



Консультативный комитет по космическим системам передачи данных

---

**ФОРМИРОВАНИЕ  
ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКАЦИЯ  
CCSDS 551.1-0-2**

**ОРАНЖЕВАЯ КНИГА**

**АВГУСТ 2020 г.**



Консультативный Комитет по космическим системам передачи данных

---

**Научные исследования и разработки в  
области стандартов космических систем связи**

# **ФОРМИРОВАНИЕ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКАЦИЯ**

**CCSDS 551.1-0-2**

**ОРАНЖЕВАЯ КНИГА**

**АВГУСТ 2020 г.**

## УПРАВЛЯЮЩИЙ ОРГАН

Выпуск:	Оранжевая книга, выпуск 2
Дата:	Август 2020 г.
Местонахождение:	Вашингтон, округ Колумбия, США

Публикация этого документа была одобрена Консультативным комитетом по космическим системам передачи данных (CCSDS). Процедура рассмотрения и одобрения документов CCSDS подробно изложена в документе «*Организация и процессы Консультативного комитета по космическим системам передачи данных*» (CCSDS A02.1-Y-4).

Настоящий документ опубликован и контролируется:

Секретариатом CCSDS  
Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства  
Вашингтон, округ Колумбия, США  
E-mail: [secretariat@mailman.ccsds.org](mailto:secretariat@mailman.ccsds.org)

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В процессе естественного развития предполагаются дополнения, изъятия или изменения этого документа. Поэтому к настоящему Рекомендуемому стандарту применяются процедуры управления документами и контроля за изменениями, которые определены в документе «*Организация и процессы Консультативного комитета по космическим системам передачи данных*» (CCSDS A02.1-Y-4). Текущие версии документов CCSDS доступны на веб-сайте:

<http://www.ccsds.org/>

Вопросы, касающиеся содержания или статуса этого документа, должны направляться в Секретариат CCSDS, электронный адрес которого указан на странице i.

На момент публикации настоящего документа активными участниками и наблюдателями CCSDS были следующие агентства:

Агентства-участники

- Итальянское космическое агентство (ASI)/Италия.
- Канадское космическое агентство (CSA)/Канада.
- Французское Космическое Агентство (CNES)/Франция.
- Китайское национальное космическое управление (CNSA)/ Китайская Народная Республика.
- Германский центр авиации и космонавтики (DLR)/Германия.
- Европейское Космическое агентство (ESA)/Европа.
- Госкорпорация «Роскосмос» (РОСКОСМОС)/Российская Федерация.
- Национальный институт космических исследований (INPE)/Бразилия.
- Японское агентство по освоению космического пространства (JAXA)/Япония.
- Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA)/США.
- Космическое агентство Великобритании/Великобритания.

Агентства-наблюдатели

- Австрийское космическое агентство (ASA)/Австрия.
- Бельгийское федеральное управление политики в области науки (BFSP0)/Бельгия.
- Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (ЦНИИмаш)/ Российская Федерация.
- Китайское управление по контролю запусков и сопровождению спутников, Пекинский институт технологий слежения и телекоммуникаций (CLTC/ВITTT)/Китай.
- Китайская Академия наук (CAS)/Китай.
- Китайская Академия космических технологий (CAST)/Китай.
- Организация по научным и промышленным исследованиям стран Содружества (CSIRO)/Австралия.
- Датский национальный космический центр (DNSC)/Дания.
- Департамент науки и аэрокосмических технологий (DCTA)/Бразилия.
- Научно-исследовательский институт электроники и телекоммуникаций (ETRI)/Корея
- Европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников (EUMETSAT)/Европа.
- Агентство развития геоинформатики и космических технологий Агентство развития геоинформатики и космических технологий (GISTDA)/Таиланд.
- Греческий национальный космический комитет (HNCS)/Греция.
- Греческое космическое агентство (HSA)/Греция.
- Индийская организация космических исследований (ISRO)/Индия.
- Институт космических исследований (ИКИ)/Российская Федерация.
- Корейский институт аэрокосмических исследований (KARI)/Корея.
- Министерство связи (МОС)/Израиль.
- Космический центр имени Мухаммеда бин Рашида (MBRSC)/ Объединённые Арабские Эмираты.
- Национальный институт информационно-коммуникационных технологий (NICT)/Япония.
- Национальное управление по исследованию океана и атмосферы (NOAA)/США.
- Национальное космическое агентство Республики Казахстан (NSARK)/Казахстан.
- Национальная космическая организация (NSPO)/Китайский Тайбэй.
- Военно-морской центр космических технологий (NCST)/США.
- Научно-исследовательский институт физики частиц и ядерной физики (KFKI)/Венгрия.
- Совет по научным и технологическим исследованиям Турции (TUBITAK)/Турция.
- Южноафриканское национальное космическое агентство (SANSА)/ Южно-Африканская Республика.
- Пакистанская комиссия по исследованию космического пространства и верхних слоёв атмосферы (SUPARCO)/Пакистан.
- Шведская космическая корпорация (SSC)/Швеция.
- Швейцарское космическое управление (SSO)/Швейцария.
- Геологическая служба США (USGS)/США.

## **ВСТУПЛЕНИЕ**

Настоящий документ представляет собой Экспериментальную спецификацию CCSDS. Статус «Экспериментальная» указывает на то, что документ является частью исследовательской или опытно-конструкторской работы, основанной на условных требованиях, и, следовательно, не считается документом в статусе стандартов (статус «Standards Track»). Экспериментальные спецификации предназначены для демонстрации технической реализуемости до появления «жесткого» требования. Экспериментальная работа может быть быстро переведена в статус «Standards Track», если в дальнейшем появится жесткое требование.

**КОНТРОЛЬ ДОКУМЕНТА**

<b>Документ</b>	<b>Название</b>	<b>Дата</b>	<b>Статус</b>
CCSDS 551.1-O-1	Формирование обобщённых данных, Экспериментальная спецификация, выпуск 1	Июль 2015 г.	Первый выпуск, заменён
CCSDS 551.1-O-2	Формирование обобщённых данных, Экспериментальная спецификация, выпуск 2	Август 2020 г.	Текущий выпуск
ЕС 1	Редакционное изменение 1	Октябрь 2020 г.	Исправление типографических ошибок

**ПРИМЕЧАНИЕ** — Основные изменения, внесённые в первый выпуск, отмечены специальной полосой на внутреннем поле страницы.

**СОДЕРЖАНИЕ**

<u>Раздел</u>	<u>Стр.</u>
<b>1 ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>1-1</b>
1.1 ЦЕЛЬ .....	1-1
1.2 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ .....	1-1
1.3 ПРИМЕНИМОСТЬ .....	1-1
1.4 ОБОСНОВАНИЕ .....	1-2
1.5 СТРУКТУРА ДОКУМЕНТА .....	1-2
1.6 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	1-3
1.7 ТЕРМИНОЛОГИЯ .....	1-4
1.8 ВОПРОСЫ, КАСАЮЩИЕСЯ ПАТЕНТОВ .....	1-5
1.9 ССЫЛКИ .....	1-5
<b>2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....</b>	<b>2-1</b>
2.1 МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ОБОБЩЕННЫХ ДАННЫХ	2-1
2.2 УСЛОВИЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБОБЩЕННЫХ ДАННЫХ .....	2-2
2.3 УСЛОВИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ БЛОКОВ ДАННЫХ, СОДЕРЖАЩИХ ФРЕЙМЫ ПЕРЕДАЧИ .....	2-3
<b>3 ТРЕБОВАНИЯ К ДАННЫМ .....</b>	<b>3-1</b>
3.1 ТРЕБОВАНИЯ К СИГНАЛАМ (ДАННЫМ) ИСТОЧНИКА ДАННЫХ .....	3-1
3.2 ТРЕБОВАНИЯ К СИГНАЛАМ (ДАННЫМ), ФОРМИРУЕМЫМ НА ПРИЁМНОЙ СТОРОНЕ .....	3-1
<b>4 МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ, СОСТАВЛЯЮЩИЕ ОСНОВУ ПРЕДЛОЖЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ .....</b>	<b>4-1</b>
4.1 МЕТОД УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИНЯТЫХ БЛОКОВ ДАННЫХ .....	4-1
4.2 АЛГОРИТМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ .....	4-3
<b>5 КРИТЕРИИ И МЕТОДИКИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРЕДЛОЖЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ .....</b>	<b>5-1</b>
5.1 КРИТЕРИИ И МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ АЛГОРИТМОВ УЛУЧШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ .....	5-1
5.2 МЕТОДИКИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРЕДЛОЖЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ .....	5-9

## СОДЕРЖАНИЕ (продолжение)

<u>Раздел</u>	<u>Стр.</u>
5.3 ОБСУЖДЕНИЕ — РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МОДЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА ЖЁСТКОЕ РЕШЕНИЕ ДЕМОДУЛЯТОРА, ПРИ ОЦЕНИВАНИИ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА МЯГКОЕ РЕШЕНИЕ ДЕМОДУЛЯТОРА (ССЫЛКИ [С6] И [С7]) .....	5-11
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А ОПТИМАЛЬНЫЕ ВЕСОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ (НОРМАТИВНОЕ) .....</b>	<b>A-1</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В НЕОБХОДИМЫЕ ПОЯСНЕНИЯ (ИНФОРМАТИВНОЕ) .....</b>	<b>B-1</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ С ИНФОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ (ИНФОРМАТИВНОЕ) .....</b>	<b>C-1</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ D РАЗЪЯСНЕНИЯ СУЩНОСТЕЙ МОДЕРНИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ (ИНФОРМАТИВНОЕ) .....</b>	<b>D-1</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ E ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИСПРАВЛЯЮЩИХ СПОСОБНОСТЕЙ АЛГОРИТМОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА ПРОИЗВОЛЬНЫЕ ПОМЕХИ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ В РАДИОКАНАЛАХ (ИНФОРМАТИВНОЕ) .....</b>	<b>E-1</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ F АББРЕВИАТУРЫ (ИНФОРМАТИВНОЕ) .....</b>	<b>F-1</b>
<u>Рисунки</u>	<u>Стр.</u>
1-1 Система нумерации битов .....	1-4
2-1 Иллюстрация процесса формирования обобщённых данных .....	2-1
2-2 Конкретизированный блок данных (Фрейм Передачи с прикреплённым синхромаркером и корректирующими битами кода Рида-Соломона) .....	2-3
2-3 Структура фрейма передачи телеметрических данных .....	2-4
3-1 Эпюры сигналов (структура данных) на выходе канала разнесения (на выходе программно-технических средств формирования обобщённых данных) .....	3-2
4-1 Пример регенерации синхроимпульсов предложенным методом .....	4-3
5-1 Иллюстрация принятых блоков данных, подверженных воздействию помех, имитируемых моделью .....	5-5
5-2 Граф-схема моделируемых состояний помеховой обстановки .....	5-8
B-1 Иллюстрация одного из методов модуляционного кодирования .....	B-1
B-2 Геометрическая иллюстрация зон, относящихся к элементарным сигналам $u_{ij}$ и $u_{kr}$ .....	B-3

СОДЕРЖАНИЕ (продолжение)

<u>Рисунки</u>	<u>Стр.</u>
В-3 Результаты применения алгоритма $A_4$ .....	В-10
В-4 Результаты оценивания алгоритма $A_4$ с использованием модельных данных .....	В-11
В-5 Примеры взаимодополняемости ПРС .....	В-12
В-6 Диаграмма, характеризующая улучшение достоверности обобщённых телеизмерений .....	В-14
Д-1 Графики, поясняющие работу жёсткой и мягкой схем декодирования .....	D-2
Д-2 Эпюра четырёхпозиционного сигнала с номинальными значениями уровней позиций .....	D-4
Е-1 Графики распределения плотности вероятности помех в суммарном сигнале .....	E-2

<u>Таблицы</u>	<u>Стр.</u>
4-1 Значения весовых характеристик достоверности $W_{ki}$ для $n = 5, m = 4$ .....	4-8
4-2 Примеры вычислений оценок достоверности, $W_{ke}$ , зависящих от значений $e_i, i = 1, 2, \dots, n$ поступивших из каналов разнесения сигналов, для $n = 5, m = 4$ .....	4-9
4-3 Примеры получения обобщённых сигналов $e_{об}$ , из $e_i, i = 1, 2, \dots, n$ , поступивших из каналов разнесения сигналов, при $n = 5, m = 4$ для $k = 1, 2, \dots, 166$ .....	4-9
5-1 Принятые блоки данных, подверженные воздействию помех, имитируемых моделью .....	5-6
А-1 ВХД для алгоритма $A_4$ ( $n = 5$ ) .....	А-1
А-2 ВХД для алгоритма $A_4$ ( $n = 4$ ) .....	А-4
А-3 ВХД для алгоритма $A_4$ ( $n = 3$ ) .....	А-4
А-4 ВХД для алгоритма $A_{42}$ ( $n = 5$ ) .....	А-5
А-5 ВХД для алгоритма $A_{42}$ ( $n = 4$ ) .....	А-5
А-6 ВХД для алгоритма $A_{42}$ ( $n = 3$ ) .....	А-5
В-1 Результаты улучшения достоверности в зависимости от сценария .....	В-8
Д-1 Значения элементарных однобитовых данных $e_i$ и соответствующих им двухбитовых оценок .....	D-2
Д-2 Пример, иллюстрирующий формирование обобщённых данных $e_{об\ оц}$ при осуществлении модифицированного алгоритма $A_{42}$ .....	D-3
Д-3 Результаты представления значений номинальных уровней позиций четырёхпозиционного сигнала в двоичном виде .....	D-4
Д-4 Экспериментальные данные, характеризующие качество нормализации, осуществляемое в ПРС .....	D-5
Д-5 Результаты испытания способов установки порогов при получении элементарных данных .....	D-6

## **1 ВВЕДЕНИЕ**

### **1.1 ЦЕЛЬ**

Настоящая Оранжевая Книга является соответствующей Экспериментальной спецификацией CCSDS по формированию обобщённых данных с использованием данных, сформированных в соответствии с требованиями CCSDS и полученных по каналам разнесения.

В настоящей Экспериментальной спецификации CCSDS представлена технология разнесённого приёма, предназначенная для повышения достоверности данных.

### **1.2 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

В настоящей Экспериментальной спецификации определена технология формирования обобщённых данных, исходя из:

- a) услуг, предоставляемых пользователям данной спецификации;
- b) форматов данных; и
- c) процедур, выполняемых для формирования, обработки и оценивания, касающихся получения обобщённых данных.

Настоящая Экспериментальная спецификация не распространяется на:

- a) индивидуальность исполнения или продукции;
- b) методы или технологии, требуемые для исполнения процедур; или
- c) управляющие действия, необходимые для контроля и управления средствами, касающимися получения обобщённых данных.

### **1.3 ПРИМЕНИМОСТЬ**

Настоящая Экспериментальная спецификация является вкладом Роскосмоса в технологии CCSDS. В ней представлена технология, относящаяся к формированию обобщённых данных с использованием данных, полученных по каналам разнесения, предназначенная для практического применения в условиях ближнего и дальнего космоса.

Настоящая Экспериментальная спецификация не предполагает обновления и, тем более, отмены каких-либо положений документов CCSDS, действующих в настоящее время. Напротив, считается, что она находится в гармонии с ними.

В узком смысле настоящая Экспериментальная спецификация касается работы с блоками данных, полученными по каналам разнесения, с целью повышения достоверности. При её выполнении влияние на средства, предшествующие выходам этих каналов, исключается. Она направлена на повышение достоверности принятых (не важно, каким способом) данных. Однако очевидно, что имеется зависимость достоверности обобщённых данных от технических характеристик вышеупомянутых средств, от соответствующих этим характеристикам свойств данных, поступающих из каналов разнесения. Кроме того, разные алгоритмы получения обобщённых данных обеспечивают неодинаковую достоверность. В настоящей Экспериментальной спецификации показаны инструменты для обеспечения возможностей управления этой зависимостью (критерии и методики для оценивания

результативности формирования обобщённых данных), в результате чего Спецификация приобрела более широкий смысл.

## 1.4 ОБОСНОВАНИЕ

Качество данных, полученных по разным каналам разнесения в пунктах приёма, может быть улучшено путём доставки этих данных в единый пункт сбора данных и последующего формирования из них обобщённых данных. Пункты приёма могут включать в себя соответствующие программно-технические средства измерительных пунктов, находящихся на территориях нескольких стран, а единым пунктом сбора данных — некий Центр управления полётами (ЦУП). Сформированные в этом ЦУПе обобщённые данные с улучшенной достоверностью могут быть переданы в другие ЦУПы других космических агентств.

Местом формирования обобщённых данных может быть не только какой-то конкретный, априори определённый единый пункт сбора данных (типа вышеупомянутого ЦУПа). Формирование обобщённых данных может осуществляться на наземной станции, если, например, разнесение осуществляется по несущим частотам (положим, данные передаются на двух частотах) и по поляризации (вертикальная и горизонтальная), и если, разумеется, в её составе имеются соответствующие программно-технические средства.

Предложенная технология формирования обобщённых данных по обеспечиваемой достоверности превосходит известные аналоги, базирующиеся на автовыборе и мажорировании данных.

Очевидно, что структура данных, регистрируемых в пунктах приёма, должна быть одинаковой или в едином пункте сбора данных должна иметься возможность преобразования данных, полученных от разных пунктов приёма, в нужную структуру (наличие соответствующего программного обеспечения). При этом должны быть выполнены определённые требования к передаваемым сигналам (данным), чтобы исходные блоки данных (блоки данных на выходе каналов разнесения) обладали свойствами, необходимыми для осуществления предложенной технологии формирования обобщённых данных. Кроме того, для эффективного планирования задач с применением этой технологии или альтернативных ей технологий необходимы критерии и методики, разработанные с учётом её специфических особенностей, исключающие двусмысленные оценки.

Таким образом, предложенная технология является полезным инструментом улучшения достоверности принятых данных и не противоречит действующим документам CCSDS. Однако для её полноценной практической реализации требуются определённые условия, касающиеся перекрёстной поддержки. Для создания этих условий, а также условий для эффективного управления процессом развития данной технологии, сама технология и связанные с ней технические решения должны быть подтверждены документально.

## 1.5 СТРУКТУРА ДОКУМЕНТА

Этот документ состоит из пяти пронумерованных глав и шести приложений:

- в главе 1 представлены цель, возможности, применимость и объяснение настоящей Экспериментальной спецификации, а также термины, определения и ссылки, используемые в документе;

- в главе 2 представлены общие сведения о предложенной технологии формирования обобщённых данных и определены необходимые условия её осуществления;
- в главе 3 определены основные требования к структуре данных;
- в главе 4 определены методы и алгоритмы, на которых базируется предложенная технология формирования обобщённых данных;
- в главе 5 определены критерии и методики для оценивания возможностей предложенной технологии формирования обобщённых данных;
- в приложении А (нормативном) представлены вычисленные оптимальные весовые характеристики достоверности для осуществления алгоритмов получения обобщённых данных;
- в приложении В (информативном) представлены необходимые пояснения сущностей отдельных положений документа;
- в приложении С представлены информативные ссылки;
- в приложении D (информативном) представлены разъяснения сущностей модернизации алгоритмов получения обобщённых данных;
- в приложении E (информативном) представлено обоснование актуальности использования нетрадиционных моделей и критериев для оценки исправляющих способностей алгоритмов повышения достоверности данных, ориентированных на произвольные помехи, действующие в радиоканалах;
- в приложении F (информативном) представлены аббревиатуры терминов и их значение.

## 1.6 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

### 1.6.1 ЗНАЧЕНИЯ ТЕРМИНОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В НАСТОЯЩЕЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СПЕЦИФИКАЦИИ

В настоящей Экспериментальной спецификации применяются следующие термины:

**этап полёта** (ссылка [1]): часть полёта, в течение которого определённые коммуникационные характеристики фиксированы. Переход между двумя последовательными этапами полёта может приводить к прерыванию услуг связи.

**физический канал** (ссылка [1]): поток битов, передаваемый по космическому каналу связи в одном направлении.

**каналы разнесения**: физические каналы для передачи потока битов одного источника данных.

**блок данных**: конечное множество (набор) данных, имеющих определённую структуру, (Фрейм Передачи — см. ссылку [2]), Фрейм Передачи с прикрепленным синхромаркером и корректирующими битами кода Рида-Соломона (см. ссылку [2]) и т. д., определённые блоки данных.

**обобщённые данные**: данные, полученные методами разнесённого приёма.

## 1.7 ТЕРМИНОЛОГИЯ

### 1.7.1 НОРМАТИВНЫЙ ТЕКСТ

В настоящем Рекомендуемом стандарте используется следующая согласованная терминология:

- a) слова 'shall' и 'must' (долженствование, обязательное условие) означают обязательное и контролируемое выполнение технических условий;
- b) слово 'should' (следовало бы, желательно) означает необязательное, но желательное выполнение технических условий;
- c) слово 'may' (может) означает необязательное выполнение технических условий;
- d) слово 'is', 'are', and 'will' (быть, являться, будет) означают констатацию фактов.

ПРИМЕЧАНИЕ - Эти формы не ограничивают стиль изложения, который по своему характеру является чётко информативным.

### 1.7.2 ИНФОРМАТИВНЫЙ ТЕКСТ

В нормативных разделах этого документа информативный текст вынесен за рамки нормативной спецификации либо в примечания, либо под один из следующих заголовков подразделов:

- Общие сведения;
- Предыстория;
- Обоснование;
- Обсуждение.

### 1.7.3 УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

В настоящем документе используется следующая система нумерации битов для идентификации каждого бита в N-битовом поле. Первый бит в поле, который будет передан (то есть самый левый, показанный на рисунке), определён как «Бит 0», следующий бит определён как «Бит 1», и так далее до «Бит N-1». Когда поле используется для представления в двоичном виде (типа обратного представления), самый старший бит (MSB – Most Significant Bit) должен быть первым переданным битом поля, то есть «Битом 0», (рисунок 1-1).



Рисунок 1-1: Система нумерации битов

В соответствии со стандартной практикой передачи данных, поля данных часто группируются в 8-битовые «слова», которые соответствуют вышеприведённой системе обозначений. В настоящем Рекомендуемом стандарте такое 8-битовое слово называется «октет».

Нумерация октетов в пределах структуры данных начинается с «0».

## 1.8. ВОПРОСЫ, КАСАЮЩИЕСЯ ПАТЕНТОВ

Следует обратить внимание на то, что технологии, описанные в главе 4, касающиеся метода улучшения качества синхронизации принятых блоков данных и метода разработки алгоритмов получения обобщённых данных (и, соответственно, самих разработанных алгоритмов A<sub>4</sub> и A<sub>42</sub>), запатентованы (Воронцов В.Л. «Способ формирования синхроимпульсов при приёме цифровых сигналов», пат. № 2446438, БИ № 9 от 27.03.2012 и Воронцов В.Л. «Способ определения весовых характеристик достоверности для обработки принятых многопозиционных сигналов», пат. № 2339164, БИ № 32 от 20.11.2008, соответственно).

Патентообладатель готов предоставить бесплатную лицензию неограниченному количеству заявителей на разумной и недискриминационной основе для использования вышеупомянутых запатентованных технологий. Однако патентообладатель оставляет за собой право предоставить лицензию на разумных условиях (но не бесплатно) в будущем.

## 1.9 ССЫЛКИ

Следующие публикации содержат положения, которые посредством ссылок в этом тексте являются положениями настоящей Экспериментальной спецификации. На момент публикации указанные издания имели силу. Все публикации должны проверяться, и пользователям настоящей Экспериментальной спецификации рекомендуется изучить возможность применения последних версий публикаций, указанных ниже. Секретариат CCSDS ведёт реестр публикаций CCSDS, имеющих силу в настоящее время.

[1] *Синхронизация телеметрии и кодирование каналов*. Выпуск 2. Рекомендация для стандартов для космических систем передачи данных (Синяя книга), CCSDS 131.0-B-2. Вашингтон, округ Колумбия: CCSDS, август 2011 г.

[2] *Протокол канала передачи телеметрических (ТМ) космических данных*. Выпуск 1. Рекомендация для стандартов для космических систем передачи данных (Синяя книга), CCSDS 132.0-B-1. Вашингтон, округ Колумбия: CCSDS, сентябрь 2003 г.

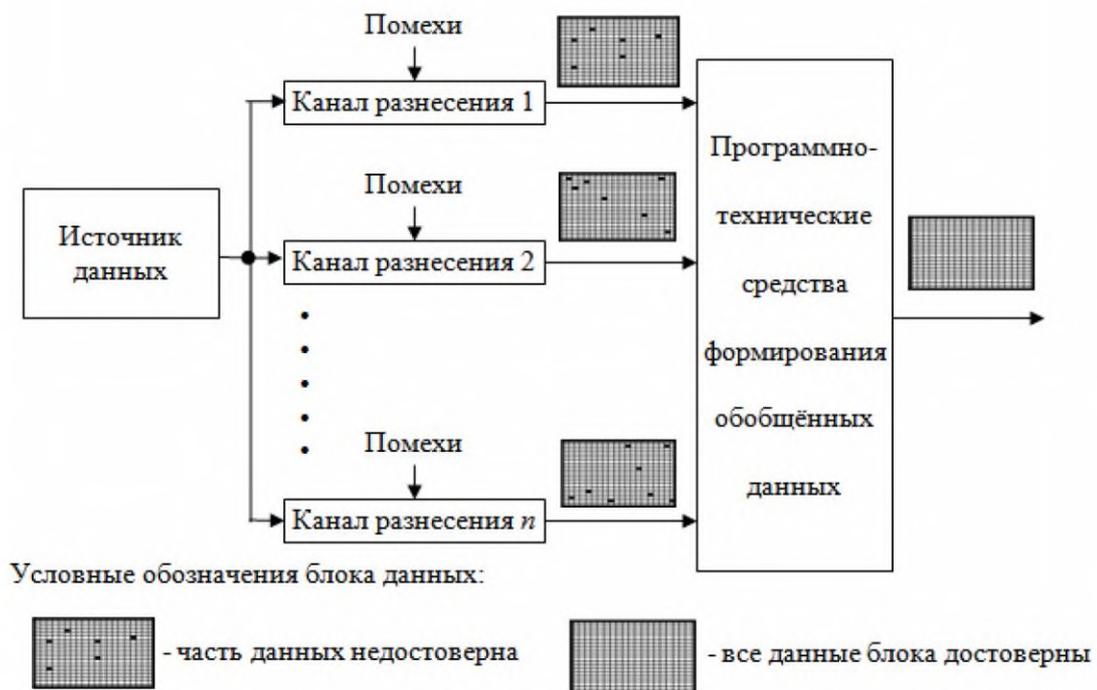
ПРИМЕЧАНИЕ — Приложение С содержит перечни информативных ссылок.

## 2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 2.1 МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ОБОБЩЕННЫХ ДАННЫХ

Сущности формирования обобщённых данных состоят в следующем.

Подготовленные для передачи по каналам связи данные размещены в блоках данных (например, во фреймах передачи). Для улучшения достоверности данных применяют каналы разнесения. От одного источника данных к получателю данные поступают разными маршрутами (по разным каналам разнесения). Если таких маршрутов (каналов разнесения)  $n$ , то получатель имеет  $n$  блоков данных, соответствующих одному и тому же переданному блоку данных. Каждый из  $n$  полученных блоков данных в разной степени искажён помехами, которые действовали в каналах разнесения. Из  $n$  поступивших блоков данных формируют один блок обобщённых данных, выбирая для этого наиболее достоверные данные (рисунок 2-1).



**Рисунок 2-1: Иллюстрация процесса формирования обобщённых данных**

В практике для получения обобщённых данных широко применяются автовыбор и мажорирование.

При автовыборе в массив обобщённых данных автоматически выбираются данные одного канала разнесения, для которого коэффициент усиления равен 1, а для остальных — 0. Особенность одной из модификаций автовыбора заключается в том, что выбор в массив обобщённых данных осуществляется поблочно. Его основное ограничение состоит в исключении возможности взаимодополнения данных блоков, поступивших из каналов разнесения, соответствующих одному и тому же переданному блоку и в разной мере искаженных помехами.

При мажорировании решение о выборе данного в массив обобщённых данных принимается голосованием, коэффициент усиления для каждого канала разнесения равен  $1/n$  (где  $n$  — количество каналов разнесения). Если, например,  $\{0,1\}$  — алфавит данных,  $n = 5$ , значения

данных трёх каналов разнесения равны 0, а остальных двух — 1, то считается переданным (выбирается в массив обобщённых данных) данное, значение которого равно 0. Его ограничением является низкая помехоустойчивость при искажении помехами данных значительного числа каналов разнесения.

В результате формирования обобщённых данных по предложенной технологии их достоверность выше, чем достоверность, обеспечиваемая автовыбором и мажорированием.

Исходные для формирования данные и сформированные обобщённые данные относятся ко второму (канальному) уровню эталонной модели взаимодействия открытых систем.

Семантические свойства этих данных (их смысловая нагрузка) не имеют значения. Например, блок может содержать данные телеметрируемых параметров космического аппарата, изображения панорамы какой-либо планеты, звуковые данные (речь, мелодия и т.д.), текстовые и т.д. Также не имеет значения структура слов, размещаемых в блоке данных.

Из поступивших по каналам разнесения блоков данных в блок обобщённых выбирают наиболее достоверные данные, выделенные из символа цифрового сигнала (это — элементарные данные). Их размер может составлять 1 бит или 2 бита (например, при применении соответственно двух- или четырёхпозиционного сигнала). Если в каждом исходном (поступившем из канала разнесения)  $m$ -битовом слове ( $m \gg 1$ ) некоторые элементарные данные недостоверны, то есть основание ожидать, что в сформированном слове недостоверных обобщённых элементарных данных не окажется.

Для получения обобщённых данных, таким образом, должно быть известно соответствие данных, поступивших из разных каналов разнесения, одному и тому же переданному данному. Необходимым условием обеспечения такого соответствия является безошибочное определение границ принимаемых блоков данных. Выполнение этого условия обеспечивается восстановлением сигналов синхронизации, искажённых помехами, действовавшими в каналах разнесения.

## **2.2 УСЛОВИЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБОБЩЕННЫХ ДАННЫХ**

### **2.2.1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАННЫХ**

Разнесение данных (сигналов, содержащих эти данные) осуществляют по поляризации радиосигнала (выделяют сигналы вертикальной и горизонтальной поляризации), по частоте (применяют несколько несущих частот, например, метрового и дециметрового диапазонов), в пространстве (осуществляют приём на разные антенны, которые размещены на некотором расстоянии друг от друга), во времени (обеспечивают повторную передачу блоков данных, например, с использованием для этого бортового запоминающего устройства).

Следует заметить, что в случае двух каналов разнесения возможности выбора наиболее достоверных данных для их последующего размещения в массиве обобщённых данных весьма ограничены (всё сведётся к автовыбору). В случае трёх каналов разнесения возможны лишь автовыбор и мажорирование. Желательно иметь 4 или 5 каналов разнесения. Кроме того, в случае устойчивого приёма предлагаемая технология становится неактуальной (впрочем, это относится и к другим способам улучшения помехоустойчивости данных). Наиболее целесообразно использовать предлагаемую технологию в случае, когда принятые по нескольким каналам разнесения данные в разной степени искажены помехами (тогда при выборе достоверных данных возможно взаимодополнение).

## 2.2.2 ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ

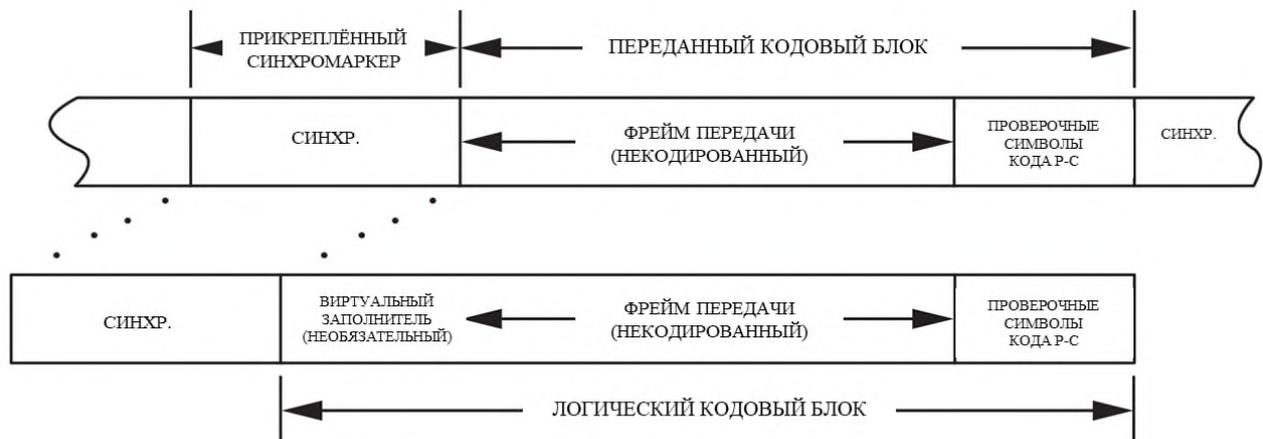
Предложенная технология формирования обобщённых данных предназначена для весьма неблагоприятных условий (когда, в частности, возможности рекомендованных CCSDS методов помехоустойчивого кодирования [1] оказываются исчерпанными), а именно:

- из-за интенсивных помех, действующих в каналах разнесения, вероятность ошибочного бита в принятых блоках данных может составлять ниже  $10^{-2}$ ;
- из-за ограниченных возможностей разнесения возможны помехи во всех каналах разнесения одновременно.

## 2.3 УСЛОВИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ БЛОКОВ ДАННЫХ, СОДЕРЖАЩИХ ФРЕЙМЫ ПЕРЕДАЧИ

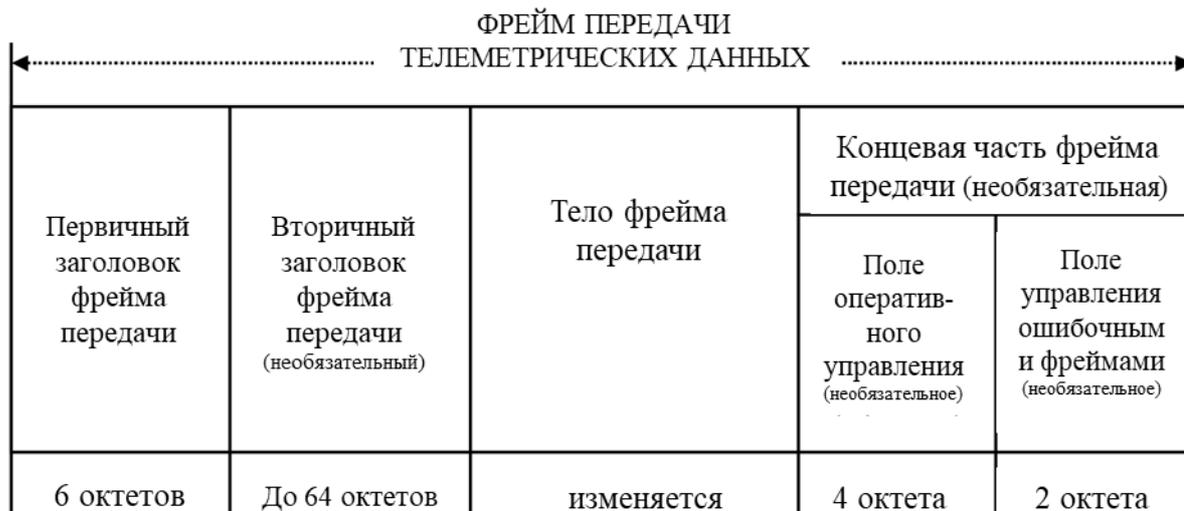
### 2.3.1 УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К СТРУКТУРАМ ДАННЫХ

Вышеупомянутыми блоками данных могут быть Фреймы Передачи, предназначенные для передачи телеметрической информации, с прикреплёнными синхромаркерами и корректирующими битами кода Рида-Соломона, показанные на рисунке 2-2 (см. рисунок 4-1 в ссылке [1]).



**Рисунок 2-2: Конкретизированный блок данных (Фрейм Передачи с прикреплённым синхромаркером и корректирующими битами кода Рида-Соломона)**

**ПРИМЕЧАНИЕ** — Сущности Фрейма Передачи описаны в главе 4 ссылки [2]. Его структура показана на рисунке 2-3 (см. рисунок 4-1 в ссылке [2]).



**Рисунок 2-3: Структура фрейма передачи телеметрических данных**

ПРИМЕЧАНИЕ — Сущности прикреплённого синхромаркера (ASM) и кодов Рида-Соломона описаны в ссылке [1], соответственно в гл. 8 и в гл. 4.

### 2.3.2 УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ, КАСАЮЩИЕСЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ

2.3.2.1 Имеются следующие возможности размещения обучающей выборки (тестовых данных) в блоке данных:

- a) по месту необязательного вторичного заголовка Фрейма Передачи (см. рисунок 2-3);
- b) биты обучающей выборки равномерно распределены в теле Фрейма Передачи (их объём, местоположение и значения априори определены).

2.3.2.2 В случае размещения обучающей выборки по месту вторичного заголовка Фрейма Передачи необходимо обратить внимание на следующее:

- a) этот способ размещения обучающей выборки позволяет использовать стандартную структуру Фрейма Передачи (см. рисунок 2-3) при условии ненужности информации, размещаемой в его вторичном заголовке;
- b) объём обучающей выборки ограничен максимальной длиной вторичного заголовка Фрейма Передачи (64 октета).

2.3.2.3 В случае размещения обучающей выборки в необязательном Поле тестовых данных Фрейма Передачи необходимо обратить внимание на следующее:

- a) биты тестовых данных должны быть априори распределены между битами поля данных Фрейма Передач (см. 3.1b) в соответствии с установленной процедурой (правилами), при этом перемежение является опциональным (см. раздел 6 ссылки [1]);
- b) по завершению формирования обобщённых данных и коррекции данных

с использованием корректирующих данных кода Рида-Соломона, перед деинкапсуляцией Фрейма Передачи, биты данных необходимо удалить из поля данных Фрейма Передачи для получения стандартного Фрейма Передачи (см. рисунок 2-3);

- с) ограничения, касающиеся выборки (количества инжектированных тестовых данных), связаны с выполнением требований, оговоренных в параграфе 3.1.d), e).

### **3 ТРЕБОВАНИЯ К ДАННЫМ**

#### **3.1. ТРЕБОВАНИЯ К СИГНАЛАМ (ДАННЫМ) ИСТОЧНИКА ДАННЫХ**

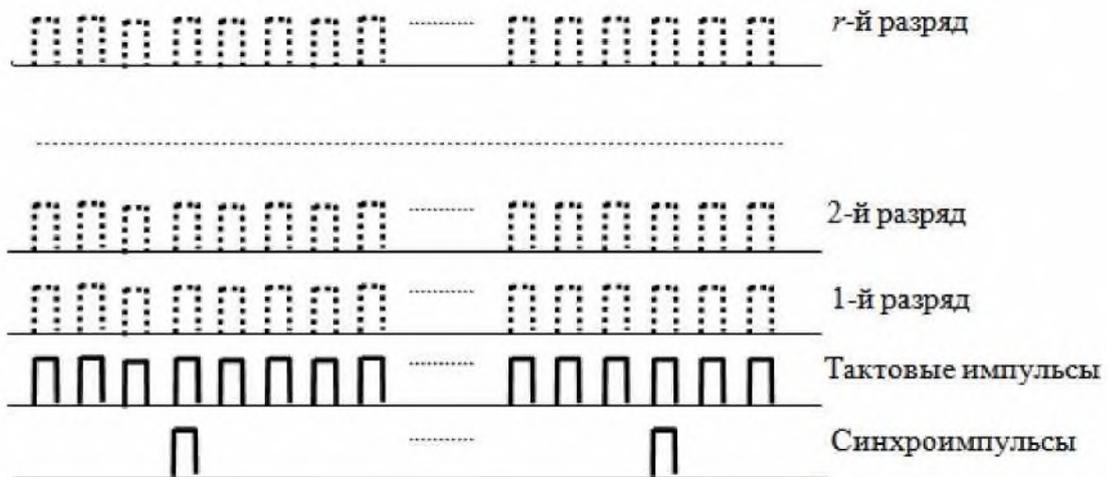
Для создания условий осуществления предложенной технологии формирования обобщённых данных необходимо выполнить требования, представленные ниже:

- a) должна быть статична и априори известна в течение всех этапов полёта длина блока данных;
- b) должны быть равномерно распределены в теле передаваемого блока данных биты обучающей выборки (тестовые данные), а также указано:
  - их местоположение;
  - их значения (чередующиеся «0» и «1», если не определена другая, априори согласованная с пользователями обучающая выборка);
- c) желательно, чтобы время на передачу блока данных находилось в пределах 100 мс;
- d) желательно, чтобы объём обучающей выборки был не менее 400 битов;
- e) желательно, чтобы соотношение объёмов всего блока данных и его обучающей выборки составляла не более 40;
- f) в течение всех фаз полёта:
  - 1) в передаваемых блоках данных должны присутствовать синхромаркеры, определяющие границы этих блоков,
  - 2) сущности этих синхромаркеров должны быть априори известны в достаточной для формирования синхросигналов наземными средствами получателя степени;
- g) желательно, чтобы выбранные методы модуляции несущей частоты обеспечивали свойства симметричности каналов разнесения (см. Приложение В1).

#### **3.2 ТРЕБОВАНИЯ К СИГНАЛАМ (ДАННЫМ), ФОРМИРУЕМЫМ НА ПРИЁМНОЙ СТОРОНЕ**

**3.2.1** Для реализации предложенного метода формирования обобщённых данных необходимо выполнить требования, оговоренные ниже.

**3.2.2** Структуры регистрируемых блоков данных, формируемых из данных, поступающих из каналов разнесения, и структуры регистрируемых блоков обобщённых данных должны быть одинаковыми и иметь вид, показанный на рисунке 3-1.



**Рисунок 3-1: Эпюры сигналов (структура данных) на выходе канала разнесения (на выходе программно-технических средств формирования обобщённых данных)**

**ПРИМЕЧАНИЕ** — Сущности элементов структуры данных показаны на рисунке 3-1:

**3.2.3** Информационные данные могут быть дополнены данными, сформированными наземными приёмными средствами (в частности, данными станционного времени); тогда для адресного разделения данных разного назначения в структуре должны быть сформированы соответствующие идентификаторы (для этого задействованы разряды  $r+1$ ,  $r+2$ , ...).

**ПРИМЕЧАНИЕ** — Могут возникать ситуации, когда биты, соответствующие показанным тактовым импульсам, неактуальны (например, при размещении этой структуры данных в памяти ПЭВМ);

**3.2.4** Синхросигналы (синхроимпульсы), которыми разделяют регистрируемые блоки данных, должны быть сформированы с использованием синхроданных, содержащихся в данных, поступивших из каналов разнесения (в частности, с использованием синхромаркера, прикреплённого на стороне источника данных к Фрейму Передачи [2]).

**ПРИМЕЧАНИЕ** — Настоящий документ не определяет способ формирования синхросигналов (синхроимпульсов) с использованием вышеупомянутых синхроданных;

**3.2.5** Достоверные синхросигналы (синхроимпульсы) по времени совпадают с последним словом регистрируемого блока данных.

## 4 МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ, СОСТАВЛЯЮЩИЕ ОСНОВУ ПРЕДЛОЖЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ

### 4.1 МЕТОД УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИНЯТЫХ БЛОКОВ ДАННЫХ

#### 4.1.1 ПРЕДЫСТОРИЯ

Синхросигналы (синхроимпульсы), которыми разделяют блоки данных, (см. рисунок 3-1) формируют с использованием обнаруженных в принятом сигнале прикрепленных синхромаркеров (см. гл. 8 в ссылке [1]). Из-за действия помех в каналах разнесения сформированные синхросигналы (синхроимпульсы) могут быть недостоверными, что означает:

- отсутствие синхросигнала ( синхроимпульса) там, где он должен быть;
- наличие ложного синхросигнала ( синхроимпульса).

Следует заметить, что применение алгоритмов получения обобщенных данных обесмысливается, если синхронизация обладает низкой помехоустойчивостью. Поэтому методы разнесённого приёма и синхронизации должны действовать «рука об руку». Отсюда целесообразность принятия дополнительных мер по улучшению качества синхронизации принятых блоков данных.

#### 4.1.2 СУЩНОСТИ МЕТОДА

##### 4.1.2.1 Последовательность реализации

**4.1.2.1.1** Блоки данных должны формироваться в виде  $r$ -разрядных сигналов в параллельном двоичном коде, сопровождаемых тактовыми импульсами, и синхроимпульсами  $M_{прм}$ , соответствующими положению маркеров (см. рисунок 3-1).

**4.1.2.1.2** Отсчет должен осуществляться от каждого выработанного синхроимпульса  $M_{прм}$ , соответствующего обнаруженному маркеру данных  $-k_1N_0, -(k_1-1)N_0, -(k_1-2)N_0, \dots, -N_0, N_0, 2N_0, \dots, (k_2-1)N_0, k_2N_0$ , а границы отсчетов должны быть отмечены соответствующими сигналами  $M_{миним}(-k_1), M_{миним}(-k_1+1), M_{миним}(-k_1+2), \dots, M_{миним}(-1), M_{миним}(1), M_{миним}(2), \dots, M_{миним}(k_2-1), M_{миним}(k_2)$  одинаковой амплитуды.

**4.1.2.1.3** Сигналы  $M_{миним}(-k_1), M_{миним}(-k_1+1), M_{миним}(-k_1+2), \dots, M_{миним}(-1), M_{миним}(1), M_{миним}(2), \dots, M_{миним}(k_2-1), M_{миним}(k_2)$  и  $M_{прм}$  должны усиливаться в соответствии с заданными коэффициентами усиления.

**4.1.2.1.4** Усиленные сигналы, соответствующие разным синхроимпульсам  $M_{прм}$ , но одинаковым моментам времени, должны объединяться таким образом, чтобы суммарная амплитуда сигнала был равна сумме амплитуд суммируемых сигналов.

**4.1.2.1.5** Каждая полученная суммарная амплитуда сигнала должна сравниваться с установленным порогом, и в случае превышения порога должен формироваться регенерированный синхроимпульс  $M_{рег}$ .

**4.1.2.1.6** Регенерированный синхроимпульс  $M_{рег}$  должен подставляться по месту соответствующего синхроимпульса  $M_{миним}$  или  $M_{нрм}$ ; синхроимпульс  $M_{нрм}$  должен быть удалён при отсутствии соответствующего ему синхроимпульса  $M_{рег}$ .

**4.1.2.1.7**  $r$ -разрядные сигналы данных, сопровождаемые тактовыми импульсами, должны группироваться в блоки с фиксированным количеством  $N_0$  данных в каждом неискажённом блоке, с разделением блоков регенерированными синхроимпульсами  $M_{рег}$ .

**ПРИМЕЧАНИЕ** — Коэффициенты усиления, порог и значения  $k_1$  и  $k_2$  должны выбираться исходя из ожидаемых искажений синхроимпульсов из-за действия помех в канале связи.

#### 4.1.2.2 Рекомендуемые параметры настроек

Для практического применения желательно выбрать следующие параметры настроек:  $k_1 = k_2 = 5$ ,  $U_{миним} = U_{нрм} = 1$ ,  $U_{порог} = 1$ , где  $U_{миним}$  ( $U_{нрм}$ ) – амплитуда сигнала  $M_{миним}$  ( $M_{нрм}$ ) в условных единицах;  $U_{порог}$  – устанавливаемый уровень порога в условных единицах.

#### 4.1.2.3 Обсуждение — пример применения данного метода

В целях данного обсуждения желательно учесть следующие условия:

- Положим, эталонным (переданным без искажения) маркерам соответствуют эталонные (принятые без искажений) синхроимпульсы  $M_{эт}(0)$ ,  $M_{эт}(N_0)$ ,  $M_{эт}(2N_0)$ , ...,  $M_{эт}(15N_0)$ , где  $iN_0$  – количество данных от начала отсчёта, соответствующее  $i$ -му синхроимпульсу  $M_{эт}$ ,  $i = 0, 1, \dots, 15$ .
- Допустим, что помехи в канале связи постепенно усиливаются, а через некоторое время постепенно ослабевают.

В результате искажений, вызванных этими помехами, синхроимпульсы  $M_{эт}(6N_0)$ ,  $M_{эт}(7N_0)$ ,  $M_{эт}(8N_0)$ ,  $M_{эт}(9N_0)$ ,  $M_{эт}(10N_0)$  отсутствуют (соответствующие маркеры из-за помех не обнаружены), и из-за ложного маркера присутствует ложный синхроимпульс  $M_{лож}(7,3 \cdot N_0)$  (рисунок 4-1).

При применении метода в описанных выше условиях  $U_{\Sigma}(6N_0) = U_{\Sigma}(7N_0) = U_{\Sigma}(8N_0) = U_{\Sigma}(9N_0) = U_{\Sigma}(10N_0) = 6$ , где  $U_{\Sigma}(iN_0)$  — результат усиленных сигналов, соответствующий позиции синхроимпульса  $M_{миним}(iN_0)$ ,  $i = 6, 7, 8, 9, 10$ . Т.к.  $U_{\Sigma}(iN_0) > U_{порог}$ ,  $i = 6, 7, 8, 9, 10$ , то будут регенерированы устройством синхроимпульсы  $M_{рег}(6N_0)$ ,  $M_{рег}(7N_0)$ ,  $M_{рег}(8N_0)$ ,  $M_{рег}(9N_0)$ ,  $M_{рег}(10N_0)$  (см. рисунок 4-1). Ложный синхроимпульс  $M_{лож}(7,3 \cdot N_0)$  порождает синхроимпульсы  $M_{миним}$ , местоположение которых соответствует  $6,3 \cdot N_0$ ,  $5,3 \cdot N_0$ ,  $4,3 \cdot N_0$ ,  $3,3 \cdot N_0$ ,  $2,3 \cdot N_0$ ,  $8,3 \cdot N_0$ ,  $9,3 \cdot N_0$ ,  $10,3 \cdot N_0$ ,  $11,3 \cdot N_0$ ,  $12,3 \cdot N_0$  текущим данным и не совпадает ни с одним из входных (искажённых) синхроимпульсов (см. рисунок 4-1). Поэтому  $U_{\Sigma}(7,3 \cdot N_0) = 1$  (т.е. условие  $U_{\Sigma}(7,3 \cdot N_0) > U_{порог}$  не выполняется). Ложный синхросигнал  $M_{лож}(7,3 \cdot N_0)$  должен быть удалён из выходной последовательности синхроимпульсов.

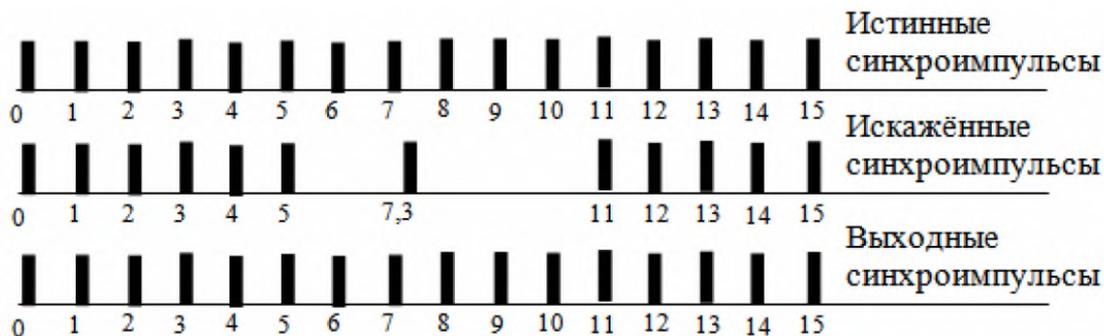


Рисунок 4-1: Пример регенерации синхроимпульсов предложенным методом

## 4.2 АЛГОРИТМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ

### 4.2.1 ПРЕДЫСТОРИЯ

Предложенный метод разработки алгоритмов получения обобщённых данных базируется на утверждении, что все возможные весовые характеристики достоверности данных каналов разнесения могут быть представлены конечным (причем, относительно небольшим) множеством  $W(1) (\{W_{ki}\}; k = 1, \dots, q; i = 1, \dots, n)$ , являющимся матрицей размером  $q \times n$  (где  $q$  — количество комбинаций значений весовых характеристик достоверности данных каналов разнесения, а  $n$  — количество каналов разнесения). Это позволяет перебором  $q$  комбинаций среди априори вычисленных характеристик достоверности  $\{W_{ki}\}$  выбрать обеспечивающую наибольшую достоверность обобщённых данных.

Множество комбинаций ВХД получают в результате решения комбинаторной задачи (в том числе с использованием средств ПЭВМ). Исходными данными для решения комбинаторной задачи являются: число каналов разнесения ( $n$ ) и позиционность ( $m$ ) применяемых сигналов (или объём алфавита выделяемых из этих сигналов данных; например,  $\{0, 1, 2, 3\}$  при  $m = 4$ ).

Если значения  $n$  и  $m$  относительно невелики, то в результате решения комбинаторной задачи получают конечное оптимальное множество комбинаций ВХД, объём которого приемлем для практического использования при получении обобщенных данных (см. Приложение А). Например,  $q = 166$  при  $n = 5$  и  $m = 4$ , т.е. размер матрицы  $5 \times 166$  (см. таблицу А-1).

Комбинация ВХД устанавливает функциональную зависимость между  $r$ -разрядными данными каналов разнесения, соответствующими одному и тому же переданному данному, и обобщённым  $r$ -разрядным данным (см. рисунок 3-1). Каждая из полученных предложенным методом комбинация ВХД устанавливает новую функциональную зависимость.

Оптимальный объём комбинаций ВХД означает, что при применении дополнительных комбинаций достоверность обобщенных  $r$ -разрядных данных не улучшится, а при исключении хотя бы одной комбинации создаются предпосылки для её ухудшения.

## 4.2.2 СУЩНОСТИ АЛГОРИТМОВ

### 4.2.2.1 Обсуждение — Описание модернизированных алгоритмов получения обобщённых данных

В рассматриваемых далее случаях под модернизированными алгоритмами получения обобщённых данных понимаются модификации алгоритмов получения обобщённых данных, описанных в настоящем документе (в частности, модификации алгоритмов А<sub>4</sub> и А<sub>42</sub>), ориентированные на мягкое решение при демодуляции.

Последовательность реализации модернизированного алгоритма формирования обобщённых данных с использованием обучающей выборки (тестовых данных), касающаяся улучшения качества синхронизации принятых блоков данных и использования тестовых данных для выбора оптимальной весовой характеристики достоверности (ВХД), аналогична описанной в разделе 4.2.2.2.

### 4.2.2.2 Последовательность реализации алгоритма формирования обобщённых данных с использованием обучающей выборки (тестовых данных)

**4.2.2.2.1** Для улучшения качества синхронизации принятых блоков данных должен использоваться метод, представленный в п.4.1.2.1.

**4.2.2.2.2** Номера  $i = 1, \dots, n$  каналов разнесения должны упорядочиваться в соответствии с  $N_{мест\_дост\_i}$ .

**ПРИМЕЧАНИЕ** —  $N_{мест\_дост\_i}$  — количество достоверных тестовых элементарных данных в блоке данных  $i$ -го канала разнесения.

**4.2.2.2.2.1** Каждому каналу разнесения должен присваиваться номер в зависимости от  $N_{мест\_дост\_i}$ ,  $i = 1, \dots, n$ .

**4.2.2.1.2.2** Правило упорядочения:  $N_{мест\_дост\_n} \geq N_{мест\_дост\_n-1} \geq \dots \geq N_{мест\_дост\_2} \geq N_{мест\_дост\_1}$ .

**4.2.2.2.3** Выбор данных каналов разнесения должен предварительно осуществляться для последующего получения обобщённых данных в соответствии с  $N_{мест\_дост\_дон}$ .

**ПРИМЕЧАНИЕ** —  $N_{мест\_дост\_дон}$  — заданное допустимое количество достоверных тестовых элементарных данных в блоке данных.

**4.2.2.2.3.1** Если  $N_{мест\_дост\_i} < N_{мест\_дост\_дон}$ , то данные  $i$ -го канала разнесения должны игнорироваться при условии, что существует хотя бы одна оценка  $N_{мест\_дост\_j}$ , причем  $N_{мест\_дост\_j} \geq N_{мест\_дост\_дон}$ ,  $i \neq j$ .

**4.2.2.2.3.2** Если  $N_{мест\_дост\_i} < N_{мест\_дост\_дон}$  для  $i = 1, \dots, n$ , то данные должны выбираться из одного ( $j$ -го) канала разнесения, для которого значение  $N_{мест\_дост\_j}$  максимально.

**4.2.2.2.3.3** Если  $N_{мест\_дост\_i} \geq N_{мест\_дост\_дон}$  для одного или двух каналов разнесения, то данные должны выбираться из одного ( $j$ -го) канала разнесения, для которого значение  $N_{мест\_дост\_j}$  максимально.

**4.2.2.2.3.4** Если  $N_{мест\_дост\_i} \geq N_{мест\_дост\_дон}$  для трёх, четырёх или пяти каналов разнесения, то данные должны выбираться из этих каналов.

**4.2.2.2.3.5** Если  $N_{мест\_дост\_i} \geq N_{мест\_дост\_дон}$  для более пяти каналов разнесения, то данные должны выбираться из пяти каналов разнесения по убыванию значений соответствующих им  $N_{мест\_дост\_i}$ .

**4.2.2.2.4** Среди множества комбинаций ВХД  $\{W_{ki}\}$  ( $k = 1, 2, \dots, q; i = 1, \dots, n'$ ) должна выбираться оптимальная комбинация  $\{W_{hi}\}$ ,  $k = h, i = 1, \dots, n$ , обеспечивающая наибольшее количество достоверных обобщённых тестовых элементарных данных в блоке данных.

**4.2.2.2.4.1** Если количество предварительно выбранных каналов  $n' = 3$ ,  $n' = 4$  или  $n' = 5$ , то вычисления должны быть основаны на ряде комбинаций ВХД, представленных в Приложении А (см. Приложения А1 и А2 соответственно для алгоритмов А4 и А42).

**4.2.2.2.4.2** Если предварительно выбран один канал, то в дальнейшем должен осуществляться автовыбор (ВХД Приложения А не должны применяться).

**4.2.2.2.4.3** Достоверность тестовых элементарных данных должна определяться путём их сравнения с соответствующими эталонными данными обучающей выборки, значения которых априори известны.

**4.2.2.2.4.4** Индексы  $k''$  в таблицах Приложения А обозначают очерёдность применения комбинаций ВХД; если для  $k$ -й,  $(k+1)$ -й, ...,  $(k+5)$ -й комбинаций ВХД количество достоверных обобщённых тестовых элементарных данных в блоке данных одинаково, то предпочтение должно отдаваться  $k$ -й комбинации ВХД.

**ПРИМЕЧАНИЕ** — Такой выбор ВХД позволяет при маловероятных ошибках, когда в тестовых данных ошибки не обнаружены, применить более результативное мажорирование, а не автовыбор.

**4.2.2.2.4.5** Значения  $W_{ke}$  для  $r$ -разрядных данных (см. рисунок 3-1), составляющих блоки элементарных данных, должны вычисляться по формуле

$$W_{ke} = \sum_{i=i_1, i_2, \dots} W_{ki}, \quad (1)$$

где  $W_{ke}$  — суммарная оценка достоверности значения  $e$  обобщённого элементарного данного, выделенного из  $m$ -позиционного сигнала, при использовании  $k$ -й комбинации ВХД;

$W_{ki}$  — весовая характеристика достоверности  $k$ -й комбинации для  $i$ -го канала разнесения;

$i_1, i_2, \dots, i_g$  — номера каналов разнесения, в которых повторилось значение  $e$  идентифицированных элементарных данных, соответствующих одному и тому же переданному элементарному данному  $m$ -позиционного сигнала;

$e$  — значение элементарного данного  $m$ -позиционного сигнала.

**4.2.2.2.4.6** Причём должны вычислять значения данных  $W_{ke}$  о суммарных оценках достоверности для каждого значения принятых тестовых данных, причём множества комбинаций ВХД (представлены в Приложении А) используют в зависимости от количества предварительно выбранных каналов  $n'$ .

**ПРИМЕЧАНИЕ** — Если, например, применяется алгоритм А4 и  $n' = 5$ , то значения ВХД желательно выбирать из таблицы А-1; для А42 и  $n' = 4$  — из таблицы А-5 и т. д.

**4.2.2.2.4.7** В случае применения четырехпозиционных сигналов возможные значения  $e$  (т.е. алфавит элементарных данных) должны быть равны 0, 1, 2 и 3, а соответствующие им оценки достоверности —  $W_{k,0}$ ,  $W_{k,1}$ ,  $W_{k,2}$ ,  $W_{k,3}$ .

**ПРИМЕЧАНИЕ** — Вычисления этих оценок пояснены примерами. Необходимые для этих вычислений (1) значения ВХД  $W_{ki}$  представлены в таблице 4-1.

Пример 1. Если  $e_1 = 0$ ,  $e_2 = 1$ ,  $e_3 = 0$ ,  $e_4 = 3$ ,  $e_5 = 0$ , (см. таблицу 4-2), где  $e_i$  — значение элементарного данного, поступающего из  $i$ -го канала разнесения), то:

$$\begin{aligned} W_{k,0} &= W_{k1} + W_{k3} + W_{k5}, \\ W_{k,1} &= W_{k2}, \\ W_{k,3} &= W_{k4}. \end{aligned}$$

Тогда для первой комбинации ВХД ( $k = 1$ , значения комбинаций — в таблице 4-1):

$$W_{1,0} = 1 + 20 + 62 = 83, W_{1,1} = 10, W_{1,3} = 30.$$

Пример 2. То же, что и в Примере 1, за исключением:  $k = 2$  (значения комбинаций — в таблице 4-1):

$$W_{2,0} = 11 + 30 + 92 = 133, W_{2,1} = 20, W_{2,3} = 40.$$

Пример 3. Если  $e_1 = 1$ ,  $e_2 = 2$ ,  $e_3 = 1$ ,  $e_4 = 2$ ,  $e_5 = 0$  (см. таблицу 4-1), то:

$$\begin{aligned} W_{k,0} &= W_{k5}, \\ W_{k,1} &= W_{k1} + W_{k3}, \\ W_{k,2} &= W_{k2} + W_{k4}. \end{aligned}$$

Тогда для первой комбинации ВХД ( $k = 1$ , значения комбинаций - в таблице 4-1):

$$W_{1,0} = 62, W_{1,1} = 1 + 20 = 21, W_{1,2} = 10 + 30 = 40.$$

**4.2.2.2.5** Среди принятых элементарных тестовых данных, соответствующих одному и тому же переданному элементарному тестовому данному, необходимо выбрать данное, значению  $e_{об\_тест\_k}$  ( $k = 1, 2, \dots, q$ ) которого соответствует максимальная суммарная оценка достоверности  $W_{ke}$  (где  $e_{об\_тест\_k}$  — обобщённое элементарное тестовое данное, полученное с использованием  $k$ -й комбинации ВХД).

**ПРИМЕЧАНИЕ** - Примеры оценок  $W_{k,0}$ ,  $W_{k,1}$ ,  $W_{k,2}$ ,  $W_{k,3}$  для некоторых комбинаций  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$ ,  $e_4$ ,  $e_5$  и комбинаций ВХД вычислены, их значения и соответствующие им значения данных для обобщённых  $r$ -разрядных данных  $e_{об}$  представлены в таблице 4-3.

Пример 1 (продолжение). Максимальное значение оценки достоверности равно 83, а оценка относится к значению позиции «0». Это означает, что  $e_{об\_мест\_1} = 0$  ( $k = 1$ ).

Пример 2 (продолжение). Максимальное значение оценки достоверности равно 133,  $e_{об\_мест\_2} = 0$  ( $k = 2$ ).

Пример 3 (продолжение). Максимальное значение оценки достоверности равно 62,  $e_{об\_мест\_1} = 0$  ( $k = 1$ ).

**4.2.2.2.5.1** Достоверные обобщённые тестовые элементарные данные должны определяться путем сравнения значений  $e_{об\_мест\_k}$  с их эталонными значениями.

**4.2.2.2.5.2** Из множеств комбинаций, представленных в таблицах Приложения А, должны быть вычислены значения  $N_{мест\_дост\_об\_k}$  для комбинаций ВХД (где  $N_{мест\_дост\_об\_k}$  — количество достоверных обобщённых элементарных тестовых данных в блоке данных, сформированном при использовании  $k$ -й комбинации ВХД).

**4.2.2.2.5.3** Среди полученных значений  $N_{мест\_дост\_об\_k}$  необходимо выбрать наибольшее и соответствующую ему комбинацию  $\{W_{hi}\}$  ВХД из множеств комбинаций, представленных в таблицах Приложения А, которая является оптимальной и используется в дальнейшем при формировании обобщённых информационных элементарных данных.

**4.2.2.2.5.4** Если  $N_{мест\_дост\_об\_k} =$  то дальнейший перебор комбинаций ВХД прекращается.

**4.2.2.2.5.5** С использованием оптимальной комбинации  $\{W_{hi}\}$  ВХД ( $k = h, i = 1, \dots, H$ ) должна быть сформирована последовательность обобщённых элементарных информационных и тестовых данных.

**4.2.2.2.5.5.1** Причём, должно быть осуществлено следующее:

- нормализация принятых  $m$ -позиционных сигналов каждого канала разнесения (см. Приложение D4), после которой слово (данное)  $e_{i\_оц}$  ( $i = 1, \dots, n$ ) может быть разграничено на элементарное данное  $e_i$  и данное  $b_{e\_i}$  оценки надёжности этого элементарного данного (см. пример формата слова  $e_{i\_оц}$  в таблице D-3)

**ПРИМЕЧАНИЕ** —  $e_{i\_оц}$  — данное, содержащее оценку надёжности принятого символа, поступившее из  $i$ -го канала разнесения.

- формирование (по алгоритму A4 или A42) последовательности обобщённых элементарных информационных и тестовых данных с использованием элементарных данных  $e_i$ , содержащихся в словах (данных)  $e_{i\_оц}$ ;
- выбор данного  $b_{e\_об}$  оценки надёжности для каждого сформированного обобщённого элементарного данного  $e_{об}$ , причём
  - выбор данного  $b_{e\_об}$  осуществляют из слов  $e_{i_1\_оц}, \dots, e_{i_h\_оц}$  каналов разнесения  $i_1, \dots, i_h$ , значения содержащихся в этих словах элементарных данных  $e_{i_1}, \dots, e_{i_h}$  совпадают со значением вышеупомянутого данного  $e_{об}$ , и эти слова соответствуют одному и тому же переданному данному и вышеупомянутому данному  $e_{об}$ ;

- выбор данного  $b_{e\_об}$  осуществляют по следующему правилу: из оценок  $b_{e\_i_1}, \dots, b_{e\_i_h}$  нужно выбрать наиболее близкую по значению к позиции  $m$ -позиционного сигнала, соответствующей значению данного  $e_{об}$ ;
- формирование слов (данных)  $e_{об\_оц}$  прикреплением к сформированному обобщённому элементарному данному  $e_{об}$  соответствующего ему выбранного данного  $b_{e\_об}$  оценки надёжности, причём
  - форматы слов (данных)  $e_{об\_оц}$  и  $e_{i\_оц}$  одинаковы;
  - формат слов (данных)  $e_{об\_оц}$  в дальнейшем может быть изменён пользователем по своему усмотрению (в зависимости от применяемой им технологии обработки этих данных).

ПРИМЕЧАНИЕ –  $e_{об\_оц}$  – обобщённое элементарное данное  $e_{об}$  с прикрепленным к нему данным  $b_{e\_об}$  оценки надёжности этого элементарного данного.

**4.2.2.2.5.2** Допускается получение элементарных данных  $e_1, \dots, e_n$  для последующих действий, ориентированных на жёсткое решение при демодуляции (в частности, ориентированных на использование немодернизированных алгоритмов  $A_4$  или  $A_{42}$ ), путём вычленения соответствующих старших разрядов из нормализованных принятых  $m$ -позиционных сигналов.

**4.2.2.2.5.3** Полученные таким образом элементарные данные  $e_1, \dots, e_n$  могут быть использованы при реализации модернизированного алгоритма формирования обобщённых данных в части, касающейся улучшения качества синхронизации принятых блоков данных (раздел 4.1.2.1) и использования тестовых данных для выбора оптимальной ВХД (раздел 4.2.2.2).

**4.2.2.2.5.6** Обобщённые информационные элементарные данные  $e_{об\_h}$  (где  $e_{об\_h}$  — обобщённое элементарное данное, полученное с использованием оптимальной  $h$ -й комбинации  $\{W_{hi}\}$  ВХД) должны формироваться аналогично формированию  $e_{об\_тест\_h}$  (см. п. 4.2.2.2.5). В сформированных выходных данных содержатся как информационные, так и тестовые обобщённые элементарные данные.

**Таблица 4-1: Значения весовых характеристик достоверности  $W_{ki}$  для  $n = 5, m = 4$**

$k$	$W_{k1}$	$W_{k2}$	$W_{k3}$	$W_{k4}$	$W_{k5}$
1	1	10	20	30	62
2	11	20	30	40	92
3	11	20	30	40	82
.....	.....	.....	.....	.....	.....
165	51	80	90	100	112
166	41	60	70	80	82

**Таблица 4-2: Примеры вычислений оценок достоверности  $W_{ke}$ , зависящих от значений  $e_i, i = 1, 2, \dots, n$ , поступивших из каналов разнесения сигналов, для  $n = 5, m = 4$**

$e_i, i =$					$W_{k_0}$	$W_{k_1}$	$W_{k_2}$	$W_{k_3}$
1	2	3	4	5				
0	1	0	3	0	$W_{k1} + W_{k3} + W_{k5}$	$W_{k2}$	-	$W_{k4}$
1	2	1	2	0	$W_{k5}$	$W_{k1} + W_{k3}$	$W_{k2} + W_{k4}$	-
3	3	3	3	1	-	$W_{k5}$	-	$W_{k1} + W_{k2} + W_{k3} + W_{k4}$
...	...	...	...	...	.....	.....	.....	.....

**Таблица 4-3: Примеры получения обобщенных сигналов  $e_{об}$  из  $e_i, i = 1, 2, \dots, n$ , поступивших из каналов разнесения сигналов, при  $n = 5, m = 4$  для  $k = 1, 2, \dots, 166$**

$e_i, i =$					$k$	$W_{k_0}$	$W_{k_1}$	$W_{k_2}$	$W_{k_3}$	$E_{cor}$
1	2	3	4	5						
0	1	0	3	0	1	83	10	-	30	0
					2	133	20	-	40	0
					3	123	20	-	40	0
					....	....	....	....	....	....
					165	253	80	-	100	0
					166	193	60	-	80	0
1	2	1	2	0	1	62	21	40	-	0
					2	92	41	60	-	0
					3	82	41	60	-	0
					....	....	....	....	....	....
					165	112	141	180	-	2
					166	82	111	140	-	2
3	3	3	3	1	1	-	62	-	61	1
					2	-	92	-	101	3
					3	-	82	-	101	3
					....	....	....	....	....	....
					165	-	112	-	321	3
					166	-	82	-	251	3

**4.2.2.2.6** Желательно, если применялись методы помехоустойчивого кодирования (например, метод Рида-Соломона [1]), осуществлять сначала формирование обобщенных данных, а затем декодирование обобщенных данных (см. обоснование в Приложении В 2.1).

**4.2.2.2.7** В Приложении В 2.3 представлены результаты применения алгоритма  $A_4$  при  $N_{\text{тест\_дост\_доп}} = 400$ ,  $N_{\text{тест\_дост\_j\_max}} = 640$ , наглядно показывающие его возможности (где  $N_{\text{тест\_дост\_j\_max}}$  — максимальное количество достоверных элементарных тестовых 2-х битовых данных в блоке данных, или количество элементарных тестовых данных в блоке данных).

## 5 КРИТЕРИИ И МЕТОДИКИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРЕДЛОЖЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ

### 5.1 КРИТЕРИИ И МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ АЛГОРИТМОВ УЛУЧШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ

#### 5.1.1 КРИТЕРИИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ АЛГОРИТМОВ УЛУЧШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ

**5.1.1.1** Для оценивания исправляющих возможностей исследуемого (испытываемого) алгоритма  $A_i$ , по сравнению с выбранными базовыми алгоритмами  $A_d, A_{j2}, \dots, A_{jr}$ , используются следующие критерии:

а) сравнительная характеристика  $\gamma$  у количества ошибок в обобщённом блоке данных:

$$\gamma(s) = \frac{(\min\{N_{j1}(s), N_{j2}(s), \dots, N_{jr}(s)\} - N_i(s)) \cdot 100}{\min\{N_{j1}(s), N_{j2}(s), \dots, N_{jr}(s), N_i(s)\} + \frac{1}{8} \min\{N_{j1}(s_M), N_{j2}(s_M), \dots, N_{jr}(s_M)\}}, \quad (2)$$

где

$N_i(s), N_{jh}(s)$  — количество ошибок в анализируемом обобщённом блоке данных, сформированном в результате применения алгоритма  $A_i$  и  $A_{jh}$  ( $h = 1, 2, \dots, r$ ), соответственно;

$s$  — состояние помеховой обстановки;

$s_M$  — самое неблагоприятное из рассматриваемых состояние помеховой обстановки;

$\min\{N_1, N_2, \dots, N_m\}$  — минимальное значение среди  $N_1, N_2, \dots, N_m$ ;

б) балльные оценки достоверности  $E_i$ , вычисленные с использованием характеристик  $\gamma(s)$ :

$$\begin{aligned} E_i(s) &= 1, \gamma(s) \geq \gamma_z, \\ E_i(s) &= 0, -\gamma_z < \gamma(s) < \gamma_z, \\ E_i(s) &= -1, \gamma(s) \leq -\gamma_z, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\gamma_z$  — заданное допустимое значение сравнительной характеристики количества ошибок в обобщённом массиве.

**5.1.1.2** Желательно использовать  $\gamma_z = 15$  (3).

**5.1.1.3** Желательно работу исследуемого алгоритма  $A_i$  в состоянии  $s$  помеховой обстановки оценивать одним из трёх возможных значений  $E_i$  (3):

- a)  $E_i = 1$  («лучше базовых алгоритмов»),
- b)  $E_i = 0$  («примерно так же, как и базовые алгоритмы») и
- c)  $E_i = -1$  («хуже базовых алгоритмов»).

**5.1.1.4** Желательно в случае испытания алгоритма  $A_i$  в фиксированных состояниях помеховой обстановки обеспечить необходимое условие правомерности распространения результатов оценивания на весь диапазон изменения помеховых условий — прогнозируемость оценок при переходе из одного состояния помеховой обстановки в другое. Это условие может быть выполнено при определённом моделировании и выборе состояний помеховой обстановки для анализа:

$$N_i(s_q) \leq N_i(s_p), \quad q < p. \quad (4)$$

**5.1.1.5** Желательно (при выполнении условия (4)) использовать (аналогично разд. 5.1.1.1) следующие критерии:

- a) сравнительная характеристика  $\gamma$  количества ошибок в обобщённом блоке данных при переходе из одного состояния помеховой обстановки  $s_q$  в другое  $s_p$ ; используют преобразованную формулу (2):

$$\gamma(s_q, s_p) = \frac{(\min\{N_{j_1}(s_q), N_{j_2}(s_q), \dots, N_{j_r}(s_q)\} - N_i(s_p)) \cdot 100}{\min\{N_{j_1}(s_q), N_{j_2}(s_q), \dots, N_{j_r}(s_q), N_i(s_p)\} + \frac{1}{8} \min\{N_{j_1}(s_M), N_{j_2}(s_M), \dots, N_{j_r}(s_M)\}}, \quad (5)$$

где  $s_q, s_p$  — состояния помеховой обстановки, относящиеся к базовым ( $A_{j_1}, A_{j_2}, \dots, A_{j_r}$ ) и испытываемому ( $A_i$ ) алгоритмам соответственно;

- b) балльные оценки достоверности  $E_i(s_q, s_p)$ , вычисленные с использованием характеристик  $\gamma(s_q, s_p)$  (4):

$$E_i(s_q, s_p) = 1 \text{ при } \gamma(s_q, s_p) \geq \gamma_z, \quad (6)$$

$$E_i(s_q, s_p) = 0 \text{ при } -\gamma_z < \gamma(s_q, s_p) < \gamma_z,$$

$$E_i(s_q, s_p) = -1 \text{ при } \gamma(s_q, s_p) \leq -\gamma_z,$$

**5.1.1.6** Желательно, чтобы балльные оценки достоверности  $E_i(s_q, s_p)$  вычислялись аналогично оценкам  $E_i(s)$  (3). При этом возможны следующие заключения:

если  $E(s_q, s_p) = 1$ , причём  $E(s_q) = 1, E(s_p) = 1$ , то при переходе помеховой обстановки из состояния  $s_q$  в состояние  $s_p$  исследуемый алгоритм  $A_i$  работает эффективно;

если  $E(s_q, s_p) = 0$ , причём  $E(s_q) \geq 0, E(s_p) \geq 0$ , то при переходе помеховой обстановки из состояния  $s_q$  в состояние  $s_p$  исследуемый алгоритм  $A_i$  работает не хуже, чем базовые;

если  $E(s_q) = -1$  или (и)  $E(s_p) = -1$ , то при переходе помеховой обстановки из состояния  $s_q$  в состояние  $s_p$  исследуемый алгоритм  $A_i$  работает неэффективно.

**ПРИМЕЧАНИЕ** — В перечисленных случаях качество прогнозируемо, причём из возможных вариантов его изменения выбраны худшие.  
 Если же  $E(s_q, s_p) = -1$ , причём  $E(s_q) \geq 0$ ,  $E(s_p) \geq 0$ , то при переходе помеховой обстановки из состояния  $s_q$  в состояние  $s_p$  качество исследуемого алгоритма  $A_i$  не прогнозируется — констатируется факт неопределённости оценок эффективности из-за грубости модели источника ошибок в каналах разнесения или (и) необъективного выбора значения  $\gamma_z$ .

## 5.1.2 МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОБЩЕННЫХ ДАННЫХ

### 5.1.2.1 Исходные данные для разработки модели:

5.1.2.1.1 Объём элементарного данного — 2 бита.

5.1.2.1.2 Объём обучающей выборки (блока данных) — 640 элементарных данных.

5.1.2.1.3 Количество исходных блоков данных, составленных с учётом особенностей воздействия помех на четырёхпозиционные сигналы, — 30.

### 5.1.2.2 Сущности модели

5.1.2.2.1 Для минимизации объёма имитируемых состояний помеховой обстановки устанавливается число помех, которыми поражены блоки данных каналов разнесения.

5.1.2.2.2 Вводится (для краткости) понятие «интенсивность помех в  $i$ -м канале разнесения» ( $u_i$ ), всего 6 уровней ( $u_{i \max} = 6$ ).

**ПРИМЕЧАНИЕ** — При  $u = 1$  исходный блок данных поражен 16-ю помехами, при  $u = 2$  — 32-мя, при  $u = 3$  — 64-мя, при  $u = 4$  — 128-ю, при  $u = 5$  — 256-ю и при  $u = 6$  все (640) данные подвержены действию помех. Из-за асимметричности имитируемых каналов в блоке данных, подвергшемся действию 16-ти помех, содержится 12 ошибок, 32-х помех — 24 ошибки и т. д. до 480 ошибок при полном поражении всех (640) данных помехами.

5.1.2.2.3 Каждому уровню интенсивности соответствует определённая вероятность ошибки:

$$\begin{aligned}
 P_{ош}(u = 1) &= 0,01875 , \\
 P_{ош}(u = 2) &= 0,03750 , \\
 P_{ош}(u = 3) &= 0,07500 , \\
 P_{ош}(u = 4) &= 0,15000 , \\
 P_{ош}(u = 5) &= 0,30000 , \\
 P_{ош}(u = 6) &= 0,75000 .
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

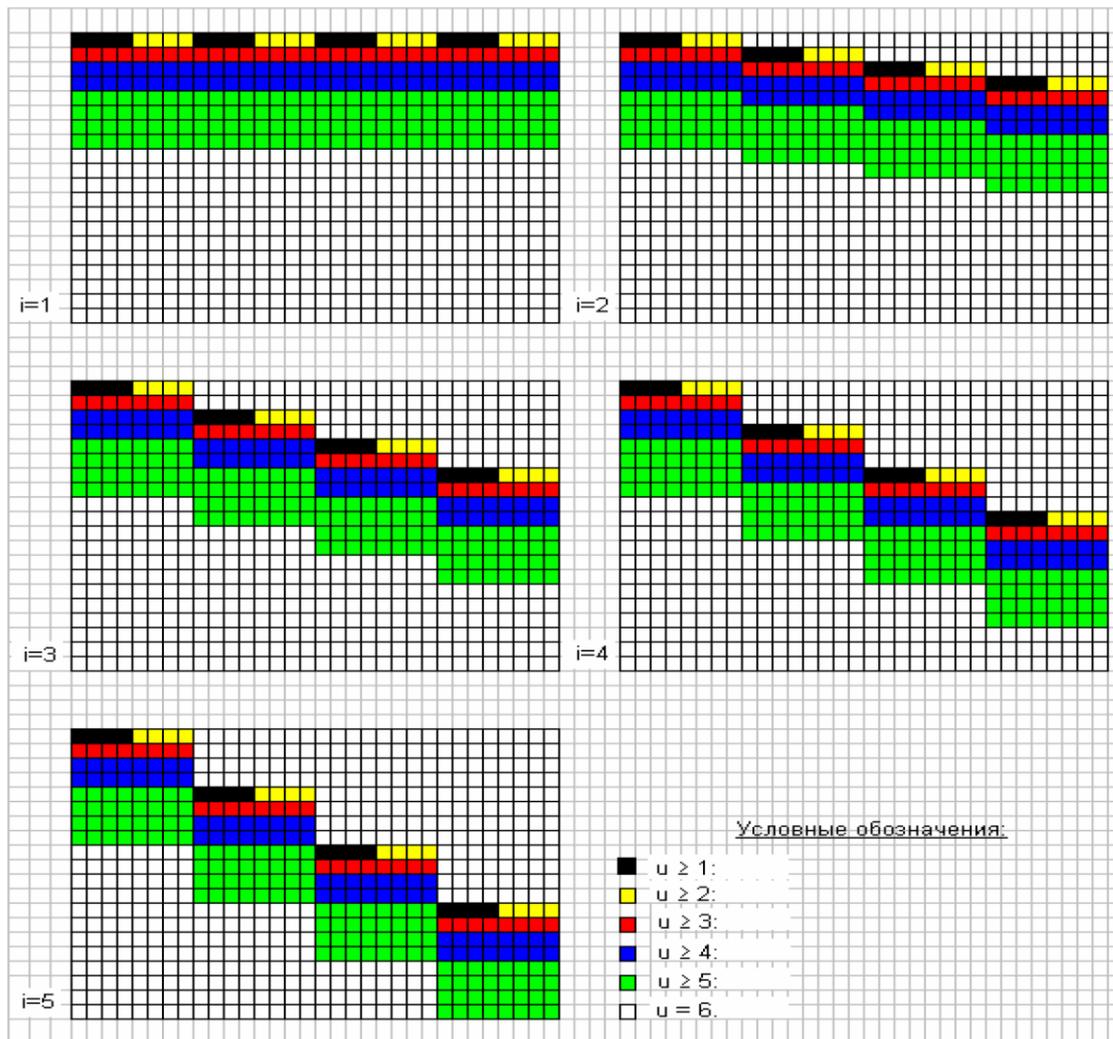
**ПРИМЕЧАНИЕ** — Размещение данных, поражённых помехами, в принятых блоках данных (рисунок 5-1) позволяет имитировать сильную зависимость помех в каналах разнесения. При этом характер зависимости помех не меняется, что важно для обеспечения сопоставимости оценок, полученных для различных состояний помеховой обстановки, (для обеспечения правомерности действий в соответствии с разд. 5.1.1.4, 5.1.1.5 и 5.1.1.6).

**5.1.2.2.4** Разработанная модель источника ошибок в каналах разнесения включает в себя 30 исходных блоков данных, составленных с учётом особенностей воздействия помех на четырёхпозиционные сигналы.

### 5.1.2.3 Обсуждение

С точки зрения результатов не имеет значения соответствие уровней интенсивности помех конкретным номерам каналов разнесения (т.е.  $u_1 = 4$  или  $u_3 = 4$  при интенсивности помех в остальных каналах разнесения равной 1 — неважно). Поэтому объём имитируемых состояний сокращен до 251-го ( $s_{max} = 251$ ) без ухудшения качества анализа.

Отличительной особенностью модели является комбинирование блоков данных (см. рисунок 5-1) и имитация состояний помеховой обстановки (таблица 5-1), позволяющие построить граф (рисунок 5-2) с учётом выполнения условия (4) и при очевидном ухудшении помеховой обстановки. Например, при  $s_q = 5$  и  $s_p = 6$  очевиден факт ухудшения помеховой обстановки (интенсивность помех в 5-м канале возрастает с 5-ти до 6-ти, интенсивность помех в остальных каналах не меняется), а при  $s_q = 5$  и  $s_p = 7$  — неочевиден (т.к. в 4-м канале интенсивность помех возросла с 1 до 2-х, а в 5-м канале снизилась с 5-ти до 2-х). При строгом подходе такое утверждение не всегда правомерно, т. к. не учитывает особенности работы алгоритма, изменения зависимости помех в каналах разнесения. Однако в анализируемых условиях оно в основном соответствует действительности. Вершины графа соответствуют состояниям  $s$ , а наличие рёбер между вершинами свидетельствует об ухудшении помеховой обстановки при плавном переходе из одного состояния в другое (4).



**Рисунок 5.1: Иллюстрация принятых блоков данных, подверженных воздействию помех, имитируемых моделью**

**Таблица 5.1: Принятые блоки данных, подверженные воздействию помех, имитируемых моделью**

S	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	u <sub>3</sub>	u <sub>4</sub>	u <sub>5</sub>	S	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	u <sub>3</sub>	u <sub>4</sub>	u <sub>5</sub>	S	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	u <sub>3</sub>	u <sub>4</sub>	u <sub>5</sub>	S	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	u <sub>3</sub>	u <sub>4</sub>	u <sub>5</sub>	S	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	u <sub>3</sub>	u <sub>4</sub>	u <sub>5</sub>
1	1	1	1	1	1	51	1	1	4	5	6	101	1	3	3	6	6	151	2	2	3	6	6	201	3	3	3	4	4
2	1	1	1	1	2	52	1	1	4	6	6	102	1	3	4	4	4	152	2	2	4	4	4	202	3	3	3	4	5
3	1	1	1	1	3	53	1	1	5	5	5	103	1	3	4	4	5	153	2	2	4	4	5	203	3	3	3	4	6
4	1	1	1	1	4	54	1	1	5	5	6	104	1	3	4	4	6	154	2	2	4	4	6	204	3	3	3	5	5
5	1	1	1	1	5	55	1	1	5	6	6	105	1	3	4	5	5	155	2	2	4	5	5	205	3	3	3	5	6
6	1	1	1	1	6	56	1	1	6	6	6	106	1	3	4	5	6	156	2	2	4	5	6	206	3	3	3	6	6
7	1	1	1	2	2	57	1	2	2	2	2	107	1	3	4	6	6	157	2	2	4	6	6	207	3	3	4	4	4
8	1	1	1	2	3	58	1	2	2	2	3	108	1	3	5	5	5	158	2	2	5	5	5	208	3	3	4	4	5
9	1	1	1	2	4	59	1	2	2	2	4	109	1	3	5	5	6	159	2	2	5	5	6	209	3	3	4	4	6
10	1	1	1	2	5	60	1	2	2	2	5	110	1	3	5	6	6	160	2	2	5	6	6	210	3	3	4	5	5
11	1	1	1	2	6	61	1	2	2	2	6	111	1	3	6	6	6	161	2	2	6	6	6	211	3	3	4	5	6
12	1	1	1	3	3	62	1	2	2	3	3	112	1	4	4	4	4	162	2	3	3	3	3	212	3	3	4	6	6
13	1	1	1	3	4	63	1	2	2	3	4	113	1	4	4	4	5	163	2	3	3	3	4	213	3	3	5	5	5
14	1	1	1	3	5	64	1	2	2	3	5	114	1	4	4	4	6	164	2	3	3	3	5	214	3	3	5	5	6
15	1	1	1	3	6	65	1	2	2	3	6	115	1	4	4	5	5	165	2	3	3	3	6	215	3	3	5	6	6
16	1	1	1	4	4	66	1	2	2	4	4	116	1	4	4	5	6	166	2	3	3	4	4	216	3	3	6	6	6
17	1	1	1	4	5	67	1	2	2	4	5	117	1	4	4	6	6	167	2	3	3	4	5	217	3	4	4	4	4
18	1	1	1	4	6	68	1	2	2	4	6	118	1	4	5	5	5	168	2	3	3	4	6	218	3	4	4	4	5
19	1	1	1	5	5	69	1	2	2	5	5	119	1	4	5	5	6	169	2	3	3	5	5	219	3	4	4	4	6
20	1	1	1	5	6	70	1	2	2	5	6	120	1	4	5	6	6	170	2	3	3	5	6	220	3	4	4	5	5
21	1	1	1	6	6	71	1	2	2	6	6	121	1	4	6	6	6	171	2	3	3	6	6	221	3	4	4	5	6
22	1	1	2	2	2	72	1	2	3	3	3	122	1	5	5	5	5	172	2	3	4	4	4	222	3	4	4	6	6
23	1	1	2	2	3	73	1	2	3	3	4	123	1	5	5	5	6	173	2	3	4	4	5	223	3	4	5	5	5
24	1	1	2	2	4	74	1	2	3	3	5	124	1	5	5	6	6	174	2	3	4	4	6	224	3	4	5	5	6
25	1	1	2	2	5	75	1	2	3	3	6	125	1	5	6	6	6	175	2	3	4	5	5	225	3	4	5	6	6
26	1	1	2	2	6	76	1	2	3	4	4	126	1	6	6	6	6	176	2	3	4	5	6	226	3	4	6	6	6
27	1	1	2	3	3	77	1	2	3	4	5	127	2	2	2	2	2	177	2	3	4	6	6	227	3	5	5	5	5
28	1	1	2	3	4	78	1	2	3	4	6	128	2	2	2	2	3	178	2	3	5	5	5	228	3	5	5	5	6
29	1	1	2	3	5	79	1	2	3	5	5	129	2	2	2	2	4	179	2	3	5	5	6	229	3	5	5	6	6
30	1	1	2	3	6	80	1	2	3	5	6	130	2	2	2	2	5	180	2	3	5	6	6	230	3	5	6	6	6
31	1	1	2	4	4	81	1	2	3	6	6	131	2	2	2	2	6	181	2	3	6	6	6	231	3	6	6	6	6
32	1	1	2	4	5	82	1	2	4	4	4	132	2	2	2	3	3	182	2	4	4	4	4	232	4	4	4	4	4
33	1	1	2	4	6	83	1	2	4	4	5	133	2	2	2	3	4	183	2	4	4	4	5	233	4	4	4	4	5
34	1	1	2	5	5	84	1	2	4	4	6	134	2	2	2	3	5	184	2	4	4	4	6	234	4	4	4	4	6
35	1	1	2	5	6	85	1	2	4	5	5	135	2	2	2	3	6	185	2	4	4	5	5	235	4	4	4	5	5
36	1	1	2	6	6	86	1	2	4	5	6	136	2	2	2	4	4	186	2	4	4	5	6	236	4	4	4	5	6
37	1	1	3	3	3	87	1	2	4	6	6	137	2	2	2	4	5	187	2	4	4	6	6	237	4	4	4	6	6
38	1	1	3	3	4	88	1	2	5	5	5	138	2	2	2	4	6	188	2	4	5	5	5	238	4	4	5	5	5
39	1	1	3	3	5	89	1	2	5	5	6	139	2	2	2	5	5	189	2	4	5	5	6	239	4	4	5	5	6
40	1	1	3	3	6	90	1	2	5	6	6	140	2	2	2	5	6	190	2	4	5	6	6	240	4	4	5	6	6
41	1	1	3	4	4	91	1	2	6	6	6	141	2	2	2	6	6	191	2	4	6	6	6	241	4	4	6	6	6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКАЦИЯ CCSDS. ФОРМИРОВАНИЕ ОБОБЩЕННЫХ ДАННЫХ

<i>S</i>	<i>u<sub>1</sub></i>	<i>u<sub>2</sub></i>	<i>u<sub>3</sub></i>	<i>u<sub>4</sub></i>	<i>u<sub>5</sub></i>	<i>S</i>	<i>u<sub>1</sub></i>	<i>u<sub>2</sub></i>	<i>u<sub>3</sub></i>	<i>u<sub>4</sub></i>	<i>u<sub>5</sub></i>	<i>S</i>	<i>u<sub>1</sub></i>	<i>u<sub>2</sub></i>	<i>u<sub>3</sub></i>	<i>u<sub>4</sub></i>	<i>u<sub>5</sub></i>	<i>S</i>	<i>u<sub>1</sub></i>	<i>u<sub>2</sub></i>	<i>u<sub>3</sub></i>	<i>u<sub>4</sub></i>	<i>u<sub>5</sub></i>	<i>S</i>	<i>u<sub>1</sub></i>	<i>u<sub>2</sub></i>	<i>u<sub>3</sub></i>	<i>u<sub>4</sub></i>	<i>u<sub>5</sub></i>
42	1	1	3	4	5	92	1	3	3	3	3	142	2	2	3	3	3	192	2	5	5	5	5	242	4	5	5	5	5
43	1	1	3	4	6	93	1	3	3	3	4	143	2	2	3	3	4	193	2	5	5	5	6	243	4	5	5	5	6
44	1	1	3	5	5	94	1	3	3	3	5	144	2	2	3	3	5	194	2	5	5	6	6	244	4	5	5	6	6
45	1	1	3	5	6	95	1	3	3	3	6	145	2	2	3	3	6	195	2	5	6	6	6	245	4	5	6	6	6
46	1	1	3	6	6	96	1	3	3	4	4	146	2	2	3	4	4	196	2	6	6	6	6	246	4	6	6	6	6
47	1	1	4	4	4	97	1	3	3	4	5	147	2	2	3	4	5	197	3	3	3	3	3	247	5	5	5	5	5
48	1	1	4	4	5	98	1	3	3	4	6	148	2	2	3	4	6	198	3	3	3	3	4	248	5	5	5	5	6
49	1	1	4	4	6	99	1	3	3	5	5	149	2	2	3	5	5	199	3	3	3	3	5	249	5	5	5	6	6
50	1	1	4	5	5	100	1	3	3	5	6	150	2	2	3	5	6	200	3	3	3	3	6	250	5	5	6	6	6
																								251	5	6	6	6	6

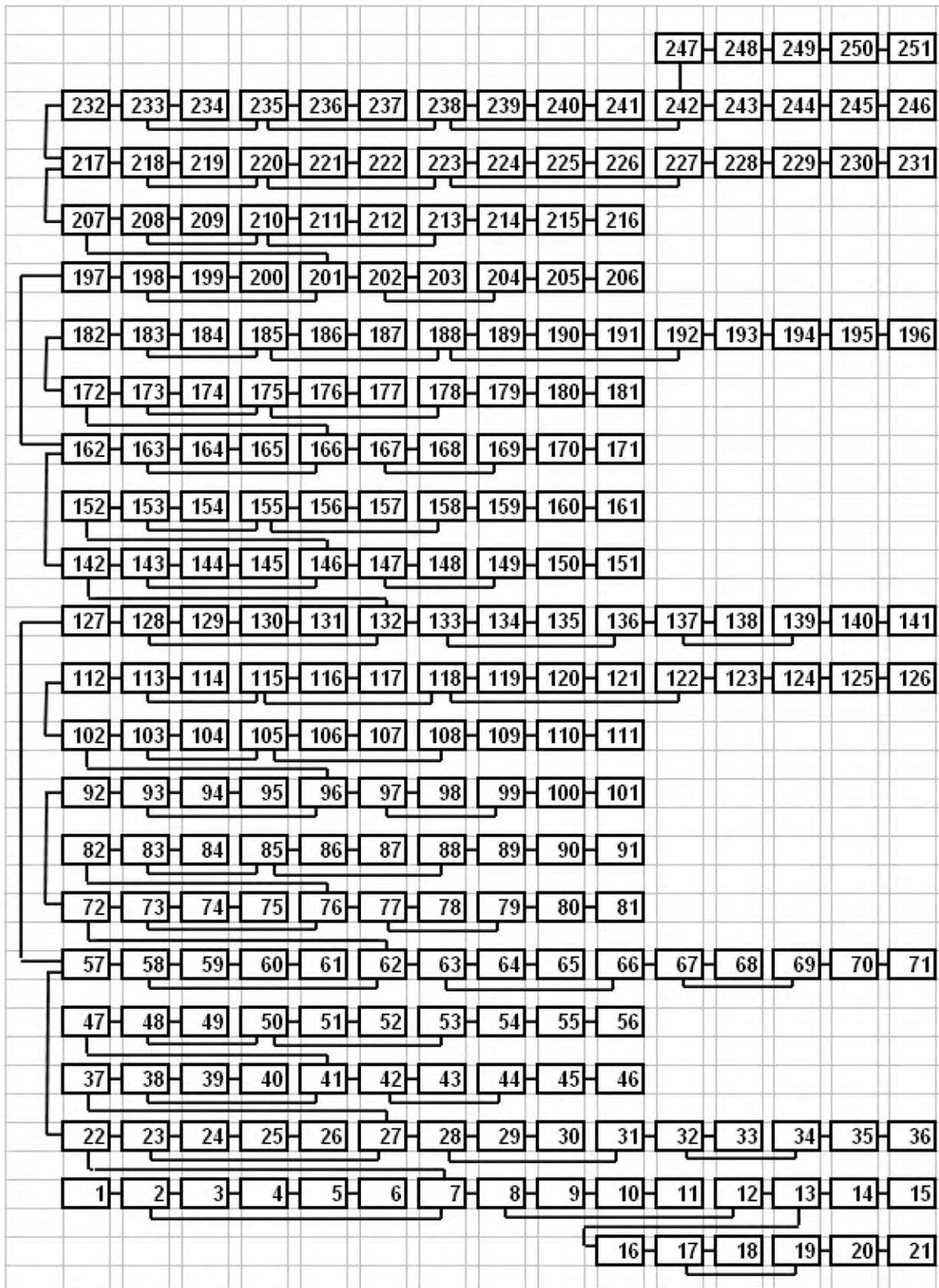


Рисунок 5.2: Граф-схема моделируемых состояний помеховой обстановки

#### 5.1.2.4 Критерии точности модели

##### 5.1.2.4.1 Общее

Для доказательства правомерности распространения полученных оценок эффективности работы испытуемого алгоритма в фиксированных состояниях помеховой обстановки на весь диапазон изменяющихся условий помеховой обстановки желательно вычислить вероятность  $P_\partial$  прогнозируемых переходов из одного состояния помеховой обстановки в другое (см. с разд. 5.1.1.4, 5.1.1.5 и 5.1.1.6) по формуле

$$P_\partial = N_{ож}/N_{общ} , \quad (8)$$

где  $N_{ож}$  — количество прогнозируемых переходов из одного состояния помеховой обстановки в другое (худшее состояние);

$N_{общ}$  — общее количество анализируемых переходов из одного состояния помеховой обстановки в другое (худшее состояние).

##### 5.1.2.4.2 Обсуждение

Считается, если  $P_\partial$  равно 0,73–0,80, то выбор  $U_{max}$ ,  $S_{max}$  и  $\gamma_z$  обеспечивает относительную достоверность полученных результатов.

Малое значение вероятности  $P_\partial$  ( $P_\partial < 0,73$ ) говорит о грубости применённой модели. Если  $P_\partial = 1$ , то модель излишне точна (сложна). Отсюда следует, что при

$$0,73 < P_\partial < 1 \quad (9)$$

обеспечивается высокая достоверность результатов оценивания эффективности алгоритмов и

## 5.2 МЕТОДИКИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРЕДЛОЖЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ

### 5.2.1 МЕТОДИКА СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ АЛГОРИТМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ

**5.2.1.1** Для сравнения результатов применения алгоритмов получения обобщённых данных с целью выбора наиболее результативных желательно иметь соответствующую методику. Для осуществления этой методики выполняют следующие действия.

- a) Выбирают базовые алгоритмы  $A_{j1}$ ,  $A_{j2}$ , ...,  $A_{jr}$  для испытуемого алгоритма  $A_j$ .
- b) Разрабатывают (выбирают) модель источника ошибок в каналах разнесения (блоки данных, характеристики состояний помеховой обстановки и граф, аналогичные представленным на рисунке 5-1, в таблице 5-1 и на рисунке 5-2). Применяют (выбирают) модель, параметры которой представлены на рисунке 5-1, в таблице 5-1 и на рисунке 5-2, если они совпадают с параметрами требуемой модели.

- с) Имитируют состояния помеховой обстановки комбинированием блоков данных (используют блоки данных и характеристики состояний помеховой обстановки, полученные в соответствии с п. б), аналогично представленным на рисунке 5-1 и в таблице 5-1).
- д) Подсчитывают число недостоверных тестовых данных в блоках обобщённых данных, полученных с применением базовых  $A_{j1}, A_{j2}, \dots, A_{jr}$  и испытуемого  $A_i$  алгоритмов (комбинирование исходных блоков данных осуществлено в соответствии с характеристиками состояний помеховой обстановки, аналогично представленным в таблице 5-1).
- е) Вычисляют сравнительные характеристики ошибок ( $\gamma$ ), подсчитанных в соответствии с п. д) по формуле (5). При вычислении сравнительных характеристик ошибок  $\gamma(s_q, s_p)$  состояния помеховой обстановки  $s_q$  и  $s_p$  выбирают, исходя из условия (4) и в соответствии с графом, аналог которого представлен на рисунке 5-2.
- ф) Вычисляют балльные оценки ( $E$ ) достоверности данных по формуле (3) или (6) (в зависимости от цели применения методики). При получении оценок  $E(s_q, s_p)$  (в случае использования формулы (6)) оценивают по ним точность (правомерность применения) модели источника ошибок в каналах разнесения, разработанной в соответствии с п. б) (9).
- г) Анализируют полученные в соответствии с п. ф) балльные оценки ( $E$ ) достоверности данных с целью вычисления общего показателя достоверности, характеризующего испытуемый алгоритм  $A_i$  по обеспечиваемой им достоверности обобщённых данных таким образом: «лучше», «хуже» или «примерно одинаково», по сравнению с базовыми алгоритмами  $A_{j1}, A_{j2}, \dots, A_{jr}$ .

**5.2.1.2** Результаты применения методики представлены в Приложении В3.1 (испытуемый алгоритм —  $A_4$ , базовые алгоритмы — автовыбор  $A_a$  и мажорирование  $A_m$ ).

## **5.2.2 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ПРИЁМНО-РЕГИСТРИРУЮЩИХ СТАНЦИЙ (КАНАЛОВ РАЗНЕСЕНИЯ)**

**5.2.2.1** Зачастую состав каналов разнесения, обеспечивающий высокую достоверность данных при его относительной малочисленности, неочевиден. Поэтому актуальна задача определения рационального состава каналов разнесения (см. Приложение В3.2). Для её решения желательно иметь методику, представленную в разд. 5.2.2.2.

**5.2.2.2** Для осуществления методики выполняют следующие действия:

- а) Определяют варианты задействования приёмно-регистрирующих станций (ПРС) для последующего их оценивания. Причём множество ПРС каждого определённого варианта разнесения ( $S_{ан-1}, \dots, S_{ан-m}$ ) является подмножеством базового ( $S_6$ ) варианта (т. е.  $S_{ан-r} \subset S_6, r = 1, \dots, m$ ). Базовый вариант  $S_6$  включает в себя ПРС всех каналов разнесения.

- b) Сопоставляют достоверность обобщённых данных, полученных с использованием ПРС базового варианта ( $S_0$ ) и вариантов, определённых в п. а) ( $S_{an_1}, \dots, S_{an_m}$ ).
- c) Выявляют варианты среди определённых в соответствии с п. а) ( $S_{an_1}, \dots, S_{an_m}$ ), при осуществлении которых достоверность обобщённых данных ухудшилась *несущественно*. Выявленные варианты ( $S_{pac_1}, \dots, S_{pac_h}, h \leq m$ ) относят к рациональным.
- d) Подсчитывают число рациональных вариантов ( $g_{pac}$ ) и соответствующее им число базовых вариантов ( $g_0$ ).
- e) Оценку значимости каждого варианта, определённого в соответствии с п. а) ( $S_{an_1}, \dots, S_{an_m}$ ), вычисляют по формуле:

$$Q_r = g_{pac_r} / g_0, \quad r = 1, \dots, m. \quad (10)$$

- f) На основании полученных оценок (10) делают выводы о рациональности вариантов, определённых в соответствии с п. а) ( $S_{an_1}, \dots, S_{an_m}$ ).

ПРИМЕЧАНИЕ — В Приложении В3.3 представлены соответствующие пояснения с учётом специфических особенностей, касающихся выбора рационального состава каналов разнесения.

### 5.3 ОБСУЖДЕНИЕ — РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МОДЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА ЖЁСТКОЕ РЕШЕНИЕ ДЕМОДУЛЯТОРА, ПРИ ОЦЕНИВАНИИ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА МЯГКОЕ РЕШЕНИЕ ДЕМОДУЛЯТОРА (ССЫЛКИ [С6] И [С7])

Так как модернизированные алгоритмы  $A_4$  и  $A_{42}$  (см. п. 4.2.2.1) имеют существенные отличия от немодернизированных алгоритмов  $A_4$  и  $A_{42}$ , то целесообразно проанализировать возможности использования существующих вышеупомянутой модели источника ошибок в каналах разнесения и соответствующих ей критериев для их оценивания.

Элементы смоделированных принятых блоков данных (см. рисунок 5-1) соответствуют элементарным данным, выделенным из аналоговых реализаций четырёхпозиционного сигнала (см. рисунок D-2), которые относятся к старшим разрядам (см. таблицу D-3) в случае представления нормализованного четырёхпозиционного сигнала в двоичном виде.

Исходя из сущностей модернизированных алгоритмов  $A_4$  и  $A_{42}$ , элементы смоделированных принятых блоков данных, аналогичные представленным на рисунке 5-1, должны иметь структуру, описанную в таблице D-3.

Механизм выбора элементарных данных, поступающих из каналов разнесения, в обобщённый массив при применении модернизированных и немодернизированных алгоритмов  $A_4$  и  $A_{42}$  одинаков (жёсткое решение при демодуляции). Поэтому и результаты выбора элементарных данных одинаковы. Следовательно, и критерии для оценивания достоверности, обеспечиваемой немодернизированными алгоритмами  $A_4$  и  $A_{42}$ , подходят для оценивания модернизированных алгоритмов  $A_4$  и  $A_{42}$  (см. раздел 5.1.1). При этом значения младших разрядов, аналогичных разрядам фрагмента  $b_e$  (см. таблицу D-3 и пояснения к ней), нужно

установить, а два старших разряда должны оставаться такими же, как и в случае модели для немодернизированных алгоритмов  $A_4$  и  $A_{42}$ .

Если осуществляется комплексирование методов разнесённого приёма с применением модернизированных алгоритмов  $A_4$  или  $A_{42}$  и декодирования, ориентированного на мягкое решение при демодуляции (в частности, при декодировании по алгоритму Витерби в случае использования свёрточных кодов или при итеративном декодировании в случае использования турбокодов), причём вначале применён алгоритм  $A_4$  или  $A_{42}$ , а затем декодирование, то значения имитируемых младших разрядов, аналогичных разрядам фрагмента  $b_e$  (см. таблицу D-3 и пояснения к ней), должны соответствовать целям и задачам испытаний применённых методов помехоустойчивого кодирования (декодирования).

Таким образом, разработанные критерии оценок достоверности и модели условий помеховой обстановки (ссылка [C1]) не противоречат традиционному для CCSDS оцениванию методов повышения помехоустойчивости, а являются его дополнением, позволяющим оценить испытываемые способы комплексирования методов и алгоритмов разнесённого приёма и помехоустойчивого кодирования (декодирования) в условиях произвольных помех, действующих в радиоканалах. При этом установление значений имитируемых данных сводится к установлению значений имитируемых младших разрядов, аналогичных разрядам фрагмента  $b_e$  в таблице D-3.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**ОПТИМАЛЬНЫЕ ВЕСОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОСТОВЕРНОСТИ  
ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ  
(НОРМАТИВНОЕ)**

**А1 ВХД ДЛЯ АЛГОРИТМА А4**

**Таблица А-1: ВХД для алгоритма А4 ( $n = 5$ )**

$k$	$k''$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$k$	$k''$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
1	166	1	10	20	30	62	84	83	11	30	50	60	72
2	165	11	20	30	40	92	85	82	11	40	50	60	72
3	164	11	20	30	40	82	86	81	11	40	60	70	82
4	163	21	30	40	50	102	87	80	31	40	50	60	82
5	162	31	40	50	60	122	88	79	51	60	80	90	122
6	161	41	50	60	70	142	89	78	21	30	40	50	62
7	160	1	10	20	30	52	90	77	41	50	70	80	102
8	159	11	20	30	40	72	91	76	21	30	50	60	72
9	158	11	20	40	50	82	92	75	31	40	60	70	82
10	157	1	10	20	30	42	93	74	21	40	50	70	82
11	156	21	30	40	50	92	94	73	11	20	30	40	42
12	155	11	20	30	40	62	95	72	21	30	50	60	62
13	154	11	30	50	70	102	96	71	41	60	70	80	112
14	153	21	40	50	80	112	97	70	61	80	100	110	152
15	152	11	30	40	60	82	98	69	31	50	60	70	92
16	151	1	20	30	50	62	99	68	41	60	80	90	112
17	150	31	40	50	60	112	100	67	31	50	80	90	112
18	149	21	30	40	50	82	101	66	41	60	90	100	122
19	148	21	50	80	90	142	102	65	21	40	50	60	72
20	147	21	40	50	70	102	103	64	41	70	90	100	122
21	146	21	50	60	90	122	104	63	21	40	60	70	82
22	145	21	60	70	110	142	105	62	31	50	70	80	92

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКАЦИЯ CCSDS. ФОРМИРОВАНИЕ ОБОБЩЕННЫХ ДАННЫХ

$k$	$k''$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$k$	$k''$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
23	144	31	60	70	80	122	106	61	21	50	60	70	82
24	143	21	50	60	70	102	107	60	41	80	100	110	132
25	142	11	40	50	60	82	108	59	11	30	40	50	52
26	141	1	30	40	50	62	109	58	21	40	60	70	72
27	140	1	10	30	40	52	110	57	41	50	60	130	152
28	139	11	20	60	70	92	111	56	31	40	50	110	122
29	138	11	20	50	70	82	112	55	41	50	70	150	162
30	137	1	10	20	30	32	113	54	31	50	60	130	142
31	136	21	30	70	110	122	114	53	21	30	40	90	92
32	135	11	20	40	70	72	115	52	41	50	60	90	112
33	134	21	30	90	100	132	116	51	31	40	50	80	92
34	133	11	20	50	60	72	117	50	41	50	70	110	122
35	132	11	30	60	80	92	118	49	31	50	60	100	112
36	131	21	30	70	90	102	119	48	21	30	40	70	72
37	130	11	20	40	60	62	120	47	41	50	60	80	102
38	129	21	40	90	100	122	121	46	41	50	60	70	92
39	128	11	30	60	70	82	122	45	51	60	70	80	102
40	127	1	20	30	40	42	123	44	31	40	50	70	82
41	126	21	30	70	80	92	124	43	31	40	50	60	72
42	125	31	40	90	100	112	125	42	41	50	60	70	82
43	124	11	20	40	50	52	126	41	41	50	70	100	112
44	123	21	30	60	70	72	127	40	41	50	70	80	92
45	122	31	50	110	120	142	128	39	51	60	80	90	102
46	121	41	60	130	140	162	129	38	31	50	60	80	92
47	120	21	40	80	90	102	130	37	41	60	70	90	102
48	119	31	50	100	110	122	131	36	51	70	80	100	112
49	118	11	30	50	60	62	132	35	21	30	40	60	62
50	117	21	40	70	80	82	133	34	21	30	40	50	52
51	116	21	30	70	80	132	134	33	31	40	50	60	62
52	115	11	20	50	60	92	135	32	61	90	100	120	162
53	114	11	20	60	70	102	136	31	51	70	80	90	122
54	113	21	30	50	70	102	137	30	61	80	90	100	132
55	112	11	20	40	50	72	138	29	51	80	90	110	142

$k$	$k''$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$k$	$k''$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
56	111	11	20	50	60	82	139	28	41	60	70	80	102
57	110	21	30	40	70	92	140	27	51	70	80	90	112
58	109	11	20	30	50	62	141	26	61	80	110	120	142
59	108	11	20	40	60	72	142	25	71	90	120	130	152
60	107	11	30	40	70	82	143	24	31	60	70	90	102
61	106	11	30	50	80	92	144	23	31	50	60	70	82
62	105	31	40	50	100	122	145	22	41	60	70	80	92
63	104	21	30	40	80	92	146	21	41	80	100	130	142
64	103	21	30	50	90	102	147	20	41	60	80	90	102
65	102	21	40	50	100	112	148	19	51	70	90	100	112
66	101	11	20	30	60	62	149	18	31	70	80	100	112
67	100	21	30	50	60	92	150	17	31	60	70	80	92
68	99	21	30	60	70	102	151	16	41	70	80	90	102
69	98	21	30	70	80	112	152	15	21	50	60	80	82
70	97	21	30	40	50	72	153	14	21	40	50	60	62
71	96	11	20	30	40	52	154	13	31	50	60	70	72
72	95	11	20	40	50	62	155	12	61	70	80	90	112
73	94	11	30	40	60	72	156	11	51	60	70	80	92
74	93	11	30	50	70	82	157	10	61	70	90	100	112
75	92	31	40	50	70	92	158	9	71	90	100	120	132
76	91	21	30	40	60	72	159	8	41	50	60	70	72
77	90	21	30	50	70	82	160	7	71	90	100	110	142
78	89	21	40	50	80	92	161	6	61	80	90	100	122
79	88	11	20	30	50	52	162	5	81	100	130	140	162
80	87	31	50	60	70	102	163	4	51	70	80	90	102
81	86	21	40	50	60	82	164	3	61	80	100	110	122
82	85	21	40	70	80	102	165	2	51	80	90	100	112
83	84	11	30	40	50	62	166	1	41	60	70	80	82

ПРИМЕЧАНИЕ — Значение  $k''$  является номером очереди применения комбинации ВХД.

**Таблица А-2: ВХД для алгоритма А4 ( $n = 4$ )**

$k''$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
1	20	30	41	42
2	30	40	51	62
3	20	50	61	72
4	10	20	31	32
5	40	50	71	102
6	20	60	71	92
7	20	30	51	62
8	10	30	41	52
9	20	40	51	82
10	10	20	31	42
11	20	30	41	82
12	10	20	31	52
13	20	30	41	92
14	10	20	31	62

ПРИМЕЧАНИЕ — Значение  $k''$  является номером очереди применения комбинации ВХД.

**Таблица А-3: ВХД для алгоритма А4 ( $n = 3$ )**

$k''$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
1	70	80	82
2	20	30	62

ПРИМЕЧАНИЕ — Значение  $k''$  является номером очереди применения комбинации ВХД.

**A2 ВХД ДЛЯ АЛГОРИТМА A42**

**Таблица A-4: ВХД для алгоритма A42 ( $n = 5$ )**

$k$	$k''$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
1	7	1	2	3	4	11
2	6	1	2	3	4	9
3	5	1	2	3	4	7
4	4	1	2	6	7	8
5	3	1	2	3	4	5
6	2	3	4	5	6	7
7	1	5	6	7	8	9

ПРИМЕЧАНИЕ — Значение  $k''$  является номером очереди применения комбинации ВХД.

**Таблица A-5: ВХД для алгоритма A42 ( $n = 4$ )**

$k$	$k''$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
1	3	2	3	4	11
2	2	2	3	5	9
3	1	2	6	7	8

ПРИМЕЧАНИЕ — Значение  $k''$  является номером очереди применения комбинации ВХД.

**Таблица A-6: ВХД для алгоритма A42 ( $n = 3$ )**

$k$	$k''$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
1	2	3	4	11
2	1	7	8	9

ПРИМЕЧАНИЕ — Значение  $k''$  является номером очереди применения комбинации ВХД.

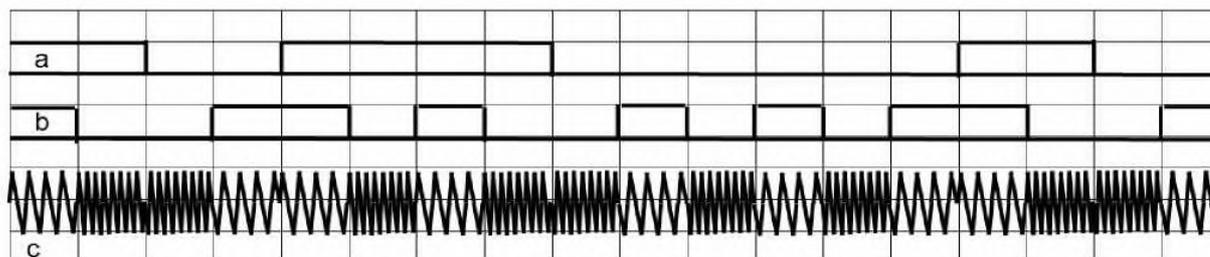
## ПРИЛОЖЕНИЕ В

## НЕОБХОДИМЫЕ ПОЯСНЕНИЯ

## (ИНФОРМАТИВНОЕ)

**В1 ПОЯСНЕНИЯ К ГЛАВЕ 2 — УЛУЧШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ  
ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
МЕТОДОВ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ МОДУЛЯЦИИ**

Множество сигналов образуют систему сигналов [С.3]. Каждый сигнал можно представить в виде совокупности элементов, или элементарных сигналов [С.3]. Пусть  $u_{ij\dots r}$  — элементарный сигнал (аналоговая реализация цифрового сигнала, символ). Позиция каждой из последовательности  $i, j, \dots, r$  индексных букв соответствует условному номерному обозначению информативного параметра элемента  $u_{ij\dots r}$  сигнала, а сама буква содержит количественную характеристику этого параметра. Информативными параметрами могут являться амплитуда, фаза, частота. Они содержат информацию, переносимую сигналом, и имеют заданное количество значений (градаций). Для сигнала  $u_{ij\dots r}$   $i$  — количество градаций первого информативного параметра,  $j$  — второго, ...,  $r$  —  $n_{нар-го}$ . Например, (рисунок В-1) для элемента  $u_{ij}$  первый информативный параметр — фаза сигнала,  $0^\circ$  и  $180^\circ$  — её фиксированные значения; второй информативный параметр — частота,  $f_1, f_2$  — условные обозначения применяемых частот. Первый информативный параметр относится к первому информационному потоку (рисунок В-1а), а второй — ко второму (рисунок В-1б). Каждый из них содержит информацию о передаваемых данных. Существуют методы модуляционного кодирования с разбиением передаваемых данных на более чем два потока.



- а) уровни двоичного кода первого потока;
- б) уровни двоичного кода второго потока;
- в) модуляционное кодирование несущей.

**Рисунок В-1: Иллюстрация одного из методов модуляционного кодирования**

Показано [С1], что при уменьшении численности градаций единственного информативного параметра уменьшается объём элементарного данного, передаваемого элементарным сигналом. Неизменность объёма элементарного данного при этом может быть обеспечена соответствующим увеличением численности  $n_{нар}$  информативных параметров.

Увеличенное количество  $n_{нар}$  ( $n_{нар} \geq 2$ ) применяется в помехоустойчивых методах модуляции. В частности, широко используется совмещение амплитудной и фазовой модуляции (формируются двумерные сигналы,  $n_{нар} = 2$ ). Увеличение значения  $n_{нар}$  осуществляется таким образом, что  $\Delta F_1 \approx \Delta F_2$  при  $n_{нар-1} > n_{нар-2}$  (где  $\Delta F_i$  — полоса частот элементарных сигналов  $i$ -й системы сигналов). Это означает, что энергия помех, сконцентрированная в полосе частот полезного сигнала, с увеличением численности информативных параметров почти не изменяется. Она распределена по составляющим  $n_{нар}$ -мерного пространства.

Если элементарные сигналы  $u_{ij}(t)$  ( $n_{нар} = 2$ ) взаимно ортогональны, то [С3]:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} u_{ij}(t)u_{ik}(t)dt &= 0, j \neq k, \\ \int_{-\infty}^{\infty} u_{ij}(t)u_{rj}(t)dt &= 0, i \neq r, \\ \int_{-\infty}^{\infty} u_{ij}(t)u_{rk}(t)dt &= 0, i \neq r, j \neq k, \\ \int_{-\infty}^{\infty} u_{ij}(t)u_{ij}(t)dt &= E_0, \end{aligned} \tag{11}$$

где:

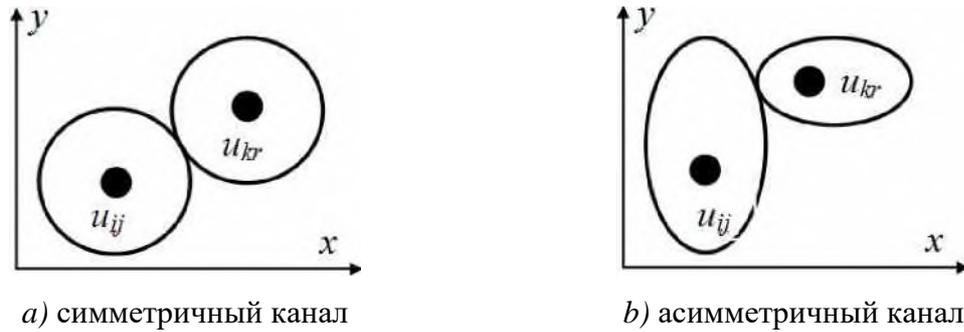
$E_0$  — энергия сигнала  $u_{ij}(t)$  при различных значениях  $i$  и  $j$  ( $i \in I, j \in J$ ).

Создаются необходимые условия для оптимальной обработки сигналов [С3].

Сигналы  $u_{ij}(t)$  ( $i \in I, j \in J$ ) — равноудалённые [С3]. Расстояния между двумя любыми точками, обозначающими идеальные (не искаженные помехами) элементарные сигналы в двумерном пространстве, одинаковы.

Свойство равноудалённости является признаком рационального использования  $n_{нар}$ -мерного пространства с целью обеспечения хорошей помехоустойчивости.

**ПРИМЕЧАНИЕ** — На рисунке В-2 представлена геометрическая интерпретация элементарных равноудалённых сигналов.



**Рисунок В-2: Геометрическая иллюстрация зон, относящихся к элементарным сигналам  $u_{ij}$  и  $u_{kr}$**

Если сигналы равноудалённые, а энергия действующих на них помех также распределена в  $n_{nap}$ -мерном пространстве равномерно, то зона наиболее вероятного нахождения каждого сигнала ограничена  $n_{nap}$ -мерной сферой, точка в центре которой обозначает идеальный элементарный сигнал. В этом случае канал связи симметричен [С5] (рисунок В-2а), вероятность ошибки при опознании элементарного данного не зависит от его переданного значения. С увеличением объёма алфавита элементарных сигналов за счёт увеличения  $n_{nap}$  расстояние от центра сферы до точки на ней остаётся неизменным. При этом число сфер не возрастает, а неизменная энергия помех, сконцентрированная в полосе частот полезного сигнала, распределяется в расширившемся путём увеличения  $n_{nap}$  пространстве. Соотношение сигнал/помеха не уменьшается. Если точки, соответствующие идеальным элементарным сигналам  $u_{ij}(t)$  и  $u_{rk}(t)$ , совместить (например, сместив  $u_{ij}(t)$  к  $u_{rk}(t)$ ), то их зоны наиболее вероятного нахождения сигнала совпадут. При таком равномерном распределении энергии помех по  $n_{nap}$ -мерной сфере (в рассматриваемом случае  $n_{nap} = 2$ ), при осуществлении оптимального приёма сигналов [С3] (в соответствии с выражениями (11)) и при равновероятной передаче алфавита элементарных сигналов правомерны следующие выражения:

$$\begin{aligned}
 P(e_{i\_ou}|u_{ij\_npd}) &= P(e_{i\_ou}|u_{ik\_npd}), j \neq k, \\
 P(e_{j\_ou}|u_{ij\_npd}) &= P(e_{j\_ou}|u_{rj\_npd}), i \neq r, \\
 P(e_{i\_ou}|u_{ij\_npd}) &= P(e_{j\_ou}|u_{ij\_npd}),
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

где

$P(e_{i\_ou}|u_{ij\_npd})$  — вероятность ошибочного опознания переданного данного  $e_i$ , содержащегося в переданном элементарном сигнале  $u_{ij}(t)$ , соответствующего  $i$ -й градации первого параметра этого сигнала (индексом «*ou*» обозначена ошибочность опознания);

$P(e_{j\_ou}|u_{ij\_npd})$  — вероятность ошибочного опознания переданного данного  $e_j$ , содержащегося в переданном элементарном сигнале  $u_{ij}(t)$ , соответствующего  $j$ -й градации второго параметра этого сигнала.

Из (12) следует, что  $P(e_{i\_ou}|u_{ij\_npd}) = P(e_{i\_ou}|u_{ik\_npd}) = P(e_{j\_ou}|u_{ij\_npd}) = P(e_{j\_ou}|u_{rj\_npd})$ ,

или

$$P(e_{i\_ou}|u_{ik\_npd}) = P(e_{j\_ou}|u_{rj\_npd}). \quad (13)$$

Это означает, что вероятность ошибочного опознания данных, выделенных из элементарных сигналов и соответствующих любым грациям как первого, так и второго информационного параметра этого сигнала, не зависит от значений данных, содержащихся в соответствующих переданных элементарных сигналах.

Уместно для рассматриваемого случая полагать, что характер зависимости ошибок в каналах разнесения одинаков для данных, соответствующих как первому, так и второму информативному параметру (как первому, так и второму информационному потоку — см. рисунок В-1). Тогда обобщённые данные можно получать, используя поступающие из каналов разнесения однокантовые данные, соответствующие как первому, так и второму информативному параметру (соответственно, данные первого и второго потока — см. рисунок В-1).

Осуществление вышеупомянутых алгоритмов А4 и А42 (см. разд. 4.2.2) связано с вычислением оптимального множества комбинаций ( $q$ ) весовых характеристик достоверности (ВХД), их объём равен  $n \times q$  (см. Приложение А). Он зависит от объёма алфавита применяемых элементарных данных (т. е. объёма данного, выделенного из аналоговой реализации цифрового сигнала). Алгоритм А4 предназначен для работы с двухбитовыми элементарными данными,  $n = 5$ ,  $q = 166$ ; алгоритм А42 — с однокантовыми элементарными данными,  $n = 5$ ,  $q = 7$ . Видим, что при осуществлении алгоритма А42 требуется значительно меньше вычислений, по сравнению с А4. При применении  $n_{нар}$ -мерных (многопозиционных) сигналов даже при относительно небольшом количестве информативных параметров (даже при небольшом объёме элементарного данного) численность  $q$  комбинаций ВХД может оказаться неприемлемо большой с точки зрения практического осуществления алгоритма получения обобщённых данных. Поэтому представленное выше правило, основанное на равноудалённости сигналов, весьма актуально. Из него следует, что существуют возможности значительного уменьшения объёма оптимального множества ВХД применением алгоритма А42. Причём в случае использования многопозиционных ( $m$ -позиционных) сигналов при  $m > 2$  только на его основе возможно применение рациональных алгоритмов получения обобщённых данных. Также следует заметить, что необходимое условие обеспечения равноудалённости сигналов связано с выбором метода модуляции.

## В2 ПОЯСНЕНИЯ К ГЛАВЕ 4

### В2.1 ОБОСНОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ

Рассмотрен следующий подход к выбору лучшей стратегии [С1].

Из стратегий  $u_1$  и  $u_2$  выберем наиболее результативную (обеспечивающую наилучшую достоверность, характеризуемую количеством ошибок  $N_{ou\_Σ_1}$  в блоке данных после применения стратегии  $u_1$  и  $N_{ou\_Σ_2}$  — после применения стратегии  $u_2$ ), причём

$$u_1 = \langle Met_{ПК}, Met_{РП} \rangle, \quad u_2 = \langle Met_{РП}, Met_{ПК} \rangle, \quad (14)$$

где

$Met_{ПК}$  — метод помехоустойчивого кодирования – декодирования данных,

$Met_{РП}$  — метод разнесённого приёма.

При применении методов  $Met_{ПК}$  обнаруживается  $N_{ou\_обн}$  и обнаруживается и устраняется  $N_{ou\_уст}$  ошибок в блоке данных, причём  $N_{ou\_обн} \geq N_{ou\_уст}$ . Известно [С2], что при декодировании применяется неполный декодер или полный декодер. Если в принятом блоке данных  $i$ -го канала разнесения  $N_{ou\_i} > N_{ou\_уст}$ , то в случае применения неполного декодера декодирование не осуществляется, а в случае применения полного декодера — осуществляется. Для простоты и определённости положим, что декодер неполный, поэтому

$$N_{ou\_ПК\_i} = 0 \text{ при } N_{ou\_i} \leq N_{ou\_уст}, \quad (15)$$

$$N_{ou\_ПК\_i} = N_{ou\_i} \text{ при } N_{ou\_i} > N_{ou\_уст},$$

где

$N_{ou\_i} (N_{ou\_ПК\_i})$  — количество ошибок в блоке данных  $i$ -го канала разнесения до (после) декодирования данных по методу  $Met_{ПК}$ .

При применении методов  $Met_{РП}$  количество ошибок в блоке данных первого, второго, ...,  $n$ -го каналов разнесения соответственно равно  $N_{ou\_1}, N_{ou\_2}, \dots, N_{ou\_n}$ , а в обобщённом блоке данных —  $N_{ou\_об}$ :

$$N_{ou\_1} \geq N_{ou\_2} \geq \dots N_{ou\_n}. \quad (16)$$

При применении рациональных методов  $Met_{РП}$

$$0 \leq N_{ou\_об} \leq N_{er\_n}. \quad (17)$$

В дальнейшем будем исходить из того, что все рассматриваемые методы  $Met_{РП}$  — рациональные.

Результативность стратегий  $u_1$  и  $u_2$  зависит от соотношений значений  $N_{ош\_уст}$ ,  $N_{ош\_об}$ ,  $N_{ош\_n}$ :

$$N_{ош\_уст} < N_{ош\_об} < N_{ош\_n} , \quad (18)$$

$$N_{ош\_уст} < N_{ош\_n} < N_{ош\_об} , \quad (19)$$

$$N_{ош\_об} < N_{ош\_уст} < N_{ош\_n} , \quad (20)$$

$$N_{ош\_об} < N_{ош\_n} < N_{ош\_уст} , \quad (21)$$

$$N_{ош\_n} < N_{ош\_уст} < N_{ош\_об} , \quad (22)$$

$$N_{ош\_n} < N_{ош\_об} < N_{ош\_уст} . \quad (23)$$

Соотношения (19), (22) и (23) не могут существовать, т.к. они противоречат условию (17).

Для условий, соответствующих соотношению (21),  $N_{ош\_Σ_1} = N_{ош\_Σ_2} = 0$ . При применении стратегии  $u_1$ , если учесть условие (15), то  $N_{ош\_ПК_n} = 0$ , а если  $N_{ош\_ПК_n} = 0$ , то, с учётом условия (17),  $N_{ош\_об} = 0$ . При применении стратегии  $u_2$  оказывается (21), что  $N_{ош\_об} < N_{ош\_уст}$ , поэтому применением после метода  $Met_{РП}$  метода  $Met_{ПК}$  (по условию (15)) будут устранены все ошибки.

Для условий, соответствующих соотношению (20),  $N_{ош\_Σ_2} = 0$ , т.к. если  $N_{ош\_об} < N_{ош\_уст}$  (20), то (по условию (15)) декодированные по методу  $Met_{ПК}$  обобщённые данные не будут содержать ошибок. При применении неполного декодера (ранее принятое условие)  $N_{ош\_Σ_1} \leq N_{ош\_n}$ , т.к.  $N_{ош\_уст} < N_{ош\_n}$  (20) и декодирование не осуществляется (15). Стратегия  $u_2$  результативнее.

Для условий, соответствующих соотношению (18),  $N_{ош\_Σ_1} = N_{ош\_Σ_2} = N_{ош\_об}$ , т.к.  $N_{ош\_n} > N_{ош\_уст}$  (18),  $N_{ош\_об} > N_{ош\_уст}$  (18) — декодирование не осуществляется (15) и при стратегии  $u_1$ , и при  $u_2$ .

Видим, что при выполнении условия (20) стратегия  $u_2$  результативнее, а в остальных случаях стратегии  $u_1$  и  $u_2$  равноценны. В итоге для неполного декодера наиболее подходит стратегия  $u_2$ .

## **В2.2 ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПРЕДЛОЖЕННЫХ [С1] МЕТОДОВ РАЗНЕСЁННОГО ПРИЁМА И ТРАДИЦИОННЫХ ДЛЯ CCSDS МЕТОДОВ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ (ДЕКОДИРОВАНИЯ)**

### **В2.2.1 Общие сведения**

Рассмотрены три характерных сценария применения методов разнесённого приёма и помехоустойчивого кодирования/декодирования в разных условиях помеховой обстановки.

### В2.2.2 Общее для каждого сценария

Имеется  $n$  каналов разнесения и, соответственно,  $n$  потребителей данных, причём данные поступают от одного и того же источника; пусть  $n = 5$ .

Возможные состояния помеховой обстановки характеризуют интенсивностью помех  $u$  в отдельных каналах разнесения (сущности  $u$  аналогичны описанным в [С1]), причём, чем больше значение  $u_i$ , тем больше искажённых данных поступает из  $i$ -го канала разнесения. Пусть  $u_i = \{0, 1, \dots, 6\}$ ,  $i = 1, \dots, n$ , причём:

- если  $u_i = 0$ , то данные достоверны (недостоверные данные не обнаружены);
- если  $u_i = \{1, \dots, 5\}$ , то имеется частичная потеря информации (ЧПИ) (часть данных, поступивших из  $i$ -го канала разнесения, недостоверна);
- если  $u_i = 6$ , то имеется полная потеря информации (ППИ) (полезный сигнал полностью подавлен помехами, действующими в канале разнесения).

Пусть (для простоты) на анализируемом временном интервале интенсивность помех  $u_i$  не изменяется.

### В2.2.3 Особенности каждого сценария

Каждый пользователь получает данные со следующими характеристиками их искажений:

- а) данные лишь одного (одноимённого) канала разнесения, при этом осуществляется только декодирование данных ( $u_{ПК\_1}$ ,  $u_{ПК\_2}$ ,  $u_{ПК\_3}$ ,  $u_{ПК\_4}$ ,  $u_{ПК\_5}$ );
- б) обобщённые данные без декодирования ( $u_{РП}$ );
- в) обобщённые данные с последующим декодированием ( $u_{РП+ПК}$ ).

### В2.2.4 Характеристики исправляющих способностей методов

Методы разнесённого приёма. Результат применения разнесённого приёма данных:  $u_{РП} \leq \min\{u_i\}$ ,  $i = 1, \dots, n$ ; причём  $u_{РП} = \min\{u_i\}$  — худший результат, а  $u_{РП} < \min\{u_i\}$  — лучший (где  $\min\{u_i\}$  — минимальное значение среди  $u_1, u_2, \dots, u_n$ ).

Методы помехоустойчивого кодирования/декодирования. Если  $u_i < u_{дон}$ , то  $u_{ПК\_i} = 0$ ; если  $u_i \geq u_{дон}$ , то  $u_{ПК\_i} = u_i$  (где  $u_{дон}$  — исправляющие способности метода помехоустойчивого кодирования/декодирования).

Пусть анализируемые варианты условий помеховой обстановки таковы:

- а)  $u_1 = 0$ ,  $u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = 6$ ;
- б)  $u_1 = 1$ ,  $u_2 = 2$ ,  $u_3 = 3$ ,  $u_4 = 4$ ,  $u_5 = 5$ ;
- в)  $u_1 = 3$ ,  $u_2 = 4$ ,  $u_3 = 4$ ,  $u_4 = 4$ ,  $u_5 = 5$ .

Пусть имеются следующие характеристики исправляющих способностей методов:

- а)  $u_{дон} = 3$  (если  $u_i < 3$ , то  $u_{ПК\_i} = 0$ ; если  $u_i \geq 3$ , то  $u_{ПК\_i} = u_i$ );
- б) если  $u_1 = 1, u_2 = 2, u_3 = 3, u_4 = 4, u_5 = 5$ , то  $u_{РП} = 1$ ;
- в) если  $u_1 = 3, u_2 = 4, u_3 = 4, u_4 = 4, u_5 = 5$ , то  $u_{РП} = 2$ .

ПРИМЕЧАНИЕ — Сведения о достоверности данных, полученных пользователями при осуществлении разных сценариев, представлены в таблице В-1.

**Таблица В-1: Результаты улучшения достоверности в зависимости от сценария**

№ сценария	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$	$u_{ПК\_1}$	$u_{ПК\_2}$	$u_{ПК\_3}$	$u_{ПК\_4}$	$u_{ПК\_5}$	$u_{РП}$	$u_{РП+ПК}$
1	0	6	6	6	6	0	6	6	6	6	0	0
2	1	2	3	4	5	0	0	3	4	5	1	0
3	3	4	4	4	5	3	4	4	4	5	2	0

ПРИМЕЧАНИЕ — Ниже пояснения результатов, представленных в таблице В-1.

Результаты осуществления сценариев:

- сценарий № 1,
  - результат 1.1:  $u_{ПК\_1} = 0, u_{ПК\_2} = 6, u_{ПК\_3} = 6, u_{ПК\_4} = 6, u_{ПК\_5} = 6$ ;
  - результат 1.2:  $u_{ПК\_1} = 0, u_{ПК\_2} = 0, u_{ПК\_3} = 3, u_{ПК\_4} = 4, u_{ПК\_5} = 5$ ;
  - результат 1.3:  $u_{ПК\_1} = 3, u_{ПК\_2} = 4, u_{ПК\_3} = 4, u_{ПК\_4} = 4, u_{ПК\_5} = 5$ ;
- сценарий № 2,
  - результат 2.1:  $u_{РП} = 0$ , результат 2.2:  $u_{РП} = 1$ , результат 2.3:  $u_{РП} = 2$ ;
- сценарий № 3,
  - результат 3.1:  $u_{РП+ПК} = 0$ , результат 3.2:  $u_{РП+ПК} = 0$ , результат 3.3:  $u_{РП+ПК} = 0$ .

Из результатов осуществления сценариев следует:

- разнесённый приём — безальтернативный способ получения достоверных данных всеми пользователями в случае ППИ в отдельных каналах разнесения;
- в случае поступления каждому пользователю достоверных данных из каналов разнесения ( $u_i = 0, i = 1, \dots, n$ ) как методы разнесённого приёма, так и методы помехоустойчивого кодирования/декодирования теряют свою актуальность;

- каждый из методов на фоне другого имеет достоинства и недостатки, они проявляются в определённых условиях помеховой обстановки, а именно:
  - методы разнесённого приёма способны обеспечивать повышение достоверности данных в условиях сильных помех, однако в условиях сильной зависимости ошибок (когда искажённые данные разных каналов разнесения соответствуют одному и тому же переданному данному) они неэффективны;
  - существуют возможности существенного улучшения исправляющих способностей методов помехоустойчивого кодирования (декодирования) увеличением значения  $u_{доп}$ , однако они связаны со значительным увеличением избыточности данных в месте их зарождения (в источнике данных);
- наибольшие исправляющие возможности в условиях действия произвольных помех обеспечиваются комплексированием методов разнесённого приёма и помехоустойчивого кодирования/декодирования, причём для их реализации целесообразно применять сначала методы разнесённого приёма, а затем – декодирования;
- ценность полученных данных в зависимости от характеристик их достоверности (от интенсивности помех) определяется конкретным пользователем:
  - например, для него может не быть разницы между  $u = 3$  (ЧПИ) и  $u = 6$  (ППИ) (в обоих случаях он считает информацию потерянной);
  - в другом случае, например, при уменьшении искажений с  $u = 3$  до  $u = 2$  он может считать *существенным* улучшением достоверности данных.

### В2.3 ПРИМЕР ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА А4

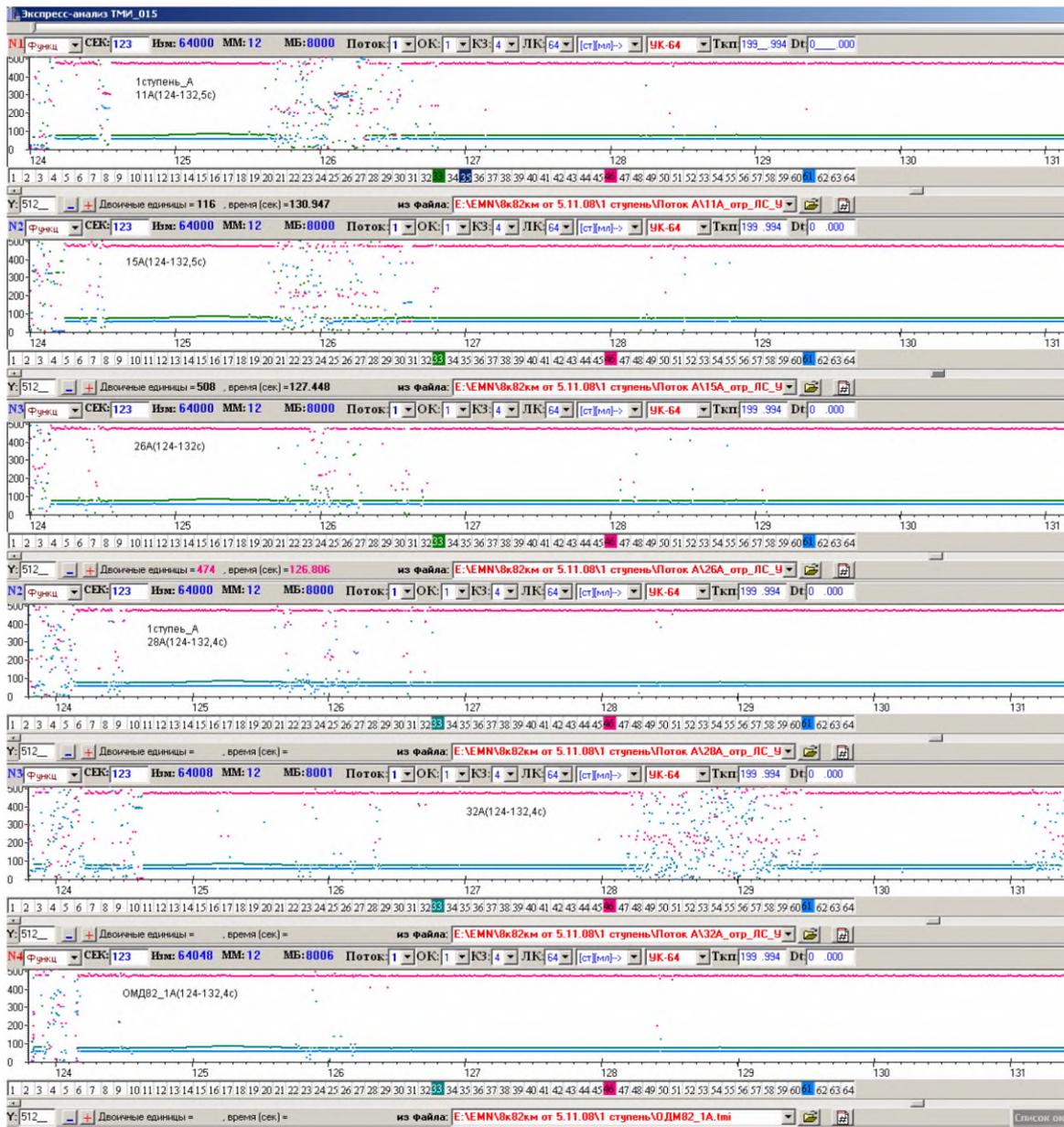
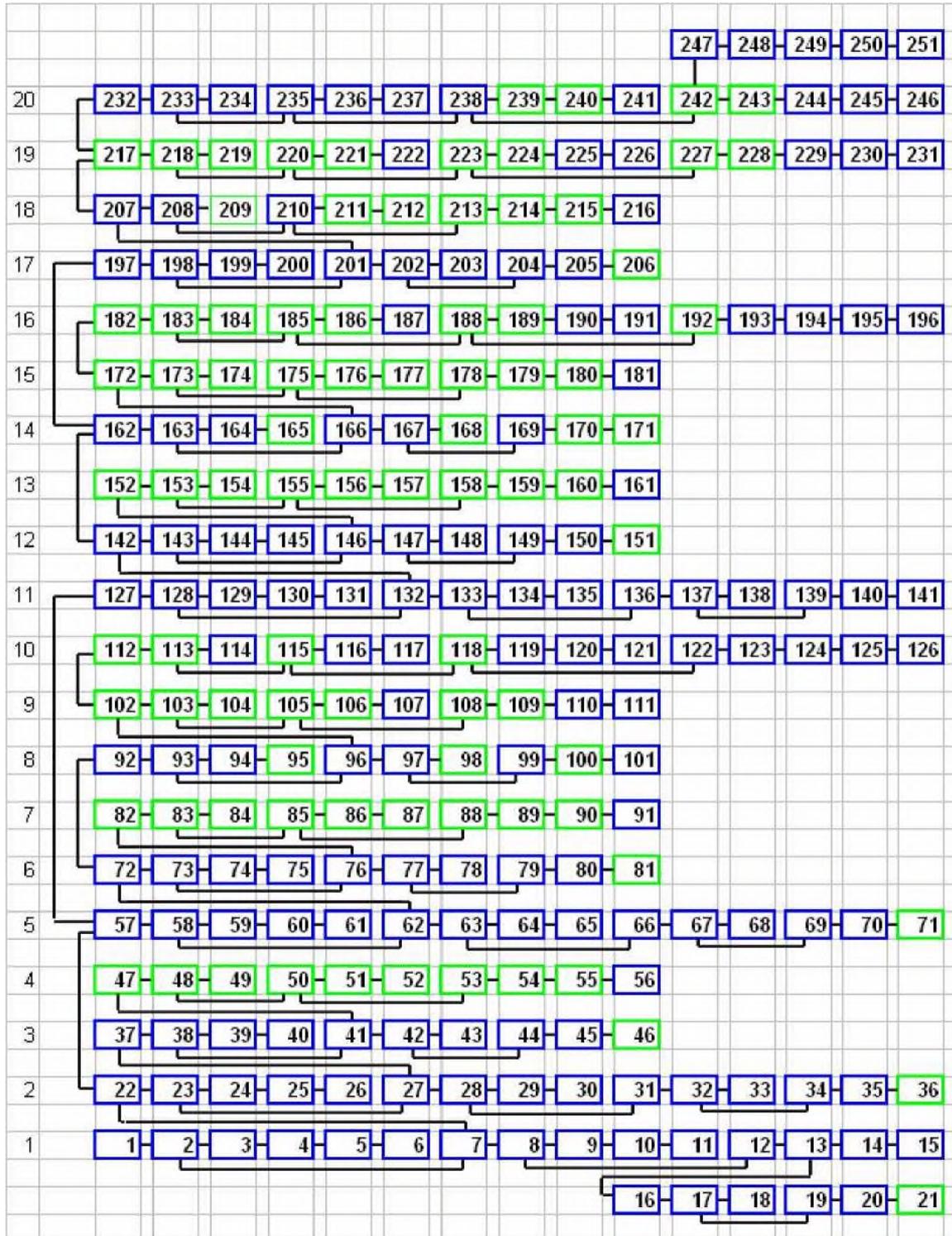


Рисунок В-3: Результаты применения алгоритма А4

ПРИМЕЧАНИЕ — Телеметрическая информация первой ступени ракеты-носителя «Протон-М» от 05.11.2008,  $f_{044, 090}$ , приёмно-регистрарующие станции МК-11А, 15А, 26А, 28А, 32А). Графики на рисунке (сверху вниз): МК-11А, 15А, 26А, 28А, 32А, массив обобщённых данных.

### В3 ПОЯСНЕНИЯ К ГЛАВЕ 5

#### В3.1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНИВАНИЯ АЛГОРИТМА А4



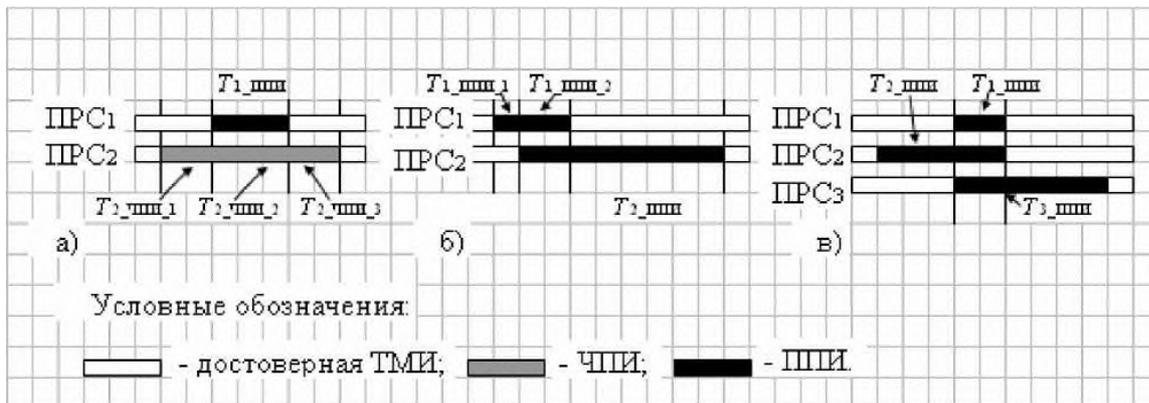
«синяя» вершина — E = 0, «зелёная» — E = 1

**Рисунок В-4: Результаты оценивания алгоритма А4 с использованием модельных данных**

### В3.2 ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ПРС (КАНАЛОВ РАЗНЕСЕНИЯ)

На примере разнесения ТМИ, полученной при пусках изделий ракетно-космической (РКТ), показано [С1], что достоверность обобщённых телеизмерений зависит от многих неопределённых факторов.

«Вклад» отдельной приёмно-регистрирующей станции (ПРС) в улучшение достоверности обобщённых телеизмерений проявляется на фоне других взаимодублируемых ПРС. Он неочевиден. Так, в одном случае (рисунок В-5а) временной интервал с ППИ ( $T_{1\_ппи}$ ) заменяется на интервал ( $T_{2\_чпи\_2}$ ) с ЧПИ, а временные интервалы с ЧПИ ( $T_{2\_чпи\_1}$  и  $T_{2\_чпи\_3}$ ) на интервалы с достоверной ТМИ; в другом случае (рисунок В-5б) неодинаковое время начала интервалов ППИ ( $T_{1\_ппи\_1}$  и  $T_{2\_ппи}$ ) позволяет дополнить ТМИ ПРС<sub>1</sub> на интервале  $T_{1\_ппи\_1}$  при том, что  $T_{1\_ппи\_1} + T_{1\_ппи\_2} \ll T_{2\_ппи}$ ; в третьем случае (рисунок В-5в) использованием ТМИ двух явно худших (в смысле достоверности) ПРС<sub>2</sub> и ПРС<sub>3</sub>, по сравнению с ПРС<sub>1</sub>, может быть обеспечена такая же достоверность ( $T_{1\_ппи} = T_{2\_ппи} \cap T_{3\_ппи}$ ) - и т. д. (Здесь «ППИ» — полная потеря информации, а «ЧПИ» — частичная потеря информации).



**Рисунок В-5: Примеры взаимодополняемости ПРС**

При изменении технологии формирования обобщённых данных (выборе других алгоритмов получения обобщённых данных) оценки вариантов задействования ПРС могут измениться. Достоверность обобщённых данных зависит от достоверности данных, поступивших из каналов разнесения, и исправляющих возможностей применяемых алгоритмов получения обобщённых данных (см., например, сравнительные характеристики достоверности обобщённых данных, обеспечиваемой алгоритмом А4 и автовыбором и мажорированием, [С1] рисунок В-4.). Следовательно, ценность данных разных каналов разнесения (вариантов взаимодублирования ПРС) зависит также от выбранных алгоритмов получения обобщённых данных. Учитывая возможность изменения технологии формирования обобщённых данных (применение других алгоритмов для формирования обобщённых данных), варианты использования ПРС могут быть пересмотрены.

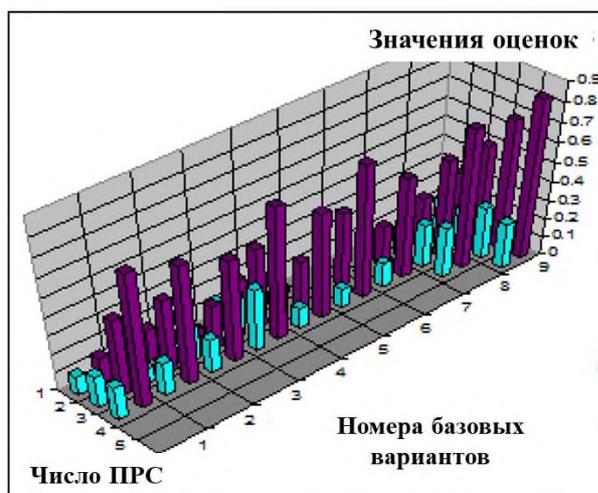
Необходимым условием исключения каких-либо ПРС из состава телеметрического комплекса космодрома является устойчивое (т. е. повторяющееся от пуска к пуску) *несущественное* (3), (6) ухудшение достоверности обобщённых данных телеизмерений при игнорировании ТМИ этих ПРС в процессе формирования обобщённых данных телеизмерений.

Для определения возможностей сокращения численности задействуемых ПРС разработана методика рационального выбора ПРС для взаимного дублирования [С1] (см. разд. 5.2.2.2)

### **В3.3 ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ПРС (КАНАЛОВ РАЗНЕСЕНИЯ)**

Сопоставление достоверности обобщённых данных по п. б) разд. 5.2.2.2 может быть осуществлено разными способами, в частности, с использованием критериев, представленных в разд. 5.1.1. Также сопоставлялись временные интервалы с ППИ, ЧПИ и достоверной ТМИ, определённые по результатам анализа графиков контрольных параметров [С1] (см. рисунок В-6).

С учётом ограниченных возможностей выбора базовых вариантов (особенно из-за часто меняющегося порядка задействования ПРС) применён [С4] бутстреп-метод [С1] для искусственного размножения статистических выборок (результаты его применения показаны на рисунке В-6). Например, если при  $i$ -м пуске задействовалось множество  $S_{зад\_i}$  ПРС для взаимного дублирования ( $S_{зад\_i} = \{11, 12, 13, 22, 32, 34\}$ ), при  $(i+1)$ -м пуске —  $S_{зад\_i+1}$  ( $S_{зад\_i+1} = \{12, 13, 14, 21, 32, 34\}$ ), при  $(i+2)$ -м пуске —  $S_{зад\_i+2}$  ( $S_{зад\_i+2} = \{12, 13, 32, 34, 51\}$ ), то базовый вариант задействования ПРС может быть выбран из условия:  $S_{б} = S_{зад\_i} \cap S_{зад\_i+1} \cap S_{зад\_i+2}$ , а  $S_{б} = \{12, 13, 32, 34\}$ .



#### ПРИМЕЧАНИЯ

- 1 Тёмные столбики диаграммы относятся к  $Q_{an\_cp}$ , а светлые – к  $Q_{an\_CKO}$ .
- 2 Состав базовых вариантов:
  - 1) РН «Протон»,  $f_{02}$ , ПРС 13Б, 14Б, 26, 31Б;
  - 2) РН «Протон»,  $f_{01}$ , ПРС 13А, 14А, 25, 31А;
  - 3) РН «Протон»,  $f_{074}$ , ПРС 11, 14, 31, 51;
  - 4) РН «Протон»,  $f_{154}$ , ПРС 12, 13, 32, 34;
  - 5) РН «Союз»,  $f_{094}$ , ПРС 12, 14, 22, 32;
  - 6) РН «Союз»,  $f_{154}$ , ПРС 11, 12, 21, 34;
  - 7) РН «Союз»,  $f_{154}$ , ПРС 12, 13, 32, 34;
  - 8) РН «Союз»,  $f_{154}$ , ПРС 11, 12, 13, 32, 34;
  - 9) РН «Союз»,  $f_{154}$ , ПРС 11, 12, 13, 21, 32, 34.

**Рисунок В-6: Диаграмма, характеризующая улучшение достоверности обобщённых телеизмерений**

ПРИМЕЧАНИЕ — Диаграмма показывает УЛУЧШЕНИЕ достоверности обобщенных телеизмерений в зависимости от числа задействуемых для взаимного дублирования ПРС ( $Q_{an\_cp}$  — средние значения оценок вариантов задействования ПРС для взаимного дублирования;  $Q_{an\_CKO}$  — среднеквадратические отклонения значений оценок вариантов задействования ПРС).

На диаграмме (см. рисунок В-6) показано, что с увеличением числа задействуемых ПРС увеличиваются средние значения оценок вариантов, проявляется тенденция *существенного* улучшения достоверности. При этом относительно большие значения вычисленных среднеквадратических отклонений свидетельствуют о неравноценности рассмотренных вариантов задействования ПРС.

Из полученных результатов оценивания [С1] следует, что исключение из состава телеметрического комплекса космодрома каких-либо ПРС, задействуемых в настоящее время для взаимного дублирования, приведёт к увеличению вероятности *существенного* ухудшения достоверности обобщённых телеизмерений. Их должно быть не менее 4–6.

## ПРИЛОЖЕНИЕ С

### ИНФОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

#### (ИНФОРМАТИВНОЕ)

- [C1] Воронцов В.Л. Методы разнесённого приёма телеметрической информации и условия их применения в процессе развития телеметрического комплекса космодрома. - 2-е изд., перераб. и доп. - Набережные Челны: Изд-во Кам. гос. инж.-экон. акад., 2009.- 284 с.
- [C2] Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: Пер. с англ. - М.: Мир, 1986. - 576с.
- [C3] Варакин Л.Е. Теория систем сигналов. - М.: Сов. радио, 1978. - 304с.
- [C4] Орлов А.И. Методы размножения выборок (бутстреп-методы) // Эконометрика. Глава 11. М: Экзамен, 2002.
- [C5] Турин В.Я. Передача информации по каналам с памятью. - М.: Связь, 1977. - 248с.
- [C6] Воронцов В.Л. Улучшение достоверности путем использования возможностей разнесенного приема данных // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, т. 4, №1, 2017, с. 61–69.
- [C7] Воронцов В.Л. Модернизация алгоритмов получения обобщенных данных при комплексировании методов разнесенного приема и декодирования данных // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2018, т. 5, вып. 1. С. 86–92.
- [C8] V. L. Vorontsov. “Application and Advancing of Technology for Data Reliability Improvement Presented in the Orange Book CCSDS 551.1-O-1 ‘Correlated Data Generation’.” In Proceedings of the 15th International Conference on Space Operations (SpaceOps 2018) (28 May–1 June 2018, Marseille, France). AIAA 2018-2314. Reston, Virginia: SpaceOps, 2018.
- [C9] Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104с.

ПРИМЕЧАНИЕ — Нормативные ссылки содержатся в п. 1.9.

**ПРИЛОЖЕНИЕ D****РАЗЪЯСНЕНИЯ СУЩНОСТЕЙ МОДЕРНИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ  
ПОЛУЧЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ****(ИНФОРМАТИВНОЕ)****D1 ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ЗАДАЧИ МОДЕРНИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ  
ПОЛУЧЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ**

Задача модернизации алгоритмов получения обобщённых данных актуальна в случае комплексирования методов разнесённого приёма и декодирования данных, когда целесообразно первоочередное применение разнесённого приёма, а затем декодирования.

Декодирование может быть ориентировано на жёсткое решение при демодуляции или на мягкое решение (в частности, на декодирование по алгоритму Витерби). Разработанные алгоритмы получения обобщённых данных  $A_4$  и  $A_{42}$ , адаптирующиеся к изменяющимся во времени условиям помеховой обстановки и обеспечивающие высокую достоверность данных, ориентированы на жёсткое решение при демодуляции. Поэтому для расширения возможностей вышеупомянутого комплексирования требуется их модернизация, обеспечивающая условия для декодирования, ориентированного на мягкое решение при демодуляции.

**D2 ОСОБЕННОСТИ СИГНАЛОВ (ДАННЫХ), ФОРМИРУЕМЫХ В СЛУЧАЯХ  
ЖЁСТКОГО И МЯГКОГО РЕШЕНИЯ ПРИ ДЕМОДУЛЯЦИИ**

Рассмотрен пример трёхбитового выходного данного восьмиуровневого мягкого модема для модернизированного алгоритма  $A_{42}$  (см. рис. 7.8 и пояснения к нему в [С6]; рисунок D-1 аналогичен рисунку 7.8 из [С9]). В таблице D-1  $e_i$  — значения элементарного однобитового данного  $i$ -го канала разнесения (0 и 1); в крайнем левом столбце оценок  $e_i$  — оценки наиболее надёжных элементарных данных «0» и «1», а в крайнем правом — наименее надёжных. Значения этих оценок условны (не обязательно они должны быть такими же при схемной реализации соответствующих программно-технических средств). Они выбраны прежде всего для наглядности. Их суть связана с евклидовым расстоянием, характерным для мягкой схемы декодирования (а не с хэмминговым расстоянием, как в случае использования жёсткой схемы декодирования) [С9].

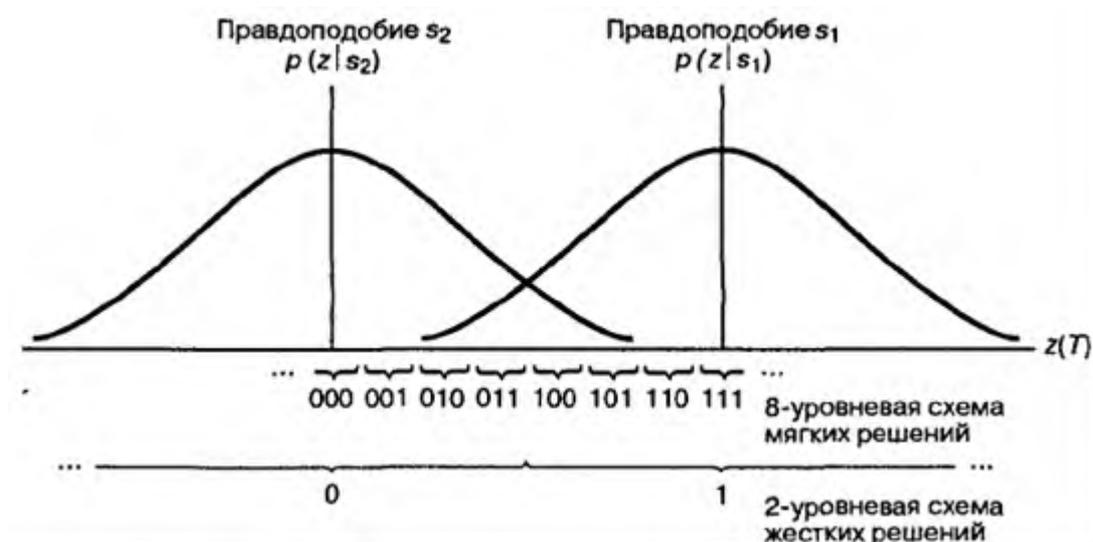


Рисунок D-1: Графики, поясняющие работу жёсткой и мягкой схем декодирования

Таблица D-1: Значения элементарных однобитовых данных  $e_i$  и соответствующих им двухбитовых оценок

$e_i$	Оценки $e_i$			
0	00	01	10	11
1	11	10	01	00

### D3 СУТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ

Формирование обобщённых данных в случае модернизированных алгоритмов нужно осуществлять, как и в случае немодернизированных алгоритмов  $A_4$  или  $A_{42}$ , с использованием лишь элементарных данных, выделенных из аналоговых реализаций двух- или четырёхпозиционных сигналов, поступивших из каналов разнесения [C1]. Если в блок обобщённых данных выбрано элементарное данное  $e_{об}$  и при этом элементарные данные с таким же значением, соответствующие одному и тому же переданному данному и вышеупомянутому обобщённому данному  $e_{об}$ , поступили из  $i_1, \dots, i_h$  каналов разнесения, то к этому обобщённому данному присоединяют данное оценки надёжности символа одного из каналов  $i_1, \dots, i_h$ , значение которого соответствует наиболее надёжному символу (элементарному данному) [C7]. В результате такого присоединения образуется данное  $e_{об\_оц}$ , структура которого аналогична структуре выходного данного мягкого модема (таблица D-2). Т. е. форматы слов (данных)  $e_{об\_оц}$  и  $e_{i\_оц}$  одинаковы (где  $e_{i\_оц}$  — данное, содержащее оценку надёжности принятого символа, поступившее из  $i$ -го канала разнесения).

**Таблица D-2: Пример, иллюстрирующий формирование обобщённых данных  $e_{об\_оц}$  при осуществлении модифицированного алгоритма  $A_{42}$**

$e_{об}$	Оценки надёжности символов для каналов разнесения, $i =$					$e_{об\_оц}$
	1	2	3	4	5	
1	-	01	00	-	11	111
0	-	-	-	-	01	001
0	10	10	01	11	-	001
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Так, например, в случае, описанном в первой строке таблицы D-2,  $e_{об}$  равно 1, наилучшая оценка надёжности – «11» (она относится к пятому каналу разнесения), а данное  $e_{об\_оц}$  — «111».

Правомерность установленного порядка выбора оценок надёжности для обобщённых элементарных данных связана с сущностями оценок надёжности символов (оценок надёжности элементарных данных), относящихся к отдельному каналу разнесения, (в частности, показанных на рисунке D-1), а также с особенностями выбора элементарных данных в обобщённый массив при осуществлении алгоритма  $A_4$  ( $A_{42}$ ) (см. ссылку[C1]).

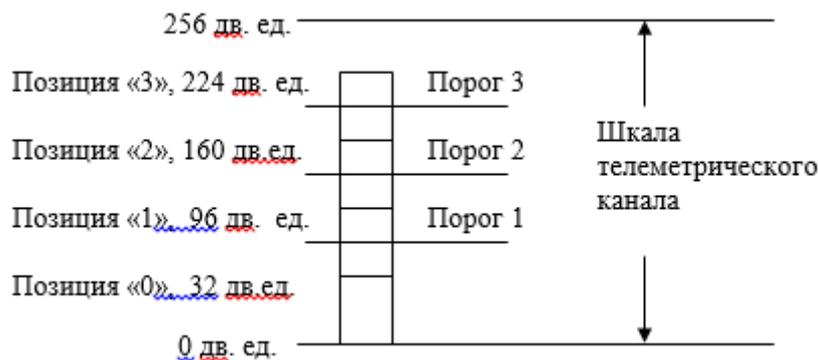
Чем ближе значение принятого сигнала  $z$  к какой-либо позиции идеального сигнала («0» или «1» для рассматриваемого примера, см. рисунок D-1), тем меньше вероятность его ошибочного опознания. Справедливо также следующее утверждение: наиболее достоверным элементарным данным чаще всего соответствуют наименьшие отклонения принятых сигналов  $z$  от их эталонных значений.

С другой стороны, достоверность, обеспечиваемая немодернизированными алгоритмами  $A_4$  и  $A_{42}$ , не хуже, чем при автовыборе (т.е.  $P_{ош\ i} \geq P_{ош\ об}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , где  $P_{ош\ i}$  — вероятность ошибки опознания в  $i$ -м канале разнесения,  $P_{ош\ об}$  — вероятность ошибочного элементарного обобщённого данного) [C1]. Если блок данных, поступивший из  $n$ -го канала разнесения, является лучшим по достоверности, но при этом  $P_{ош\ n} > P_{ош\ об}$  и обобщённые данные получены с использованием немодернизированных алгоритмов  $A_4$  и  $A_{42}$ , то и (логично) оценки надёжности элементарных данных блока  $n$ -го канала должны быть хуже, чем оценки блока полученных обобщённых данных. Т.е. логично, что оценки достоверности обобщённых элементарных данных, полученных с использованием алгоритмов  $A_4$  и  $A_{42}$ , не хуже, чем при автовыборе.

#### **D4 О СУЩНОСТЯХ НОРМАЛИЗАЦИИ ПРИНЯТОГО M-ПОЗИЦИОННОГО СИГНАЛА**

Нормализация принятого  $m$ -позиционного сигнала заключается в приведении значений его позиций к номинальным уровням единой шкалы канала. Показана [C7] суть нормализации принятого четырёхпозиционного телеметрического сигнала (рис. D-2).

Из таблицы D-3 следует, что в случае вышеупомянутой нормализации выбор двух старших разрядов двоичного восьмиразрядного слова, соответствующего аналоговой реализации четырёхпозиционного сигнала, (см. рисунок D-2) равносильно применению порогового разделения для опознания данных. При этом значения порогов 1, 2 и 3 соответственно равны 63,5; 127,5 и 191,5 двоичных единиц. При таких нормализации и опознании обеспечивается весьма высокая достоверность, если помеховая составляющая принятого сигнала аддитивна, а её математическое ожидание равно нулю [С7]. Также (что очень важно) обеспечивается чёткое размежевание фрагментов данных, относящихся к оценкам надёжности элементарных данных, и самих элементарных данных.



**Рисунок D-2: Эпюра четырёхпозиционного сигнала с номинальными значениями уровней позиций**

**Таблица D-3: Результаты представления значений номинальных уровней позиций четырёхпозиционного сигнала в двоичном виде**

№ позиции	Значения уровней позиций в дв. ед.	Значения разрядов							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	32	0	0	0	0	0	1	0	0
2	96	0	0	0	0	0	1	1	0
3	160	0	0	0	0	0	1	0	1
4	224	0	0	0	0	0	1	1	1

Сведения об оценках надёжности содержатся во фрагменте  $b_e$  слова  $e$ , показанного в таблице D-3, — с первого по шестой разряды. Суть их — характеристики отклонения принятого четырёхпозиционного сигнала от его номинального уровня. Они (характеристики) являются исходными сведениями для получения оценок надёжности элементарных данных в требуемом для последующего декодирования формате.

В рассмотренном случае (см. таблицу D-3) данное  $b_e$  содержит информацию об оценке надёжности элементарного данного, представленного двумя старшими битами (разрядами) — седьмым и восьмым. Однако возможен формат данного  $e_{об_оц}$ , необходимый для последующего декодирования, в котором элементарное данное не двухбитовое, а однобитовое. Это означает, что появляется необходимость формирования из каждого исходного слова, содержащего двухбитовое элементарное данное, двух слов, в каждом из которых к биту элементарного данного прикрепляется данное оценки его

надёжности (данное типа  $b_e$ ). Предполагается, что сущности такого формирования будут определены в перспективе.

В зависимости от требуемой точности оценок надёжности устанавливается разрядность данного типа  $b_e$ . Для закругления оценок нужно всего лишь отбросить его младшие разряды.

## D5 О ВЛИЯНИИ КАЧЕСТВА НОРМАЛИЗАЦИИ ПРИНЯТОГО М-ПОЗИЦИОННОГО СИГНАЛА НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ДАННЫХ (РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА)

Рассмотрены некоторые практические аспекты, касающиеся обоснования требуемой точности оценок надёжности типа  $b_e$ , связанные с нормализацией принятого четырёхпозиционного телеметрического сигнала (см. рисунок D-2).

Экспериментально установлено, что при осуществлении нормализации в наземных приёмно-регистрирующих станциях (ПРС) (таблица D-4) значения уровней позиций принятых четырёхпозиционных сигналов отличаются от их номинальных значений [С7]. Поэтому в настоящее время при обработке ТМИ с использованием аналоговых реализаций аналогового сигнала выполняется повторная нормализация.

**Таблица D-4: Экспериментальные данные, характеризующие качество нормализации, осуществляемое в ПРС**

ПРС	$U_{мед\ 1\ ср}$	$U_{мед\ 2\ ср}$	$U_{мед\ 3\ ср}$	$U_{мед\ 4\ ср}$
МК-12а	31	98	166	235
МК-16б	30	92	155	220
Ном. уровни	32	96	160	224

Примечание —  $U_{мед\ i\ ср}$  — среднее значение медианы  $i$ -й позиции четырёхпозиционного сигнала бортовой калибровки.

В этой связи исследовано [С7] влияние качества нормализации четырёхпозиционного телеметрического сигнала на достоверность.

Рассмотрены [С7] три способа установки порогов, а именно:

- первый способ: текущее обучение блока порогового разделения по выбранному для обучения четырёхпозиционному сигналу и автоматическая установка порогов (штатный режим работы для вычислительного центра космодрома);
- второй способ: выбор двух старших разрядов из восьмиразрядных слов, соответствующих аналоговым реализациям четырёхпозиционного сигнала (способ, реализованный с помощью некоторых применяемых компьютерных программ); при этом нормализация осуществлена только в ПРС;

- третий способ отличается от второго тем, что осуществлена дополнительная нормализация (кроме осуществлённой в ПРС).

В качестве базового выбран первый способ.

Получены балльные оценки, их сущности описаны в разд. 5.1.1. Значение оценки «-1» означает, что достоверность данных, обеспечиваемая испытуемым способом, *существенно* хуже, чем обеспечиваемая базовым способом; «0» — примерно такая же, а «1» — *существенно* лучше.

Из результатов эксперимента следует (таблица 5 б), что даже незначительное отклонение позиций от их номинальных значений приводит к *существенному* ухудшению достоверности [С7].

**Таблица D-5: Результаты испытания способов установки порогов при получении элементарных данных**

Способ №	Число блоков данных (в %), $E =$		
	-1	0	1
2	2	32	66
3	0	8	92

Таким образом, нормализация позволяет, во-первых, провести чёткую границу между элементарным данным (старшие разряды) и оценкой надёжности этого элементарного данного (младшие разряды), существенно упростив таким образом процесс модернизации алгоритмов  $A_4$  и  $A_{42}$ , а во-вторых, (это доказано экспериментально) существенно повысить достоверность данных при функционировании демодулятора в режиме жёстких решений.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

**ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ  
МОДЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИСПРАВЛЯЮЩИХ  
СПОСОБНОСТЕЙ АЛГОРИТМОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ  
ДАННЫХ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА ПРОИЗВОЛЬНЫЕ ПОМЕХИ,  
ДЕЙСТВУЮЩИЕ В РАДИОКАНАЛАХ**

## (ИНФОРМАТИВНОЕ)

Замечено [С6], что в рекомендациях CCSDS для оценивания помехоустойчивости обычно рассматривают каналы связи, в которых действуют помехи в виде аддитивного белого гауссова шума (АБГШ). Используемое при этом отношение  $E_b/N_0$  для оценивания помехоустойчивости актуально при решении широкого круга задач, относящихся к радиолиниям. Кроме относительной универсальности, преимущества такого подхода — в определённости (недвусмысленности) получаемых оценок, в наличии хорошо отработанного необходимого методического и программного обеспечения.

Однако в практике весьма часто встречаются произвольные помехи. Их плотность вероятностей может быть априори неизвестна. Это могут быть нестационарные помехи. Это могут быть сильно зависимые помехи, из-за влияния которых образуются пакеты ошибок. Результаты применения одних и тех же методов повышения помехоустойчивости в условиях АБГШ и в условиях произвольных помех могут существенно отличаться [С6].

Показаны издержки ([С6] и [С1]) из-за игнорирования или чрезмерного упрощения закона распределения помех при осуществлении разнесённого приёма сигналов.

Суммарный сигнал, полученный в результате разнесённого приёма, может быть представлен следующим образом:

$$z_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^n \beta_i z_i(t) , \quad (24)$$

где  $\beta_i$  — коэффициент усиления сигнала  $i$ -го канала разнесения,

$$z_i(t) = w_i y(t) + x_i(t) , \quad (25)$$

где

$y(t)$  — передаваемый сигнал;

$w_i$  — коэффициент, зависящий от условий распространения сигнала в  $i$ -м канале разнесения;

$x_i(t)$  — помеха в  $i$ -м канале разнесения.

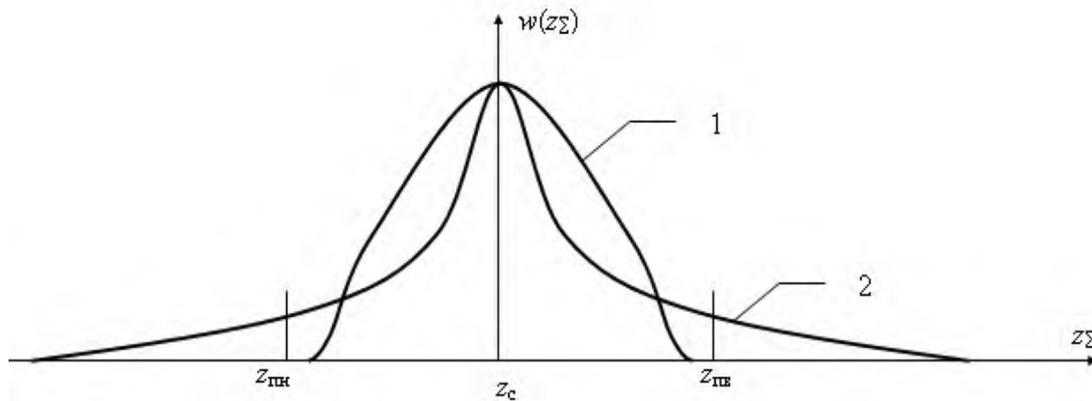
Коэффициенты  $\beta$  определяют по формуле:

$$\beta_{xi} = \frac{w_i}{D_{xi}}, \quad (26)$$

где  $D_{xi}$  — дисперсия помехи в  $i$ -м канале разнесения.

Рассмотрен простой пример.

Пусть вычислены две группы коэффициентов  $\beta$  (26) для получения суммарных цифровых сигналов  $z_{\Sigma}(t)$  (24), при применении которых имеют место два варианта распределения реализаций суммарного сигнала  $w_1(z_{\Sigma})$  и  $w_2(z_{\Sigma})$  (рис. Е-1). Положим также, что дисперсия помех в первом случае больше, чем во втором:  $D_{x\Sigma1} > D_{x\Sigma2}$ . С точки зрения анализируемого метода предпочтительнее второй вариант. Но выбор именно второго варианта приносит ошибки при выделении из суммарного сигнала содержащихся в нем данных, возникающих из-за выхода суммарного сигнала за границы нижнего и верхнего порогов  $z_{\text{пн}}$  и  $z_{\text{пв}}$  (см. рис. Е-1).



**Рисунок Е-1: Графики распределения плотности вероятности помех в суммарном сигнале**

Из приведенного примера следует, что упрощённый подход к назначению параметров для описания помеховой обстановки может стать причиной ухудшения достоверности данных. Однако если априори известно, что в каналах разнесения действуют независимые помехи, плотность распределения которых подчиняется нормальному закону, то при вычисленных по формуле (24) коэффициентах искажения суммарного сигнала  $z_{\Sigma}(t)$  минимальные. В этом случае дисперсия помех  $D_{xi}$  ( $i = 1, \dots, n$ ) полно описывает условия помеховой обстановки.

Показано [С1], что проблема определения рационального состава параметров для описания помеховой обстановки особенно сильно проявляется в случае зависимости помех, действующих в каналах разнесения. Отсутствие такой зависимости позволяет

уменьшить число параметров, не нанося ущерба качеству оценки помех. В то же время введение чрезмерного числа параметров не только существенно усложнит вычисления, но и может привести к обратному эффекту: ухудшению качества оценки при нестационарном характере действия помех. Чаще всего для учёта зависимости помех из-за невозможности принять во внимание все варианты их действия какие-то приходится игнорировать — несущественные, по мнению разработчика системы разнесённого приёма (в той или иной мере обоснованному).

Показано [С1], что и после выделения данных из аналоговых реализаций цифровых сигналов информация о помеховой обстановке теряется не полностью, возможность её восстановления повышается с увеличением объёма обучающей выборки. Существуют возможности создания весьма эффективных алгоритмов получения обобщённых данных (а не суммарных аналоговых реализаций сигналов) [С1]. Такими алгоритмами, в частности, являются  $A_4$  и  $A_{42}$  [С1].

Аналогами алгоритмов  $A_4$  и  $A_{42}$  являются алгоритмы  $A_a$  автовыбора и  $A_m$  мажорирования.

Для получения обобщённых данных применяют весовые характеристики достоверности (ВХД)  $W_{ki}$  (ВХД  $k$ -й комбинации для  $i$ -го канала разнесения). Причём  $W_{ki} = \{0,1\}$  для  $A_a$  (для  $(n-1)$  каналов разнесения ВХД равны 0, а для одного из  $n$  (с наиболее достоверными данными) ВХД равны 1),  $W_{ki} = 1/n$  для  $A_m$ .

Отличительная особенность алгоритмов  $A_4$  и  $A_{42}$  заключается в использовании оптимальных априори вычисленных наборов ВХД. Добавление какой-либо комбинации ВХД к такому набору бессмысленно (достоверность обобщённых данных не улучшится), а удаление какой-либо комбинации ВХД из него создаст предпосылки для ухудшения достоверности обобщённых данных.

Алгоритмы  $A_4$  и  $A_{42}$  адаптируются к изменяющимся во времени условиям помеховой обстановки. С использованием обучающей выборки (с использованием принятых тестовых данных) подбирают оптимальную комбинацию ВХД, а затем эту комбинацию используют для получения и информационных данных. Полагают, что параметры, описывающие условия помеховой обстановки, полученные с использованием принятых тестовых данных, могут быть распространены на информационные данные и при этом обеспечивается требуемая точность описания.

Имитируемый с использованием модели широкий диапазон состояний помеховой обстановки, в которых алгоритмы  $A_4$  и  $A_{42}$  обеспечивают *существенное* улучшение достоверности данных, [С1] аналогичен условиям действия произвольных помех.

При этом мерой достоверности, обеспечиваемой испытуемыми (разработанными) алгоритмами является уровень достоверности, обеспечиваемый базовыми алгоритмами в тех же или лучших состояниях помеховой обстановки. Например, при оценивании разработанного алгоритма  $A_4$  качестве базовых алгоритмов использованы [С1] известные автовыбор и мажорирование, а также разработанный алгоритм  $A_2$  с неоптимальным набором ВХД. Сущности полученных балльных оценок таковы (см. разд. 5.1.1): «-1» означает, что достоверность данных, обеспечиваемая испытуемым алгоритмом, *существенно хуже*, чем обеспечиваемая базовым алгоритмом; «0» — примерно такая же, а «1» — *существенно лучше*.

**ПРИЛОЖЕНИЕ F**  
**АББРЕВИАТУРЫ**  
**(ИНФОРМАТИВНОЕ)**

<u>Термин</u>	<u>Значение</u>	<u>Перевод на русский язык</u> (аббревиатура на русском языке)
ASM	attached sync marker	прикреплённый синхромаркер
AWGN	additive white Gaussian noise	аддитивный белый гауссов шум (АБГШ)
CCSDS	Consultative Committee on Space Data Systems	Консультативный комитет по космическим системам передачи данных
MCC	mission control center	Центр управления полётами (ЦУП)
PDL	partial data loss	частичная потеря информации (ЧПИ)
RAND	reasonable and non-discriminatory	разумная и недискриминационная (основа)
RRS	reception & record stations	приёмно-регистрирующие станции (ПРС)
R-S	Reed-Solomon	(код) Рида-Соломона
TDL	total data loss	Полная потеря информации (ППИ)
WCR	weight characteristics of reliability	весовые характеристики достоверности (ВХД)