

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1522-1

**Воздействие потери времени восстановления синхронизации на
готовность в гипотетических эталонных цифровых трактах**

(Вопрос МСЭ-R 73/4)

(2001-2005)

Сфера применения

Время восстановления обслуживания является важным фактором, который должен учитываться при определении эксплуатационных требований к обслуживанию. В настоящей Рекомендации задается типичный уровень $C/(N+1)$, используемый при рассмотрении потери синхронизации, типичного времени восстановления и порога потери синхронизации.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что неготовность гипотетического эталонного цифрового тракта (ГЭЦТ) определяется результирующей готовностью оборудования и канала;
- b) что в некоторых случаях неготовность оборудования не связана с его отказом;
- c) что в Рекомендации МСЭ-R S.521 определяется, что ГЭЦТ могут включать такие функции, как демодуляцию/модуляцию, коррекцию ошибок, накопление данных в буфере и обработку, которые могут осуществляться терминалом пользователя или оборудованием земной станции;
- d) что ГЭЦТ могут поддерживать такие приложения, как MPEG-2, содержащие схемы последовательного многоуровневого кодирования, которые, среди прочего, могут обеспечивать безопасность адресов, сжатие данных и коррекцию ошибок;
- e) что ГЭЦТ могут также включать цифровые приложения, в которых используются другие методы модуляции и кодирования, например квадратурную фазовую манипуляцию (КФМН), 8-позиционную фазовую манипуляцию (8-PSK), квадратурную амплитудную модуляцию (КАМ), прямое исправление ошибок (ПИО) со скоростями $1/2$, $3/4$, кодирование Рида-Соломона (РС), турбокодирование и т. д.;
- f) что после потери сигнала таким приложениям может потребоваться значительное время на возврат в работоспособное состояние после восстановления сигнала;
- g) что в Рекомендации МСЭ-R S.579 указывается, что канал считается неготовым, если выравнивание синхронизации (или синхронизация) принимаемого цифрового сигнала пропадает на 10 секунд подряд или более. Эти 10 секунд считаются временем неготовности, и этот период продолжается до тех пор, пока выравнивание синхронизации (или синхронизация) не восстановится на 10 секунд подряд;
- h) что в Рекомендации МСЭ-R S.579 определяется готовность или неготовность ГЭЦТ (которая может включать элементы приведенного выше пункта c) раздела *учитывая*);
- j) что синхронизация в спутниковом ГЭЦТ может сказаться также на потере синхронизации и времени восстановления высших уровней протокола в гипотетическом эталонном соединении (ГЭС);
- k) что ухудшение стоп-кадра в приемниках MPEG-2 происходит, когда в видеоизображении появляются блоки ошибок, и оно может рассматриваться как неготовность,

рекомендует,

1 чтобы время восстановления учитывалось при определении требований к готовности для цифровых декодеров со сложными схемами синхронизации, которые могут быть восприимчивы к коротким периодам ухудшения сигнала, вызываемого распространением или помехами (см. Приложение 2);

2 чтобы чувствительные цифровые декодеры, имеющие конфигурацию, упомянутую в п. 1 раздела *рекомендует*, использовались в каналах, которые разработаны так, чтобы статистические источники помех не вызывали дополнительного повышения эквивалентной шумовой температуры канала, в результате которой теряется синхронизация;

3 чтобы уровни $C/(N+I)$, заданные в таблице 1, использовались при рассмотрении потери синхронизации типовыми цифровыми демодуляторами/декодерами, в которых применяются различные методы модуляции и кодирования, для систем со скоростью передачи данных до 34 Мбит/с.

ТАБЛИЦА 1

Типичные уровни $C/(N+I)$ при рассмотрении потери синхронизации*

Модуляция и кодирование	$C/(N+I)$ (дБ)
КФМН, скорость 1/2	3,5
КФМН, скорость 3/4	5,3
КФМН, скорость 7/8	6,0
8-позиционная ФМН	8,1
16-позиционная КАМ	11,0

* С учетом результатов измерений, приведенных в Приложении 4.

4 чтобы в случаях, когда минимальные нормы на показатели работы оказываются ниже величин, указанных в п. 3 раздела *рекомендует*, допускалось, чтобы порог потери синхронизации был на 1 дБ ниже ухудшенной нормы на показатели работы;

5 чтобы время восстановления, заданное в таблице 2, использовалось при определении неготовности цифровых демодуляторов/декодеров, связанной с потерей синхронизации в ГЭЦТ, в котором применяются такие цифровые демодуляторы/декодеры;

6 чтобы в приложениях с использованием приемников MPEG-2 появление блоков ошибок в видеоизображении происходило на уровне порога, превышающем приведенный в таблице 1 уровень синхронизации на 0,3 дБ для КФМН при кодировании РС со скоростью 1/2 и на 0,6 дБ для КФМН при кодировании РС со скоростями 3/4 и 7/8 (см. Приложение 1).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Информация о продолжительности сигналов помех и частоте, с которой они появляются, может способствовать определению допустимого максимального уровня помех. Обнаружено, что результатом многочисленных случаев кратковременных помех могут быть периоды неготовности большей продолжительности, чем такие же периоды, вызванные менее многочисленными случаями длительных помех (см. Приложение 3). Влияние и результаты действия кратковременных (< 1 с) помех являются предметами дальнейшего исследования.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Воздействие потери синхронизации на спутниковый ГЭЦТ на более высоком уровне уровней протокола в УЭС является предметом дальнейшего исследования.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Таблица 2 составлена на основе самого последнего имеющегося ограниченного набора данных, приведенного в Приложении 4, и является предварительной до проведения дальнейших исследований.

ТАБЛИЦА 2
(См. Примечание 3)

Максимальное измеренное время восстановления

Модуляция и кодирование	Скорость передачи данных на несущей	Время восстановления (с)
КФМН, ПИО со скоростью 1/2	64 кбит/с	40
	2 Мбит/с	4,5
КФМН, ПИО со скоростью 3/4	64 кбит/с	19,8
	2 Мбит/с	6
	8 Мбит/с	9,3
	34 Мбит/с	2,3
8-позиционная ФМН, ПИО со скоростью 2/3 с кодированием РС (201,219)	2 Мбит/с	3,1
	8 Мбит/с	9,1
	34 Мбит/с	4,0

Приложение 1

Соображения по вопросу внедрения ГЭЦТ для предоставления услуг, готовность которых чувствительна ко времени восстановления после потери синхронизации

1 Введение и цель

На основании проведенных измерений или информации, предоставленной изготовителями приемников земных станций, был рассмотрен режим синхронизации нескольких различных классов приемников. Целью исследования было определение длительности помех и уровня мощности, при которых приемник теряет синхронизацию. Для каждого исследованного приемника были определены уровень ухудшения и продолжительность времени, необходимые для того, чтобы вызвать потерю приемником синхронизации. Кроме того, для каждого приемника было определено, сколько времени требуется на повторное вхождение в синхронизм. Затем результаты были выражены количественно для определения порога потери синхронизации, который мог бы применяться для всех приемников земных станций фиксированной спутниковой службы (ФСС), использующей спутники на геостационарной орбите (ГО).

2 Цифровые приемники звуковых и видеосигналов

Типичный цифровой приемник MPEG-2 звуковых и видеосигналов описан в Приложении 2, в котором приведены показатели его работы и обсуждены результаты испытаний. Результаты испытаний указывают, что потеря синхронизации в типичном спутниковом канале, прошедшем испытания, упомянутые выше, и реализованном с использованием КФМН и сверточного кодирования РС со скоростью 1/2 или 7/8 и работающем при коэффициенте ошибок по битам (КОБ), равном 1×10^{-10} , произойдет в случае возрастания шума на 2,2 дБ за период от 1 до 2 секунд. Если предположить, что номинальные уровни $C/(N + I)$ были восстановлены после потери синхронизации, то для возвращения к нормальной работе оборудования понадобится еще от 4 до 8 секунд.

Отмечено, что блоки ошибок появляются в принимаемом изображении на уровне порога, превышающем уровень потери синхронизации. Считается, что видеосигнал MPEG-2 не находится в состоянии готовности, если блоки ошибок заметны на видеоизображении. Для сигнала MPEG-2, кодированного при КФМН со скоростью 1/2, блоки ошибок появлялись при пороге C/N , величина которого была на 0,3 дБ выше, чем порог потери синхронизации. Для сигнала MPEG-2, кодированного при КФМН со скоростью 7/8, блоки ошибок появлялись при пороге C/N , величина которого была на 0,6 дБ выше порога потери синхронизации.

3 Приемники данных

Результаты работы цифровых приемников на различных скоростях передачи данных показывают, что запас на потерю синхронизации имеет величину того же порядка, что была рассмотрена в п. 2.1. Если E_b/N_0 падает ниже порога и остается ниже него на период от 1 до 2 секунд, то захват теряется как по синхронизации частоты, так и по синхронизации данных. Продолжительность времени, необходимого для повторного вхождения в синхронизм, зависит, в частности, от конкретного используемого алгоритма и от ширины полосы, которую он должен охватить для повторного вхождения в синхронизм. Как правило, это время является функцией от скорости передачи данных, способа модуляции (относительная ФМН (ОФМН), КФМН и т.п.), метода кодирования/декодирования и используемой скорости кодирования. Общее время для повторного вхождения в синхронизм по частоте и данным изменяется для умеренных и высоких скоростей передачи битов до величин порядка Мбит/с. Результаты испытаний, иллюстрирующие диапазон времени восстановления, приведены в таблице 8.

4 Услуги передачи пакетов

Служба передачи пакетных данных может быть затронута в течение гораздо более длительных периодов, даже если нарушение работы системы носит кратковременный характер.

МСЭ-Т считает систему находящейся в состоянии неготовности после того, как неготовность обслуживания продолжается 10 секунд или дольше. Информация о маршрутизации для службы передачи пакетов обновляется каждые 30 секунд, и до двух циклов этого процесса обновления могут быть подвержены кратковременным нарушениям и их последствиям. Таким образом, можно заключить, что несмотря на то, что приемник теряет синхронизацию всего на 1–15 секунд, общее воздействие, включая время на возобновление обслуживания, может стать причиной неготовности обслуживания на гораздо более длительный период.

5 Спутниковые сети с обработкой на борту

С появлением спутников с обработкой на борту необходимо учитывать потерю синхронизации на линии вверх таких сетей при оценке влияния помех от негеостационарных и других источников помех системам ФСС на ГО. Потребуется дальнейший анализ с целью определения продолжительностей и уровней помех, необходимых, чтобы повлечь потерю синхронизации в спутниковых приемниках, применяющих обработку на борту.

6 Резюме и выводы

Получены результаты испытаний работы и подверженности помехам для нескольких типов приемников-демодуляторов, использующихся или планируемых для эксплуатации в полосах частот 30/20 ГГц и 14/11 ГГц. Необходимо получить дополнительную информацию о других конфигурациях и новейших усовершенствованиях.

Испытания, проведенные на типичных приемниках, используемых для цифровых видеосигналов, звуковых сигналов, передачи данных и речевых приложений, указывают, что шум или уровни помех, превышающие приведенные в таблице 1 пороги C/N в течение коротких периодов времени, повлекут потерю синхронизации приемником. Испытания демонстрируют, что после того, как сигналы возвращаются к номинальным уровням $C/(N + I)$ после потери синхронизации, время восстановления приемника, как показано в таблице 2, является функцией модуляции, кодирования и скорости передачи данных. Необходимо дальнейшее исследование продолжительности времени и частоты появления источников помех с целью полного количественного определения их влияния на услуги со встроенной возможностью синхронизации.

Очевидно, что для испытанных систем время возобновления обслуживания является важным фактором, который следует учитывать при определении требований к обслуживанию. Некоторые факторы влияют на общее время, за которое требуется возобновить обслуживание: демодулятор и синхронизация битов, кадровая синхронизация, декодирование с коррекцией ошибок, синхронизация в обеспечении мер безопасности, возобновление соединения в каналах передачи речи и повторная инициализация протоколов передачи для каналов передачи данных.

Приложение 2

Потеря синхронизации в приемнике цифровых звуковых и видеосигналов стандарта MPEG-2, вызванная кратковременной помехой

1 Введение

В этом Приложении рассматривается режим синхронизации приемника цифрового видеосигнала, который обычно используется для спутникового сбора новостей (ССН) и для распределения видеосигнала вещательными организациями. Аналогичные сложные приемники используются также для услуги "прямо в дом" и приложений радиовещательной спутниковой службы (РСС), распределения данных, передачи файлов, вещания данных и т. д. Данный класс приемника был выбран для проведения испытаний и оценки, потому что видеоданные подвергнуты сложному кодированию и сжаты, и потеря синхронизации в них может вызвать длительные нарушения в работе. Другие приемники, разработанные для различных типов обслуживания, будут функционировать аналогичным образом с различным временем нарушений в работе.

2 Цель и подход

Целью исследования было определение длительности помех и необходимого уровня мощности, который вызывает потерю синхронизации в приемнике, а также получение характеристики времени нарушения работы приемника. Для этих измерений помехи моделировались гауссовским шумом. Это соответствует принятым процедурам испытаний, при которых обрабатываются помехи от различных цифровых источников. Измерения были осуществлены путем увеличения уровня шума с целью моделирования источника помех. Первоначальные испытания были запланированы для получения характеристики КОБ приемника и проведения сравнения с техническими характеристиками изготовителя с целью обеспечения нормальной работы испытываемой системы. Дополнительные испытания были осуществлены для определения среднего времени потери синхронизации и времени повторного вхождения в синхронизм. Были также проведены испытания для определения воздействия выбросов шума на работу приемника.

3 Описание приемника

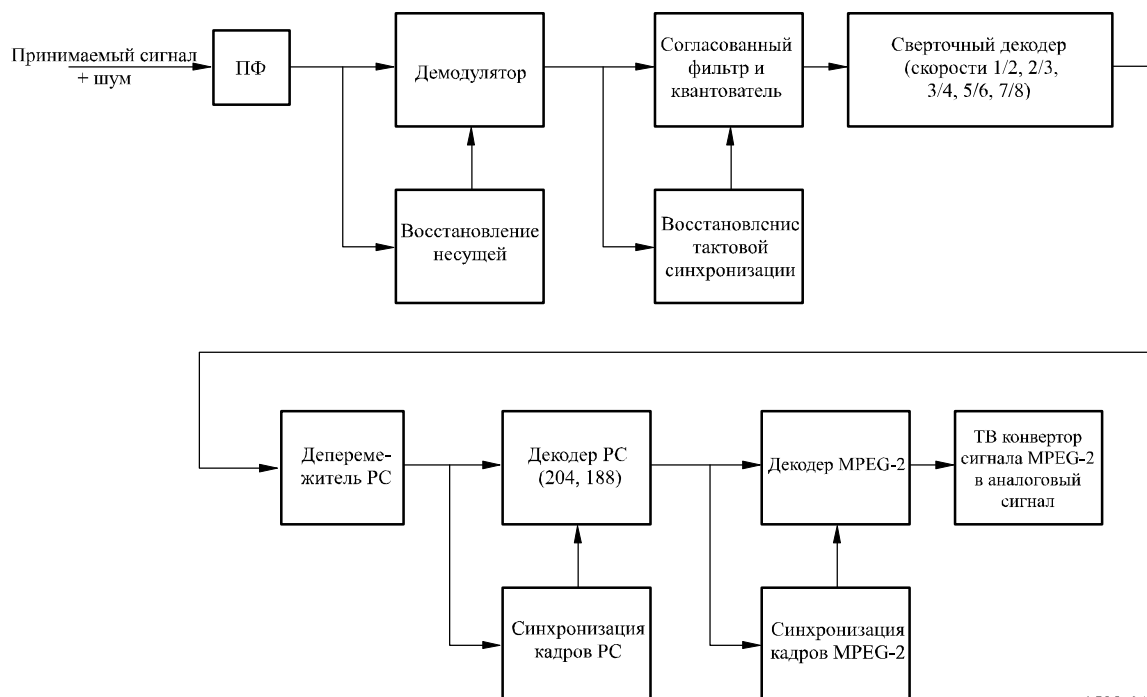
Испытуемый цифровой приемник видеосигнала объединяет декодеры цифрового видео- и звукового сигналов стандарта MPEG-2 в одном канале на несущую. Такая конфигурация позволяет осуществлять непосредственный прием цифровых видео- и звуковых сигналов и данных, переданных по спутниковой сети. Для этой реализации принимаемым сигналом был сигнал КФМН, а приемник мог работать на скоростях от 2,5 Мбит/с до 15 Мбит/с.

На рисунке 1 изображена функциональная схема цепи обработки приемника. Принимаемый сигнал демодулируется, проходит через согласованный фильтр, а обнаруженные символы дискретизируются. Дискретизированные символы подвергаются сверточному декодированию (Витерби). Система может быть установлена для кодов со скоростями 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 и 7/8. Затем символы поступают в декодер РС и деперемежитель, который защищает декодер РС от пакетов

ошибок, генерируемых декодером Витерби. Эти кадры декодируются, демультиплексируются, и сигнал MPEG-2 преобразуется в аналоговый ТВ формат.

РИСУНОК 1

Функциональная схема цифрового приемника видеосигналов

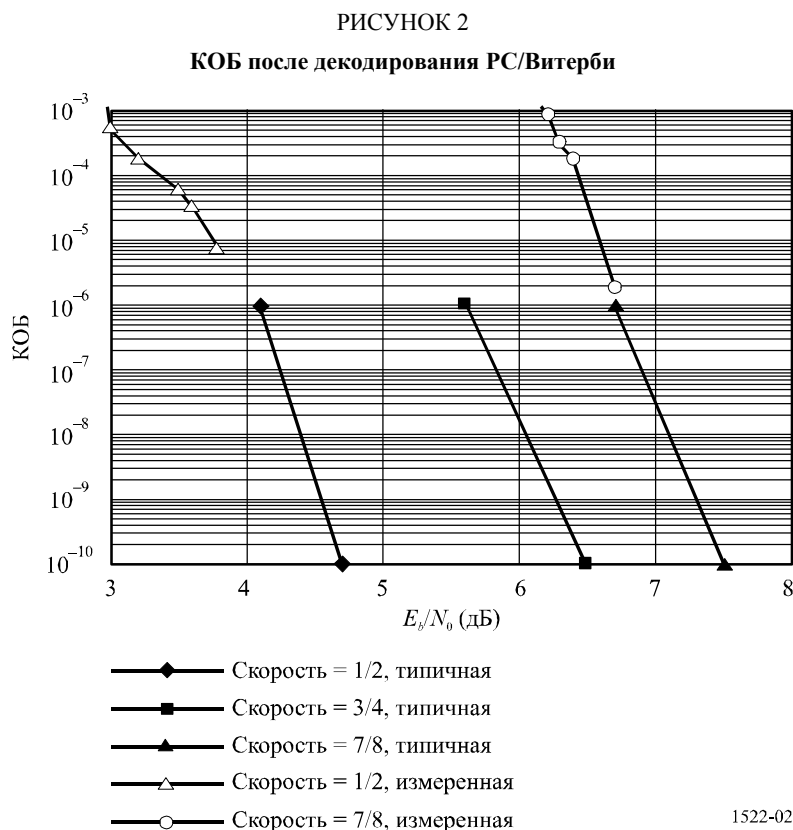


ПФ: полосовой фильтр

1522-01

Как видно из рисунка 1, приемник имеет много уровней синхронизации от восстановления исходной несущей до синхронизации кадров MPEG-2, предшествующей преобразованию в аналоговый ТВ сигнал. В общем, функции более высокого уровня синхронизации более подвержены потере синхронизации, чем функции низшего уровня. Поэтому синхронизация кадров и кодов будет потеряна до синхронизации несущей. Потеря синхронизации и повторное вхождение в синхронизм являются, главным образом, функциями программного обеспечения. Таким образом, поведение приемника может зависеть от конкретной программной реализации.

На рисунке 2 показана типичная кривая работы декодера РС для нескольких различных скоростей сверточного кода. Порог безупречной работы обычно устанавливается КОБ = 1×10^{-10} . Это соответствует $E_b/N_0 = 4,7$ дБ для скорости кода 1/2 и $E_b/N_0 = 7,5$ дБ для скорости кода 7/8.



Пороги замирания здесь определяются как минимальная рабочая точка для приемника. Пороги замирания в спутниковых сетях связи часто устанавливаются для КОБ = 1×10^{-10} . В таблице 3 представлены пороги замирания E_b/N_0 для различных скоростей сверточных кодов.

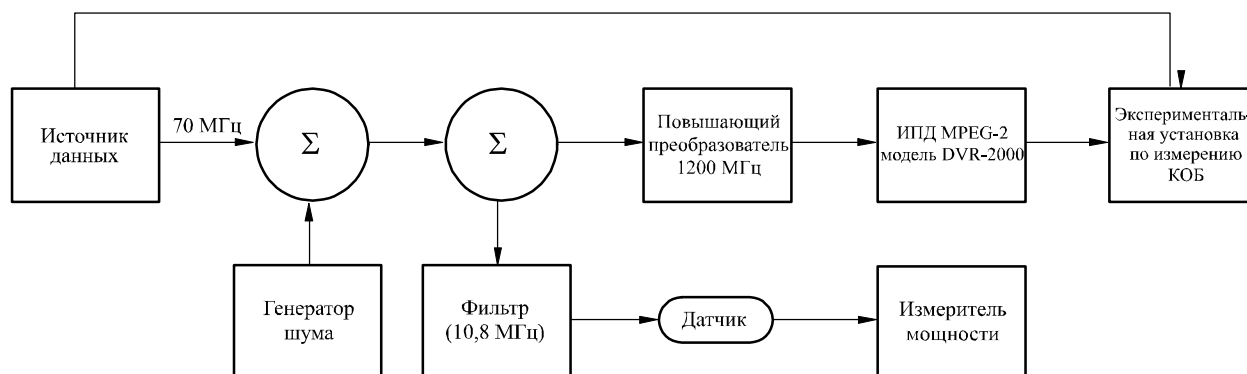
ТАБЛИЦА 3
Пороги замирания для КОБ = 1×10^{-6}

Скорость	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
E_b/N_0 (дБ)	4,1	4,8	5,6	6,1	6,7

3.1 Работа приемника

На рисунке 3 показана экспериментальная установка для измерения КОБ, используемая для проверки работы испытываемого устройства. Были испытаны две скорости кода 1/2 и 7/8. Работу приемника отражает график на рисунке 2. Очень низкие значения КОБ было трудно измерить, поскольку для проведения измерений требуется большое время. Однако результаты представляются согласующимися с характеристиками типичного модема. Было проведено сравнение работы этой системы с работой других систем, и результаты соответствовали друг другу в пределах 0,3 дБ.

РИСУНОК 3
Экспериментальная установка для измерения КОБ



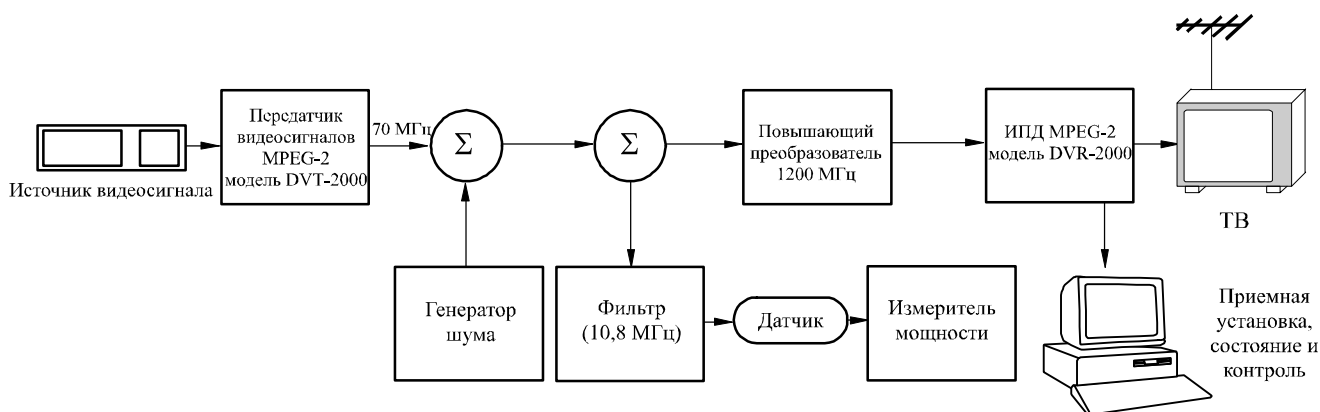
DVR: приемник цифрового видеосигнала
ИПД: интегрированный приемник-декодер

1522-03

4 Испытательная установка системы

На рисунке 4 показана испытательная установка, используемая для проверки режима синхронизации приемника. Источником видеосигнала была видеопрограмма о спортивном мероприятии. Было установлено, что на работу приемника влияет количество движений в видеоизображении. Этот источник был выбран ввиду его последовательно меняющегося информационного наполнения, связанного с движением, который постоянно создавал тяжелый режим работы для алгоритмов сжатия видеосигнала.

РИСУНОК 4
Экспериментальная установка передачи видеоданных



DVT: передатчик цифровых видеосигналов

1522-04

Измерения, осуществленные с помощью измерителя мощности, были получены в виде C/N и преобразованы в E_b/N_0 с использованием следующего уравнения:

$$E_b/N_0 = C/N + 10 \log (B_n/dr) = C/N + 4,68, \quad (1)$$

где:

B_n : ширина полосы шума = 10,8 МГц

d_r : скорость передачи данных = 3,68 Мбит/с.

Использованный испытательный приемник был снабжен внешним интерфейсом, позволяющим контролировать его локально с помощью терминала. Кроме того, на дисплей терминала может также выводиться диагностика, включая распечатываемые каждые 5 секунд отчеты о числе пропущенных или повторенных кадров, а также индикацию о состоянии синхронизации. Экспериментальная установка включала также демонстрацию видеоизображения на телевизоре, что обеспечивало субъективное отражение работы.

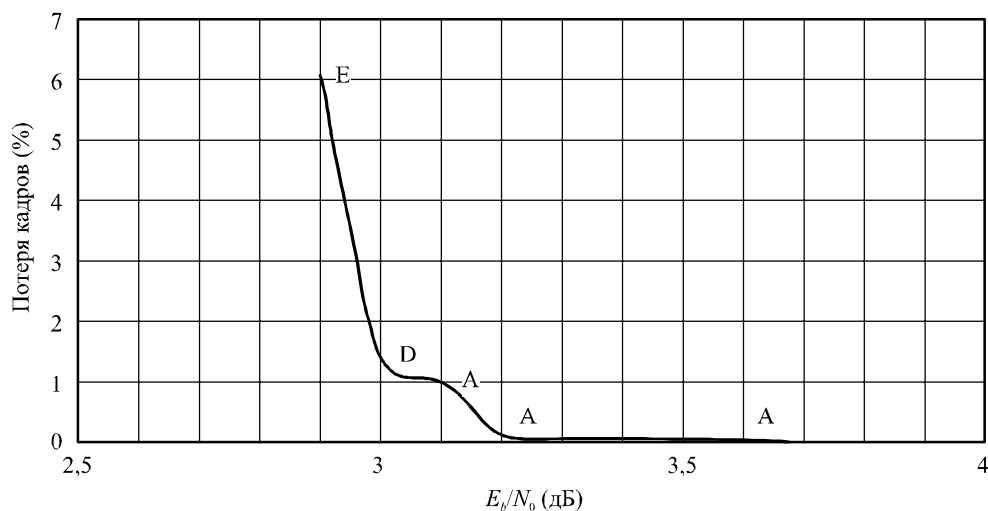
4.1 Результаты испытания системы

4.1.1 Потеря синхронизации

На рисунках 5 и 6 показано число потери кадров в зависимости от E_b/N_0 для скоростей кодов 1/2 и 7/8, соответственно. Для каждой точки измерения E_b/N_0 проводилось усреднение результатов за 2 минуты. Резкий спад кривых отражает чувствительность составных сверточных кодов/кодов РС. Ниже точки E_b/N_0 скорость потери кадров примерно на 6% превышает потерю приемником синхронизации. Это соответствует КОБ, равному примерно 1×10^{-3} .

РИСУНОК 5

Процент потерянных кадров видеоизображения как функция от E_b/N_0 для приемника видеосигнала, использующего кодирование со скоростью 1/2



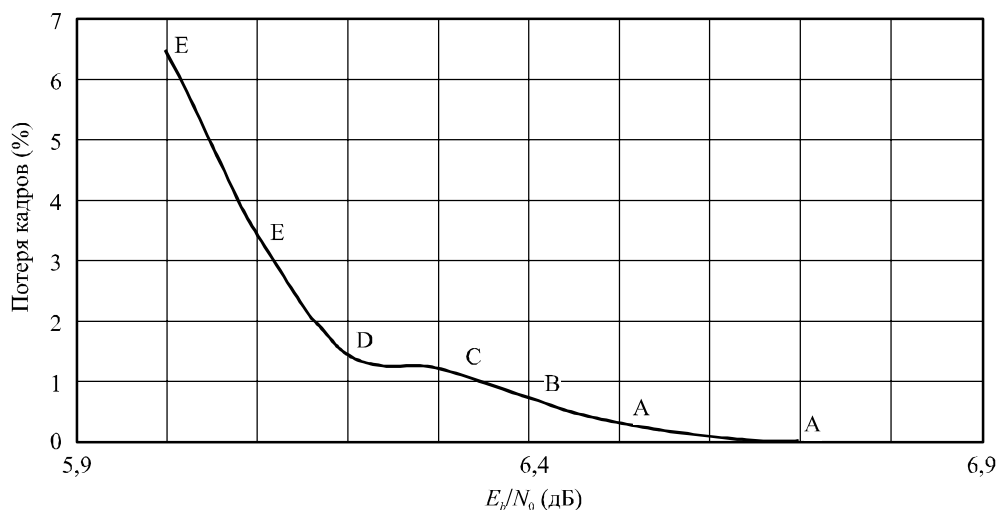
1522-05

С помощью ТВ монитора было проведено субъективное измерение визуального качества. На рисунках 5 и 6 субъективные измерения обозначены буквами, означающими следующее:

- А: чистое изображение
- В: редкие выбросы или блоки ошибок на изображении
- С: частые выбросы или блоки ошибок на изображении
- Д: изображение все еще возможно просмотреть
- Е: изображение невозможно просмотреть.

РИСУНОК 6

Процент потерянных кадров видеопередачи как функция от E_b/N_0 для приемника видеосигнала, использующего кодирование со скоростью 7/8



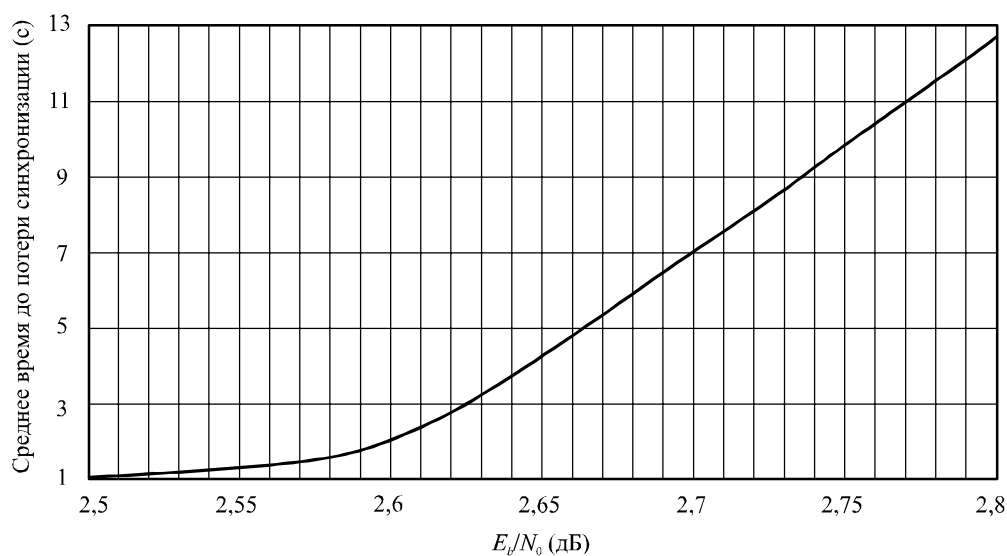
1522-06

4.1.2 Среднее время до потери синхронизации

Было исследовано среднее время до потери синхронизации для значений E_b/N_0 ниже 6% скорости потери кадров. На рисунках 7 и 8 показано среднее время до потери синхронизации для кодов со скоростями 1/2 и 7/8, соответственно. При проведении этих измерений допускался рост синхронизации приемника до высокого значения E_b/N_0 , затем это значение снижалось до испытательной величины и регистрировалось время, за которое происходила потеря синхронизации. Измерения времени были проведены с помощью часов. Было проведено усреднение по десяти измерениям для каждого значения E_b/N_0 .

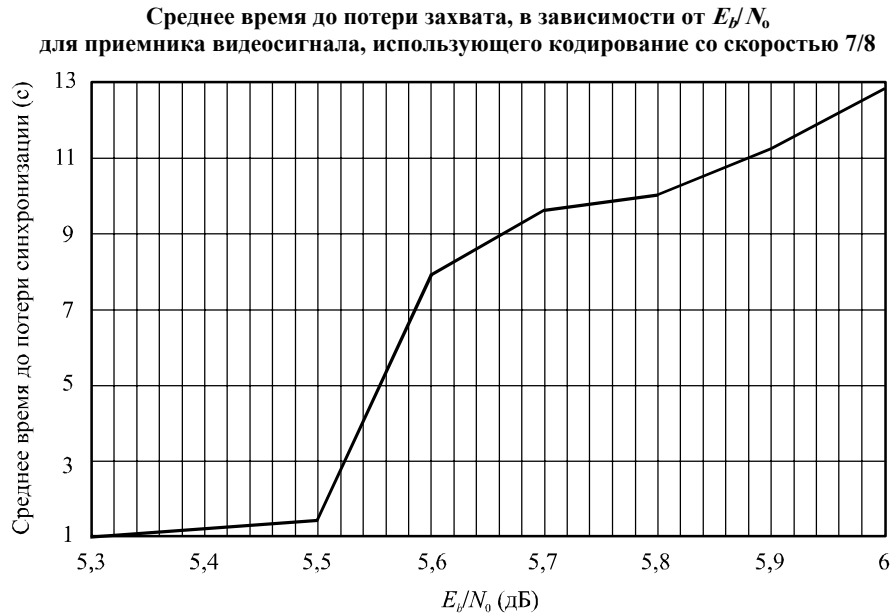
РИСУНОК 7

Среднее время до потери захвата, в зависимости от E_b/N_0 для приемника видеосигнала, использующего кодирование со скоростью 1/2



1522-07

РИСУНОК 8



1522-08

Ниже некоторой величины E_b/N_0 приемник всегда терял захват примерно за 1 секунду. Поскольку помехи от негеостационарной системы будут происходить кратковременными выбросами (порядка секунд), эта величина E_b/N_0 является критической. Для системы со скоростью кодирования 1/2 эта величина E_b/N_0 составляет 2,5 дБ, а для системы со скоростью кодирования 7/8 она равна 5,3 дБ. По отношению к КОБ = 1×10^{-10} это соответствует запасу, равному 2,2 дБ, как для кода со скоростью 1/2, так и для кода со скоростью 7/8.

4.1.3 Повторное вхождение в синхронизм

Существует два диапазона поиска для захвата несущей в испытываемом приемнике. При исходном вхождении в синхронизм используется режим широкого поиска, охватывающего диапазон $\pm 1,5$ МГц. При обычном повторном вхождении в синхронизм используется режим узкого поиска в полосе ± 140 кГц вокруг частоты, на которой последний раз была установлена синхронизация. Приемник остается в режиме узкого поиска в течение примерно 5 минут, и если несущая не будет захвачена, он переключится в режим широкого поиска.

Поскольку предполагается, что помехи от негеостационарной системы вызовут только кратковременные выбросы, можно допустить, что повторный захват несущей осуществляется в ходе поиска в узкой полосе. Изменения времени указывают, что повторное вхождение в синхронизм при узком поиске занимает примерно 4 секунды. На поиск несущей уходит только часть этого времени, поскольку поиск начинается на частоте, на которой синхронизация была потеряна. Большая часть времени повторного вхождения в синхронизм занимает повторная инициализация внутреннего программирования.

Показатели работы усовершенствованной модели испытываемого приемника цифрового видеосигнала обещают быть немного лучше по сравнению с испытанной версией. Однако до начала процесса повторного вхождения в синхронизм, в этом приемнике существует дополнительная аппаратная задержка, равная 4 секундам.

4.1.4 Восстановление после выбросов помех

Это испытание аналогично описанному в п. 4.1.2 измерению среднего времени, в течение которого происходит потеря синхронизации, и лучше характеризует воздействие выброса ошибок. Выбросы помех моделировались путем эксплуатации приемника в отсутствии шума и последующего кратковременного включения в канал выброса шума. В течение контролируемого времени продолжительностью $\pm 0,25$ секунды выброс шума был ограничен величиной $E_b/N_0 = 2,5$ дБ для канала со скоростью кодирования 1/2 и величиной $E_b/N_0 = 5,3$ дБ для канала со скоростью кодирования 7/8. Результаты этого испытания приведены в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4

Показатели работы приемника после поражения выбросом шума

Скорость	Переходный уровень E_b/N_0 (дБ)	Продолжительность помехи (с)	Потеря синхронизации	Потеря кадров (%)
7/8	5,3	1	Нет	8,5
7/8	5,3	2	Да	–
1/2	2,5	0,5	Нет	4,0
1/2	2,5	1	Нет	12
1/2	2,5	2	Да	–

Это испытание показывает, что выброс помехи длительностью примерно 2 секунды вызывает потерю синхронизации приемником, тогда как, в соответствии с п. 4.1.2, при том же E_b/N_0 среднее время, в течение которого происходит потеря синхронизации, составляло всего 1 секунду. Очевидно, низкое E_b/N_0 требуется на время большее, чем 1 секунда, чтобы не произошло восстановление канала.

5 Выводы

Измерения показателей работы, проведенные на этом приемнике, демонстрируют запас на потерю синхронизации, равный 2,2 дБ, по сравнению с КОБ = 1×10^{-10} . Выброс шума длительностью примерно 2 секунды требуется, чтобы вызвать потерю синхронизации, а повторное вхождение в синхронизм приемника происходит через 4 секунды после окончания действия помехи. Если допустить, что спутниковый канал был реализован с запасами, которые во время его готовности обеспечат защиту по отношению к пороговому КОБ = 1×10^{-10} , то работающий в канале приемник испытанного типа потеряет синхронизацию при превышении запаса на 2,2 дБ на время от 1 до 2 секунд. Если предположить, что после потери синхронизации произошел возврат на эксплуатационные уровни, то перечисленные ниже функции приемника будут восстановлены через 4–8 секунд.

Приложение 3**Влияние случаев помех на готовность обслуживания****1 Введение и цель**

В дополнение ко времени восстановления после потери синхронизации на готовность обслуживания канала в геостационарной сети влияет сочетание атмосферных явлений, оборудование и воздействие помех. Анализ показывает, что если рассматривать время восстановления синхронизации, то готовность обслуживания (определяемая далее) геостационарной сети снижается обратно пропорционально числу случаев, вызывающих потерю синхронизации и связанных с распространением, оборудованием и помехами, даже если общая сумма времени неготовности канала может оставаться постоянной, т. е. большое число случаев кратковременных помех более вредно, чем меньшее число случаев длительных помех.

2 Определения

В Рекомендации МСЭ-R S.579 определяется готовность гипотетической эталонной цепи (ГЭЦ) и ГЭЦТ в ФСС. В пунктах d) и e) раздела *учитывая* Рекомендации МСЭ-R S.579 констатируется, что готовность определяется совместным влиянием готовности оборудования и готовности, связанной с распространением; а в п. 4 раздела *рекомендует* указывается, что неготовность должна также

учитывать время восстановления оборудования. Рекомендация МСЭ-R S.579 определяет цепь как находящуюся в состоянии "готовности" и "неготовности" следующим образом:

$$\text{готовность} = (100 - \text{неготовность}) \quad \%, \quad (2)$$

где:

$$\text{неготовность} = (\text{время неготовности} / \text{требуемое время}) \times 100 \quad \%, \quad (3)$$

и "требуемое время" определяется как период времени, в течение которого пользователь требует, чтобы цепь или цифровой тракт находились в состоянии выполнять требуемую функцию, а время неготовности – это суммарное время прерываний в цепи или в цифровом тракте в течение требуемого времени.

В настоящем анализе учитывается влияние "времени восстановления синхронизации" как функции длительности отдельного случая, допуская, что суммарное время всех случаев постоянно в течение года. Анализ и численные примеры представлены на "ежегодной" основе. Анализ показывает, что многие кратковременные случаи, вызывающие неготовность, как правило, больше воздействуют на работу на протяжении длительного периода времени, чем меньшее количество случаев большей длительности в течение того же периода времени. Для определения того, какие периоды времени должны быть выбраны для оценки, необходимо дополнительное исследование.

3 Готовность и требования пользователя

Рекомендация МСЭ-R S.579 относит готовность к требованию пользователя осуществлять функцию. Эти функции, например касающиеся потери синхронизации, потребуют дополнительного времени, помимо требуемого на соответствующее восстановление C/N с целью возобновления желаемой функциональной возможности.

В таких каналах за восстановлением соответствующего C/N следует повторное восстановление выполняемых функций канала и возобновление пользовательских функций.

В целях проведения настоящего анализа было сочтено полезным разграничить готовность канала и готовность обслуживания пользователя следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{готовность канала} = \text{процент времени, в течение которого} \\ \text{выход приемника/демодулятора готов для использования;} \end{aligned} \quad (4a)$$

$$\begin{aligned} \text{готовность обслуживания пользователя} = \text{процент времени синхронизации по} \\ \text{битам и готовности пользовательской функции.} \end{aligned} \quad (4b)$$

Поскольку готовность обслуживания пользователя зависит от готовности канала, первая никогда не может быть больше второй.

Из вышеизложенного следует также, что "неготовность канала" и "неготовность обслуживания пользователя" равны 100 минус величины, указанные в уравнениях (4a) и (4b), соответственно.

Ниже перечислены некоторые аппаратные реализации, кроме приемника/демодулятора и устройства синхронизации по битам, которые чувствительны к потере синхронизации и которым будет необходимо восстановление. Время на выполнение этих действий ухудшит готовность обслуживания пользователя по отношению к готовности канала. В это число входят:

- кадровая синхронизация;
- синхронизация в обеспечении мер безопасности;
- синхронизация перемежителя;
- синхронизация декодера с коррекцией ошибок;
- повторная инициализация протоколов передачи;
- инициализация терминала пользователя.

Другие функции, которые обычно зависят от других каналов (например, повторение набора номера) и на которых может сказаться потеря синхронизации, в данное время не рассматриваются.

4 Анализ

4.1 Длительность случаев и число случаев в год

Готовность канала обычно выражается в процентах времени, в течение которого не могут быть превышены конкретные пределы.

Тогда, соответственно, если:

p : доля времени превышения предела и

$p = 1 - 0,01 \times$ процент времени готовности и, если

N : число явлений в год, вызывающих неготовность, и

D : средняя длительность каждого случая (с),

то:

$$N \times D = p \times 3,1536 \times 10^7 \text{ секунд неготовности в год,} \quad (5)$$

где:

$3,1536 \times 10^7$: число секунд в 365 днях.

Например, готовности на 99%, 99,9% и 99,99% часто являются установленными требованиями к каналам сетей спутниковой связи. Выбор этих требований к работе продиктован многими факторами, включая затраты, внедренные полосы частот, технические ограничения и потребность в конкретных услугах. Для этих трех случаев рассматриваются:

$$p = 10^{-2}, 10^{-3} \text{ и } 10^{-4}, \text{ и}$$

время неготовности в секундах за год может быть определено из уравнения (5) следующим образом:

$$\begin{aligned} N \times D &= 315\,360 && \text{секунд неготовности для сети с готовностью 99\%} \\ &= 31\,536 && \text{секунд неготовности для сети с готовностью 99\%, и} \\ &= 3153,6 && \text{секунд неготовности для сети с готовностью 99\%.} \end{aligned}$$

Экспериментально полученные данные (см. Приложение 1) указывают, что случаи помех достаточно высокого уровня продолжительностью 1 секунда или дольше могут вызывать потерю синхронизации функций общего обслуживания, реализованных в спутниковых каналах. Если допустить, что полный бюджет неготовности приходится на случаи помех и все такие случаи имеют продолжительность в 1 секунду, то на каждом канале может происходить до:

$$\begin{aligned} 315\,360 &&& \text{прерываний в год для канала с готовностью 99\%} \\ 31\,536 &&& \text{прерываний в год для канала с готовностью 99\%, и} \\ 3153,6 &&& \text{прерываний в год для канала с готовностью 99\%.} \end{aligned}$$

Для каждого случая, вызывающего потерю синхронизации, после соответствующего возмещения запаса C/N в течение S секунд требуется время восстановления R . Неготовность системы для этой цепи вырастет на $N(R + S)$ в год, где N равно числу случаев прерывания в год, вызывающих потерю синхронизации, максимальное значение которого указано выше.

Далее следует, что:

$$\text{неготовность обслуживания} = \text{неготовности канала} + N(R + S);$$

и

$$\text{готовность обслуживания \%} = (100 - (\text{неготовность канала} + N(R + S))) \quad \%$$

В качестве примера был сделан расчет для каналов, разработанных с условием обеспечения готовности, равной 99%, 99,9% и 99,99%, с использованием приведенных выше уравнений. Таблицы 5, 6, и 7 иллюстрируют расчеты влияния времени восстановления синхронизации на готовность обслуживания для упомянутых выше трех примеров готовности канала. Во всех этих примерах допускается, что:

время восстановления, $R = 10$ с, и

время возмещения, $S = 1$ с.

На рисунках 9, 10 и 11 представлена графическая иллюстрация результатов расчета.

ТАБЛИЦА 5
Готовность линии на 99%

Число случаев потери синхронизации, N	Продолжитель- ность случая, D (с)	$N(R + S)$ время восстановления (с)	Время неготовности обслуживания (с)	Готовность обслуживания (%)
10	31 536	110	315 470	98,999
30	10 512	330	315 690	98,998
100	3 153,6	1 100	316 460	98,996
300	1 051,2	3 300	318 860	98,989
1 000	315,36	11 000	326 360	98,965
3 000	105,12	33 000	348 360	98,895
10 000	31,536	110 000	425 360	98,651
30 000	10,512	330 000	645 360	97,954
100 000	3,1536	1 100 000	1 415 360	95,512
300 000	1,0512	3 300 000	3 615 360	88,536

РИСУНОК 9

Влияние восстановления синхронизации на готовность канала, равную 99%

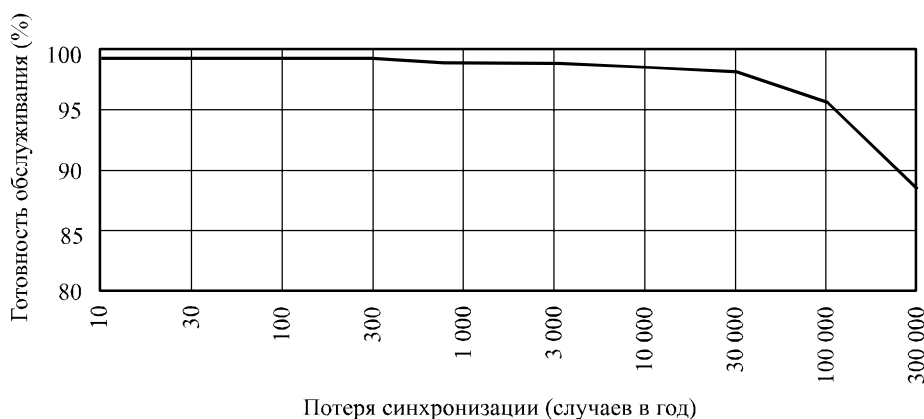


ТАБЛИЦА 6
Готовность линии на 99,9%

Число случаев потери синхронизации, N	Продолжитель- ность случая, D (с)	$N (R + S)$ время восстановления (с)	Время неготовности обслуживания (с)	Готовность обслуживания (%)
10	31 536	110	31 464	99,899
30	10 512	330	31 866	99,898
100	3 153,6	1 100	32 636	99,896
300	1 051,2	3 300	34 836	99,889
1 000	315,36	11 000	42 536	99,865
3 000	105,12	33 000	64 536	99,795
10 000	31,536	110 000	141 536	99,551
30 000	10,512	330 000	645 360	97,953

РИСУНОК 10

Влияние восстановления синхронизации на готовность канала, равную 99,9%



1522-10

ТАБЛИЦА 7
Готовность линии на 99,99%

Число случаев потери синхронизации, N	Продолжитель- ность случая, D (с)	$N (R + S)$ время восстановления (с)	Время неготовности обслуживания (с)	Готовность обслуживания (%)
10	31 536	110	3 263,6	99,989
30	10 512	330	3 483,6	99,986
100	3 153,6	1 100	4 253,6	99,896
300	1 051,2	3 300	6 453,6	99,979
1 000	315,36	11 000	14 153,6	99,955
3 000	105,12	33 000	36 153,6	99,885

РИСУНОК 11

Влияние восстановления синхронизации на готовность канала, равную 99,99%



5 Обсуждение

Рассмотрение таблиц 5–7 и рисунков 9–11 показывает, что восстановление синхронизации влияет на готовность приложений обслуживания пропорционально частоте потери синхронизации, даже если не меняется характеристика готовности канала. Поэтому очевидно, что важно осуществлять контроль за случаями, вызывающими потерю синхронизации и что оправдано проведение дальнейшего исследования с целью описания этих случаев. В проведенных ранее исследованиях искажений в основном рассматривались аномалии распространения, которые преимущественно касались общего времени появления искажений при передаче, а их результаты представлялись в форме функций распределения. Другие исследования помех большей частью касались причин помех, состояние которых имеет относительно устойчивый характер. Важно отметить, что Статья 22 Регламента радиосвязи допускает временные ограничения эквивалентной плотности потока мощности для негеостационарных спутников в некоторых полосах частот ФСС. При определении характеристик помех от негеостационарных источников помех должна обсуждаться помеховая среда, появляющаяся в результате повторяющегося характера негеостационарных орбит. Такое обсуждение важно, поскольку орбитальная механика одиночного спутника на низкой негеостационарной орбите может служить причиной возникновения помех. Можно показать, что одиночный низколетящий спутник, размещенный для работы на орбите, может проходить над одной и той же точкой на поверхности земли порядка тысячи раз в год. Учитывая то, что многочисленные негеостационарные спутниковые системы будут использовать спектр совместно с геостационарными сетями ФСС, есть опасение, что воздействие повторяющегося характера этих источников помех еще не полностью понято и поэтому должно быть в дальнейшем изучено во избежание потери синхронизации в каналах геостационарной ФСС.

6 Выводы

Требования к времени восстановления обслуживания в геостационарных сетях должно учитываться при установлении надежности сети в ходе проектирования канала. Анализ показал, что время восстановления после периода неготовности, вызванного каким-либо случаем, влияет на готовность обслуживания сети ГО. Анализ также показывает, что неготовность данного постоянного канала снижает готовность обслуживания геостационарной сети по мере возрастания частоты случаев, обуславливающих потерю синхронизации. Хотя признано, что важное значение имеет распределение неготовности в течение года, предметом дальнейшего исследования может стать рассмотрение воздействия в течение более коротких периодов.

Приложение 4

Критерии для определения порога синхронизации

Потеря синхронизации цифровой несущей относится к уровню $C/(N+I)$, который является функцией помех, показателей работы оборудования земной станции, запаса в спутниковом канале, случаев выпадения дождя и солнечных помех.

В таблице 8 приведены величины $C/(N+I)$, которые представляют собой обобщенные результаты нескольких испытаний, проведенных на цифровых несущих с различными скоростями передачи битов и с различной ошибкой $C/(N+I)$, являющейся причиной потери синхронизации демодулятором/декодером, и время восстановления после выбросов шума, соответствующее помехам, которые могут быть вызваны негеостационарной спутниковой системой ФСС.

Величины в таблице 8 взяты из ограниченного числа программ измерения (пяти).

ТАБЛИЦА 8
Результаты измерения для порогов потери синхронизации и
времени восстановления

Модуляция и кодирование	Скорость передачи битов	$C/(N+I)$ (дБ)	Время восстановления (с)
КФМН, ПИО со скоростью 1/2	64 кбит/с	1,7–3,1	9–40
	2 Мбит/с	3,4–3,6	1,7–4,5
КФМН, ПИО со скоростью 3/4	64 кбит/с	3,4–4,2	8,6–19,8
	2 Мбит/с	3,1–4,2	1,9–6
	8 Мбит/с	3,9–5,6	4–9,3
	34 Мбит/с	4,1–4,5	1,8–2,3
8-позиционная ФМН, ПИО со скоростью 2/3 + РК	2 Мбит/с	7,9	2,6–3,1
	8 Мбит/с	7,6–7,8	9,1
	34 Мбит/с	7,8–7,9	1,7–4

РК: решетчатое кодирование.

Приведенные выше величины $C/(N+I)$ должны быть увеличены примерно на 0,5 дБ для учета нелинейности, вносимой спутником в реальный спутниковый канал.

На основании приведенной в таблице 8 серии измерений порогов потери синхронизации для систем со скоростью передачи менее 34 Мбит/с было принято, что величины $C/(N+I)$, приведенные в таблице 9, являются типичными значениями порогов потери синхронизации для указанных несущих.

ТАБЛИЦА 9

Модуляция и кодирование	$C/(N + I)$ (дБ)
КФМН, ПИО со скоростью 1/2	3,5
КФМН, ПИО со скоростью 3/4	5,3
КФМН, ПИО со скоростью 7/8	6,0
8-позиционная ФМН	8,1
16-позиционная КАМ	11,0

Во всех других случаях, в частности, если нормы на показатели работы установлены ниже величин, принятых выше, допускается, чтобы порог потери синхронизации был на 1 дБ ниже ухудшенной нормы на показатели работы.

На основании приведенных выше результатов испытаний было сделано заключение, что время восстановления изменяется в широких пределах. В настоящей Рекомендации максимальное время восстановления предлагается в качестве временных величин, и дальнейшие испытания должны быть проведены до принятия более низких типичных величин.
