательных секунд с сильными ошибками SES. Согласно тому же определению, система передачи вновь возвращается в состояние готовности, если по крайней мере в течение 10 последовательных секунд ошибок не наблюдается. Эти 10 секунд будут являться частью периода AS. Пример определения параметра UAS представлен на рисунке 2 [6].

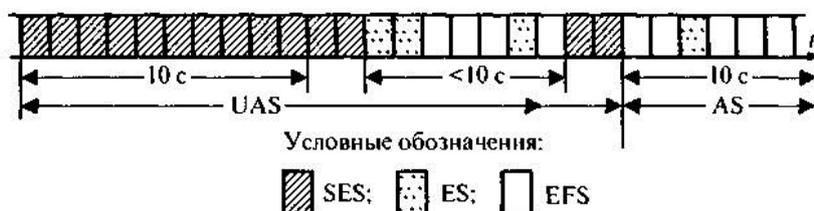


Рисунок 2 – Пример определения параметра UAS

В цифровых каналах основным параметром при тестировании является BER. Определить его можно подсчитав число ошибочных бит в пришедшей тестовой последовательности.

$$BER = \frac{BIT_{err}}{BIT}, \quad (2)$$

где  $BIT_{err}$  – число бит с ошибками;

$BIT$  - общее число принятых бит.

Определить параметры  $BIT$  и  $BER$  в цифровой последовательности возможно двумя методами, которые основаны на гипотезе о нормальном законе распределения ошибок. Относительную погрешность при этом можно определить благодаря формуле (3)

$$p(t) = \frac{1}{\sqrt{N}}, \quad (3)$$

где  $N$  – число зарегистрированных ошибок.

При эксплуатации допустимой является погрешность измерений, не превышающая 10%, что дает возможность в качестве допустимого предела объема выборки использовать число битовых ошибок  $N=100$ .

Первый метод основан на подсчете числа битовых ошибок и сбора статистики после фиксации 100 первых ошибок. Недостаток заключается в необходимости в течении долгого времени проводить измерения, а конкретно, пока анализатор не определит 100 ошибок.

Второй метод, для достижения требуемой точности, предполагает передачу необходимого количества бит, а расчет параметра BER осуществляется сразу после начала измерений. Точность измерений берется на порядок выше обратного значения количества принятых бит, то есть если отправлено  $10^5$  бит, то точность будет равняться  $10^{-4}$ .

Параметр ES, во время готовности канала AS, определяет число периодов, продолжительностью в 1 с, в которых появляется хотя бы одна ошибка. Определить его возможно двумя методами: Европейским и Американским, которые представлены на рисунке 3. [6]

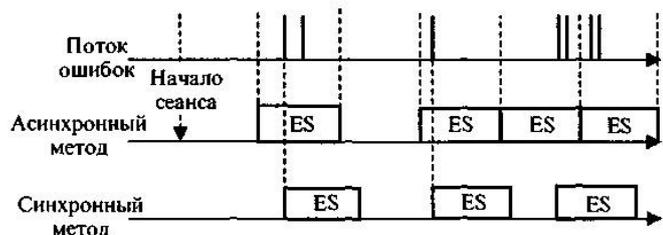


Рисунок 3 – Методы подсчета параметров ES

В Европейском методе осуществляется асинхронный подсчет ES, который не привязан к моменту появления ошибки в канале. В данном методе все время измерения делится на односекундные интервалы, которые начинаются одновременно с началом сеанса измерения. Секундой с ошибкой ES обозначают интервал, в течении которого наблюдалась хотя одна ошибка. К достоинствам данного метода можно отнести простоту реализации и способность определения количества секунд, свободных от ошибок (EFS):

$$EFS = AS - ES. \quad (4)$$

В Американском методе параметр ES – это секунда, отсчитываемая за моментом обнаружения ошибки, следовательно, этот метод привязан к моменту обнаружения ошибки и является синхронным. Данный метод более точнее, чем Европейский, поскольку измерения, проведенные на одном канале одновременно несколькими приборами, точно совпадут. Однако недостаток Американского метода перед Европейским заключается в невозможности непосредственного подсчета параметра EFS.

### Нормирование параметров цифровых каналов

Нормы на электрические параметры, допустимые и предельные значения параметров и методы их измерений, определяются Международным союзом электросвязи по группе телекоммуникаций (МСЭ-Т), рекомендациями G.821 «Параметры ошибок международного цифрового соединения сети ISDN на скорости ниже первичной» и G.826 «Параметры и нормы ошибок международных цифровых соединений на скорости выше первичной».

Первой цифровой сетью была сеть ISDN, первичными скоростями в которой являются скорости сигналов T-1 (1544 Кбит/с) и E1 (2048 Кбит/с). Рекомендацией G.821 предусматриваются скорости ниже первичной, такие как  $64 \cdot N$ , где 64 Кбит/с это пропускная способность основного цифрового канала (ОЦК), а  $N \leq 24$  для T-1 и  $N \leq 31$  для E-1.

Так же, в этой рекомендации выбраны два параметра, применяемые как параметры ошибок цифрового соединения:

– ES – количество секунд с ошибками

– SES – количество секунд, многочисленно пораженных ошибками, то есть с коэффициентом ошибок  $\geq 10^{-3}$ .

Из-за того, что оба параметра зависят от времени измерения, на практике, для оценки качества связи, применяют значения: ESR и SESR.

Качество связи условно делят на 3 категории, которые выбираются в зависимости от величины параметра BER:

- категория (а) – BER менее  $1 \times 10^{-6}$  в течении периода  $T=1$  мин.
- категория (б) – BER менее  $1 \times 10^{-3}$  в течении периода  $T=1$  с.
- категория (в) – нет ошибок в течении периода  $T=1$ с. (параметр EFS).

Так, рекомендация G.821 базируется на оценке битовых ошибок, которые точно определяются лишь когда наверняка известна измеряемая цифровая последовательность, и, следовательно, необходимо выводить цифровое соединение из эксплуатации.

Со временем стало необходимо проводить измерения каналов связи со скоростями выше 2048 Кбит/с, без вывода устройства из эксплуатации и в сетях с использованием технологий SDH и ATM. Всем этим требованием удовлетворяет рекомендация G.826.

Нормы, приведенные в Рекомендации G.826, разработаны на основе эталонной модели, приведенной на рисунке 4 [6].

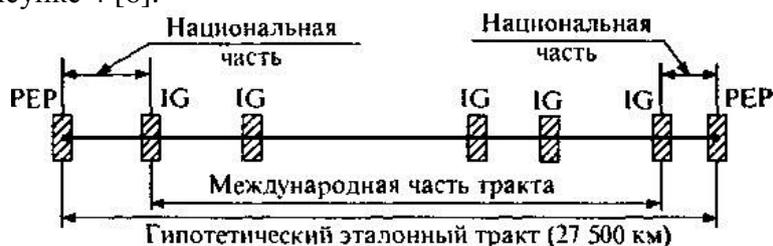


Рисунок 4 – Гипотетический эталонный тракт

На рисунке обозначены:

- PEP (Path End Point) - точка окончания тракта,
- IG (International Gateway) - международный шлюз.

Данная рекомендация базируется не на тестировании ошибок по битам, а на тестировании ошибок по блокам, то есть по группе последовательных бит. При этом которых каждый бит принадлежит только одному блоку. Количество бит в блоке определяется скоростью передачи, что представлено в таблице 1 [2].

Таблица 1 – количество бит в блоке

Скорость передачи, Мбит/с	Количество бит в блоке
1,5÷5	800 – 5000
>5÷15	2000 – 8000
>15÷55	4000 – 20000
>55÷160	6000 – 20000
>160÷3500	15000 – 30000

Методов обнаружения ошибок должен удовлетворять требованиям: универсальность, что дает возможность применять метод к любому цифровому сигналу, экономичность, то есть эффективное использование дополнительной пропускной способности и высокая точность, что, несомненно, является важнейшим требованием.

Максимально точно всем трем требованиям соответствует метод циклического контроля по избыточности CRC (Cyclic Redundancy Code), который позволяет определить до 90% ошибок, имеющих Пуассоновское распределение. Метод основан на делении и умножении многочленов. Здесь делимый многочлен является последовательной записью блока данных в двоичной форме. К примеру, в системе E-1 блок данных, для которого рассчитывается CRC, состоит из 256 байт. Поэтому делимое представляется двоичным числом длиной 2048 бит, которое по особому правилу делится на выбираемый так

называемый порождающий многочлен. Полученный остаток применяется как контрольная информация и отправляется по каналу связи вместе с информационным сигналом.

Те же манипуляции с полученным блоком данных выполняются на принимающей стороне, и остаток деления многочленов сравнивается с переданным остатком. Отличие указанных остаточных многочленов считается отметкой ошибки в цифровом сигнале.

В рекомендации G.826 установлены следующие типы блочных ошибок:

- ES – секунда с ошибками, имеющая хотя бы один блок с ошибками или дефект
- SES – секунда с многочисленными ошибками, содержащая  $\geq 30\%$  блоков с ошибками
- BBE – блок с фоновой ошибкой

В рекомендации G.826 используются три параметра верности передачи:

- ESR – коэффициент секунд с блочными ошибками
- SESR – коэффициент секунд с сильными блочными ошибками
- BBER – коэффициент блоков с фоновыми ошибками

Предельно допустимые параметры ошибки для международного тракта длиной 27 500 км приведены в таблице 2 [2].

**Таблица 2 – Предельно допустимые параметры ошибки для международного тракта**

Скорость передачи, Мбит/с	Значения параметров ошибки		
	ESR	SESR	BBER
1,5÷5	0,01	0,002	$5 \times 10^{-5}$
>5÷15	0,01	0,002	$5 \times 10^{-5}$
>15÷55	0,02	0,002	$5 \times 10^{-5}$
>55÷160	0,04	0,002	$1 \times 10^{-4}$
>160÷3500	Примечание	0,002	$1 \times 10^{-4}$

Примечание: для скорости выше 601 Мбит/с параметр ESR предлагается равным 0,16, но требует дальнейшего уточнения при исследованиях.

При проведении измерений «без отключения тракта» показатели качества могут быть оценены при помощи событий, которые подразделяются на две группы: аномалии и дефекты. Зафиксированная аномалия определяется как блок с ошибками (EB), а дефект – как секунда, пораженная ошибками (SES).

Аномалия – наименьшее отличие, которое может быть обнаружено между реальной и желательной характеристиками элементов. Одиночную аномалию можно не считать преградой для выполнения требуемых функций. Аномалии применяются как входной сигнал в процесс мониторинга показателей качества тракта и определения его дефектов. Используются следующие аномалии, регистрируемые во входном канале:

- цикловой синхросигнал (FAS – Frame Alignment Signal) с ошибками;
- блок с ошибкой EB, обнаруженной с помощью методов встроенного контроля (проверка на четность – VIP, циклический контроль избыточности – CRC);
- нарушение кодового сигнала
- контролируемые проскальзывания

Плотность аномалий может достичь уровня, при котором возможность выполнения функций невозможно. Дефекты применяются как входные сигналы мониторинга для управления последовательностью действий операторов сети и определения причины повреждений.

Дефектами называются следующие события:

- пропадание сигнала (LOS – Loss of Signal);
- сигнал индикации аварийного состояния (AIS – Alarm Indication Signal);
- пропадание цикловой синхронизации (LOF – Loss of Frame)
- индикация разомкнутого соединения (OCI)
- ошибка выравнивания входного сигнала (IAE)
- локализованная неисправность (LCK)

- пропадание каскадного соединения (LTC)
- несоответствие типа нагрузки (PLM)
- несоответствие идентификатора трассы (TIM)
- индикация дефекта дальнего конца (BDI).

Согласно рекомендации G.826 определение параметров тракта можно изобразить в виде алгоритма, представленного на рисунке 5, который работает следующим образом: на вход поступает сигнал, в котором в течении заданного времени контролируются ошибки. Далее определяется, определенные ошибки относятся к дефектам или к аномалиям. Если к дефектам, то начинается подсчет секунд, пораженных ошибками (SES). По ним определяется, находится ли тракт в состоянии готовности или нет. Если SES приходят в течении 10 секунд, то тракт не находится в состоянии готовности, и снова начинается ожидание сигнала и контроль в нем ошибок. Если же тракт в состоянии готовности, то производится подсчет секунд с ошибками (ES) и блоков с фоновыми ошибками (BBE). Если же выявленные ошибки относятся к аномалиям, то производится подсчет блоков с ошибкой (EB). Если EB в течении секунды больше или равно 30%, то такую аномалию относят к дефекту и начинают подсчет секунд, пораженных ошибками (SES). Если EB меньше 30%, то производится подсчет секунд с ошибками (ES) и блоков с фоновыми ошибками (BBE). В случае, если при передаче не выявлено ни дефектов, ни аномалий, тракт считается идеальным и производить подсчет ошибок не требуется.

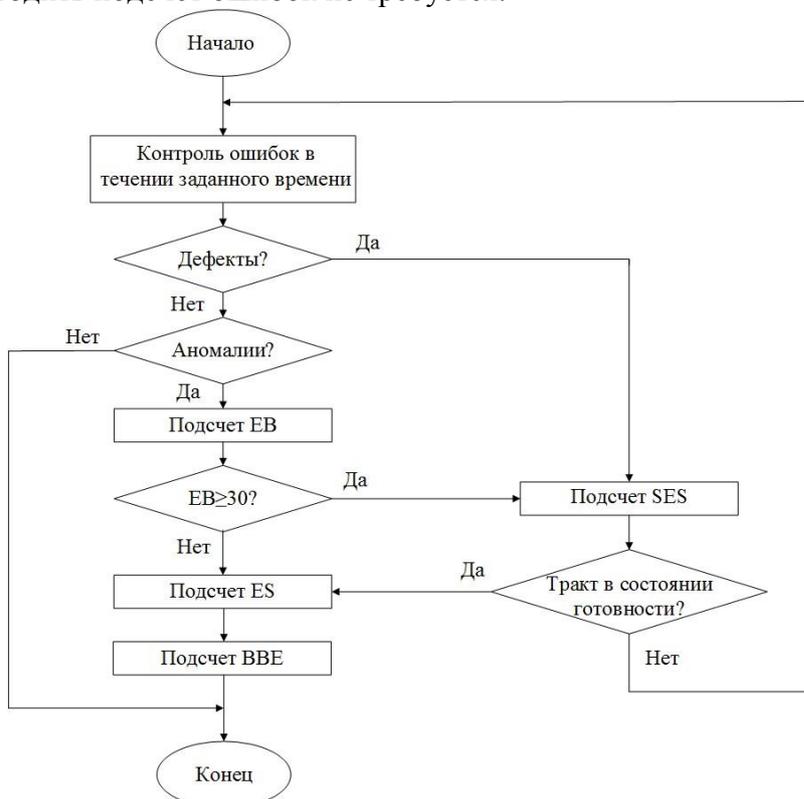


Рисунок 5 – Алгоритм определения параметров тракта

При контроле ошибок обнаруживаются аномалии (к примеру, из-за ошибок по битам) и дефекты. Так, появление одной аномалии или дефекта приводит к блоку с ошибками. Производят подсчет секунд с ошибками и секунд, пораженных ошибками (ES и SES). Секунды, пораженные ошибками, подсчитываются, если насчитано 30% блоков с ошибками, в течении одной секунды, или один дефект. Подсчитав все параметры ES, SES и BBE можно вычислить параметры рекомендации G.826, принимая во внимание количество секунд в состоянии готовности (AS):

$$ESR = \frac{ES}{AS}, \quad (5)$$

$$SESR = \frac{SES}{AS}, \quad (6)$$

$$VBER = \frac{VBE}{(AS-SES) \cdot \text{блоков в секунду}}. \quad (7)$$

### Расчет основных параметров каналов связи в цифровых системах передачи

При вводе объектов технической эксплуатации (ОТЭ) в эксплуатацию, во время эксплуатации и при их восстановлении применяют эксплуатационные нормы, которые зависят от среды передачи данного тракта. Проверку соответствия ОТЭ эксплуатационным нормам проводят за 15 минут, за 2 или 24 часа.

Для расчета выберем скорость передачи 100 Мбит/с. Если принять, что за это время равное 1 секунде будет передано 10 ошибок ( $BIT_{err}$ ), то по формуле 2 найдем:

$$BER = \frac{10}{100\,000\,000} = 1 \times 10^{-7}, \text{ что говорит о хорошем качестве сигнала.}$$

Согласно таблице 3.1 при скорости «>55÷160 Мбит/с» количество бит в блоке составляет 6000 – 20000 бит. Примем, что для скорости 100 Мбит/с количество бит в блоке составит 13000, следовательно, для скорости 100 Мбит/с количество блоков найдем как:

$$B_S = \frac{100\,000\,000}{13\,000} = 7\,693 \text{ блоков.}$$

Измерения будем проводить в течении 15 минут, в течении которых у нас будет передано:

$$N = 7\,693 \times 15 \times 60 = 6\,923\,700 \text{ блоков,}$$

$$BIT = 100\,000\,000 \times 15 \times 60 = 90\,000\,000\,000 \text{ бит.}$$

Если принять, что в период всего измерения канал будет находиться в состоянии готовности, в 3 секундах будет передаваться по 10 ошибок, при том, что каждая ошибка передается в отдельном блоке, то можно определить число блоков с ошибкой:

$$EB = 3 \times 10 = 30 \text{ блоков с ошибкой.}$$

Так как SES – это число периодов длительностью в 1 с, у которых  $BER > 10^{-3}$ , а в нашем случае таких секунд нет, значит число секунд, пораженных ошибками SES=0.

ES – секунда с ошибками. В данном случае этот параметр равен 3 секундам.

VBE – это блок с фоновой ошибкой, который не является частью SES, следовательно, его можно определить, как:

$$VBE = 3 \times 10 = 30 \text{ блоков.}$$

Далее, по формулам 5,6 и 7 определим следующие параметры:

– Коэффициент ошибок по секундам:

$$ESR = \frac{30}{15 \times 60} = 0,033.$$

– Коэффициент ошибок по секундам, пораженным ошибками. В нашем случае SESR=0.

– Коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками.

$$VBER = \frac{30}{15 \times 60 \times 7\,693} = 4 \times 10^{-6}.$$

Все найденные параметры не превышают предельно допустимым нормы, представленные в таблице 3.2, следовательно, канал связи полностью соответствует требованиям установленных рекомендаций.

### Заключение

Оценка параметров каналов связи позволяет не только вовремя вывить повреждения и факторы, которые могут в значительной степени изувечить сигнал, но и дает возможность улучшить его. Измерив и рассчитав основные параметры сравнив их с нормируемыми параметрами, мы можем с абсолютной точностью сказать в каком состоянии находится исследуемый канал.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виткова М.Ф., Романенко Д.М. Адаптивная система кодирования (декодирования) на основе многомерных итеративных кодов и многопороговых декодеров / М.Ф. Виткова, Д.М. Романенко // Труды БГТУ. – 2014г – №6 (170). Физико-математические науки и информатика – с. 116-120.
2. Виткова М.Ф., Романенко Д.М. Особенности определения параметров качества канала связи при многопороговом декодировании итеративных кодов / М. Ф. Виткова, Д. М. Романенко // Труды БГТУ. – 2013г – №6 (153). Физико-математические науки и информатика – с.111 – 114.
3. Гордиенко, В. Н. Многоканальные телекоммуникационные системы: учебник / В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Горячая линия Телеком, 2017. – 396 с.
4. Дружинин В.И. Коды Рида – Соломона. Анализ вероятностей искажений в пакетах передаваемой информации / В.И. Дружинин //Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015 – №3(47). Информатика, вычислительная техника и управление – 9 с.
5. Дружинин В.И, Кузьмин О.В. Коды Рида – Соломона в системах обнаружения и исправления ошибок при передаче данных. / В.И. Дружинин, О.В. Кузьмин //Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015 – №1(45). Информатика, вычислительная техника и управление – с. 116-124.
6. Оптические телекоммуникационные системы. Учебник для вузов / В.Н. Гордиенко и В.В. Крухмалев, А.Д. Моченов, Р.М. Шарафудинов. Под ред. В.Н. Гордиенко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 368 с.
7. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учебник для вузов / В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов и др.; Под ред. В.Н. Гордиенко и В.В. Крухмалева. – 2-е изд., испр. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 424 с.
8. Портнов Э.Л. Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 464 с.
9. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов / Е.Б. Алексеев, В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев и др.; Под ред. В.Н. Гордиенко и М.С. Тверецкого. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 392 с.
10. Ракк М.А. Измерения в цифровых системах передачи: Учебное пособие для студентов вызов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2004. – 196 с.
11. Тверецкий М.С. Нормирование параметров ошибок и фазовых флуктуаций в полностью оптической сети. – М.: МТУСИ, 2011 – 29 с.
12. Тверецкий М.С. Передача пакетного трафика по транспортным сетям последующих поколений. – М.: МТУСИ, 2009. – 51 с.
13. Фокин В.Г. Оптические системы передачи и транспортные сети. Учебное пособие. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 288 с.
14. Шмытинский В.В., Глушко В.П. Многоканальная связь на железнодорожном транспорте: учеб. пособие /. – М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2019. – 464 с.

## REFERENCES

1. Vitkova M.F., Romanenko D.M. Adaptive coding (decoding) system based on multi-dimensional iterative codes and multi-threshold decoders / M.F. Vitkova, D.M. Romanenko // Transactions of BSTU. – 2014 – № 6 (170). Physics and mathematics and computer science – pp. 116 – 120.
2. Vitkova M.F., Romanenko D.M. Features of determining the quality parameters of a communication channel with multi-threshold decoding of iterative codes / M.F. Vitkova, D.M. Romanenko // Transactions of BSTU. – 2013 – № 6 (153). Physics and mathematics and computer science – pp.111 – 114.
3. Gordienko, V. N. Multichannel telecommunication systems: a textbook / V. N. Gordienko, M. S. Tveretsky. – 2nd ed., Rev. and add. – Moscow: Hotline Telecom, 2017. – 396 pp.
4. Druzhinin V.I. Reed - Solomon codes. Analysis of the probability of distortion in the packets of transmitted information / V.I. Druzhinin // Modern technologies. System analysis. Modeling. – 2015 – № 3 (47). Computer science, computer engineering and management – 9 pp.
5. Druzhinin V.I., Kuzmin O.V. Reed - Solomon codes in error detection and correction systems for data transmission. / IN AND. Druzhinin, O.V. Kuzmin // Modern technologies. System analysis. Modeling. – 2015 – № 1 (45). Computer Science, Computer Engineering and Management – pp. 116 – 124.
6. Optical telecommunication systems. Textbook for high schools / V.N. Gordienko and V.V. Krukhmalev, A.D. Mochenov, R.M. Sharafudinov. Ed. V.N. Gordienko. – M.: Hot line – Telecom, 2011. – 368 pp.
7. The basics of building telecommunication systems and networks: Textbook for universities / V.V. Krukhmalev, V.N. Gordienko, A.D. Mochenov et al.; Ed. V.N. Gordienko and V.V. Krukhmalev. – 2nd ed., Rev. – M.: Hot line – Telecom, 2008. – 424 pp.
8. Portnov E.L. The principles of construction of primary networks and optical cable communication lines: Textbook for universities. – M.: Hot line –Telecom, 2007. – 464 pp.
9. Design and technical operation of digital telecommunication systems and networks. Textbook for high schools / E.B. Alekseev, V.N. Gordienko, V.V. Krukhmalev and others; Ed. V.N. Gordienko and M.S. Tveretskoy. – M.: Hot line – Telecom, 2008. – 392 pp.
10. Rakk M.A. Measurements in Digital Transmission Systems: A Study Guide for Students Challenging Railways transport. – M.: Route, 2004. – 196 pp.
11. Tveretskiy M.S. Normalization of error parameters and phase fluctuations in a fully optical network. – M.: MTUSI, 2011 – 29 pp.
12. Tveretskiy M.S. Transmission of packet traffic over next-generation transport networks. – M.: MTUCI, 2009. – 51 pp.
13. Fokin V.G. Optical transmission systems and transport networks. Tutorial. – M.: Eco-Trends, 2008. – 288 pp.
14. Shmytinsky V.V., Glushko V.P. Multichannel communication in railway transport: textbook. allowance. – M.: FGBU DPO Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport, 2019. – 464 pp.

### **Информация об авторах**

*Куценко Сергей Михайлович* – доцент, проректор по учебной работе, канд. техн. наук Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kutsenko\_s@irgups.ru;

*Костромина Юлия Сергеевна* – студентка группы СОД.3-15-1, факультет «Системы обеспечения транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: semendyaeva.yulya97@mail.ru.

### **Authors**

Kutsenko Sergey Mikhailovich – Ph.d., Associate Professor, Vice-Rector for Academic Affairs. Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kutsenko\_s@irgups.ru;

Kostromina Julia Sergeevna – student of the group SOD.2-17-2, Department of Transport support systems, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: semendyaeva.yulya97@mail.ru.

### **Для цитирования**

Куценко С.М. Оценка параметров каналов связи в цифровых системах передачи [Электронный ресурс] / С.М. Куценко, Ю.С. Костромина // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – №3(9). – Режим доступа: – <http://mnv.irgups.ru/toma/39-20>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 10.07.2020).

### **For citation**

Kutsenko S.M., Kostromina Y.S. Estimation of parameters of communication channels in digital transmission systems [Estimation of parameters of communication channels in digital transmission systems]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2020, no. 3(9). [Accessed 10/07/20].