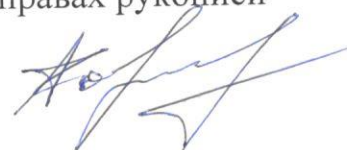


**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

На правах рукописи



**Воронцов Валерий Леонидович**

**РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ  
ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ ДАННЫХ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЙ  
ПРИ ОТРАБОТКЕ СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ**

Специальность 2.3.1.

Системный анализ, управление и обработка информации

**ДИССЕРТАЦИЯ**  
на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Научный консультант:  
доктор технических наук,  
профессор Потюпкин А.Ю.

Москва 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Оглавление</b>	2
<b>Введение</b>	5
<b>Глава 1. Анализ основных направлений повышения результативности информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения. Сущности научной проблемы</b>	33
1.1 Основные проблемные вопросы и методологические принципы развития СИТО .....	33
1.2 Стратифицированное описание объектов, касающихся СИТО .....	77
1.3 Методические основы повышения результативности СИТО. Выбор направлений исследования .....	84
1.4 Постановка научной проблемы. Методическая схема решения проблемы ...	96
Выводы по главе 1 .....	105
<b>Глава 2. Построение комплекса показателей, характеризующих существенные аспекты ИТО отработки средств выведения, и обеспечение их результативного использования в условиях неопределённости</b>	108
2.1 Разработка комплекса показателей, характеризующих существенные аспекты ИТО отработки средств выведения .....	108
2.2 Особенности оценивания эффективности усовершенствования программно-технических средств и информационных технологий в условиях неопределённости .....	114
2.3 Построение рациональных планов усовершенствования технических систем по экономическим показателям .....	120
2.4 Сущности отношений свойств телеметрической информации и разработанных показателей, характеризующих существенные аспекты ИТО .....	127
Выводы по главе 2 .....	131
<b>Глава 3. Основы комплексирования методов, обеспечивающих управление избыточностью данных телеизмерений, необходимое для построения рациональных стратегий применения СИТО</b>	134
3.1 Основы комплексирования методов противодействия неопределённым факторам, влияющим непосредственно на ТМИ .....	134
3.1.1 Общие подходы к комплексированию методов компактного представления ТМИ .....	134
3.1.2 Общие подходы к выбору методов сокращения потерь ТМИ в отдельном канале «борт-Земля» .....	138
3.1.3 Обоснование требований к алгоритмам получения обобщённых данных на основе анализа возможностей теории разнесённого приёма по улучшению качества ТМИ .....	141
3.1.4 Способы управления методами действий над ТМИ и сущности управляющих сигналов (данных) .....	149
3.2 Возможности улучшения ИТО, связанные с выбором телеметрируемых объектов .....	154

3.3	Развитие подхода к интеграции ПТС ИТО в единый комплекс, а также сформулированные с его использованием ограничения (требования) к комплексированию элементов СИТО .....	156
3.3.1	Сущности развитого подхода .....	156
3.3.2	Результаты осуществления развитого подхода .....	158
	Выводы по главе 3 .....	167
	<b>Глава 4. Теоретические положения, обеспечивающие рациональное управление избыточностью данных телеизмерений</b> .....	168
4.1	Алгоритм преобразования первичных сигналов, уменьшающий потери ТМИ вследствие ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений и обеспечивающий компактное представление данных ...	168
4.2	Технологии управляемого разнесённого приёма ТМИ .....	173
4.3	Метод построения алгоритмов получения обобщённых данных, адаптирующихся к изменяющимся условиям помеховой обстановки, и рациональные алгоритмы, построенные с его использованием .....	179
4.3.1	Факторы, усложняющие условия помеховой обстановки, создающие предпосылки ухудшения достоверности, обеспечиваемой разнесённым приёмом ТМИ .....	179
4.3.2	Методическая схема управления функциональной зависимостью между данными, поступившими из каналов разнесения, и обобщёнными данными для построения алгоритмов получения обобщённых данных, адаптирующихся к помеховой обстановке .....	182
4.3.3	Постановка задачи построения рациональных алгоритмов получения обобщённых данных, адаптирующихся к помеховой обстановке, основанных на подборе весовых характеристик достоверности, и результаты ее решения .....	184
4.4	Метод улучшения качества синхронизации принятых блоков данных .....	189
4.5	Особенности совмещения разнесённого приёма с другими методами улучшения достоверности данных .....	192
4.5.1	Общие подходы .....	192
4.5.2	Совмещение с методами помехоустойчивого кодирования ..	194
4.5.3	Улучшение качества разнесённого приёма данных путём применения помехоустойчивых методов модуляции .....	196
	Выводы по главе 4 .....	201
	<b>Глава 5. Прикладные результаты, обеспечивающие условия для реализации сформулированных теоретических положений</b> .....	203
5.1	Меры по улучшению качества обобщённых телеизмерений путём обработки ТМИ в БИТС в условиях жёстких ограничений пропускной способности каналов «борт-Земля» .....	203
5.1.1	Ограничения, касающиеся накопления ТМИ в БИТС, применяемых в условиях риска полётных аварий телеметрируемых объектов .....	203
5.1.2	Методическая схема компактного представления данных о вибропараметрах .....	207

5.1.3	Подход к формированию компактных структур ТМИ виртуальных БИТС .....	212
5.2	Обоснование облика рационального ТК .....	215
5.3	Проблемно-ориентированная концептуальная модель процесса ФОМДТ и связанные с его осуществлением рекомендации .....	216
5.4	Рекомендации по практическому применению алгоритмов получения обобщённых данных .....	219
5.5	Рекомендации по разработке технологии контроля наличия дефектов ТМИ при осуществлении ФОМДТ .....	220
5.6	Практические результаты осуществления рациональных стратегий применения усовершенствованных СИТО .....	224
	Выводы по главе 5 .....	225
<b>Глава 6. Критерии, модели и методики для оценивания достоверности, обеспечиваемой алгоритмами получения обобщённых данных, и результаты их применения</b>		227
6.1	Подходы к выбору критериев достоверности при решении задач ИТО .....	227
6.2	Показатели достоверности, обеспечиваемой алгоритмами получения обобщённых данных .....	229
6.3	Модель источника ошибок в каналах разнесения и порядок её использования при исследовании алгоритмов получения обобщённых данных .....	231
6.4	Оценивание разработанных алгоритмов с использованием модели источника ошибок в каналах разнесения и выбор рациональных алгоритмов .....	236
6.5	Методика определения рационального состава каналов разнесения с использованием бутстреп-метода для искусственного размножения статистических выборок и результаты её применения .....	240
6.6	Математические модели для определения «реакции» исследуемых алгоритмов на изменения условий помеховой обстановки и возможности их использования .....	246
6.7	Результаты экспериментальных оценок, подтверждающие правомерность применения разработанных моделей .....	252
	Выводы по главе 6 .....	255
<b>Заключение</b>		257
<b>Список сокращений и условных обозначений</b>		264
<b>Список литературы</b>		266
<b>Приложения</b>		
<b>А Некоторые пояснения сущностей применённых терминов</b>		286
<b>Б Практические примеры для пояснения сущностей решаемой проблемы</b>		288
<b>В Оптимальные весовые характеристики достоверности для разработанных алгоритмов получения обобщённых данных</b>		310

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы настоящего исследования** связана с информационно-телеметрическим обеспечением (ИТО) обработки *средств выведения орбитальных средств* (далее – средства выведения, см. Приложение А), являющимся важной составляющей процесса обработки ракетно-космической техники (РКТ) на полигонах и космодромах во время её лётных испытаний (ЛИ) и штатной эксплуатации (ШЭ). В условиях возрастающих технологических возможностей разработки новых образцов РКТ, минимизации из-за финансовых ограничений количества пусков на этапе лётных испытаний роль ИТО в повышении качества обработки возрастает.

К *средствам выведения* (см. Приложение А), в основном, относятся ракеты-носители (РН) и разгонные блоки (РБ) ракет космического назначения (РКН).

Целью вышеупомянутого ИТО (далее – ИТО) являются данные результатов обработки средств выведения, содержащие телеметрическую информацию (ТМИ), получаемые при решении задач ИТО, предоставляемые для решения задач анализа функционирования соответствующих телеметрируемых объектов [103] (см. Приложение А). К качеству этих данных предъявляются определённые требования, причём ресурсы (материальные, временные и др.), выделяемые на их получение (на решение задач ИТО), ограничены.

Задачи ИТО решаются *системой ИТО* (СИТО) (см. Приложение А). Программно-технические средства (ПТС) СИТО размещают на борту *средств выведения*, они входят в состав *телеметрического комплекса* (ТК) космодрома, а также могут быть внешними по отношению к ТК [в частности, применяют многофункциональную космическую систему ретрансляции (МКСР) типа «Луч» или TDRSS]. По каждому пуску РКН создают *комплекс средств измерений, сбора и обработки информации ракетно-космического комплекса* (КСИСО), причём из ПТС СИТО – КСИСО ТМИ (см. Приложение А).

Вследствие многотипности обрабатываемых РКН, разнонаправленности траекторий их полёта и разной периодичности пусков требования к текущим КСИСО ТМИ существенно отличаются друг от друга. Из-за разброса этих требований не удаётся определить стратегии построения СИТО с относительно мало-

численными ПТС в составе ТК, который был бы инвариантен к изменяющимся текущим задачам ИТО. Так, при подготовке космодрома Байконур к лётным испытаниям комплекса «Энергия-Буран» стоимость дооснащаемых средств ТК составила более 500 млн. рублей в ценах 70-х годов 20-го века [142]. Только для приёмо-регистрации ТМИ понадобилось более 100, причём разнотипных, приёмно-регистрирующих станций (ПРС); при пуске РКН с РН «Союз» обычно задействуют  $12 \div 15$  ПРС.

Для отечественных бортовых информационно-телеметрических систем (БИТС) с традиционным временным разделением каналов (ВРК) [71, 103] характерно увеличение объёма телеизмерений при увеличении количества телеметрируемых параметров (ТМП). При этом пропорционально увеличивается количество комплектов бортовых радиотелеметрических систем (БРТС) [71] и лавинообразно (из-за необходимости разнесённого приёма ТМИ) – количество ПТС ТК (прежде всего, ПРС). Обычно на один комплект БРТС приходится  $4 \div 6$  наземных ПРС [61]. Например, количество ТМП вышеупомянутых РН «Союз» и «Энергия» составляет 540 и 5670 соответственно, на борту РН «Союз» установлено 2 комплекта БРТС «БР-92Р-8», а на борту РН «Энергия» – 6 комплектов БРТС «Кварц» и 8 комплектов БРТС «Сириус». Значительная часть ПТС ТК, входящих в состав КСИСО при пуске РН типа «Энергия», оказывается излишней при решении задач ИТО в случае РН типа «Союз».

Необходимое условие существенного уменьшения разброса требований к текущим КСИСО ТМИ (и, соответственно, построения компактного ТК, инвариантного к изменяющимся текущим задачам ИТО) – существенное замедление роста объёма телеизмерений при увеличении количества ТМП (существенное уменьшение скорости поступления данных телеизмерений с выхода БИТС).

Предпосылки такого уменьшения существуют.

Установлено [129], что избыточность телеизмерений, формируемых отечественными БИТС, достигает 95% от их общего количества. Она значительно увеличивается вследствие необходимого разнесённого приёма ТМИ. В настоящей

работе показано, что её проявление связано со стремлением уменьшить потери ТМИ в условиях влияния неопределённых факторов разной природы (особенно неопределённости поведения ТМП и действия помех в каналах «борт-Земля»).

Однако потери ТМИ существенны, особенно при аварийном исходе пуска (когда вышеупомянутая неопределённость возрастает). Чтобы купировать потери ТМИ при возникновении нештатных и аварийных ситуаций на борту, нужно делать поправки на возросшую неопределённость, что в случае существующих подходов к построению СИТО приведёт к значительному увеличению объёма данных телеизмерений и, соответственно, увеличению и без того большой избыточности. Потребуется дополнительные ПТС для существующего (объёмного и избыточного) ТК. Появятся трудности сбора принятой ТМИ (особенно с использованием космических радиолиний [165]). Однако и тогда (это показано в настоящей работе) традиционные способы построения СИТО в части управления избыточностью данных телеизмерений не обеспечивают необходимое уменьшение потерь ТМИ. Поэтому существующая СИТО настроена на нормальный исход пуска, в то время как наиболее острая потребность в ТМИ появляется в случае нештатных и аварийных ситуаций. Из-за потерь ТМИ ухудшается качество отработки РКН. Необходимы новые стратегии управления избыточностью данных телеизмерений, обеспечивающие уменьшение потерь ТМИ до требуемого уровня, осуществляемые в условиях ограниченных денежных, материальных, временных, людских и др. ресурсов.

Для сокращения потерь ТМИ и обеспечения компактного представления данных телеизмерений целесообразен индивидуальный подход к множеству возможных состояний телеметрируемого объекта [103], что влечёт многообразие структур ТМИ, формируемых адаптивными [1] БИТС. Многообразие структур ТМИ недопустимо без их унификации, причём унификации, обеспечивающей инвариантность ПО ТК к изменяющимся задачам ИТО. Однако формы таких унифицированных структур ТМИ для отечественных СИТО пока не определены. Более того, наблюдается рост издержек, связанных с необходимостью постоянной доработки существующего программного обеспечения (ПО) ТК из-за отсутствия

механизма унификации структур ТМИ (систем телеметрических сигналов [17]), формируемых БРТС и наземными ПТС ТК. Для осуществления унификации необходимы соответствующие стандарты телеметрии, базирующиеся на системном подходе к построению элементов СИТО. Из-за их отсутствия качество управления процессом развития СИТО недостаточное. Сегодня не только не реализуются связанные с этими (предполагаемыми) стандартами преимущества, но и в процессе разработки и внедрения новых элементов СИТО закладываются и аккумулируются скрытые недостатки, проявляющиеся в дальнейшем. Разработчики отдельных ПТС обречены на фрагментарный подход. Признаком фрагментарности является фактически неуправляемый процесс разработки новых структур ТМИ [7]. Возникает необходимость создания дополнительного ПО для преобразования одной структуры в другую [7, 47, 154]. Последствия фрагментарного подхода проявляются и при подготовке ПО ТК к решению новых задач ИТО [47]. Издержки от необходимости решения задач согласования отдельных ПТС и структур данных (систем сигналов) возрастают, а потери ТМИ из-за действия вредных факторов разной природы, по сравнению с 70-ми годами 20-го века, не уменьшились. Поэтому вышеупомянутые необходимые стандарты нужны не только для обеспечения формирования унифицированных структур и осуществления определённых методов (алгоритмов) действий над ТМИ, но и для реализации возможностей существенного сокращения потерь информации. Они являются важным инструментом управления процессом развития СИТО, создания рациональных стратегий построения СИТО.

Однако сущности рациональных стратегий построения СИТО неочевидны. Так, для достижения одного и того же результата могут быть использованы различные методы (например, уменьшение потерь ТМИ может обеспечиваться применением методов модуляции, помехоустойчивого кодирования или методов сглаживания и фильтрации принятых данных телеизмерений). Для многих задач и условий анализа качество данных результатов обработки ТМИ, обеспечиваемое существующими СИТО, оказывается удовлетворительным. При этом оценки качества весьма субъективны и связаны со значительной поведенческой неопреде-



лённостью [124], что создаёт благоприятные условия для «проталкивания» плохих новых ПТС СИТО. Неочевидность сущностей развития СИТО особенно сильно проявляется на фоне узкой специализации сотрудников ИКК и подразделений анализа, сотрудников разных предприятий ракетно-космической отрасли. Вследствие этой неочевидности (или ошибочно кажущейся очевидности) существует благодатная почва для неодинакового видения путей развития разными специалистами, для заблуждений и для действий с позиции «группового эгоизма» [186]. Результаты ретроспективного анализа показали [61], что процесс развития отечественных СИТО экстенсивный. Однако признаки экстенсивного развития – отсутствие решений актуальных проблемно-ориентированных задач – скрыты за явными преимуществами применяемых новых современных средств на базе ПЭВМ, ИТ.

Для целенаправленной разработки стратегий построения СИТО и идентификации среди них рациональных стратегий необходимы новое научно-методическое обеспечение процесса развития СИТО и разработанные на его основе для решения практических задач развития официально принятая концепция развития СИТО и соответствующие ей вышеупомянутые стандарты телеметрии.

Эти концепция и стандарты телеметрии нужны для регламентирования процесса развития СИТО в условиях существующих производственных отношений отечественных предприятий ракетно-космической отрасли [8], при которых созданы предпосылки действовать, исходя из своих возможностей и предпочтений (исходя из своих интересов). Причём обычная основная цель развития предприятия – получение прибыли – лишь усугубляет ситуацию. Например, для предприятий-разработчиков и/или изготовителей ПТС ИТО логично определять ценность проекта размером прибыли, а не степенью удовлетворения требований анализаторов (т.е. требований, касающихся целевого применения ТМИ). Необходимы определённые организационно-технические меры по гармонизации производственных отношений путём построения и внедрения вышеупомянутых концепции и стандартов, обеспечивающих благоприятные условия перманентного повышения эффективности СИТО [41].

В отечественной практике качество ИТО оценивается прежде всего качеством данных результатов обработки ТМИ, которое, в свою очередь, оценивают по потерям информации во время пусков РКН. Формы представления этих данных заданы. Учитывают также траты ресурсов (см. выше).

Текущие требования к ИТО определяют, исходя из задач анализа, опосредованно через требования к КСИСО ТМИ, формируемого при подготовке к очередному пуску РКН. Подходы к построению КСИСО ТМИ базируются на практическом опыте обоснования выбора ПТС ТК его в состав (состав БРТС рассматривают как исходные сведения). При этом обычны доработки ПО ТК, возможны дооснащения ТК (см. пример дооснащения ТК для ЛИ комплекса «Энергия-Буран» [142]). При конкретизации задач ИТО (приёмо-регистрация, сбор ТМИ и т.д.) используют сведения о технических характеристиках (ТХ) отдельных ПТС (типа ПРС, БРТС и т.д. в составе ТК, СИТО).

Текущие оценки ИТО представляют в виде замечаний по результатам применения КСИСО ТМИ по пуску. При этом описывают факты вышеупомянутых потерь ТМИ (в частности, указывают датчики с ошибочно заданными границами ожидаемого диапазона измерения ТМП, временные интервалы с искажениями данных телеизмерений вследствие действия помех в каналах «борт-Земля», адреса ТМП с потерянной информацией вследствие аномального функционирования каких-либо бортовых и/или наземных ПТС).

Степень удовлетворения требований к ИТО в значительной мере зависит от исходов отработки (от исходов пусков). Обычно в случае полётной аварии ТМИ недостаточно для полноценного анализа (существующая СИТО настроена на нормальный исход пуска). Но и в случае достижения цели пуска важно установить степень близости к полётной аварии, идентифицировать (при их наличии) нештатные ситуации с целью принятия действенных мер по недопущению аналогичных ситуаций в дальнейшем. Однако результаты анализа ТМИ по пускам РН «Союз», «Зенит», «Протон» (представлены в настоящей работе) подтверждают обоснованность вышеупомянутых замечаний и свидетельствуют о значительных

потерях информации. Наблюдается избыточность ПТС ТК. Имеются основания утверждать, что требования к ИТО не выполняются.

Проведённый анализ сложившегося состояния дел позволил выявить проблемные вопросы, являющиеся отражением сложившегося противоречия, связанного с управлением избыточностью телеизмерений в условиях изменяющихся задач ИТО и действия неопределённых факторов различной природы. Снятие этого противоречия предполагает разрешение научно-технической проблемы, заключающейся в разработке стратегий управления избыточностью данных телеизмерений, позволяющего раскрыть эти проблемные вопросы, связанные с устранением следующих, наиболее зримо проявляющихся **недостатков**:

- имеют место значительные потери ТМИ, особенно из-за неопределённого поведения ТМП, из-за помех, действующих в каналах «борт-Земля»;

- отвлекаются значительные трудовые и материальные ресурсы на подготовку к новым задачам отработки из-за неинвариантности СИТО к изменяющимся задачам ИТО, причём подготовка в существующих условиях сжатых сроков не позволяет обеспечить требуемое качество ПТС ТК;

- качество управления процессом развития СИТО недостаточное (отсутствует системный, а доминируют субъективный и фрагментарный подходы) и не позволяет своевременно выявлять и устранять негативные тенденции, результативно использовать полезные аналоги из других областей, целенаправленно и своевременно принимать меры по устранению вышеупомянутых недостатков; из-за этого ПТС ТК избыточны, но не инвариантны.

Следует заметить, что, кроме потерь ТМИ, ключевой вопрос связан с создавшейся избыточностью ПТС СИТО. Необходимы стратегии усовершенствования и применения СИТО также обеспечивающие управление избыточностью ПТС ИТО.

Предпосылками для разрешения вышеупомянутой проблемы являются достижения в области системного анализа, теории принятия решений в условиях концептуальной неопределённости, оценивания эффективности проведения операций с использованием технических систем, теоретической и практической телеметрии, создающие методологические и технические условия для построения необходимых стратегий усовершенствования и применения СИТО.

Однако несмотря на наличие значительных достижений по отдельным направлениям и в различных областях, **степень разработанности темы исследования** недостаточна для его полноценной реализации.

Проблемы совершенствования ИТО исследуются достаточно давно. Остаются актуальными (в том числе и для настоящего исследования) работы по телеметрии Сафарова Р.Т., Мановцева А.П., Резвцова Н.Б, Богомолова О.С. [14, 103, 155, 156] и др., имеются результаты их успешного развития [88, 106, 125 и др.]. Разрабатывают новые методы измерений, обеспечивающие получение дополнительной информации о физических процессах на борту РКН в полётное время [117, 149 и др.].

В отечественной ракетно-космической отрасли перманентно выполняются НИОКР с целью улучшения ИТО. Однако, несмотря на очевидные положительные результаты их выполнения, перечисленные выше недостатки ИТО до сих пор не устранены. Хрестоматийным примером может быть НИР «Вершина-2» (1985-2000 годы) [137], цель выполнения которой заключалась в унификации структур ТМИ и телеметрических средств (прежде всего БРТС и ПРС), но так и не была достигнута.

Получение дополнительной информации (сокращение её потерь) во многом зависит от применяемой технологии разнесённого приёма ТМИ. Значительный вклад в теорию разнесённого приёма внесли отечественные учёные Финк Л.М., Банкет В.Л., Зюко А.Г. Фалько А.И. [3, 11, 82, 141, 175, 176, 182] и др. Однако созданный ими научно-методический аппарат не ориентирован на произвольные помехи (т.е. на условия помеховой обстановки при отработке РКН), не учитывает специфические особенности ТМИ. Он не может в полной мере быть использован для настоящего исследования.

Имеющийся международный и зарубежный опыт построения научно-методических основ организационно-технических аспектов унификации и стандартизации весьма ёмко представлен официальными документами [210, 215, 216 и др.]. Однако его полноценное использование без адаптации к отечественным условиям (например, использование положений стандартов типа CCSDS [200, 206, 208, 213 и др.] и IRIG [217]) не представляется возможным. Необходим всесторонний учёт специфики отработки отечественной РКТ, технических и технологиче-

ских возможностей отечественных предприятий ракетно-космической отрасли [49]. В частности, при отработке новых образцов РКТ в отечественной практике большее предпочтение отдают лётным испытаниям (по сравнению с наземными испытаниями и моделированием, проводимыми, например, в США). Поэтому на этапе ЛИ имеет место большая неопределённость поведения телеметрируемых параметров, связанные с ней потери ТМИ и избыточность данных телеизмерений. Значительная доля ТМП является быстроменяющимися параметрами (БМП), прежде всего вибропараметрами. Методы формирования ТМИ вибропараметров в БИТС и обработки её с применением ПТС ТК существенно отличаются от относящихся, например, к ТМИ медленноменяющихся параметров (ММП).

Вопросами системного совершенствования ИТО активно занимаются научные школы ВА РВСН имени Петра Великого и ВКА имени А.Ф. Можайского. Весьма ценные для настоящей работы методологические аспекты системного анализа представлены Васильевым В.В. и Потюпкиным А.Ю. [19]. Они касаются, в частности, стратифицированного описания атрибутов системы, обеспечивающего благоприятные условия для применения теоретико-множественного подхода и проблемно-ориентированного морфологического анализа, и, соответственно, для формализованного представления сущностей СИТО. Имеется ряд примеров (аналогов) осуществления удачного проблемно-ориентированного морфологического анализа [2, 162 и др.]. Основательный научно-методический аппарат для оценивания эффективности проведения операций с использованием технических систем разработан коллективом советских учёных, возглавляемых Авдеевским В.С. [122, 123, 124]. (Эти операции могут быть связаны с решением задач ИТО.) Однако, вопросы, связанные с управлением избыточными ресурсами СИТО, остаются нерешёнными. В связи с этим представляется актуальным проведение исследований, направленных на улучшение ИТО путём рационального управления избыточностью данных телеизмерений.

Для разработки необходимых стратегий управления избыточностью (для разработки правил, предписывающих целенаправленные действия над множеством оперируемых объектов типа телеметрируемых объектов, задач ИТО, ПТС

СИТО – и.т.д., обеспечивающие изменения избыточности данных телеизмерений и потерь ТМИ при усовершенствовании и применении по целевому назначению СИТО) существующий научно-методический аппарат не может быть использован в достаточной мере. Необходимы поиск нужных его фрагментов, их адаптация к решаемой проблеме, а также создание новых фрагментов.

Из результатов анализа **актуальности темы исследования и степени её разработанности** следует, что имеются **признаки актуальной научно-технической проблемы**, заключающейся в необходимости исследования сущностей связей экспериментальных оценок качества ТМИ, полученной с использованием СИТО при обработке РКН, и свойств элементов СИТО, опосредованных через эти оценки. Оно связано с разработкой новых стратегий управления избыточностью телеизмерений в условиях действия неопределённых факторов различной природы.

**Основное противоречие** связано с управлением избыточностью телеизмерений в условиях изменяющихся задач ИТО и действия неопределённых факторов различной природы. Необходимым условием сокращения обычных (и значительных) потерь ТМИ традиционным путём является увеличение избыточности, которая и без того чрезвычайно велика; её дальнейшее увеличение с целью противодействия вышеупомянутым неопределённым факторам бесперспективно и лишь недопустимо обострит противоречие. Для устранения противоречия нужны новые стратегии управления избыточностью данных телеизмерений.

**Цель настоящей работы** – обеспечение требуемой достоверности данных результатов обработки средств выведения путём сокращения потерь телеметрической информации на основе рационального управления избыточностью данных телеизмерений.

**Научная проблема** заключается в разработке стратегий управления избыточностью данных телеизмерений, обеспечивающих сокращение потерь телеметрической информации при решении задач информационно-телеметрического обеспечения обработки средств выведения в условиях действия неопределённых факторов разной природы.

Её решение связано с формализацией и постановкой задач системного анализа, управления и обработки телеметрической информации для устранения вы-

явленных противоречий путём разработки критериев, моделей, методов и алгоритмов структурно-параметрического синтеза СИТО.

Предлагаемые пути устранения противоречий ИТО предполагают **проведение исследований и разработок с решением следующих задач.**

1. Анализ основных направлений повышения результативности информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения. Сущности научной проблемы.

2. Построение комплекса показателей, характеризующих существенные аспекты ИТО отработки средств выведения, и обеспечение их результативного использования в условиях неопределённости.

3. Развитие подхода к интеграции ПТС ИТО в единый комплекс и формулирование соответствующих ограничений (требований) к комплексированию элементов СИТО.

4. Разработка с использованием предложенного комплекса показателей ИТО и развитого подхода к интеграции ПТС теоретических положений, обеспечивающих рациональное управление избыточностью данных телеизмерений.

5. Обеспечение условий для реализации сформулированных теоретических положений (прикладные результаты).

6. Разработка критериев, моделей и методик для оценивания уровня достоверности, обеспечиваемого алгоритмами получения обобщённых данных, и результаты их применения.

Некоторые пояснения сущностей терминов, применённых в настоящей работе, представлены в Приложении А. При их формулировании использованы имеющиеся аналоги [71, 122, 133].

**Объектом исследований** являются СИТО отработки средств выведения, а **предметом исследований** – методы управления избыточностью телеизмерений в условиях изменяющихся задач информационно-телеметрического обеспечения и действия неопределённых факторов разной природы, основанные на всестороннем использовании возможностей системы ИТО.

**Методологической основой** проведенного в диссертации **исследования** является системный анализ, теория принятия решений в условиях концептуальной неопределённости, методы оценивания эффективности проведения операций с использованием технических систем, теория управления, теория измерений, метрология, теория передачи данных, теория разнесённого приёма сигналов и данных, теория адаптации, теория множеств, морфологический анализ, теория вероятностей, теория математической статистики.

### **Основные положения и результаты, выносимые на защиту.**

1. Впервые предложен **комплекс показателей**, характеризующих существенные аспекты ИТО отработки средств выведения, а именно:

- обеспечиваемый уровень достоверности данных результатов отработки средств выведения, оцененный через его функциональную зависимость от потерь информации вследствие влияния неопределённых факторов разной природы;

- материальные затраты на достижение требуемого уровня достоверности данных результатов отработки, зависящие от технико-экономических характеристик отдельных ПТС, применяемых при решении задач ИТО;

- оперативность функционирования ПТС ИТО, характеризующаяся временем получения данных результатов отработки средств выведения с требуемым уровнем достоверности.

2. На основе априорного анализа состава и доступных характеристик неопределённых факторов разной природы и с учётом специфических особенностей ПТС ИТО **развит подход к интеграции** этих ПТС **в единый комплекс** с целью компенсации влияния вышеупомянутых неопределённых факторов на достоверность данных результатов отработки средств выведения. Развитый подход заключается в формировании ограничений (требований) к комплексированию элементов СИТО и основан на формальной процедуре морфологического анализа.

3. С целью уменьшения потерь ТМИ вследствие влияния неопределённых факторов разной природы с использованием предложенного комплекса показателей ИТО и развитого подхода к интеграции ПТС разработаны рациональные стратегии управления избыточностью данных телеизмерений, для осуществления которых необходимы следующие полученные **теоретические положения и результаты**:



- **алгоритм преобразования первичных сигналов**, уменьшающий потери ТМИ вследствие ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений, и обеспечивающий компактное представление данных в условиях жёстких ограничений пропускной способности каналов «борт-Земля»;

- **технологии управляемого разнесённого приёма**, обеспечивающие уменьшение потерь ТМИ вследствие действия произвольных помех в каналах «борт-Земля» улучшением достоверности обобщённых данных, а также создающие благоприятные условия для сокращения количества взаимодублируемых ПРС. Их отличительная особенность заключается в изменении времени задержки для повторной передачи ТМИ, накопленной в бортовом запоминающем устройстве (БЗУ), по командам, формируемым на телеметрируемом объекте и наземными ПТС;

- **метод построения алгоритмов получения обобщённых данных**, адаптирующихся к изменяющимся условиям помеховой обстановки, а также **рациональные алгоритмы**, построенные с использованием этого метода, применяемые в технологиях управляемого разнесённого приёма, обеспечивающие *существенное* повышение уровня достоверности, по сравнению с известными аналогами (алгоритмами автовыбора и мажорирования);

- **метод улучшения качества синхронизации принятых блоков данных**, обеспечивающий благоприятные условия применения алгоритмов получения обобщённых данных регенерированием синхросигналов (синхроимпульсов). Регенерирование заключается в подстановке обнаруженного, удалении ложного и оставлении на своём месте принятого достоверного синхроимпульса и связано с использованием свойства периодического следования синхроимпульсов.

4. Получены **прикладные результаты**, обеспечивающие условия для реализации сформулированных теоретических положений, а именно:

- **рекомендации по беззатратному накоплению ТМИ** на телеметрируемых объектах в условиях риска полётных аварий, сформулированные по результатам анализа ТМИ аварийных пусков РКН и с использованием разработанной концептуальной модели

перехода датчиков и элементов БРТС в состояние полной метрологической непригодности в случае полётной аварии с разрушением конструкции телеметрируемого объекта;

- **рекомендации по формированию облика рационального телеметрического комплекса космодрома** в условиях изменяющихся задач ИТО, сформулированные на основании предложенного комплекса показателей, характеризующего ИТО, результатов развитого подхода к интеграции ПТС и результатов анализа перспектив развития СИТО и практического опыта решения задач ИТО;

- **проблемно-ориентированная концептуальная модель процесса ФОМДТ**, базирующаяся на системном подходе к его составляющим, обеспечивающая конкретизацию их усовершенствования с учётом сформулированных рекомендаций по формированию облика рационального ТК в части ФОМДТ;

- **рекомендации по разработке технологии выявления причин (источников) дефектов ТМИ**, возникающих вследствие аномальной работы элементов применяемых ПТС СИТО и аномалий в окружающей их среде, и уменьшения потерь информации из-за этих дефектов, осуществляемой в процессе ФОМДТ. Применяемые для разных типов РКН однотипные ПТС СИТО, одинаковая технология действий над ТМИ позволили разработать общие подходы к обнаружению дефектов в полученной ТМИ и их устранению, а также к построению ПТС СИТО и структур ТМИ с обеспечением благоприятных условий результативного контроля качества ТМИ.

5. Для оценки уровня достоверности, обеспечиваемой разнесённым приёмом ТМИ, с целью обоснования выбора необходимых каналов разнесения и рациональных алгоритмов получения обобщённых данных разработаны **методика и два типа взаимодополняемых моделей**:

- **методика определения рационального состава каналов разнесения (взаимодублируемых ПРС)** с использованием бутстреп-метода для искусственного размножения статистических выборок **и результаты её применения**;

- **модель источника ошибок в каналах разнесения**, позволяющая имитировать разнообразие состояний помеховой обстановки путём комбинирования блоков данных, в различной степени искажённых помехами, **и результаты её применения** при сравнительном

анализе разработанного (испытуемого) алгоритма получения обобщённых данных и базовых (в частности, автовыбора и мажорирования). Модель хорошо согласуется с разработанными балльными оценками достоверности (с частными показателями) и – далее – с предложенным комплексом показателей ИТО (с общими показателями);

- **математическая модель** в виде сумм значений ВХД и соответствующих им условных вероятностей, по которым определяется «реакция» алгоритма на различные состояния помеховой обстановки (т.к. количество комбинаций ВХД ограниченное, то объём вычислений относительно мал). Модель позволяет значительно расширить круг исследовательских задач, касающихся условий помеховой обстановки и функционирования в этих условиях испытуемого алгоритма; в частности, возможностей повышения достоверности при усилении помех в отдельных каналах разнесения, при исключении данных некоторых каналов разнесения из процесса получения обобщённых данных.

**Научная новизна** полученных результатов заключается в следующем.

1. Впервые путём систематизации известных показателей эффективности по сформулированным правилам получен **комплекс показателей**, характеризующих существенные аспекты ИТО отработки средств выведения, для оценивания стратегий усовершенствования и применения СИТО. Новизна заключается в использовании показателей, позволяющих независимо от сущностей анализируемых альтернативных стратегий получать их сравнительные оценки и выбирать наиболее результативные стратегии.

2. Впервые представлен **развитый подход к интеграции ПТС ИТО** в единый комплекс, базирующийся на системном анализе с использованием проблемно-ориентированных методов морфологического анализа, и результаты его применения. Новизна заключается в реализации возможностей получения конечного (и относительно малочисленного) множества наборов требований (ограничений) к стратегиям применения СИТО, имеющим необходимые признаки рациональных стратегий, что существенно сужает границы поиска рациональных стратегий без ущерба его качеству.

3. Впервые представлены **теоретические положения и результаты**, необходимые для построения рациональных стратегий применения СИТО, разрабо-

таные с использованием предложенного комплекса показателей ИТО и развитого подхода к интеграции ПТС, а именно:

- **новый алгоритм преобразования первичных сигналов.** Его новизна заключается в увеличении избыточности установлением амплитуды и уровней квантования первичного сигнала с целью снижения риска потери информации из-за ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений (когда первичный сигнал зашкаливает или он находится на уровне шума) и последующем уменьшении избыточности существенным уменьшением количества уровней квантования первичного сигнала, которое определено сопоставлением влияния на точность измерений шумов квантования и существующих внешних факторов (причём оценки влияния внешних факторов получены на основе эмпирических сведений). Применение алгоритма позволяет уменьшить потери ТМИ вследствие ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений и обеспечить компактное представление данных в условиях жёстких ограничений пропускной способности каналов «борт-Земля»;

- **новые технологии управляемого разнесённого приёма.** Их новизна заключается в изменении времени задержки ТМИ в БЗУ в зависимости от изменяющихся условий помеховой обстановки, что позволяет существенно улучшить достоверность данных телеизмерений и создать благоприятные условия для сокращения количества взаимодублируемых ПРС;

- **новый метод разработки алгоритмов получения обобщённых данных** с использованием ВХД. Его новизна заключается в получении оптимального набора комбинаций ВХД, от которых зависит достоверность данных, а также в определении порядка оперирования этими априори вычисленными ВХД. Метод позволяет конструировать **новые алгоритмы**, обеспечивающие бóльшую достоверность, чем совокупное применение существующих автовыбора и мажорирования;

- **новый метод улучшения качества синхронизации принятых блоков данных.** Его новизна заключается в сущностях регенерирования принятых синхросигналов (синхроимпульсов).

4. Впервые представлены **прикладные результаты**, обеспечивающие условия для реализации сформулированных теоретических положений, а именно:

- новые **рекомендации по беззатратному накоплению ТМИ** в БИТС, применяемых в условиях риска полётных аварий телеметрируемых объектов. Рекомендации связаны с необходимостью обработки ТМИ на телеметрируемом объекте и (как следствие) с необходимостью накопления ТМИ в БИТС. Их новизна заключается в разработанной концептуальной модели перехода датчиков и элементов БРТС в состояние полной метрологической непригодности в случае полётной аварии с разрушением конструкции телеметрируемого объекта и в использовании при применении этой модели результатов анализа ТМИ аварийных пусков РКН. Они содержат сведения о рациональном размещении элементов БРТС на РКН и об особенностях построения самѝх БРТС (потери ТМИ вследствие полётных аварий существенно снижаются);

- новые **рекомендации по формированию облика рационального телеметрического комплекса космодрома** в условиях изменяющихся задач ИТО. Их новизна заключается в результатах систематизации знаний, касающихся предложенного комплекса показателей ИТО, результатов развитого подхода к интеграции ПТС, результатов анализа перспектив развития СИТО и практического опыта решения задач ИТО;

- новая **проблемно-ориентированная концептуальная модель процесса ФОМДТ**. Еѝ новизна заключается в декомпозиции процесса ФОМДТ с детализацией его составляющих, позволяющей выработать адекватные меры по усовершенствованию элементов СИТО, относящихся к ФОМДТ;

- новые **рекомендации по разработке технологии выявления причин (источников) дефектов ТМИ и уменьшения потерь информации** из-за этих дефектов. Их новизна заключается в подходах к поиску и устранению последствий проявления дефектов, основанных на знании процессов формирования структур ТМИ в применяемых ПТС СИТО. При этом показаны возможности создания благоприятных условий для контроля качества ТМИ, связанные с выбором (разработкой) соответствующих ПТС для формирования заданных структур ТМИ.

5. Впервые для оценки уровня достоверности, обеспечиваемой разнесѝнным приёмом ТМИ, представлены методика определения рационального состава каналов

**разнесения** (взаимодублируемых ПРС), результаты её применения и **два типа взаимодополняемых моделей**, причём:

- новая методика определения рационального состава каналов разнесения предназначена для установления факта избыточности (недостаточности) задействованных каналов разнесения, определения ценности отдельных вариантов их задействования. Новизна связана с использованием бутстреп-метода для искусственного размножения статистических выборок, относящихся к составу оцениваемых каналов разнесения, необходимого для существующих условий. Результаты применения методики получены с использованием реальной ТМИ РКН, являются новыми знаниями для обоснования решений по развитию существующей СИТО;

- новые **взаимодополняемые модели** для оценивания алгоритмов получения обобщённых данных ориентированы на произвольные помехи. Новизна заключается в подходах к моделированию и оцениванию. В первом случае (**модель источника ошибок в каналах разнесения**) мерой достоверности, обеспечиваемой испытываемыми (разработанными) алгоритмами, является уровень достоверности, обеспечиваемый базовыми алгоритмами в тех же или в лучших состояниях помеховой обстановки, причём оценки получены для широкого диапазона состояний помеховой обстановки и согласованы с предложенным комплексом показателей ИТО. Во втором случае **математические модели** отражают сущности разрабатываемых (испытываемых) алгоритмов, касающиеся порядка выбора комбинаций ВХД, с которыми связаны «реакции» испытываемого алгоритма на состояния помеховой обстановки, опосредованные через соответствующие им условные вероятности данных, поступивших из каналов разнесения, используемые для вычисления оценок достоверности. Особенность математических моделей, заключающаяся в том, что каждое анализируемое состояние помеховой обстановки идентифицируют по неизменной «реакции» испытываемого алгоритма на изменяющуюся помеховую обстановку, позволяет минимизировать количество анализируемых состояний без ущерба качеству оценок уровня достоверности, соответственно уменьшить объём вычислений. **Использование взаимодополняемых моделей** позволяет получить новые (более совершенные) возможности построения и выбора рациональных алго-

ритмов среди испытуемых для их последующего применения или среди модификаций алгоритма при управлении процессом его усовершенствования.

**Теоретическая значимость работы** связана с гармонизацией знаний (новых полученных и уже существующих), касающихся СИТО, инструментами системного анализа. При этом вышеупомянутые инструменты также относятся к новым (полученным) и уже существующим знаниям. Внесён существенный вклад в развитие теории, а именно:

- дополнен научно-методический аппарат для оценивания эффективности проведения операций с использованием технических систем, относящихся к информационно-измерительным системам, причём с учётом специфики, касающейся потерь информации вследствие влияния неопределённых факторов разной природы, субъективных подходов к её ценности, возможностей получения необходимой информации (необходимых сведений) альтернативными способами с формированием соответствующих разнотипных данных и т.д.; обеспечивается принятие решений в условиях концептуальной неопределённости этих систем;

- расширены возможности системного подхода более полным использованием проблемно-ориентированных модификаций морфологического анализа, что позволяет существенно сузить границы поиска рациональных стратегий построения информационно-измерительных систем среди альтернативных вариантов,

- представлены новые подходы к комплексированию методов компактного представления данных, повышения помехоустойчивости при передаче данных по отдельному радиоканалу и улучшения достоверности данных разнесённым приёмом, ориентированные на существенное улучшение обобщённых (общих) показателей качества информационно-измерительной системы;

- на основе теории измерений, метрологии и теории передачи данных разработан алгоритм преобразования первичных сигналов (сигналов на выходе датчиков) в данные телеизмерений, показаны сущности новых теоретических его аспектов, касающихся обеспечения требуемой точности измерений, сокращения потерь информации вследствие ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений и компактного представления данных телеизмерений, актуальных в условиях значительной неопределённости поведения телеметрируемых

параметров и жёстких ограничений пропускной способности каналов связи для передачи вышеупомянутых данных телеизмерений;

- получены новые теоретические знания, связанные с разнесённым приёмом, создающие благоприятные условия для развития научно-методического аппарата, касающегося следующих направлений:

а) поиск с целью улучшения достоверности новых способов разнесения данных (сигналов) и комплексирования методов их разнесённого приёма и других методов повышения помехоустойчивости данных радиолиний (разработка аналогов представленным в настоящей работе технологиям управляемого разнесённого приёма ТМИ и способам вышеупомянутого комплексирования с учётом условий их применения);

б) построение (конструирование) с использованием метода, представленного в настоящей работе, алгоритмов получения обобщённых данных с оптимальным множеством весовых характеристик достоверности, адаптирующихся к изменяющимся условиям помеховой обстановки;

в) оценивание с использованием разработанных критериев, моделей и методик уровня достоверности данных, обеспечиваемого вышеупомянутыми сконструированными алгоритмами и другими алгоритмами (методами) повышения помехоустойчивости данных в условиях действия произвольных помех в каналах связи.

**Практическая значимость полученных результатов** заключается в существенном улучшении ИТО отработки средств выведения, выражающемся в реализации следующих новых возможностей.

1. Получать сравнительные оценки альтернативных стратегий усовершенствования и применения СИТО, используя комплекс показателей ИТО, независимо от сущностей этих стратегий; например, появляется возможность сравнить ТК с использованием МКСП и традиционный ТК (ИПы, ВИПы и т.д.).

2. Осуществлять целенаправленный поиск рациональных стратегий усовершенствования и применения СИТО, используя сформулированные в соответствии с развитым подходом к интеграции ПТС ИТО наборы требований к рациональным стратегиям; развитый подход является альтернативой нерациональному и существующему в настоящее время порядку действий «на глазок» и методом «проб и ошибок».



3. Построить рациональный ТК с уменьшенным количеством ПТС в его составе и инвариантный по отношению к изменяющимся во времени задачам ИТО при существенном сокращении потерь ТМИ и повышении оперативности решения задач ИТО.

4. Сократить на 7,9% потери ТМИ из-за неопределённого поведения ТМП; представлять виброизмерение 3-хбитовым данным.

5. Обеспечить беззатратное накопление ТМИ в БРТС (до единиц секунд).

6. Уменьшить интервалы ППИ и ЧПИ до единичных недостоверных данных применением управляемого разнесённого приёма ТМИ.

7. *Существенно* улучшить достоверность применением разработанных алгоритмов получения обобщённых данных (обеспечивают *существенно* лучшую достоверность, чем автовыбор и мажорирование, в более 1/3 моделируемых состояний помеховой обстановки, а в остальных состояниях – примерно такую же достоверность).

8. Предотвратить потери информации применением разработанного метода улучшения качества синхронизации принятых блоков данных.

9. Снизить риски необнаружения дефектов ТМИ и (как следствие) дезинформации анализаторов путём реализации рекомендаций по разработке технологии их предотвращения и выявления причин (источников) их возникновения.

**Достоверность и обоснованность** полученных научных результатов исследований подтверждается корректностью выполненных математических преобразований, результатами испытаний с использованием моделируемых данных и реальной ТМИ, тем, что полученные результаты имеют понятную физическую трактовку и не противоречат известным сведениям.

**Основные результаты диссертации апробированы следующим образом:**

**- реализованы на практике:**

а) реализованы в положениях международного стандарта CCSDS 551.1-O-1 «Correlated Data Generation» (акт о реализации от 07.11.2017 г.);

б) внедрены в ОАО «НПО ИТ» и представлены в материалах ОКР «Байконур» для модернизация и реконструкция измерительного комплекса космодрома Байконур (акт о реализации от 18.06.2010 г.);

в) реализованы в учебном процессе кафедры № 34 Военной академии РВСН имени Петра Великого – в учебно-методическом комплексе по дисциплине «Анализ и синтез радиотехнических комплексов» и нашли отражение в материалах военно-специальной игры на тему «Организация работ испытательного полигона по военно-техническому сопровождению разработки перспективного радиотелеметрического комплекса» (акт о реализации от 23.01.2009 г.).

г) реализованы в учебном процессе кафедры № 34 Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского – в рамках основной профессиональной образовательной программы по специальности 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы в дисциплине «Методы и средства обработки телеметрической информации» (акт о реализации от 30.04.2021 г.).

**- представлены в публикациях:**

а) опубликованы в двух монографиях (в двух изданиях [60, 61] и в [222]); в 35 печатных научно-технических статьях [7, 8, 9, 23-53, 223], в том числе в 27 изданиях, рекомендованных ВАК; в 10 отчётах о НИР («Стыковка», «Стыковка-2», «Интеллектуализация-2011», «Эксперимент-НИИ КП», «Авангард-Конвергенция-НИИ КП», «Гарантия-С-НИИ КП») и ОКР («Байконур»);

б) обсуждались на 15 научно-технических конференциях НИО МО и промышленности, на отраслевых [62-65], всероссийской НТК [10], а также на международных НТК [66, 67, 221, 224, 225];

в) подтверждены шестью патентами на изобретение [54-59], причём патенты № 2339164 и 2446438 поддерживаются и реализованы в рекомендуемых стандартах CCSDS (см. документ CCSDS 551.1-O-2 «Correlated Data Generation»).

**Направления дальнейшего использования результатов работы:**

- дальнейшие исследования направлений существенного повышения эффективности ИТО, выходящие за границы настоящей работы, но гармонично дополняющие её (в частности, связанные с разработкой новых методов измерений, с определением априори рационального состава ТМП – и т.д.);

- разработка официальной концепции развития СИТО, в которой должны быть представлены основные направления и обоснованные показатели эффективности развития;

- разработка и внедрение отечественных стандартов телеметрии, относящейся к средствам выведения, соответствующих требованиям вышеупомянутой официальной концепции, позволяющих целенаправленно и эффективно решать практические задачи применения и усовершенствования СИТО;

- дальнейшее внедрение полученных в настоящей работе результатов, касающихся разнесённого приёма ТМИ, в рекомендуемые стандарты CCSDS; исследования по комплексированию методов, представленных в настоящей работе, и в документах (в положениях рекомендуемых стандартов) CCSDS;

- реализация представленных в настоящей работе новых методов, методик и алгоритмов отечественными предприятиями ракетно-космической отрасли с целью существенного повышения эффективности ИТО отработки РКН;

- включение результатов настоящей работы в программы и внедрение в процессы обучения специалистов в области телеметрии (построение и эксплуатация БРТС, ПТС ТК) в высших технических учебных заведениях.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация содержит введение, шесть глав, заключение, список литературы и три приложения. Диссертация (без приложений) изложена на 285 страницах машинописного текста, включает 51 рисунок, 28 таблиц и список литературы из 225 наименования. Приложения представлены на 28 страницах машинописного текста и включают 35 рисунков и 7 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность научной проблемы, описано выявленное основное противоречие. Сформулированы цель, объект и предмет исследования, пути устранения противоречий ИТО, методологическая основа проведения исследования, основные положения и результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, их научная новизна и практическая значимость, их достоверность и обоснованность.

**В первой главе** выполнен системный анализ проблемы (из него следует, что результативность существующих СИТО недостаточна), определены пути её решения. Рассмотрены существующие условия развития СИТО и выявлены их особенности. Из выполненного анализа следует, что необходимое условие инвариантности СИТО (прежде всего, ПТС ТК) к изменяющимся задачам ИТО и сокращения количества ПТС ТК – компактное

представление ТМИ в месте её зарождения (т.е. на телеметрируемом объекте), а также уменьшение избыточности данных телеизмерений при осуществлении разнесённого приёма ТМИ. При этом нужно значительно уменьшить потери ТМИ. Традиционное уменьшение потерь ТМИ связано с увеличением избыточности данных телеизмерений, которая и без того чрезмерна. Нужны новые стратегии управления избыточностью. Обоснована целесообразность системного подхода к развитию СИТО, методическую основу которого составляет проблемно-ориентированный морфологический анализ. Осуществлена формализация проблемы исследования. Основа формализации – стратифицированное описание объектов (рассмотрены страты, касающиеся различных аспектов предмета исследования). Представлена методическая схема решения поставленной научной проблемы.

**Во второй главе** представлен общий научно-методический аппарат для оценивания результативности СИТО, применяемых в условиях действия неопределённых факторов разной природы, являющихся причиной неопределённости исходов применения (исходов решения задач ИТО). Разработан комплекс универсальных показателей, характеризующих существенные аспекты ИТО, установлен порядок его применения. Рассмотрены особенности оценивания эффективности усовершенствования программно-технических средств и информационных технологий в условиях неопределённости (в том числе целевой и поведенческой неопределённости). Исследовано влияние субъективного подхода ЛПР к выбору стратегий усовершенствования и применения СИТО. Разработано методическое обеспечение выбора рациональных планов модернизации ПТС и ИТ по экономическим показателям. Показано, что из-за субъективных подходов, неполной информации о перспективах развития ПТС и ИТ точность прогнозируемых технико-экономических характеристик обычно невысока. Обоснован выбор характеристик свойств (качества) ТМИ, исходя из сущностей отношений их и разработанных показателей ИТО, для управления установлением свойств ТМИ, формируемой отдельными ПТС из состава КСИСО, с целью повышения эффективности СИТО в целом.

**В третьей главе** рассмотрены способы комплексирования методов для минимизации количества средств ТК и обеспечения их инвариантности к изменяющимся задачам ИТО. Развита методика к интеграции ПТС ИТО в единый комплекс, а

также сформулированы с его использованием ограничения (требования) к комплексированию элементов СИТО, касающиеся осуществления стратегий усовершенствования и применения СИТО. Развитый подход базируется на теоретико-множественном подходе и проблемно-ориентированном морфологическом анализе, представлены результаты его применения. Он позволяет осуществить среди альтернативных стратегий целенаправленный выбор рациональных стратегий усовершенствования и применения СИТО, обеспечивающих ограничения суммарной скорости поступления ТМИ по каналам «борт-Земля» на входы ТК для создания благоприятных условий минимизации количества ПТС ТК и их инвариантности к изменяющимся задачам ИТО. При этом *существенно* сокращаются потери ТМИ. В соответствии с вышеупомянутым развитым подходом сформулировано множество наборов (совокупностей) требований (ограничений), относящихся к соответствующим стратифицированным объектам множества рациональных стратегий применения СИТО, причём множество этих наборов требований (ограничений) и множество связанных с ними объектов – конечное.

**В четвёртой главе** с использованием предложенного комплекса показателей ИТО и развитого подхода к интеграции ПТС разработаны теоретические положения, обеспечивающие рациональное управление избыточностью данных телеизмерений. К ним относятся: 1) алгоритм преобразования первичных сигналов, уменьшающий потери ТМИ вследствие ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений, и обеспечивающий компактное представление данных в условиях жёстких ограничений пропускной способности каналов «борт-Земля»; 2) технологии управляемого разнесённого приёма ТМИ, обеспечивающие уменьшение потерь ТМИ вследствие действия помех в каналах «борт-Земля» улучшением достоверности обобщённых данных, а также создающие благоприятные условия для сокращения количества взаимодублируемых ПРС; 3) метод построения алгоритмов получения обобщённых данных, адаптирующихся к изменяющимся условиям помеховой обстановки, а также рациональные алгоритмы, построенные с использованием этого метода, обеспечивающие *существенное* повышение уровня достоверности, по сравнению с известными аналогами (алгоритмами автовыбора и ма-

жорирования); 4) метод улучшения качества синхронизации принятых блоков данных, обеспечивающий благоприятные условия применения алгоритмов получения обобщённых данных. Разработке метода построения алгоритмов получения обобщённых данных и построению самих алгоритмов предшествует анализ факторов, усложняющих условия помеховой обстановки, создающих предпосылки ухудшения достоверности, обеспечиваемой разнесённым приёмом ТМИ. Исследованы возможности управления функциональной зависимостью между данными, поступившими из каналов разнесения, и обобщёнными данными с целью создания алгоритмов получения обобщённых данных, адаптирующихся к помеховой обстановке. Применение разработанного метода построения алгоритмов получения обобщённых данных связано с постановкой комбинаторной задачи и её решением. В результате решения этой задачи разработаны алгоритмы  $A_4$  и  $A_{42}$ . Рассмотрены особенности и возможности совмещения разнесённого приёма с другими методами улучшения достоверности данных (с методами помехоустойчивого кодирования/декодирования и модуляции).

**В пятой главе** представлены полученные прикладные результаты, обеспечивающие условия для реализации сформулированных теоретических положений. К ним относятся: 1) рекомендации по беззатратному накоплению ТМИ на телеметрируемых объектах, сформулированные по результатам анализа ТМИ аварийных пусков РКН и с использованием разработанной концептуальной модели перехода датчиков и элементов БРТС в состояние полной метрологической непригодности в случае полётной аварии с разрушением конструкции телеметрируемого объекта; 2) рекомендации по формированию облика рационального телеметрического комплекса космодрома в условиях изменяющихся задач ИТО, сформулированные на основании предложенного комплекса показателей, характеризующего ИТО, результатов развитого подхода к интеграции ПТС и результатов анализа перспектив развития СИТО и практического опыта решения задач ИТО; 3) проблемно-ориентированная концептуальная модель процесса ФОМДТ, базирующаяся на системном подходе к его составляющим, которые относительно автономны, что позволяет разрабатывать научно-методический аппарат и формулировать рекомендации отдельно по каждой из них с целью улучшения процесса ФОМДТ в це-

лом; 4) рекомендации по разработке технологии выявления причин (источников) дефектов ТМИ, возникающих вследствие аномальной работы элементов применяемых ПТС ИТО и аномалий в окружающей их среде, и уменьшения потерь информации из-за этих дефектов, осуществляемой в процессе ФОМДТ; применяемые для разных типов РКН однотипные ПТС ИТО, одинаковая технология действий над ТМИ делают целесообразной разработку общих подходов к обнаружению дефектов в полученной ТМИ и их устранению.

**В шестой главе** представлены критерии, модели и методики для оценивания достоверности, обеспечиваемой алгоритмами получения обобщённых данных, и результаты их применения. Предложена методика оценивания достоверности данных с использованием вышеупомянутых критериев и разработанной модели источника ошибок в каналах разнесения, показаны порядок её использования при исследовании алгоритмов получения обобщённых данных и возможности выбора с её помощью рациональных алгоритмов. Описана методика определения рационального состава каналов разнесения (задействуемых ПРС), разработанная с использованием бутстреп-метода для искусственного размножения статистических выборок, необходимого в существующих условиях значительных ограничений статистических сведений о качестве приёма ТМИ, предназначенная для идентификации избыточности (недостаточности) задействованных каналов разнесения и определения ценности отдельных вариантов их задействования, а также представлены результаты её применения. Разработаны математические модели для определения «реакции» исследуемых алгоритмов получения обобщённых данных на изменения условий помеховой обстановки, показаны возможности их использования с целью улучшения достоверности на основе установления связи между возможными состояниями этих алгоритмов и состояниями помеховой обстановки, в которых они применяются. Разработанные математические модели также позволяют значительно расширить круг исследовательских задач (в частности, касающихся возможностей повышения достоверности при усилении помех в отдельных каналах разнесения, при исключении данных некоторых каналов разнесения из процесса получения обобщённых данных). Представлены экспериментальные доказательства правомерности использования разработан-

ного научно-методического аппарата, относящегося к алгоритмам получения обобщённых данных.

**В заключении** подведены итоги проведенных исследований.

**В приложения** вынесены некоторые пояснения сущностей применённых терминов (Приложение А), описания практических примеров для пояснения сущностей решаемой проблемы (Приложение Б) и значения вычисленных оптимальных ВХД для разработанных алгоритмов получения обобщённых данных (Приложение В).

Реализация основных положений работы позволит добиться требуемой эффективности ИТО, создаст благоприятные условия для научных исследований в области современных ПТС и ИТ.

Диссертационная работа является итогом исследований, проведенных самостоятельно автором за период с 1996 по 2021 год, по улучшению ИТО путём развития ПТС и информационных технологий, касающихся, прежде всего, разнесённого приема ТМИ.



# ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТРАБОТКИ СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ. СУЩНОСТИ НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ

## 1.1 Основные проблемные вопросы и методологические принципы развития СИТО

Средствами выведения обычно являются РН и РБ РКН. Их отработка осуществляется с использованием измерительной информации, в том числе ТМИ, которую получают в результате решения задач ИТО с использованием *системы информационно-телеметрического обеспечения* (СИТО) (см. Приложение А). По каждому пуску РКН создают комплекс средств измерений, сбора и обработки (КСИСО), причём для решения задач ИТО из ПТС СИТО создают КСИСО ТМИ (см. Приложение А). ПТС КСИСО ТМИ (рисунок 1.1) размещают на телеметрируемых объектах ( $R_{OT}$ ), выбирают из состава ТК ( $R_{TK}$ ), а также используют внешние ПТС ( $R_{внеш}$ ) по отношению к ТК (типа МКСП).

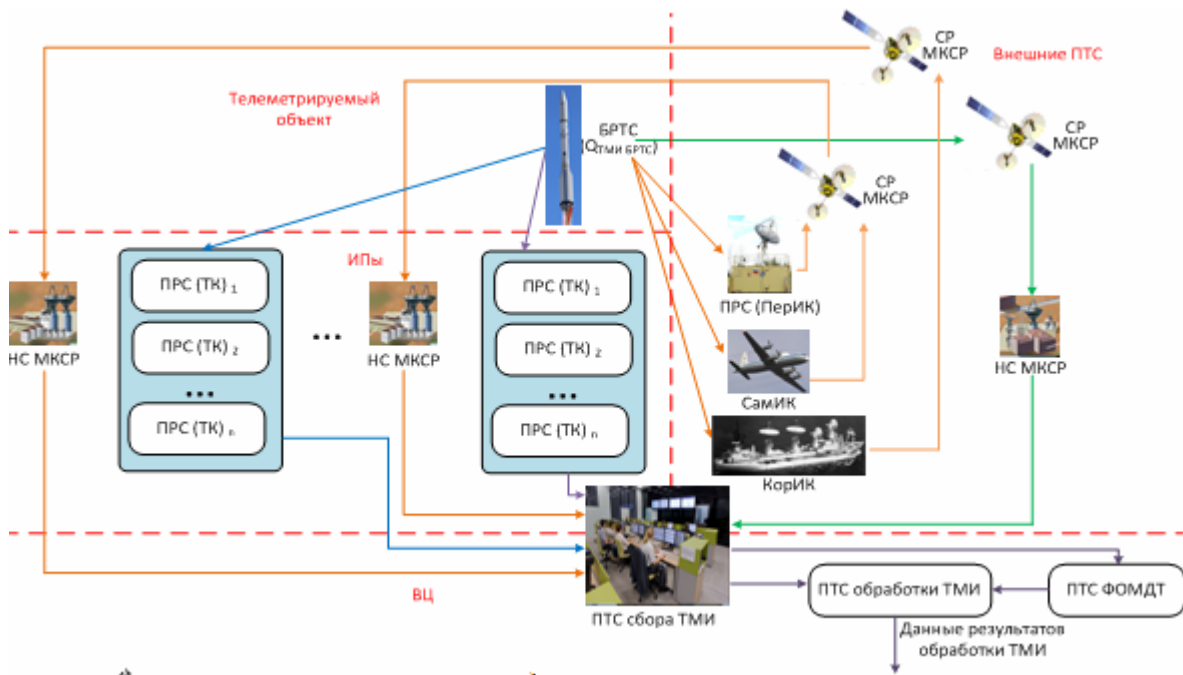


Рисунок 1.1 – Комплекс средств измерений, сбора и обработки телеметрической информации

С задачами ИТО связаны *стратегии операций усовершенствования и применения СИТО* (см. Приложение А). Решая задачи  $Z_{ИТО}$  ИТО по пуску РКН, осуществляют соответствующие стратегии применения СИТО (применения  $R_{OT}$ ,  $R_{TK}$  и  $R_{внеш}$ ), формируют определённые потоки ТМИ.

При этом велики потери информации вследствие влияния неопределённых факторов разной природы. Традиционные способы сокращения потерь информации связаны с увеличением избыточности данных телеизмерений, которая и без того чрезвычайно велика. Её дальнейшее увеличение с целью противодействия вышеупомянутым неопределённым факторам бесперспективно. При осуществлении стратегий применения СИТО необходимы новые стратегии управления избыточностью данных телеизмерений, обеспечивающие компактное представление ТМИ и требуемый уровень её достоверности. Пути построения таких стратегий неочевидны. Чтобы их определить, необходим анализ основных направлений повышения результативности ИТО.

### Информационные потоки при решении задач ИТО

Данные результатов обработки ТМИ  $Q_{\text{ТМИ\_ан}}$  (рисунок 1.2) используются специалистами (далее – анализаторами) для принятия решений, связанных с оценками качества функционирования бортовых систем средств выведения (телеметрируемых объектов  $O^*$ ). Исходим из того, что анализ данных  $Q_{\text{ТМИ\_ан}}$  представляет собой одну из сторон мыслительной деятельности человека.

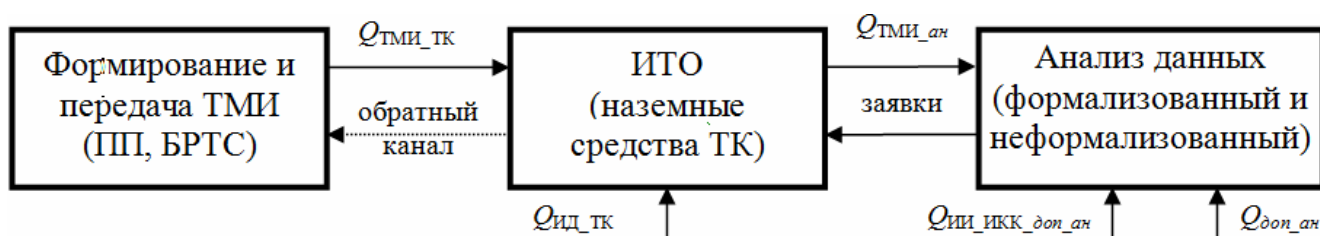


Рисунок 1.2 – Информационные потоки при решении задач ИТО  
(пунктирные линии обозначают необязательное наличие обратного канала связи)

Пояснения сущностей сигналов (данных), обозначенных на рисунке 1.2:  
 $Q_{\text{ТК\_ТМИ}}$  – рабочая нагрузка ТК, создаваемая ТМИ, поступающей на его входы;  
 $Q_{\text{ИД\_ТК}}$  – исходные данные для обработки ТМИ программно-техническими средствами (ПТС) ТК;  $Q_{\text{ТМИ\_ан}}$  – рабочая нагрузка анализаторов, относящаяся к ТМИ;  
 $Q_{\text{ан\_доп}}$  – рабочая нагрузка анализаторов, создаваемая за счёт привлечения дополнительных по отношению к ТМИ источников информации (внешнетраекторные измерения, данные телевизионного контроля и т.д.);  $Q_{\text{ан\_ИКК\_доп}}$  – рабочая нагрузка анализаторов, создаваемая за счёт привлечения дополнительных по отношению к

ИКК источников информации (например, сведения о стендовых испытаниях узлов и агрегатов РКН в заводских условиях).

Качество данных  $Q_{\text{ТМИ}_{ан}}$  во многом определяется свойствами ТМИ  $Q_{\text{ТМИ}_{\text{ТК}}}$  (см. рисунок 1.2), поступающей с телеметрируемого объекта, которые (в свою очередь) предопределены возможностями радиотелеметрической системы (РТС) [106, 155] (рисунок 1.3), включающей в себя БРТС и приёмно-регистрирующую станцию (ПРС). При этом БРТС не входит, а ПРС входит в состав ТК.

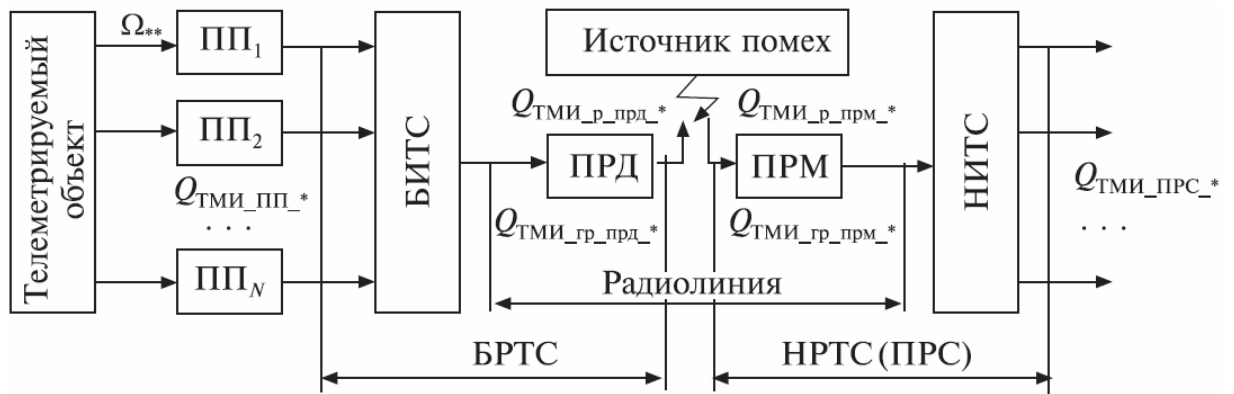


Рисунок – 1.3. ТМИ, формируемая ПП и РТС

Функции РТС (см. рисунок 1.3) состоят в следующем.

С помощью первичных преобразователей (ПП) формируются первичные сигналы  $Q_{\text{ТМИ}_{\text{ПП}_*}}$  [71, 103], каждый из которых соответствует телеметрируемому процессу ( $\Omega_{\text{ТМП}_*}$  – множество телеметрируемых параметров). Первичные сигналы поступают на входы бортовой информационно-телеметрической системы (БИТС), являющиеся одновременно входами БРТС. На другие входы БРТС могут поступать данные, необходимые для решения задач обработки ТМИ (например, содержащие команды, переданные по обратному каналу связи (см. рисунок 1.2), для изменения режима работы БРТС; данные от бортового формирователя временной шкалы; и т.д.). В БИТС формируются групповые телеметрические сигналы (ГТС) [106]  $Q_{\text{ТМИ}_{\text{гр}_{\text{прд}_*}}$ , и может осуществляться целевая обработка [103] ТМИ, заключающаяся, например, в сжатии данных телеизмерений [155], их помехоустойчивом кодировании [155]. Для передачи ТМИ по каналам «борт-Земля» ГТС  $Q_{\text{ТМИ}_{\text{гр}_{\text{прд}_*}}$  в передающих устройствах (ПРД) БРТС преобразуются в радиосигналы  $Q_{\text{ТМИ}_{\text{р}_{\text{прд}_*}}$ . Радиосигналы, искаженные помехами, действующими в каналах

«борт-Земля» ( $Q_{\text{ТМИ}_p\text{прм}_*}$ ), поступают на входы приёмных устройств (ПРМ) наземной части РТС (НРТС). С выходов ПРМ на входы наземной информационно-телеметрической системы (НИТС) поступают восстановленные ГТС ( $Q_{\text{ТМИ}_gp\text{прм}_*}$ ). На другие входы НИТС поступают сигналы, необходимые для решения задач обработки ТМИ [например, команды дистанционного управления процессом приёмо-регистрации, сигналы системы единого времени (СЕВ) для формирования временной шкалы и т.д.]. С помощью НИТС формируется выходная структура ТМИ НРТС ( $Q_{\text{ТМИ}_прс_*}$ ). Наиболее часто вместо «НРТС» употребляют термин «приёмно-регистрирующая станция» [155 § 1.2], который будем использовать в дальнейшем.

Представленные на рисунках 1.2 и 1.3 схемы поясняют сущности ПТС  $R_{\text{ИТО}}$  ( $R_{\text{ПП}}$ ,  $R_{\text{БРТС}}$ ,  $R_{\text{ПРС}}$  и т.д.), применяемых для решения задач ИТО.

Между отдельными ПТС может осуществляться обмен данными (его сущности пояснены рисунок 1.4). ПТС и обмен данными между ними осуществляют аналогично информационным сетям (ИС) [119, 198]. Отдельные ПТС – это узлы в терминах, применяемых при описании ИС [119]. Для решения задач ИТО пуска РКН отдельные средства ТК, соответствующие определённому БРТС, через каналы связи объединяют в комплекс средств измерений, сбора и обработки измерительной информации (КСИСО) [133] ТМИ. КСИСО является, по сути, информационной сетью. При формировании каждого КСИСО ТМИ учитываются цели и задачи пуска, этапы проведения работ, возможности БРТС и ТК.

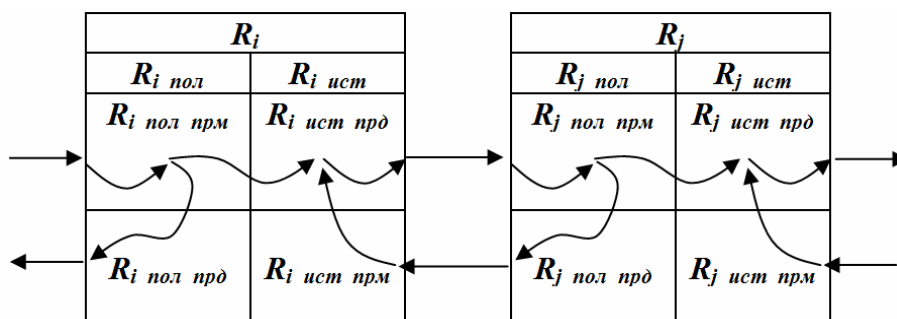


Рисунок 1.4 – Информационные потоки при обмене данными между ПТС (узлами)  $R_i$  и  $R_j$

Потоки ТМИ формируют в зависимости от задач  $Z_{\text{ИТО}}$  ИТО.

## Влияние качества ТМИ на результаты анализа

Положим, что элементы СИТО подобраны таким образом, что обеспечивают отсутствие потерь ТМИ в данных  $Q_{\text{ТМИ\_ан\_ид}}$  ограниченного объёма, предназначенных для анализа (в реальных данных  $Q_{\text{ТМИ\_ан\_р}}$  из-за действия вредных факторов  $\Lambda$  разной природы какая-то часть ТМИ обычно теряется). Обычно множество представляемых для анализа (в какой-то мере взаимодополняемых) данных значительно превышает требуемое при успешном пуске ( $Q_{\text{ТМИ\_ан\_тр\_норм}}$ ), но их явно недостаточно в случае аномалий (когда требуется  $Q_{\text{ТМИ\_ан\_тр\_аном}}$ ) (рисунок 1.5):

$$Q_{\text{ан\_}\Sigma} = Q_{\text{ТМИ\_ан\_р}} \cup Q_{\text{ан\_ИКК\_доп}} \cup Q_{\text{ан\_доп}}, \quad (1.1)$$

$$Q_{\text{ан\_отсут\_норм}} = Q_{\text{ТМИ\_ан\_тр\_норм}} \setminus Q_{\text{ан\_}\Sigma} = \emptyset, \quad (1.2)$$

$$Q_{\text{ан\_отсут\_аном}} = Q_{\text{ТМИ\_ан\_тр\_аном}} \setminus Q_{\text{ан\_}\Sigma} \neq \emptyset, \quad (1.3)$$

где  $Q_{\text{ан\_}\Sigma}$  – совокупность имеющихся для анализа данных;

$Q_{\text{ан\_отсут}}$  – недостающие данные для решения задач анализа в полном объёме.

(Здесь знаками « $\cup$ » и « $\setminus$ » обозначено объединение и разность множеств [150] соответственно, а  $\emptyset$  – пустое множество [150]. Дополнительные индексы «норм» и «аном» относятся к случаям нормального функционирования бортовых систем при пуске и аномального функционирования некоторых систем. Выражения (1.1), (1.2) и (1.3) относятся к смысловой нагрузке, которую несут анализируемые данные.)

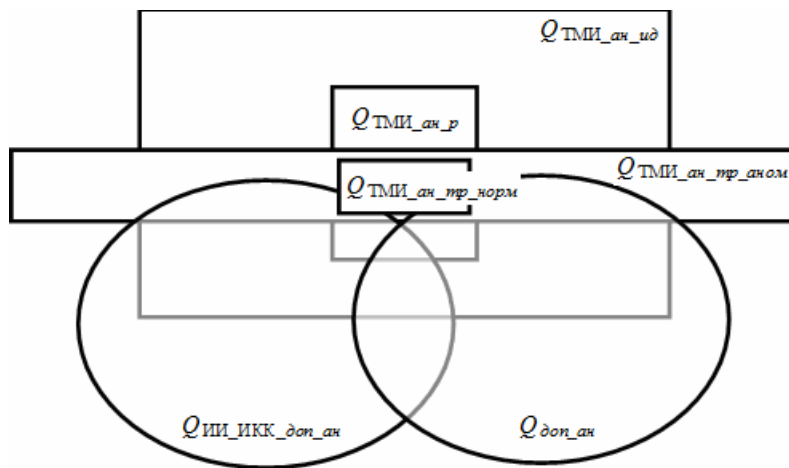


Рисунок 1.5 – Множества данных, представленные в виде диаграмм Эйлера-Венна

Из рисунка 1.5 следует, что даже в идеальном случае, когда

$$Q_{\text{ан\_}\Sigma\_ид} = Q_{\text{ТМИ\_ан\_ид}} \cup Q_{\text{ан\_ИКК\_доп}} \cup Q_{\text{ан\_доп}}, \quad (1.4)$$

$$Q_{\text{ан\_отсут\_аном}} = Q_{\text{ТМИ\_ан\_тр\_аном}} \setminus Q_{\text{ан\_}\Sigma\_ид} \neq \emptyset, \quad (1.5)$$

также нужны дополнительные сведения, т.к. часть необходимых данных отсутствует. Такие ситуации часто возникают в практике отработки средств выведения.

Требуемое качество данных для анализа ( $W_{Q\_ан\_mp}$ ), их состав ( $Q_{ан\_Σ\_mp}$ ) во многом зависят от исхода пуска ( $Is$ ), а также от возможностей применяемой технологии обработки измерительной информации ( $Pt$ ), от профессионального уровня анализаторов ( $Kv$ ). Причём возможности технологии  $Pt$  определяются свойствами СИТО и квалификацией персонала ТК. Таким образом:

$$W_{Q\_ан} = W_{Q\_ан}(Q_{ТМИ\_ан\_p}, Q_{ИИ\_ИКК\_дон\_ан}, Q_{дон\_ан}, Is, Pt, Kv) . \quad (1.6)$$

Из (1.6) следует, что для получения интегрированных оценок качества рабочей нагрузки анализаторов  $W_{Q\_ан}$  необходимо учесть совокупное действие значительного числа факторов, в том числе и не поддающихся объективному оцениванию.

Например, традиционно используемые сведения о потерях ТМИ в виде временных интервалов, характеризующих устойчивый приём, частичные потери (ЧПИ) и полные потери информации (ППИ), идентифицируемые как «сбои», неполно отражают издержки, зависящие от многих факторов. В частности, ценность телеизмерений зависит от цели пуска, от циклограммы полёта изделия, от качества функционирования бортовых систем и т.д. Обычно наиболее жёсткие требования к качеству телеизмерений предъявляются на этапе лётных испытаний (ЛИ) и менее жёсткие – на этапе штатной эксплуатации (ШЭ). Наиболее важна ТМИ на интервалах отделения ступеней, сброса головного обтекателя и т.д. (т.е. во время наиболее активного функционирования бортовых систем). Особую ценность она представляет при возникновении аварийных ситуаций (для выявления причин аварий). Без установления связи потерь ТМИ с оценками  $W_{Q\_ан}$  (1.6) не представляется возможным принятие адекватных мер по улучшению достоверности телеизмерений. В то же время на сегодняшний день не существует методик определения влияния качества телеизмерений, полученных при отработке средств выведения, на эффективность решения задач ИТО.

В таблице 1.1 представлены сведения о ТМИ сигнальных параметров, обрабатываемой одним из подразделений ВЦ космодрома (8 пусков РН «Союз» и 5 пусков РН «Протон», осуществлённых в 2004-м – 2005 годах). Эти сведения иллюстрируют неочевидность сущностей связи между достоверностью телеизмерений и качеством данных результатов обработки ТМИ.

Из таблицы 1.1 следует, что доля сигнальных датчиков, точное время срабатывания которых из-за помех в каналах «борт-Земля» определить не удалось, велика. Тем не менее, соответствующие задачи анализа были решены успешно. Большая информационная избыточность при штатном функционировании контролируемых бортовых систем обычно позволяет анализаторам восполнить потерянную информацию. Значительно хуже дело обстоит при аномальном функционировании каких-либо бортовых систем, особенно в условиях потерь (искажений) ТМИ.

Пусть (для простоты) функционирование бортовых систем определяется двумя состояниями: нормальным и аномальным (соответственно  $S_{i\_норм}$  и  $S_{i\_аном}$ , где  $i$  – обозначение имени бортовой системы). Под нормальным функционированием понимается признанный порядок функционирования [161], под аномальным – наличие отклонений от признанной нормы [161]. В процессе анализа может быть идентифицировано нормальное или аномальное состояние контролируемой  $i$ -й бортовой системы (соответственно  $S_{i\_норм\_ид}$  и  $S_{i\_аном\_ид}$ ). При этом возможны следующие исходы анализа:  $S_{i\_00} = \{S_{i\_норм}, S_{i\_норм\_ид}\}$ ,  $S_{i\_01} = \{S_{i\_норм}, S_{i\_аном\_ид}\}$ ,  $S_{i\_10} = \{S_{i\_аном}, S_{i\_норм\_ид}\}$ ,  $S_{i\_11} = \{S_{i\_аном}, S_{i\_аном\_ид}\}$  (рисунок 1.6). Ошибки типа  $S_{i\_10}$  и  $S_{i\_01}$  классифицируются как ошибки первого («пропуск цели») и второго («ложная тревога») рода.

Таблица 1.1 – Сведения о неудачах при определении точного времени срабатывания сигнальных датчиков из-за помех в каналах «борт-Земля»

Тип РН	Условная частота бортового передатчика	Приблизительное число контролируемых параметров		Число неудачных определений времени срабатывания датчика после одного пуска			Число пусков
		НП	НП и ЗУ	НП	НП и ЗУ, из них		
					НП	ЗУ	
«Союз»	154	46	-	2	-	-	5
				1	-	-	3
	094	60	-	10	-	-	7
				11	-	-	1
«Протон»	154	23	9	0	5	2	5
				7	7	0	2
	084	30	14	7	4	0	1
				7	4	1	1
				7	6	0	1
	074	29	21	4	0	0	1
3				1	1	4	

Примечание: «НП» означает, что ТМИ о контролируемых параметрах передается непосредственно, а «ЗУ» – с выхода БЗУ; «НП и ЗУ» – передаётся как в режиме «НП», так и в режиме «ЗУ».

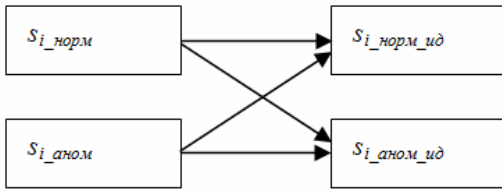


Рисунок 1.6 – Граф исходов анализа функционирования бортовых систем

Один из методологических принципов анализа заключается в утверждении, что для перехода  $i$ -й системы из состояния  $s_{i\_норм}$  в состояние  $s_{i\_аном}$  необходимо определённое время. Поэтому на относительно коротком временном интервале  $\Delta t$  ( $\Delta t = t_k - t_n$ ) при  $s_i(t_n) = s_i(t_k) = s_{i\_норм}$ ,  $t_n < t_j < t_k$ , вероятность того, что  $s_i(t_j) = s_{i\_норм}$ , велика. В случае потери ТМИ на интервале  $\Delta t$  полагают, что состояние  $i$ -й системы оставалось неизменным:  $s_i(t_n < t_j < t_k) = s_{i\_норм}$ . Очевидно, что с ростом  $\Delta t$  такое утверждение становится всё более сомнительным. Известны практические случаи перехода  $i$ -й системы из *нормального* состояния в *аномальное* и снова в *нормальное* ( $s_{i\_норм} - s_{i\_аном} - s_{i\_норм}$ ). Например, один из четырех блоков первой ступени РН «Союз» отделился на  $\sim 2$  секунды позже трёх других блоков (отделившихся штатно), давление в камере сгорания одного из двигателей второй ступени РН «Протон-М» в течение  $\sim 20$  секунд после его выхода на режим работы изменялось в недопустимых пределах – и т.д. Если бы описанные в приведенных практических примерах аномалии по времени совпали с потерями ТМИ, то имели бы место ошибки типа  $s_{i\_10}$ . Причины их возникновения установить было бы невозможно, что создало бы угрозу их повторения в ходе последующих пусков. При этом не исключены аварийные исходы.

При искажении ТМИ (чаще всего из-за аномальной работы бортовых или наземных ПТС) увеличивается вероятность  $p[s_{i\_01}(t_j)]$  дезинформации при  $s_i(t_n \leq t_j \leq t_k) = s_{i\_норм}$  (рисунки Б.1, Б.2). Поиск истины требует времени и усилий, обычно осуществляется в условиях повышенной напряженности, особенно на этапе оперативной обработки и анализа. Уместна в качестве примера гипотеза обнаружения живых объектов на поверхности Венеры и её опровержение («живые объекты» на изображении были порождены шумами в канале связи) [92].

Вероятность состояния  $s_{i\_аном}$  во время ЛИ в значительной мере зависит от результатов предшествующей отработки  $i$ -й системы изделия в наземных условиях [21, 132].

Таким образом, правомерно утверждение о невозможности получения относительно точных и объективных оценок качества рабочей нагрузки  $W_{Q\_ан}$  (1.6).



## Проявление дефектов ТМИ (потерь ТМИ) в практике

Вышеупомянутые ошибки идентификации связаны, в частности, с неопределённостью  $\Lambda_{\text{ТМП}}$  поведения ТМП и с неопределёнными факторами  $\Lambda_{\text{ном}}$ , касающимися помех в каналах «борт-Земля» ( $\Lambda_{\text{ТМП}} \subset \Lambda$ ,  $\Lambda_{\text{ном}} \subset \Lambda$ ). Они являются следствием недостаточной частоты опроса датчиков ( $\Lambda_{\text{ТМП\_опр}}$ ,  $\Lambda_{\text{ТМП\_опр}} \subset \Lambda_{\text{ТМП}}$ ), выхода значений телеметрируемых параметров за границы выбранного (ожидаемого) диапазона измерений ( $\Lambda_{\text{ТМП\_диап}}$ ,  $\Lambda_{\text{ТМП\_диап}} \subset \Lambda_{\text{ТМП}}$ ), действия помех в каналах «борт-Земля» ( $\Lambda_{\text{ном}}$ ). Неустранённые дефекты ТМИ ухудшают качество данных  $Q_{\text{ТМИ\_ан\_р}}$ , представляемых анализаторам, повышая вероятность ошибок идентификации.

Поясним сущности неопределённых факторов  $\Lambda_{\text{ТМП\_опр}}$  (рисунок 1.7).

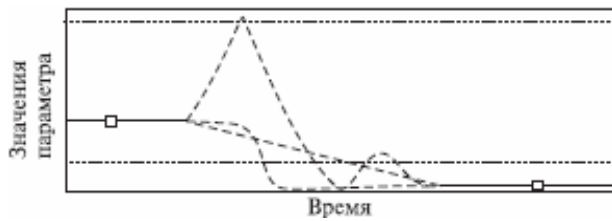


Рисунок 1.7 – Графики, иллюстрирующие потери ТМИ из-за недостаточной частоты опроса датчика (тонкие пунктирные линии – верхний и нижний пределы измерений, толстые пунктирные – некоторые варианты возможных переходов, сплошные линии с квадратными маркерами – значения параметра до и после аварии, причем левый маркер соответствует моменту опроса датчика до, а правый после аварии)

В БИТС с ВРК выбор частоты опроса датчика ( $f_{\text{опр}}$ ) зависит от максимальной частоты ( $F_m$ ) спектра первичного сигнала. По теореме Котельникова [103, § 5-2]:  $f_{\text{опр}} = 2F_m$ . Однако возможность осуществления опроса по Котельникову связана с выполнением ряда ограничительных условий [103, § 5-2]. Поэтому в практике обычно частота опроса определяется по приближённой формуле [103, § 5-2]:

$$f_{\text{опр}} = k_m 2F_m, \quad (1.7)$$

где  $k_m$  – некоторый коэффициент запаса, обычно  $k_m = 1,5 \div 6$ .

В зависимости от состояния телеметрируемого объекта частота  $F_m$  (1.7) изменяется, возникает неопределённость выбора частоты  $f_{\text{опр}}$ . Если при нормальном поведении телеметрируемого параметра  $F_m = F_{m\_норм\_стац}$  (поведение идентифицируется как стационарный процесс) и  $F_m = F_{m\_норм\_нестаци}$  (нестационарный процесс), а при аномальном поведении (нештатные и аварийные ситуации) –  $F_m = F_{m\_аном}$ , причём

$$F_{m\_норм\_стац} \ll F_{m\_норм\_нестаци} \ll F_{m\_аном}, \quad (1.8)$$

то (соответственно) должен определяться выбор  $f_{\text{опр}}$ :

$$f_{опр\_норм\_стац} \ll f_{опр\_норм\_нестац} \ll f_{опр\_аном} \quad (1.9)$$

Обычно

$$\Delta T_{норм\_стац} \gg \Delta T_{норм\_нестац} \gg \Delta T_{аном} \quad (1.10)$$

где  $\Delta T_{норм\_стац}$  ( $\Delta T_{норм\_нестац}$ ,  $\Delta T_{аном}$ ) – суммарное время интервалов, для которых  $F_m = F_{m\_норм\_стац}$  ( $F_m = F_{m\_норм\_нестац}$ ,  $F_m = F_{m\_аном}$ ).

Пример такого телеметрируемого параметра – давление в камере сгорания ДУ. Обычно  $F_m = F_{m\_норм\_нестац}$  на временных интервалах включения и выключения ДУ (единицы секунд). Между ними – режимы функционирования, при которых  $F_m = F_{m\_норм\_стац}$  (сотни секунд).

Как правило, в отечественной практике, для которой характерен регулярный режим информационного обслуживания телеметрируемого объекта [71; 103, с. 461-525] (применение БИТС с традиционным ВРК), исходя из малой вероятности полётной аварии (когда  $F_m = F_{m\_аном}$ ), выбирают частоту  $f_{опр} = f_{опр\_норм\_нестац}$ . При таком подходе постоянно бóльшая часть телеизмерений, формируемых БИТС, избыточна (1.10), а при возникновении полётной аварии из-за недостаточной частоты опроса датчика теряется наиболее ценная информация (см. рисунок 1.7).

Потери ТМИ из-за недостаточной частоты опроса датчиков касаются прежде всего телеметрируемых параметров (ТМП) двигательной установки (ДУ) [43]. Их доля телеметрируемых параметров ДУ среди ММП РН составляет примерно 15% ÷ 40%. Причём датчики ДУ опрашиваются обычно с частотой 50 Гц и 100 Гц. По мнению специалистов [43], чтобы получить информацию о поведении параметров ДУ в аварийной ситуации, частота опроса соответствующих датчиков должна быть увеличена до 200 Гц ÷ 400 Гц. Как следствие – недопустимо увеличится скорость передачи данных по каналам «борт-Земля».

С одной стороны, необходимым условием существенного уменьшения потерь ТМИ является увеличение частоты опроса (до  $f_{опр\_аном}$ ), а с другой стороны, существующая избыточность чрезмерна (она достигает 95% от общего количества телеизмерений [129]). Из-за этого выделенные для решения задач ИТО ресурсы используют нерационально, дальнейшее увеличение частоты опроса недопустимо. Отсюда – обычные и существенные эвентуальные (т.е. возможные при определённых обстоятельствах) потери ТМИ. Поэтому существующая

отечественная телеметрия является телеметрией нормального пуска, в то время как ТМИ наиболее ценна в случае нештатных и аварийных ситуаций. С целью исключения эвентуальных потерь ТМИ необходимы новые способы управления избыточностью.

С неопределёнными факторами  $\Lambda_{\text{ТМП}_{\text{duan}}}$  ( $\Lambda_{\text{ТМП}_{\text{duan}}} \subset \Lambda_{\text{ТМП}}$ ) связаны ошибки прогнозирования границ ожидаемого диапазона измерения ТМП (в частности, вибрационных параметров), из-за чего первичный сигнал, несущий информацию о телеметрируемом процессе, находится или на уровне шумов, или выходит за верхнюю границу ожидаемого диапазона (рисунок Б.3). Особенно велики потери в начале ЛИ, когда система телеизмерений еще не адаптирована [118] к телеметрируемым параметрам. Процесс адаптации (рисунок 1.8) заключается в подборе датчиков, обеспечивающих измерения в соответствующем диапазоне, и коэффициентов усиления (учитывались изменения более чем в 2 раза [24]) усилителей первичных сигналов. Случается, что подбором коэффициента усиления добиться приемлемых потерь ТМИ не удаётся (т.е. необходимо использование нескольких шкал измерений, рисунки Б.4, Б.5, Б.6). По мере накопления сведений о возможном поведении параметров потери информации сокращаются. Однако они вновь возникают при аварийном завершении испытания, когда поведение телеметрируемых параметров непредсказуемо. Следует заметить, что оперативность процесса адаптации системы измерений к телеметрируемым процессам низка (см. рисунок 1.8). Уменьшения потерь ТМИ традиционным путем (квантованием первичных сигналов с учётом неопределённости диапазона и последующей передачей данных об их уровнях) приведет к увеличению объёма передаваемых данных, существенному увеличению количества ПТС ТК. Поэтому в отечественной телеметрии широко используется аналоговый способ передачи ТМИ, при осуществлении которого в принятом телеметрическом сигнале всегда присутствует помеховая составляющая (рисунок Б.7). В ПРС телеметрический сигнал подвергается аналого-цифровому преобразованию, количество уровней квантования (чтобы обеспечить требуемую точность) относительно велико (например, в РТС типа БРС-4 – 256 уровней). Возникают трудности, связанные с передачей большого

объёма данных по наземным ШКС, с ограничением возможностей применения современных ИТ, ориентированных на цифровые сигналы.

Как и в случае недостаточной частоты опроса датчиков ( $\Lambda_{\text{ТМП}_{опр}}$ ), неопределённость диапазона измерения ТМП ( $\Lambda_{\text{ТМП}_{диап}}$ ) является причиной существенных потерь ТМИ.

В обоих случаях традиционный подход к устранению этих потерь связан с созданием значительной (и недопустимой) избыточности телеизмерений, формируемых в БИТС.

Дополнительная (и значительная) избыточность телеизмерений обусловлена неопределённостью условий помеховой обстановки ( $\Lambda_{\text{пом}}$ ) при пусках РКН. Необходимая для практики достоверность телеизмерений обеспечивается разнесением телеметрических сигналов. Разнесение осуществляется:

- по частоте (при работе бортовых радиопередающих устройств, например, в метровом и дециметровом диапазонах);
- во времени [с использованием бортовых запоминающих устройств (БЗУ)];
- по поляризации (вертикальная и горизонтальная поляризация);
- в пространстве (на разные антенны, размещённые на разных ИПах).

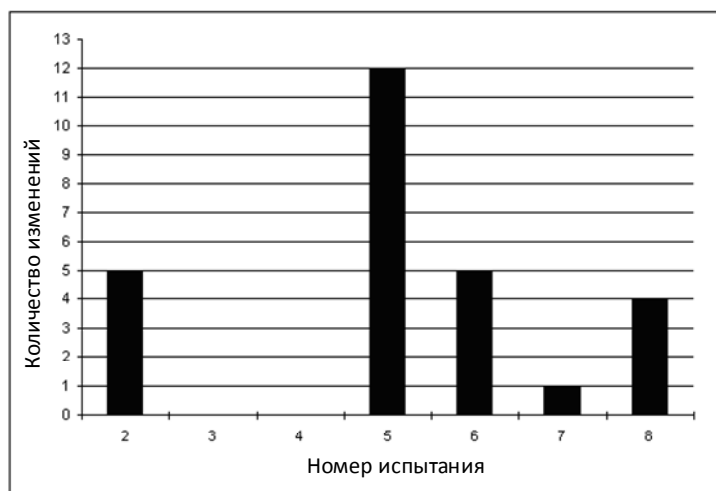


Рисунок 1.8 – Диаграмма процесса адаптации системы телеизмерений ракеты-носителя «Зенит» к группе из двадцати вибропараметров

Результаты анализа графиков контрольных параметров (таблица 1.2) свидетельствуют о существенных изменениях (о значительной неопределённости) помеховой обстановки от пуска к пуску. Более того, на отдельных временных интервалах потери ТМИ меньше при задействовании меньшего количества ПРС. Причём состав ПРС таков, что меньшее и большее количество ПРС является соответственно подмножеством и множеством. Например (см.

таблицу 1.2), при задействовании шести ПРС (номера пусков: 4, 5, 8, 11, 12) потери ТМИ на интервале сброса головного обтекателя имеют место, а при задействовании четырёх ПРС (номера пусков: 3, 6, 9, 10) отсутствуют. При этом закономерность изменений условий помеховой обстановки не установлена. Из-за многочисленности и взаимного влияния учесть совокупное проявление различных факторов на качестве принятых телеизмерений не представляется возможным. Поэтому до пуска изделия «вклад» каждой из задействованных ПРС, каждого ИПа в обеспечение достоверности обобщённых телеизмерений остается в определённой степени неизвестным. Чаще всего задействованные ПРС дополняют друг друга (рисунок Б.8).

Таблица 1.2 – Сведения о достоверности обобщённых телеизмерений РН «Союз» за 2000 год (условная частота бортового передатчика  $f_{094}$ )

№ пуска	Состав ПРС	Временные интервалы потерь ТМИ		
		Отделение первой ступени	Сброс головного обтекателя	Отделение второй ступени
1	14, 21, 31, 52	ППИ: 0,1.		ППИ: 2,0.
2	12, 13, 22	ППИ: 0,5.		ППИ: 0,5; ЧПИ: 0,4.
3	12, 14, 22, 32	ППИ: 0,5.		ППИ: 1,6; ЧПИ: 0,2.
4	12, 14, 21, 22, 31, 32	ППИ: 0,3; ЧПИ: 0,3.	ЧПИ: 2,7.	ППИ: 0,8; ЧПИ: 0,9.
5	12, 14, 21, 22, 31, 32	ППИ: 0,3.	ППИ: 1,7; ЧПИ: 4,0.	ППИ: 0,8.
6	12, 14, 22, 32	ППИ: 0,4.		ППИ: 1,7.
7	12, 14, 22, 32	ППИ: 2,5.		ППИ: 1,7.
8	12, 14, 21, 22, 31, 32	ППИ: 0,1.	ЧПИ: 4,0.	ППИ: 0,8.
9	12, 14, 22, 32	ППИ: 0,3.		ППИ: 2,3.
10	12, 14, 22, 32	ППИ: 0,4.		ППИ: 2,1.
11	12, 14, 21, 22, 31, 32	ППИ: 0,2.	сл. ЧПИ: 1,0.	ППИ: 1,5; сл. ЧПИ: 0,8.
12	12, 14, 21, 22, 31, 32	ППИ: 0,3.	ППИ: 0,2; ЧПИ: 1,2.	ППИ: 0,6; ЧПИ: 1,1; сл. ЧПИ: 5,0.
13	12, 21, 22, 31, 32	ППИ: 0,7.		ППИ: 0,9.

Примечание: В таблице представлены суммарные временные интервалы недостоверной ТМИ (в секундах). «ППИ» – полная потеря информации, «ЧПИ» – частичная, «сл. ЧПИ» – слабая частичная потеря информации.

Избыточность телеизмерений, сформированных в БИТС, увеличивается примерно кратно количеству каналов разнесения, или ПРС, а, как следует из таблиц 1.2, 1.3, 1.4, обеспечиваемая достоверность обобщённых телеизмерений низка и возможности её существенного повышения традиционными методами разнесённого приёма (в частности, увеличением количества каналов разнесения) исчерпаны. В то же время, возможности отечественной телеметрии и тенденции её развития таковы, что на сегодняшний день и в обозримой перспективе разнесение телеметрических сигналов является наиболее эффективной стратегией обеспечения необходимой достоверности телеизмерений.

Искажения телеметрических сигналов в каналах «борт-Земля» возникают из-за образования плазмы, влияния факела ДУ (неопределённые факторы  $\Lambda_{ном\_1}$ ,  $\Lambda_{ном\_1} \subset \Lambda_{ном}$ ) и чаще всего совпадают по времени с такими процессами функционирования бортовых систем РН, как отделение ступеней, сброс головного обтекателя и т.д. (рисунок Б.9).

Таблица 1.3 – Сведения, характеризующие возможности разнесённого приёма ТМИ (РН «Союз», условная частота бортового передатчика  $f_{154}$ , 40 пусков за 2000 ÷ 2004 годы)

Анализируемый временной интервал	Характеристики искажений обобщённых телеизмерений	Доля случаев минимальных искажений ТМИ
Отделение первой ступени	Искажений нет.	4/40 = 0,10
Сброс головного обтекателя	Искажений нет (в случае сл. ЧПИ считается, что ТМИ не содержит искажений).	2/40 = 0,05
	ППИ или ЧПИ не более 3,0 С.	6/40 = 0,15
Отделение второй ступени	ППИ или чередование ППИ и ЧПИ менее 0,7 С.	0/40 = 0,00
	ППИ или чередование ППИ и ЧПИ не менее 0,7 С. и не более 2,0 С.	2/40 = 0,05

Таблица 1.4 – Сведения, характеризующие возможности разнесённого приёма ТМИ (РН «Союз», условная частота бортового передатчика  $f_{094}$ , 39 пусков за 2000 ÷ 2004 годы)

Анализируемый временной интервал	Характеристики искажений обобщённых телеизмерений	Доля случаев минимальных искажений ТМИ
Отделение первой ступени	Искажений нет.	2/39 = 0,05
	ЧПИ не более 0,1 С.	3/39 = 0,08
	ППИ или ЧПИ не более 0,1 С.	10/39 = 0,26
Сброс головного обтекателя	Искажений нет.	17/39 = 0,44
Отделение второй ступени	ППИ или ЧПИ менее 0,6 С.	0/39 = 0,00
	ППИ или ЧПИ не более 0,8 С.	3/39 = 0,08

Также причиной искажений может стать интерференция прямого и отражённого телеметрического сигнала (неопределённые факторы  $\Lambda_{ном\_2}$ ,  $\Lambda_{ном\_2} \subset \Lambda_{ном}$ ; рисунки Б.10, Б.11). Кроме ожидаемых искажений сигнала (см. рисунки Б.10, Б.11), интерференция может проявляться случайным образом рисунок Б.12).

Существует угроза искажения сигналов (потери ТМИ) из-за плохой электромагнитной совместимости (ЭМС). Чтобы эти искажения предотвратить, необходимы соответствующие меры, направленные на ограничение допустимых внеполосных излучений [72] радиопередающих устройств (неопределённые факторы  $\Lambda_{ном\_3}$ ,  $\Lambda_{ном\_3} \subset \Lambda_{ном}$ ) и их излучений в необходимой ширине полосы частот [72] (неопределённые факторы  $\Lambda_{ном\_4}$ ,  $\Lambda_{ном\_4} \subset \Lambda_{ном}$ ).

Эти меры имеют комплексный характер. Достаточно полно они представлены в рекомендациях CCSDS. В частности, осуществляется фильтрация информа-

ционного сигнала на входе модулятора бортового радиопередающего устройства (например, с использованием Гауссовского фильтра основной полосы частот, который уменьшает внеполосные уровни и спектральную полосу пропускания при реализации метода Гауссовской манипуляции с минимальным сдвигом – GMSK [199], рисунок Б.13).

Действие неопределённых факторов  $\Lambda_{ном\_4}$  характеризуется плотностью потока мощности (PFD – Power Flux Density) на поверхности Земли [202, 213], которая измеряется в  $[Вт/Гц/м^2]$ .

Очевидный путь выполнения требований к PFD связан с ограничением мощности радиосигнала бортового радиопередающего устройства. В рекомендациях CCSDS показаны и другие пути. Например, весьма результативно использование радиосигналов с подавленной несущей [213], которая бесполезна с точки зрения содержания в ней информации.

Ошибки привносятся в ходе решения задач ИТО как бортовыми (рисунки Б.14 – Б.17), так и наземными средствами ТК ( $\Lambda_{ПТС\_ТК\_аном}$ , рисунки Б.18 Б.19 и таблица Б.1). Они создают предпосылки для дезинформации (особенно в случаях, когда недостоверные телеизмерения проявляются на фоне достоверных). Причём с внедрением современных средств на базе ПЭВМ актуальность контроля дефектов ТМИ не снизилась (рисунок Б.20).

Таким образом, сформированный массив обобщённых данных телеизмерений обычно содержит многочисленные дефекты, связанные с действием вредных факторов различной физической природы, приводящие к значительным потерям ТМИ, ухудшающие качество данных  $Q_{ТМИ\_ан\_р}$  (т.е.  $W_{Q\_ан}$ ), а в итоге – качество анализа. Создаваемая в настоящее время избыточность телеизмерений нерациональна и неадекватна факторам, искажающим ТМИ. При том, что необходимым условием сокращения потерь ТМИ является увеличение избыточности, которая и без того чрезвычайно велика, её дальнейшее увеличение с целью традиционного противодействия этим факторам бесперспективно и лишь обострит противоречие. Для устранения этого противоречия нужны новые стратегии осуществления ИТО

## Неопределённость, исходящая от телеметрируемых объектов

Неопределёнными факторами  $\Lambda_{OT}$ , относящимися к телеметрируемым объектам множества  $O$ , являются следующие:  $\Lambda_{ФП}$  (неопределённость сущностей физических процессов на телеметрируемых объектах),  $\Lambda_{OT\_кол\_ТМП}$  (неопределённость, проявляющаяся в большом разбросе количества ТМП в зависимости от сущностей телеметрируемых объектов),  $\Lambda_{OT\_Tr}$  (неопределённость траекторий полёта телеметрируемых объектов) и  $\Lambda_{OT\_T\_пер}$  (неопределённость периодичности пусков). Их влияние особенно сильно проявляется при осуществлении стратегий применения  $U_{прим}$  для отработки новых телеметрируемых объектов  $O_{нов}$ , когда из-за неподготовленности имеющейся (существующей) СИТО появляется необходимость её доработки (осуществления стратегий  $U_{ус}$  усовершенствования).

*Неопределённость сущностей физических процессов на телеметрируемом объекте ( $\Lambda_{ФП}$ )*

Неопределённые факторы  $\Lambda_{ФП}$  опосредованы через несовершенство методов измерений ( $Met_{Q\_ТМИ\_измер}$ ). Из-за этого информация об изменяющихся состояниях телеметрируемого объекта  $Q_{ТМИ\_ан}$ , (см. рисунок 1.2) оказывается неполной. Создаются предпосылки ошибочных выводов о сущностях функционирования (ошибочной идентификации состояний) телеметрируемых объектов.

Ниже представлены примеры, поясняющие сущности ТМИ, связанные с методами  $Met_{Q\_ТМИ\_измер}$ .

Пример 1.1. Метод измерения параметров электрофизических процессов в газовом тракте [149].

Метод базируется на изменении электрофизических характеристик потока в газовом тракте ЖРД при возникновении в нём нештатных процессов, связанных с прогарам. Отмечается [149], часть процессов, связанных с прогарам и не приведших к разгару в газовом тракте двигателя, при испытаниях и эксплуатации вообще не контролируется и не регистрируется, а, следовательно, отсутствует систематическая информация о том, насколько близки процессы в газовом тракте к нештатным.

Пример 1.2. Метод акустической эмиссии (АЭ) [117].



Метод основан на регистрации и анализе акустических волн, возникающих в процессе пластической деформации и разрушения контролируемых объектов. Метод позволяет зафиксировать разрушения многих элементов конструкции телеметрируемых объектов на начальной стадии полётной аварии, при успешном пуске определить близость к его аварийному исходу.

*Неопределённость, проявляющаяся в большом разбросе количества ТМП ( $\Lambda_{OT\_кол\_ТМП}$ )*

Для существующей СИТО характерно увеличение количества телеизмерений при увеличении количества ТМП. При этом происходит пропорциональное увеличение количества комплектов БРТС (соответственно увеличивается суммарная скорость передачи ТМИ с выходов БРТС) и лавинообразное – количества ПТС ТК (из-за необходимости разнесённого приёма ТМИ, см. рисунок 1.2). Имеет место значительный разброс объёмов ТМИ  $Q_{ТМИ\_p\_прд}$  (см. рисунок 1.3) в зависимости от сущностей телеметрируемых объектов, проявляется значительная избыточность ПТС ТК.

Возможны два направления противодействия неопределённым факторам  $\Lambda_{OT\_кол\_ТМП}$ : 1) сокращение количества ТМП при допустимых потерях ТМИ (недопущение негативного влияния факторов  $\Lambda_{OT\_кол\_ТМП}$ ); 2) компактное представление ТМИ, формируемой в БИТС (меры по устранению последствий действия факторов  $\Lambda_{OT\_кол\_ТМП}$ ).

В существующих условиях обычно регулярного режима информационного обслуживания телеметрируемых объектов [71; 103, с. 461-525] количество и состав ТМП определяют априори, а среди применяемых в БРТС методов действий над ТМИ отсутствуют методы сжатия данных.

Возможные традиционные методы уменьшения количества ТМП (недопущения негативного влияния факторов  $\Lambda_{OT\_кол\_ТМП}$ ) условно делятся на две группы.

Первая касается, в частности, методов (методик) определения рационального состава ТМП [88]. При этом наиболее перспективные направления связаны с увеличением доли наземных испытаний по отношению к ЛИ, с более полным учётом их результатов [132]; с повышением результативности моделирования состояний телеметрируемых объектов, изменяющихся в зависимости от циклограм-

мы полёта. Вторая группа ориентирована на применение на телеметрируемом объекте в полётное время, что позволяет, в частности, результативно использовать освободившиеся телеметрические каналы ступени РН после её отделения [86].

Методы компактного представления ТМИ, формируемой в БИТС, касаются не только устранения последствий действия вредных факторов  $\Lambda_{OT\_kol\_TМП}$ , но и противодействия вышеупомянутым неопределённым факторам  $\Lambda_{TМП}$ .

Следовательно, необходим системный подход к выбору методов измерений, состава ТМП и методов компактного представления ТМИ, реализованных в БИТС. Его сущности неочевидны.

*Неопределённость траекторий полёта ( $\Lambda_{ОИ\_Tr}$ ) и периодичности пусков ( $\Lambda_{ОИ\_T\_пер}$ )*

Неопределённые факторы  $\Lambda_{ОИ\_Tr}$  существенно усложняют задачу обеспечения необходимых зон радиовидимости средств ТК при пусках обрабатываемых РКН (см. рисунки Б.21 ÷ Б.27 и пояснения к ним). Чем разнонаправленнее траектории полёта (трассы), тем больше нужно иметь трассовых ИПов или использовать (как альтернативу им) ВИПы, ПодИК, ПерИК и т.д., чтобы создать благоприятные условия для получения ТМИ в полном объёме. В свою очередь, чем больше ИПов, ВИПов и т.д. и размещаемых на них ПТС, тем больше материальные затраты.

Для обоснования выбора результативных мер по противодействию неопределённым факторам  $\Lambda_{ОИ\_Tr}$  нужно учитывать и влияние (прежде всего, на размер материальных затрат) неопределённых факторов  $\Lambda_{ОИ\_T\_пер}$ . Для РКН с относительно малой периодичностью пусков по специфической трассе (один пуск в полгода – в год) и относительно малым количеством ТМП вместо трассовых стационарных ИПов обычно задействуют ПТС ВИПов (ПодИК, ПерИК). Так, в 1999 году в Султанате Оман был развёрнут ВИП для обеспечения пуска РКН с РН «Зенит» с космодрома Байконур (см. рисунок Б.23 г). В процессе дальнейшего развития этого ВИП удалось сократить эксплуатационные затраты в 5 – 8 раз, а количество обслуживающего персонала – со 100 – 150 до 10 – 12 человек [157].

Полнота ТМИ обеспечивается также использованием бортовых запоминающих устройств (БЗУ) для передачи накопленной ТМИ и спутников-ретрансляторов (СР).

Так, в БРТС, установленной на разгонном блоке (РБ), предусмотрены режимы записи и ускоренного воспроизведения накопленной ТМИ, что позволяет выполнить задачу приёма-регистрации ТМИ с использованием средств, размещенных лишь на ИПах, расположенных на космодроме Байконур [60] (см. рисунок Б.27 и пояснения к нему). Однако при возникновении полётной аварии до вхождения телеметрируемого РБ в зону радиовидимости этих ИПов накопленная ТМИ может быть полностью потеряна. Один из известных примеров потери накопленной ТМИ связан с неудачным запуском межпланетной станции «Марс-96» 16.11.1996 г. Тогда из-за финансовых трудностей корабельный командно-измерительный комплекс «Космонавт Виктор Пацаев» не был направлен к берегам Африки, и ТМИ на аварийном участке траектории полёта не была получена [98].

Использование СР для непосредственной ретрансляции ТМИ РКН рассматривается как альтернативные варианты другим стратегиям сбора, основанным, в частности, на применении врёменных измерительных пунктов (ВИП) [146, 157] и подвижных измерительных комплексов (ПИК) (автомобильных, авиационных, корабельных) [77]. Обоснования целесообразности применения СР в основном сводятся к сокращению ПТС ТК и, соответственно, к уменьшению материальных затрат на его содержание [77].

В то же время известен пример [146, 157] применения ВИП в качестве удачной альтернативы (в смысле финансовых затрат) системе ретрансляции TDRSS.

Имеются и другие альтернативные ПТС для построения СИТО.

В частности, отмечается [77] возможность создания и перспективность применения нового поколения малогабаритных ПИК, перевозимых ручной кладью и собираемых на месте применения в течение нескольких часов персоналом из 2-3 человек.

Обосновано [77, 146, 157], что использование многофункциональной космической системы ретрансляции (МКСР) типа TDRSS лишь для сбора ТМИ РКН экономически нецелесообразно. Поэтому при решении задачи построения аналогичной TDRSS системы сбора (например, отечественной МКСР типа «Луч») также актуальна задача её рационального применения, которая касается как ТМИ обычно обрабатываемых РКН, так и информации других по сути объектов. Появляется необходимость

решения дополнительных весьма сложных задач (типа интегрирования средств ИКК и НАКУ КА).

Следует однако заметить, что после отказа от задействования системы TDRSS при пусках РН «Зенит» по программе «Морской старт» по причине экономической нецелесообразности потери ТМИ существенно увеличились (рисунки Б.28 и Б.29). Этот факт свидетельствует о том, что система непосредственной ретрансляции ТМИ (в частности, TDRSS) обеспечивает такое направление распространения телеметрического сигнала, при котором устраняется вредное влияние факела работающей ДУ, плазмы при отделении ступеней РН, сбросе обтекателя (т.е. осуществляется не только противодействие неопределённым факторам  $\Lambda_{\text{ОИ}_{Tr}}$  и  $\Lambda_{\text{ОИ}_{T\_пер}}$ , но и  $\Lambda_{\text{ном}}$ ).

Таким образом, преимущества тех или иных альтернативных вариантов противодействия неопределённым факторам  $\Lambda_{\text{ОИ}_{Tr}}$  и  $\Lambda_{\text{ОИ}_{T\_пер}}$  неочевидны. Эта неочевидность усугубляется необходимостью при осуществлении стратегий  $U_{\text{прим}}$  учитывать не только их, но и другие неопределённые факторы ( $\Lambda_{\text{ФП}}$ ,  $\Lambda_{\text{ТМП}}$ ,  $\Lambda_{\text{ОТ}_{кол\_ТМП}}$  и т.д.). Поэтому стратегии  $U_{\text{прим}}$  должны базироваться на системном подходе. Условия их осуществления меняются не только от пуска к пуску, но и с изменением циклограммы полёта. Отсюда – актуальны стратегии, обеспечивающие оперативное конфигурирование ПТС множеств  $R_{\text{ОТ}}$ ,  $R_{\text{ТК}}$  и  $R_{\text{внеш}}$  и комбинирование методов действий над ТМИ множества  $Met_{Q\_ТМИ}$ , реализованных в этих ПТС.

Для ПТС существующего ТК характерна противоречивая ситуация, когда при их избыточности обычно возникает необходимость их доработки (дооснащения) перед предстоящими пусками РКН и, прежде всего, доработки ПО [47]. Как правило, при подготовке к отработке новых телеметрируемых объектов  $O_{\text{нов}}$  имеющиеся (существующие) ПТС  $R_{\text{сущ}}$  (и, соответственно, методы множества  $Met_{Q\_ТМИ}$  действий над ТМИ) дополняют ПТС  $R_{\text{дон}}$  (рисунок 1.9).

Следует заметить, что эти доработки (дооснащения) связаны не только необходимостью противодействия неопределённости  $\Lambda_{\text{ОТ}}$  (совокупности неопределённых факторов  $\Lambda_{\text{ФП}}$ ,  $\Lambda_{\text{ОТ}_{кол\_ТМП}}$ ,  $\Lambda_{\text{ОТ}_{Tr}}$  и  $\Lambda_{\text{ОТ}_{T\_пер}}$ ), но и являются следствием

влияния неопределённых факторов  $\Lambda_{униф}$  [где  $\Lambda_{униф}$  – неопределённость, связанная с многообразием неунифицированных структур сигналов и данных (в том числе содержащих ТМИ) и элементов СИТО].

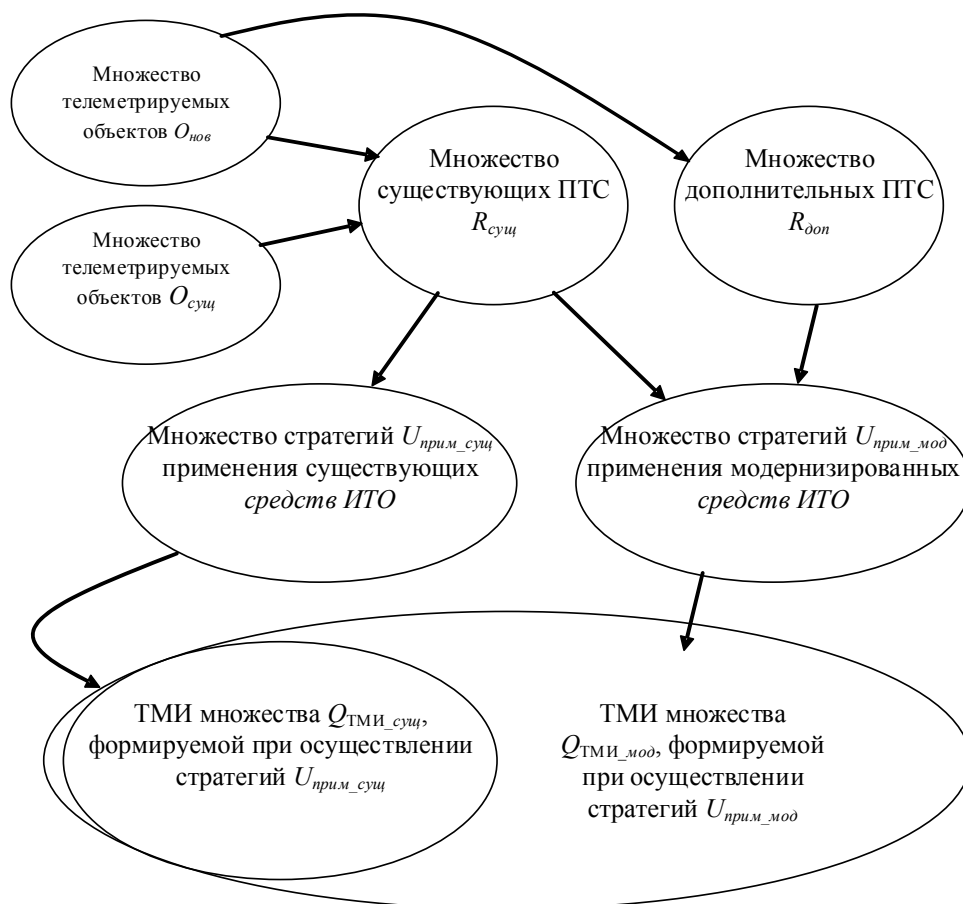


Рисунок 1.9 – Связанное с информационно-телеметрическим обеспечением отработки телеметрируемых объектов изменение множества данных результатов обработки ТМИ

При разработке новых средств выведения система измерений разрабатывается в последнюю очередь, а разработка необходимых ПТС ТК и БРТС не может быть начата без сведений (состав телеметрируемых параметров, частота опроса датчиков и т.д.) для разработки программы телеметрических измерений (ПТИ). Поэтому подготовка к предстоящим ЛИ осуществляется в сжатые сроки и всегда связана с доработкой существующего ПО для ТК [47]. В таких условиях спешки качество ПО не может быть высоким. Прежде всего необходимы унифицированные структуры ТМИ.

Выбор объектов множества  $O_{нов}$  связан с возможностями (с интересами и полномочиями) ЛПР. Объектами  $O_{нов}$  могут быть новые, но обязательные для ЛПР

и типичные для космодрома телеметрируемые объекты (например, РКН. В этом случае роль ЛПР ограничена лишь задачами построения ПТС  $R_{дон}$  и применения  $R_{суц}$  и  $R_{дон}$  (см. рисунок 1.9).

В случае производственных отношений, стимулирующих многотипность обрабатываемых на одном и том же космодrome телеметрируемых объектов, среди объектов множества  $O_{нов}$ , выбранных ЛПР, могут оказаться нетипичные для космодромов объекты, создаются предпосылки получения экономических выгод повышением интенсивности применения СИТО по целевому назначению. В зависимости от выбора ЛПР рабочей нагрузкой ПТС ТК (аналогичной  $Q_{ТМИ\_ТК}$ , см. рисунок. 1.2) может стать, например, ТМИ КА, целевая информация с КА и т.д.

Объектами  $O_{нов}$  являются и сами элементы СИТО в случае оперативного конфигурирования ПТС множеств  $R_{от}$ ,  $R_{ТК}$  и  $R_{внеш}$  и соответствующего комбинирования методов множества  $Met_{Q\_ТМИ}$  при осуществлении стратегий  $U_{прим}$ . При этом необходимы технологии управления и контроля функционированием СИТО [80, 192], обеспечивающие, в частности, оперативное включение ПРС, изменение режимов её работы; по данным о состоянии ШКС оперативное (или автоматическое) изменение схемы сбора ТМИ и т.д. Однако для практической реализации всех этих возможностей необходимо соответствующее научно-методическое обеспечение.

### **Неопределённые факторы, влияющие на качество усовершенствования СИТО**

Влияние неопределённых факторов  $\Lambda_{разв}$  проявляется при осуществлении стратегий  $U_{ус}$  усовершенствования СИТО (где  $\Lambda_{разв}$  – неопределённые факторы, влияющие на качество усовершенствования СИТО). В этой связи, для ЛПР важно понимание сущностей условий развития, прежде всего, телеметрируемых объектов и СИТО. Важно выявить тенденции их развития (особенно негативные, чтобы своевременно предпринять адекватные меры противодействия им), а также закономерности, или неизменные особенности развития (чтобы целенаправленно создавать задел на перспективу).

В существующих условиях значительного сокращения объёмов ЛИ из-за проведения испытаний в различных режимах функционирования систем телемет-

рируемого объекта и средств измерений возрастает статистическая неоднородность экспериментальных данных. Ценность полученной по каждому пуску информации возрастает, следовательно, требования к качеству рабочей нагрузки анализаторов (данных результатов обработки ТМИ)  $Q_{\text{ТМИ}_{ан}}$  ужесточаются.

Совершенствуется управление лётными испытаниями. При этом данные определённых телеметрируемых параметров обрабатывают ПТС, размещёнными на телеметрируемом объекте, а результаты обработки используют в его системе управления (СУ). Имеются практические результаты [209] диагностирования бортовых систем и воздействия на них в случае идентификации аварийного состояния, причём в полётное время. Предполагается [75], что в перспективе поиск варианта управляющего воздействия на ситуацию будет осуществляться с использованием бортовой Базы знаний. Такой подход, предполагающий связь БРТС с бортовой СУ, соответствует существующей тенденции повышения актуальности связи БРТС с другими источниками информации, от которых на её входы поступают данные различной смысловой нагрузки. Например, таковыми являются данные НАП, БЦВМ, видеометрии и т.д., формируемые бортовыми ПТС.

Возникает необходимость совмещения противоречивых требований, касающихся поступления данных разнотипных источников информации и формирования однотипных структур ТМИ. Известный путь устранения вышеупомянутого противоречия связан с технологией пакетной телеметрии CCSDS [219]. Однако его ценность для отечественной телеметрии, относящейся к средствам выведения, неочевидна и пока не определена (как факт: реализовано половинчатое решение, согласно которому модификации структур пакетов данных, формируемых отечественной БИТС «Пирит» [84], зависят от типа источника данных).

Дополнительные (и противоречивые) требования к структурам ТМИ, формируемым БРТС, связаны с тенденцией использования МКСП. Ожидаемые выгоды от применения МКСП для ретрансляции ТМИ непосредственно с телеметрируемого объекта (РКН) заключаются в сокращении численности ИПов (в уменьшении материальных затрат на содержание ТК). Однако для того, чтобы получить вышеупомянутые выгоды необходимо обеспечивать многофункциональность сис-

темы ретрансляции (необходимо передавать, кроме ТМИ, и другие данные). В противном случае МКСП экономически невыгодна. Кроме того, необходимо учесть требования, касающиеся сопряжения (адаптирования) применяемых СИТО с МКСП (в частности, следует исходить из критичности скорости передачи данных по космическим радиолиниям).

Для отечественной практики отработки средств выведения характерно применение традиционных БИТС с ВРК (улучшенные модификации БИТС «Орбита-ТМ» – «Орбита-ТРТК» [139], «Орбита-IVМО» [6], БИТС «Пирит» [84], другие БИТС и их модификации [79, 125]), из-за чего в случае увеличения количества ТМП пропорционально увеличивается количество комплектов БРТС и лавинообразно – количество ПТС ТК (прежде всего ПРС, см. выше пример дооснащения ТК для ЛИ комплекса «Энергия-Буран»).

Свойствами ТМИ на выходе БРТС во многом предопределяются требования к технологии ФОМДТ [39]. Поэтому в существующих условиях неполноценного системного подхода источником многих недостатков технологии ФОМДТ является БРТС.

В настоящее время имеет место устойчивая тенденция перехода на цифровые сигналы для передачи ТМИ по каналам «борт-Земля», в том числе о быстроменяющихся параметрах (БМП). Она обусловлена особенностями мирового развития телеметрии [208, 213, 217 и др.], возросшими возможностями отечественных предприятий-производителей телеметрических средств вследствие повышения их технологического уровня. Однако для такого перехода необходимо соответствующее методическое обеспечение, осуществление комплекса организационных мер, касающихся, прежде всего, стандартизации. Из-за их отсутствия перспективы передачи ТМИ о БМП связывают с увеличением информативности БИТС, а не с её интеллектуализацией [45].

Особенно зримо нерациональное увеличение информативности БИТС проявляется при сборе ТМИ по широкополосным каналам связи (ШКС). Например, с использованием периферийной станции «Приморец НП-01» [165] системы спутниковой связи возможна передача ТМИ лишь в объеме одной БИТС «Орбита» [6] (3,14 Мбит/с). Однако сегодня активно обсуждаются перспективы создания БИТС с информативностью 8 Мбит/с, 16 Мбит/с, 24 Мбит/с.



Отмечается [137], что согласно требованиям стандартов информативность, касающаяся зарубежных РН, относящихся к РКН, ограничена величиной 1 Мбит/с. Действительно, зарубежные и международные стандарты жёстко ограничивают использование различных ресурсов (прежде всего, полосы частот телеметрических радиосигналов, сетки несущих частот) [125, 208, 213, 217 и др.]. Необходимых отечественных стандартов телеметрии, относящейся к средствам выведения, не существует, нет и соответствующих ограничений [7, 10, 138]. Созданы благоприятные условия для следования «традиционному» принципу: «не качеством, а количеством».

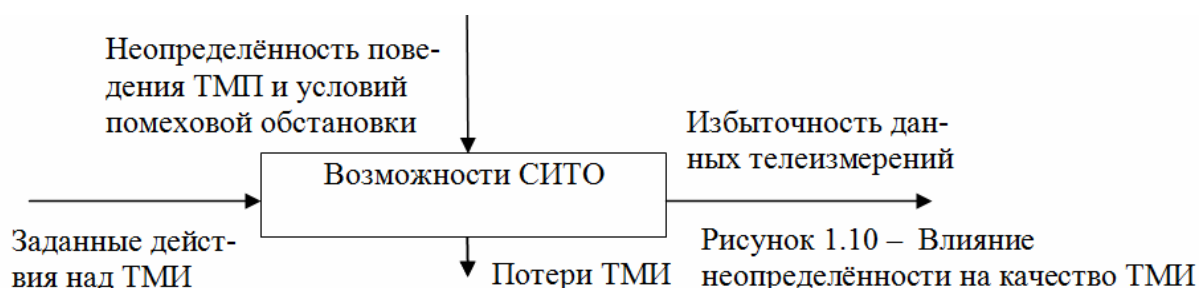
Имеющая место значительная нерациональная избыточность ТМИ, формируемая отечественными БИТС, усугубляется необходимостью применения каналов разнесения (см. таблицу 1.2). При этом возможности отечественной телеметрии и тенденции её развития таковы, что на сегодняшний день и в обозримой перспективе разнесение телеметрических сигналов является наиболее эффективной стратегией обеспечения необходимой достоверности телеизмерений.

В состав ТК активно внедряются современные ПТС и ИТ (составляющие основу безбумажной [69] технологии обработки ТМИ). Следствием их внедрения является автоматическое снижение материальных затрат на обслуживающий персонал (из-за уменьшения его численности), на электроэнергию, на расходные материалы и т.д., автоматически значительно уменьшается количество циклов обработки ТМИ. Причём имеет место устойчивая тенденция, определяемая законом Мура [104], роста вычислительных возможностей ПЭВМ и снижения их стоимости. На фоне явных преимуществ современных ПТС и ИТ разработка проблемно-ориентированных методов для более полного учёта специфических особенностей ИТО отработки средств выведения и их включение в научно-методическое обеспечение процесса развития СИТО выглядит безосновательной («от добра добра не ищут»). Производство СИТО не может быть массовым из-за относительной малочисленности космодромов и относительно низкой интенсивности пусков, поэтому традиционный подход к проблемно-ориентированным методам создаст предпосылки к материальным издержкам, характерным для мелкосерийного производства.

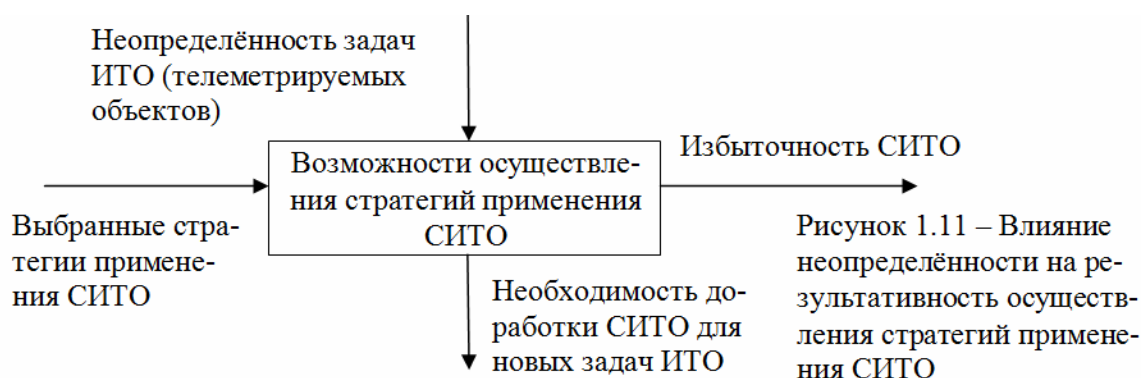
Сложилась парадоксальная ситуация. С одной стороны, факты внедрения современных ПТС и ИТ – явный признак интенсивного пути развития ТК, а, с другой стороны, существующее научно-методическое обеспечение процесса модернизации ТК и сам процесс основаны на экстенсивном подходе, предполагающем решение задач ИТО путём обычного (традиционного) применения средств на базе ПЭВМ. Издержки в данном случае заключаются в нереализованных возможностях современных ПТС и ИТ при осуществлении стратегий  $U_{yc}$ , а в итоге – в не реализованных (из-за неадекватного противодействия неопределённым факторам  $\Lambda_{разв}$ ) возможностях повышения эффективности СИТО.

### **Сущности противоречий, порождаемых действием неопределённых факторов разной природы**

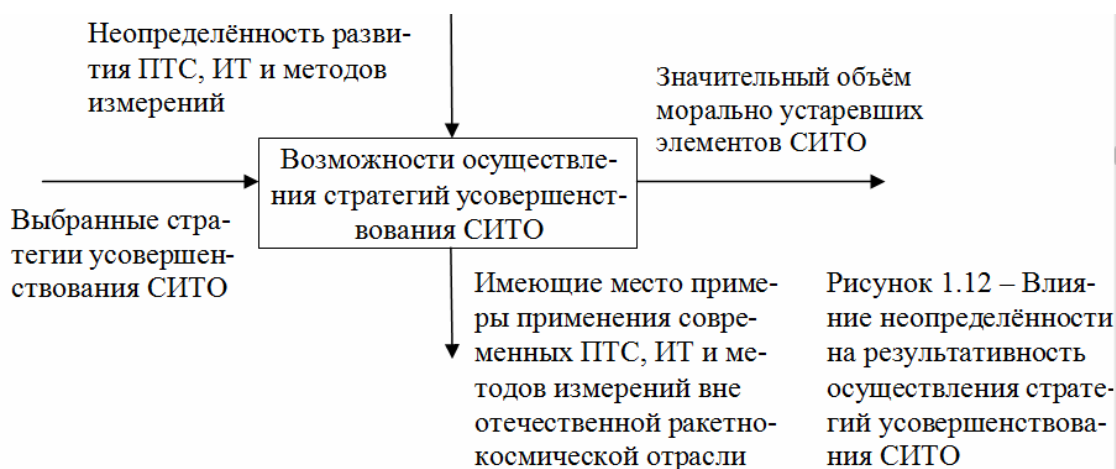
Для противодействия неопределённым (вредным) факторам  $\Lambda_{ТМП}$  и  $\Lambda_{ном}$  традиционными способами с целью сокращения потерь ТМИ требуется дальнейшее увеличение и без того чрезмерной избыточности телеизмерений и, что явно недопустимо (рисунок 1.10).



Влияние неопределённых факторов  $\Lambda_{от}$  проявляется при осуществлении стратегий применения  $U_{прим}$ , причём особенно сильно при обработке новых телеметрируемых объектов  $O_{нов}$ . Нужно обеспечить инвариантность СИТО по отношению к изменяющимся задачам ИТО (по отношению к множеству объектов  $O_{нов}$ ). В настоящее время неопределённость  $\Lambda_{от}$  порождает противоречие, связанное с избыточностью ПТС СИТО (прежде всего с избыточностью ПТС ТК) и с необходимостью её доработки для решения новых задач ИТО (см. рисунок 1.11). Пути устранения противоречия (пути обеспечения вышеупомянутой инвариантности) неочевидны.



Неопределённость  $\Lambda_{разв}$  является источником противоречия, проявляющегося в результатах осуществления стратегий  $U_{ус}$  совершенствования СИТО, для которой характерен значительный объём морально устаревших элементов в её составе при наличии многочисленных примеров успешного применения современных ПТС, ИТ и методов измерений вне отечественной ракетно-космической отрасли при решении аналогичных задач (рисунок 1.12). Для устранения противоречия необходимо соответствующее научно-методическое обеспечение развития СИТО, а для его практического осуществления – реализация определённых (неочевидных) организационно-технических мероприятий.



Таким образом, рассмотренные неопределённые факторы являются источником обостряющихся противоречий при традиционном противодействии им, а сущности адекватного противодействия, устраняющего эти противоречия, неизвестны.

### Особенности ИТО отработки средств выведения

Отличительные особенности ИТО отработки средств выведения заключаются в следующем:

- большая доля виброизмерений даже по окончании лётных испытаний и связанное с ними использование аналоговых методов передачи ТМИ по каналам «борт-Земля» (см. рисунок Б.7 и соответствующие пояснения);

- значительная неопределённость поведения ТМП и (как следствие) потери ТМИ из-за ошибок в выборе диапазона измерений (см. рисунки 1.8, Б.3 – Б.7 и соответствующие пояснения), частоты опроса датчиков (см. рисунок 1.7);

- относительно большой риск полётной аварии с разрушением конструкции изделия, причём возможности накопления ТМИ в БИТС для её последующей обработки не изучены;

- значительные искажения телеметрического радиосигнала, передаваемого по каналам «борт-Земля», из-за влияния факела, плазмы, и как следствие – необходимость разносённого приёма ТМИ (см. таблицы 1.2, 1.3, 1.4 и рисунки Б.8, Б.9 и пояснения к ним).

Эти особенности следует учитывать при осуществлении стратегий  $U_{прим}$  применения и  $U_{ус}$  усовершенствования СИТО.

### Обоснование выбора наиболее актуальных задач ИТО

Показаны задачи ИТО и последовательность их выполнения (рисунок 1.13).

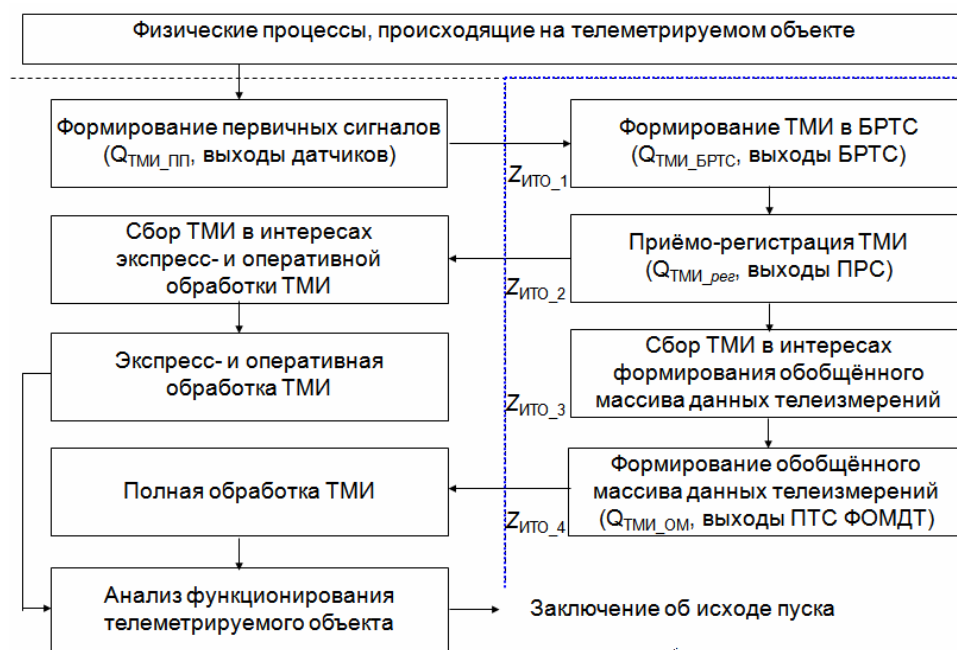


Рисунок 1.13 – Задачи ИТО

Выделено (см. рисунок 1.13) множество  $Z_{ИТО\_иссл}$  задач ИТО, актуальных с точки зрения решаемой проблемы:

$$Z_{ИТО\_иссл} = \langle Z_{ИТО\_1}, Z_{ИТО\_2}, Z_{ИТО\_3}, Z_{ИТО\_4} \rangle, \quad (1.11)$$

где  $Z_{ИТО\_1}$  – формирование ТМИ на телеметрируемом объекте;

$Z_{ИТО\_2}$  – приёмо-регистрация ТМИ;  $Z_{ИТО\_3}$  – сбор ТМИ в интересах ФОМДТ,  $Z_{ИТО\_4}$  – ФОМДТ.

Актуальность этих задач обусловлена тем, что с ними связаны значительные потери ТМИ вследствие действия неопределённых факторов разной природы.

### **Оценки качества данных результатов обработки ТМИ**

Меры противодействия рассмотренным неопределённым факторам должны быть направлены, прежде всего, на улучшение качества рабочей нагрузки анализаторов ( $W_{Q\_ан}$ ) (1.6). Именно с такой точки зрения должен быть обоснован выбор оценок качества данных результатов обработки ТМИ  $Q_{ТМИ\_ан\_р}$ .

Известны различные подходы к выбору оценок качества данных.

Компоненты этих оценок имеют определённые отношения или представлены обособленно. Они относятся к разным уровням иерархии (если совокупность оценок представлена в виде иерархической структуры). В частности, выделяют прагматический, семантический и синтаксический аспекты, или уровни [122]; сущности данных представляют в виде иерархической структуры, нижние уровни которой являются сведениями о семантической составляющей этих данных и об их структуре [215]. Известна [195] также совокупность оценок, по возможности адаптированная [31] к решаемой проблеме:

$$W_{Q\_ТМИ\_ан\_р} = \{d, f, l, \tau\}, \quad (1.12)$$

где  $d$  – характеристики достоверности данных результатов обработки;

$f$  – характеристики доступности восприятия данных результатов обработки, зависящие от формы их представления;

$l$  – характеристики объёма данных результатов обработки;

$\tau$  – время морального старения данных результатов обработки.

Оценки  $W_{Q\_ТМИ\_ан\_р}$  являются компонентой оценок  $W_{Q\_ан}$  (1.6), а характеристики, в частности, достоверности  $d$  (1.12) – компонентой среди других оценок качества данных. Сущности связей оценок  $W_{Q\_ТМИ\_ан\_р}$  (1.12) и параметров, характеризующих стратегии  $U_{ус}$  и  $U_{прим}$ , а также состав этих параметров – неочевидны.

Так, потери ТМИ, связанные с  $\Lambda_{\text{ПТС\_от\_аном}}$  (с отказами первичных преобразователей и элементов БРТС), могут быть уменьшены путём использования преимуществ от избыточности телеметрируемых параметров [88]. Потери ТМИ, связанные с  $\Lambda_{\text{ном}}$ , могут быть уменьшены, например, путём отбраковки аномальных телеизмерений и последующего сглаживания [106]. Возможны профилактические меры противодействия факторам  $\Lambda_{\text{ном}}$ , обеспечивающие существенное уменьшение потерь ТМИ (см. пример 1.3).

Пример 1.3. Факты наступления какого-либо кратковременного и маловероятного события подтверждаются наличием «1» в определенном разряде сформированных на телеметрируемом объекте телеметрических слов (первый способ) или фиксируются с помощью двоичного счётчика (второй способ). Данные о состоянии счётчика периодически передаются на Землю. При редких событиях и неблагоприятной помеховой обстановке первый способ непригоден. Но именно первый способ использовался для контроля единичных сбоев в работе БЦВМ РН «Зенит», несмотря на то, что вероятность сбоя информации БЦВМ значительно меньше, чем вероятность ошибочного приёма телеметрического сообщения.

Следует заметить, что грань между достаточностью ( $l$ ) ТМИ и её достоверностью ( $d$ ) может быть весьма тонкой. Например, результаты плохого качества приёма ТМИ средствами ИПа и незадействования этих средств одинаковы: полная потеря информации. Но в первом случае принято говорить о недостоверности, а во втором – о недостаточности ТМИ.

Свойство морального старения информации ( $\tau$ ) следует рассматривать не как собственно функцию времени, а как изменение информативности, зависящее от её взаимосвязей с информацией, поступающими позднее [4]. Так, время морального старения данных результатов оперативной обработки составляет не более нескольких суток (до получения более качественных данных результатов полной обработки ТМИ).

Характеристики  $d, f, l, \tau$  (1.12) в определённой мере позволяют оценить качество рабочей нагрузки анализаторов  $Q_{\text{ТМИ\_ан\_р}}$ . Однако из их краткого анализа

следует, что для получения полноценных интегрированных оценок качества рабочей нагрузки анализаторов  $W_{Q\_ан}$  (1.6) и, соответственно, показателей эффективности стратегий  $U_{ус}$  и  $U_{прим}$  нужно, прежде всего, обеспечить учёт влияния множества факторов на потери ТМИ. Практика обработки и анализа диктует необходимость получения характеристик потерь ТМИ. Поэтому в практике ФОМДТ существует субъективная мера предпочтений, на основании которой делается заключение о выборе телеизмерений в обобщённый массив. Показаны также оценки потерь ТМИ вследствие влияния рассмотренных ранее неопределённых факторов (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Характеристики потерь телеметрической информации и связанные с ними неопределённые факторы

Причины потерь ТМИ (связанные с потерями ТМИ неопределённые факторы)	Применяемые для оценивания потерь ТМИ параметры
Неопределённое поведение ТМП ( $\Delta_{ТМП}$ ). $K_{ТМП\_МО} = N_{ош}/N_0$	$K_{ТМП\_МО}$ – доля ТМП с потерями ТМИ из-за ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений.
Помехи в радиоканалах ( $\Delta_{ПМ}$ ). $\Delta T_{ПИ\_инт\_Σ} = \sum_{i=1}^N \Delta T_{ПИ\_инт\_i}$	$\Delta T_{ПИ\_Σ}$ – суммарная длительность временных интервалов с ЧПИ и ППИ на наиболее важных участках циклограммы полёта (в частности, на участках отделения ступеней, сброса обтекателя).
Аномальное функционирование ПТС (наземных и размещённых на телеметрируемом объекте) ( $\Delta_{ПТС\_аном}$ ). $\Delta T_{деф\_ТМИ} = \langle \Delta T_{деф\_ТМИ\_i}, W_{деф\_ТМИ\_i}, \Delta T_{деф\_ТМИ\_j}, W_{деф\_ТМИ\_j}, \dots, \Delta T_{деф\_ТМИ\_n}, W_{деф\_ТМИ\_n} \rangle$	$\Delta T_{деф\_ТМИ}$ – временные интервалы, на которых ТМИ непригодна для использования по целевому назначению из-за наличия в ней дефектов с кратким описанием сущностей дефектов и рекомендациями по обработке ТМИ.
Недостаточность ТМИ по организационно-техническим причинам ( $\Delta_{ПТС\_аном}$ , $\Delta_{ОИ\_Тр}$ , $\Delta_{ОИ\_Т\_пер}$ ) $K_{полн\_Σ} = \sum_{i=1}^N \Delta T_{отсут\_i} / \Delta T_{рег}$	$K_{полн\_Σ}$ – доля суммарных временных интервалов, на которых ТМИ не получена из-за отказов ПТС ТК, из-за выхода телеметрируемого объекта за установленные зоны радиовидимости ПТС КСИСО ТМИ.

Пояснения к таблице 1.5:

$K_{ТМП\_МО}$	$N_{ош}$ – количество датчиков с ошибками в выборе ожидаемого диапазона измерений ТМП; $N_0$ – количество датчиков в анализируемой группе;
$\Delta T_{ПИ\_Σ}$	ПИ = ⟨ППИ, ЧПИ, сл. ЧПИ⟩ - характеристика потерь ТМИ, инт = ⟨отд 1 ст, сбр обт, отд 2 ст, отд КА⟩ - интервалы времени, на которых ТМИ наиболее ценная
$\Delta T_{деф\_ТМИ}$	$\Delta T_{деф\_ТМИ\_i}$ – временной интервал с дефектом ТМИ; $W_{деф\_ТМИ\_i}$ – описание сущностей дефекта и рекомендаций по обработке ТМИ. Примечание: индекс «i» относится к сущностям дефекта ТМИ.
$K_{полн\_Σ}$	$\Delta T_{отсут}$ – интервалы времени, на которых ТМИ не получена; $\Delta T_{рег}$ – требуемый интервал регистрации ТМИ.

Представленные характеристики потерь ТМИ (см. таблицу 1.5 и пояснения к ней) являются по сути частными показателями. Необходимо установить их связь с обобщёнными показателями. В частности:

$$\Delta W_{Q\_ан} = \Delta W_{Q\_ан}(\Delta D_{ОМ\_i,j}), \quad (1.13)$$

где  $\Delta D_{\text{ОМ}_{i,j}}$  – показатели улучшения достоверности обобщённых телеизмерений при замене  $i$ -го метода обработки ТМИ на  $j$ -й метод.

Необходимо также обоснование правомерности применения этих частных показателей или целесообразности их замены на какие-либо другие. Необходимы также дополнительные компоненты **обобщённых показателей**, характеризующие другие свойства стратегий  $U_{yc}$  и  $U_{прим}$ , находящиеся в гармонии с частными показателями, характеризующими потери ТМИ.

### **Требования к оперативности решения задач ИТО и анализа**

Процесс обработки ТМИ осуществляется циклически, причём цикличность заложена уже на этапе планирования и предопределена невозможностью обеспечить представление результатов обработки в отведенные сроки, в полном объёме и с высоким качеством. Известна [14, 164], например, классификация этапов обработки ТМИ: оперативная и полная обработка. Причем каждый из этих этапов имеет две составляющие: первичная и вторичная обработка. По принятой в ВЦ космодрома классификации осуществляется экспресс-обработка, оперативная обработка, полная первичная и полная вторичная обработка. Экспресс-обработка осуществляется в реальном времени пуска, в темпе поступления ТМИ в ВЦ по ШКС ( $Z_{\text{ИТО}_{\text{ЭО}}}$ ). Время проведения оперативной обработки ( $Z_{\text{ИТО}_{\text{ОО}}}$ ) составляет около 3-х часов после пуска, причём используется только принятая по ШКС ТМИ (неполный объём принятой на ИПах ТМИ). В процессе сбора ТМИ для решения задач экспресс- и последующей оперативной обработки осуществляется оперативное оценивание информационных потоков и выбор наиболее достоверных.

Полной обработке ТМИ предшествует ФОМДТ ( $Z_{\text{ИТО}_{\text{ОПЭ}}}$ ). До начала 21-го века для ФОМДТ и последующего решения задач полной обработки ТМИ поступала в ВЦ в виде материалов регистрации, доставляемых с пристартовых ИПов автотранспортом. ТМИ с трассовых ИПов обычно полностью передавалась по ШКС. При этом время доставки материалов регистрации в ВЦ составляло обычно не менее 8÷12 часов после пуска, а время ФОМДТ – 4÷6 часов.

Сегодня (с переходом на безбумажную технологию и средства на базе ПЭВМ для решения задач ФОМДТ, а также на современные ШКС) время сбора ТМИ, зарегистрирован-



ной на ИПах, существенно сократилось. Например, для РН «Протон-М» оно составляет 3÷4 часа после пуска. Такой результат достигается существенным увеличением пропускной способности ШКС «ИПы-ВЦ», но не является удовлетворительным (время сбора ТМИ в интересах ФОМДТ ограничено одним часом [39]).

Кроме детерминированных циклов, процесс обработки имеет и случайные составляющие в виде выполнения дополнительных заявок на обработку. Причины повторной обработки в основном обусловлены низкой достоверностью исходных телеизмерений для ФОМДТ, несовершенством технологии ФОМДТ, вследствие чего необходим поиск наиболее достоверных телеизмерений среди зарегистрированных на ИПах. При представлении данных результатов обработки в виде графиков относительно часто возникает необходимость изменения масштаба (особенно по оси времени) из-за отличия поведения ТМП от ожидаемого, что при использовании бумажных носителей информации также являлось причиной существенного увеличения временных затрат (таблицы 1.6 и 1.7). С переходом на безбумажную технологию обработки ТМИ количество циклов обработки значительно уменьшилось. Однако из-за низкого качества данных обобщённого массива оно всё ещё остаётся недопустимо большим.

Таблица 1.6 – Статистические сведения, полученные при испытании РН «Энергия», характеризующие процесс выполнения дополнительных заявок на обработку ТМИ

Номер заявки	Время с момента пуска (сутки)	Затраты машин. времени (часы)	Кол-во параметров в заявке	Номер заявки	Время с момента пуска (сутки)	Затраты машин. времени (часы)	Кол-во параметров в заявке	Номер заявки	Время с момента пуска (сутки)	Затраты машин. времени (часы)	Кол-во параметров в заявке
1	5	2,8	30	10	15	3,0	16	19	22	1,1	4
2	12	1,0	40	11	16	0,8	34	20	22	0,5	3
3	13	0,5	24	12	16	0,7	4	21	23	0,5	6
4	14	2,0	144	13	16	0,5	1	22	23	1,5	6
5	14	1,5	32	14	17	2,3	24	23	23	1,0	21
6	14	1,0	6	15	18	0,8	24	24	31	2,0	24
7	14	1,0	16	16	18	0,7	4	25	31	0,5	2
8	15	1,0	16	17	22	2,8	20	26	31	1,0	3
9	15	0,5	6	18	22	1,7	32	27	43	1,5	6
В итоге										34,0	548

Таблица 1.7 – Статистические сведения  
о полной обработке ТМИ параметров движения РН «Союз»

Номер испытания	Кол-во графиков	Кол-во таблиц	Номер испытания	Кол-во графиков	Кол-во таблиц	Номер испытания	Кол-во графиков	Кол-во таблиц	Номер испытания	Кол-во графиков	Кол-во таблиц
1	35	40	4	40	45	7	50	44	10	50	37
2	26	35	5	49	50	8	38	48			
3	38	38	6	35	30	9	39	38			
Изготовлено в среднем										40,0	40,5
Представлено в отчет										10	20

Тестирование анализаторов показало [39], что для экспресс-, оперативной обработки ТМИ желательно использование данных обобщенного массива. При этом выдвинуто требование об окончании ФОМДТ через 2÷3 часа после пуска изделия (т.е. после экспресс-, оперативного анализа) и создании таким образом необходимых условий для полной обработки ТМИ ( $Z_{ИТО\_ПО}$ ). Другим необходимым условием готовности к полной обработке является заблаговременная коррекция исходных данных для её проведения (т.е. коррекция до пуска). Доказано [39], что для выполнения этих требований необходимо новое научно-методическое обеспечение решения задач ИТО (осуществления стратегий  $U_{ус}$  и  $U_{прим}$ ).

### Общие подходы к минимизации материальных затрат на применение, поддержание и развитие средств ТК

При подготовке к пуску РКН для осуществления стратегий применения (из множества  $U_{прим}$ ) формируют наборы КСИСО [133], включая в них ПТС ТК. Следовательно, требуемый состав ТК  $R_{ТК}$  зависит от отдельных ПТС, образующих текущие наборы КСИСО ТМИ:

$$R_{ТК} = \bigcup_{j=1}^J \bigcup_k R_{k_j}. \quad (1.14)$$

где  $j = 1, 2, \dots, J$  – условное обозначение типа телеметрируемого объекта (различных ПТИ [71]), а обозначения « $k$ », ..., « $K$ » соответствуют наименованиям отдельных ПТС.

Если, например, при пуске одного типа РКН применяют множество  $R_{ПРС\_1}$  в количестве  $N_{ПРС\_1}$  ПРС, а при пуске другого типа – множество  $R_{ПРС\_2}$  из  $N_{ПРС\_2}$  ПРС ( $R_{ПРС\_1} \subset R_{ПРС}$ ,  $R_{ПРС\_2} \subset R_{ПРС}$ ,  $R_{ПРС} \subset R_{ТК}$ ), то для наиболее рационального варианта минимизации ПРС в составе ТК характерно одинаковое и минимальное  $N_{ПРС\_min}$

количество задействуемых ПРС ( $R_{\text{ПРС}_1} = R_{\text{ПРС}_2} = R_{\text{ПРС}}$ ,  $N_{\text{ПРС}_1} = N_{\text{ПРС}_2} = N_{\text{ПРС}_{\min}}$ ), а для наиболее нерационального варианта – применение многочисленных разнотипных ПРС ( $R_{\text{ПРС}_1} \cap R_{\text{ПРС}_2} = \emptyset$ ,  $N_{\text{ПРС}_1} \gg N_{\text{ПРС}_{\min}}$  и/или  $N_{\text{ПРС}_2} \gg N_{\text{ПРС}_{\min}}$ ). Если  $N_{k_i} \gg N_{k_j}$  для  $i$ -го типа РКН ( $j = 1, 2, \dots, J, i \neq j$ ), то в состав ТК (в данном случае, в состав  $R_{\text{ПРС}}$ ) включены избыточные по отношению к другим типам РКН (или к другим ПТИ) ПТС.

Для наиболее рационального состава ТК (для ТК, обладающего свойством инвариантности по отношению к изменяющимся задачам ИТО, или по отношению к обрабатываемым телеметрируемым объектам) характерно

$$R_{k_j} = R_k, N_{k_j} = N_{k_{\min}}, \quad (1.15)$$

а для наименее рационального –

$$\bigcap_{j=1}^J R_{k_j} = \emptyset, N_{k_i} \gg N_{k_j}, i \neq j \quad (1.16)$$

хотя бы для одного ( $i$ -го) типа РКН (ПТИ).

В этой связи нагляден рассмотренный ранее опыт подготовки ТК к ЛИ комплекса «Энергия-Буран».

Для сегодняшней отечественной телеметрии, относящейся к средствам выведения, характерно некоторое улучшение (смещение от состояния (1.16) к (1.15)). Такое улучшение, например, ПРС [125] связано с широким применением универсальных средств (типа ПЭВМ) в составе ПРС, а также дополнительных (кроме ПЭВМ) аппаратных средств, существенно меньших по массе и габаритам предыдущих аналогов, для работы с разнотипными БРТС [27]. Таким образом обеспечивается относительная универсальность ПРС (возможность её работы с разнотипными БРТС), но сохраняется угроза отвлечения значительных ресурсов на доработку ПРС в процессе развития БРТС, в случае отработки новых телеметрируемых объектов.

В настоящее время для решения задач, аналогичных ЛИ комплекса «Энергия-Буран», потребуются значительные дополнительные материальные ресурсы на дооснащение ТК (прежде всего доработка ПО ТК).

Необходимым условием минимизации материальных затрат (1.15) является минимизация количества каналов разнесения «борт-Земля» и скорости передачи

ТМИ по отдельному каналу. Она (минимизация) связана прежде всего с уменьшением избыточности телеизмерений. Кроме того, для обеспечения инвариантности ПТС ТК к изменяющимся задачам ИТО (для выполнения условия  $R_{k_j} = R_k$  (1.15)) необходимы унифицированные структуры ТМИ, причём изменяющиеся в зависимости от типа изделия, от ПТИ (изменяющегося в зависимости от циклограммы полёта), которые подходили бы для ПТС ТК неизменного состава.

В этой связи ниже показаны возможности, создаваемые управлением избыточностью данных телеизмерений и стандартизацией отечественной телеметрии.

### **Преимущества от управления избыточностью данных телеизмерений**

Традиционный путь сокращения потерь ТМИ связан с увеличением избыточности данных телеизмерений. Однако пропорционально скорости формирования данных телеизмерений на телеметрируемом объекте увеличивается количество комплектов БРТС и лавинообразно (из-за необходимости разнесённого приёма ТМИ) – количество наземных ПТС, прежде всего ПРС. Вследствие разнотипности РКН и велик разброс количества ПРС, включаемых в состав КСИСО ТМИ.

Если имеется два множества данных телеизмерений  $Q_{ТМИ_1}$  и  $Q_{ТМИ_2}$ , полученные преобразованием данных  $Q_{ТМИ_0}$ , причём  $V_{Q_{ТМИ_1}} > V_{Q_{ТМИ_2}}$  (где  $V_{Q_{ТМИ_i}}$  – объём данных  $Q_{ТМИ_i}$ , полученных  $i$ -м способом преобразования), а данные  $Q_{ТМИ_2}$  содержат не меньше сведений для анализаторов, чем  $Q_{ТМИ_1}$ , то предпочтительнее ТМИ  $Q_{ТМИ_2}$  (принцип «Бритвы Оккама»). Есть основание утверждать, что данные  $Q_{ТМИ_1}$  содержат избыточные данные.

Логичным следствием существующих («им»), традиционных («трад») и рациональных («рац») подходов к сокращению потерь ТМИ являются следующие коэффициенты сжатия данных телеизмерений, обеспечиваемые на телеметрируемом объекте:  $K_{сж\_от\_им} = 1$ ,  $K_{сж\_от\_трад} < 1$ ,  $K_{сж\_от\_рац} > 1$ . При этом:

$$n_{БРТС\_модерн} = \frac{n_{БРТС\_мин} V_{Q\_ТМИ\_рег\_мин}}{K_{сж\_БРТС} V_{Q\_ТМИ\_рег\_мин}} = \frac{n_{БРТС\_мин}}{K_{сж\_БРТС}}, \quad (1.17)$$

где  $V_{Q\_ТМИ\_рег\_мин}$  – объём данных телеизмерений, сформированных одним комплектом некой типовой БРТС, зарегистрированный приёмно-регистрающей станцией;

$n_{БРТС\_мин}$  – количество комплектов типовой (существующей) БРТС,  $K_{сж\_от\_ум} = 1$ ;

$n_{БРТС\_модерн}$  – количество комплектов модернизированной БРТС,  $K_{сж\_от\_трад} < 1$  или  $K_{сж\_от\_рац} > 1$ ;

$K_{сж\_БРТС}$  – коэффициент сжатия данных телеизмерений в БРТС.

Тогда суммарный объём  $V_{Q\_ТМИ\_рег\_Σ}$  ТМИ, зарегистрированный ПРС, будет равен

$$V_{Q\_ТМИ\_рег\_Σ} = (n_{БРТС\_ум} V_{Q\_ТМИ\_рег\_мин} n_{КР}) : K_{сж\_БРТС}, \quad (1.18)$$

где  $n_{КР}$  – количество каналов разнесения (количество ПРС, приходящееся на один комплект БРТС).

Для наглядности приведены примеры, иллюстрирующие зависимость количества ПТС (БРТС и ПРС) от объёма связанных с ними данных телеизмерений (рисунки 1.14 и 1.15).

Пусть  $n_{БРТС\_ум} = 3, 6, 12$ ;  $n_{КР\_трад} = n_{КР\_ум} = 5$ ,  $n_{КР\_рац} = 3$ ;

$K_{сж\_от\_ум} = 1$ ,  $K_{сж\_от\_трад} = 0,5$ ;  $K_{сж\_от\_рац\_1} = 3$ ,  $K_{сж\_от\_рац\_2} = 6$ .

Количество  $n_{ПРС\_*\_max}$  ПРС, необходимых в составе ТК, определяется наиболее информативным вариантом обрабатываемой на космодроме РКН. В то же время количество  $n_{ПРС\_*\_min}$  ПРС, необходимых в составе КСИСО ТМИ для наименее информативного варианта при традиционных подходах и при рациональных подходах к сокращению потерь ТМИ (как следует из примеров, см. таблицу 1.8), будет существенно отличаться. Чем больше такое отличие, тем больше количество  $n_{ПРС\_*\_изб}$  избыточных ПРС с точки зрения решения текущих (обычных) задач ИТО. Так, из примеров следует (см. таблицу 1.8), что при традиционном подходе к сокращению потерь ТМИ ( $K_{сж\_от\_трад} = 0,5$ )  $n_{ПРС\_*\_max} = 120$ ,  $n_{ПРС\_*\_изб} = 120 - 30 = 90$ , а при рациональном –  $n_{ПРС\_*\_max} = 12$ ,  $n_{ПРС\_*\_изб} = 9$  (при  $K_{сж\_от\_рац\_1} = 3$ ) и  $n_{ПРС\_*\_max} = 6$ ,  $n_{ПРС\_*\_изб} = 3$  (при  $K_{сж\_от\_рац\_2} = 6$ ).

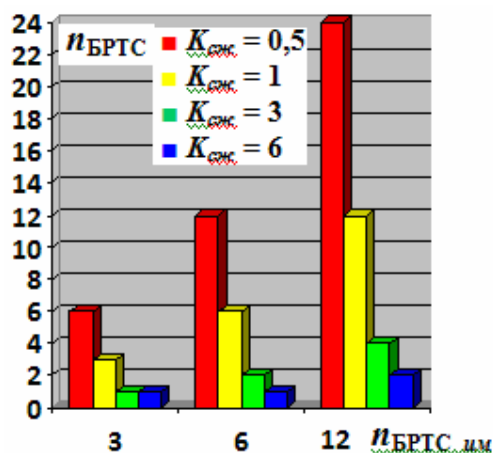


Рисунок 1.14 – Примеры, иллюстрирующие зависимость количества комплектов БРТС от коэффициента  $K_{\text{сж\_от}}$

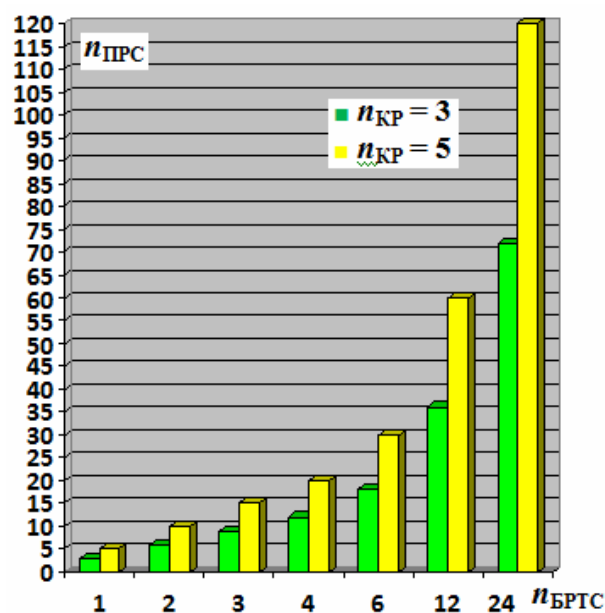


Рисунок 1.15 – Примеры, иллюстрирующие зависимость количества задействуемых ПРС от количества комплектов БРТС

Таблица 1.8 – Примеры, иллюстрирующие издержки (преимущества), связанные с управлением избыточностью данных телеизмерений

	<i>им</i>	<i>трад</i>	<i>рац 1</i>	<i>рац 2</i>
$n_{\text{ПРС}} * \min / n_{\text{ПРС}} * \max$	15/60	30/120	3/12	3/6
$n_{\text{ПРС}} * \max - n_{\text{ПРС}} * \min = n_{\text{ПРС}} * \text{изб}$	45	90	9	3

Примечание: \* – {*им*, *трад*, *рац\_1*, *рац\_2*}.

Из рассмотренных примеров следует, что наибольшую пользу от компактного представления ТМИ получают в случаях, если оно осуществляется в месте её зарождения – на телеметрируемом объекте, в БРТС. Также актуально сокращение количества задействуемых ПРС улучшением технологии разнесённого приёма ТМИ. Однако чтобы извлечь эту пользу, необходимо **рациональное управление избыточностью данных телеизмерений** при осуществлении стратегий усовершенствования  $U_{\text{ус}}$  и применения  $U_{\text{прим}}$  СИТО.

### **Возможности создания благоприятных условий развития СИТО путём стандартизации отечественной телеметрии**

До 90-х годов 20-го века деятельность отечественных предприятий ракетно-космической отрасли осуществлялась в условиях централизованного управления. Соответственно распределялись роли предприятий, формировались их интересы. Круг разработчиков и изготовителей элементов СИТО был относительно узок, а их продукция в значительной мере была представлена техническими средствами (с учётом схем магнитных головок

МЗУ и распайки выходных кабелей устанавливались относительно немногочисленные структуры ТМИ для её пользователей).

Теперь отечественные предприятия ракетно-космической отрасли весьма самостоятельны. Определилась основная цель их развития – получение максимальной прибыли. Несколько расширился круг разработчиков и изготовителей СИТО, существенно возросли их возможности (особенно по созданию ПО). При этом процесс разработки структур ТМИ стал фактически неуправляемым. Значительно возросли траты дополнительных сил и средств на адаптацию существующих СИТО к новым структурам ТМИ. Обычная причина предшествующих пуску изделия доработок ПО обработки ТМИ связана с изменениями ПТИ в условиях отсутствия отечественных стандартов телеметрии, относящихся к средствам выведения, [7, 41] определяющих форматы слов, формируемых в БИТС [63]; порядок размещения этих слов в кадре и т.д.

Обычно каждое отечественное предприятие, создающее БРТС, стремится создать и свою наземную ПРС, в которой в борьбе за рынки сбыта вынужденно реализовывают возможности приёма телеметрических сигналов всех находящихся в эксплуатации БРТС. При этом разработка уникальных ПТС и структур ТМИ является фактором, обеспечивающим недостижимость со стороны потенциальных конкурентов. В результате существующие отечественные БРТС по функциональным возможностям мало чем отличаются от своих аналогов 60-х ÷ 70-х годов 20-го века, не обеспечивают они преимуществ и по потерям ТМИ в канале «борт-Земля», а вышеупомянутая уникальность и связанные с ней дополнительные структуры ТМИ существенно затрудняют решение задач ИТО и анализа.

Между тем, практический опыт развития технических систем свидетельствует о целесообразности их усовершенствования не по всем направлениям сразу, а лишь по нескольким (нужно определить, какие 20% усилий могут привести к 80% результатов [93]). Применительно к СИТО это означает, что, например, принимается в эксплуатацию не новая БРТС (требующая значительной доработки уже применяемых ПРС, ПО обработки ТМИ), а реализуется в БРТС лишь новый метод модуляции. При таком подходе требуется доработка лишь радиопередающего устройства в составе БРТС и приёмных устройств ПРС (доработка ПО обработки ТМИ и вовсе не требуется). Появляется возможность отрабатывать усовершенст-

вованные СИТО по относительно мелким частям, исключив таким образом издержки, связанные с обработкой значительно изменённых СИТО.

Для обеспечения требуемого качества управления процессом развития СИТО (для построения рациональных СИТО) необходимы стандарты  $TrS_{ИТО\_рац}$ , базирующиеся на официальной концепции  $TrC_{ИТО}$  развития СИТО, чтобы быть согласованными.

Для осуществления результативной стандартизации отечественной телеметрии, относящейся к средствам выведения, требуются определённые (благоприятные) условия (рисунок 1.16). Их создание невозможно без изменения существующих производственных отношений предприятий ракетно-космической отрасли (рисунок 1.17; пунктирными линиями показаны гипотетические элементы схемы и их связи).



Рисунок 1.16 – Роль и место стандартов телеметрии, относящейся к средствам выведения, в осуществлении целевой концепции развития СИТО

Задачи ИТО и способы их решения весьма уникальны, поэтому целесообразно СИТО наделять соответствующими специфическими свойствами. В то же время, в современной практике решения задач ИТО широко применяются универсальные ПТС и ИТ (в частности, ПЭВМ, общее ПО, стандартные протоколы обмена данными). Преимущества уникальных СИТО заключаются в более полном учёте сущностей решения задач ИТО, а их обычный недостаток – высокая стоимость из-за производства малыми партиями или штучного производства. Отсюда – одна из задач стандартизации отечественной телеметрии – рас-



пространение положений стандартов на другие области, по принципу «от уникального – к универсальному» (диверсификация).

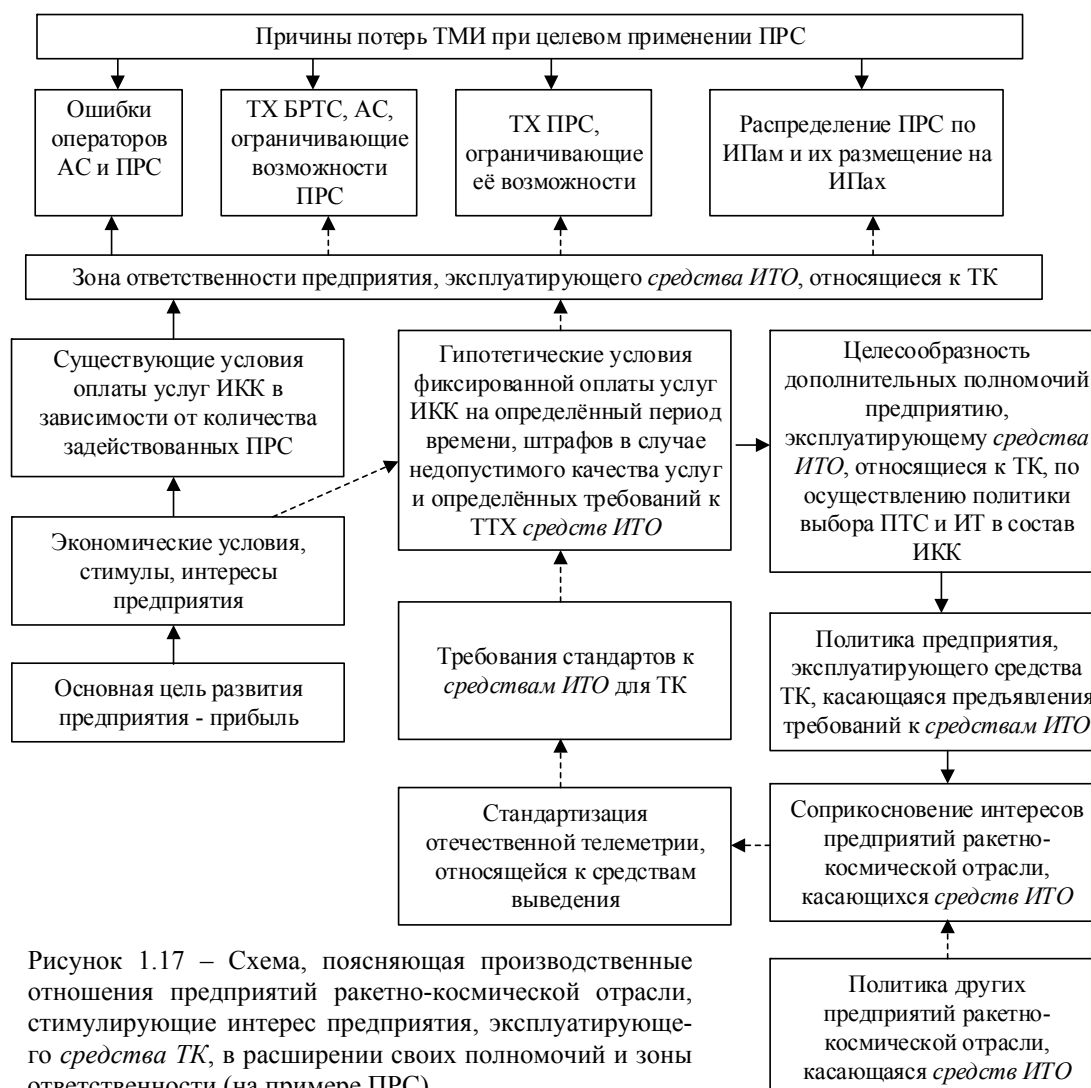


Рисунок 1.17 – Схема, поясняющая производственные отношения предприятий ракетно-космической отрасли, стимулирующие интерес предприятия, эксплуатирующего средства ТК, в расширении своих полномочий и зоны ответственности (на примере ПРС)

Обосновано [7], что построение необходимых отечественных стандартов  $TrS_{ИТО\_рац}$  связано, прежде всего, с методами  $Met_{Q\_ТМИ}$  действий над ТМИ, со структурами сигналов (данных)  $Q_{ТМИ}$  ТМИ и должно осуществляться по принципу функциональных стандартов, профилей [188], ориентированным на определённую техническую систему (в нашем случае – на определённые КСИСО ТМИ [133]). Показана [7] целесообразность включения в положения отечественных стандартов выявленных (уместных) фрагментов, относящихся к разным базовым стандартам. Ими могут быть отдельные положения документов CCSDS и IRIG.

При разработке положений предполагаемых стандартов нужно предусмотреть выполнение требований, касающихся порядка их разработки, принятия, при-

менения, обновления и отмены, определённого соответствующими руководящими документами (типа административных положений стандартов, представленных в Жёлтых Книгах CCSDS [210, 216 и др.]).

Чтобы избежать конфликтных ситуаций, необходимо учитывать регламент, определённый международными организациями. Например, CCSDS тесно взаимодействует с Международной организацией по стандартизации ISO (ISO – International Standard Organization), учитывает требования Международного союза электросвязи ITU (ITU – International Telecommunication Union) [213]. Аналогично поступают в процессе развития стандартов IRIG [217].

Таким образом, процесс стандартизации перманентен, а его результативное осуществление представляется как решение определённой последовательности конкретных сложных организационно-технических задач. Это решение связано прежде всего с построением рациональных СИТО, элементы которых конфигурируются в зависимости от выполняемой задачи ИТО, обеспечивая требуемые показатели эффективности.

### **Методологические принципы развития СИТО**

Под методологическими принципами развития СИТО понимаются основные исходные методы, правила и т.д., касающиеся развития СИТО.

**Основной принцип связан с системным подходом к усовершенствованию и применению СИТО** (к осуществлению стратегий  $U_{yc}$  и  $U_{прим}$ ). В качестве основного инструмента осуществления системного подхода использована проблемно-ориентированная модификация (версия) морфологического анализа.

Морфология представляет собой науку о строениях и формах, аналогах и проблемно-ориентированных классификациях, помогающих найти подходы к решению проблем [95]. Сущность морфологического анализа заключается в определении конечных множеств групп (комбинаций) инвариантов, каждая из которых обладает определёнными особенностями (свойствами). В результате анализа получают конечное множество всех возможных комбинаций, определяющее границы последующего поиска нужных решений.

Например, Ф. Цвикки (он считается основоположником морфологического анализа) показал возможность построения 253444 вариантов реактивного двигателя. В качестве ин-

вариантов использованы конечное множество элементов, входящих в состав двигателя, и конечное множество вариантов осуществления каждого элемента.

В методике изобретательства Альтшуллера Г.С. [2] бесконечное множество технических решений делится на 35 подмножеств (по количеству основных приёмов устранения технических противоречий). В этом случае инвариантами являются приёмы устранения противоречий.

Показателен пример представления космического ракетного комплекса (КРК) для осуществления морфологического анализа в виде восьмиуровневой структуры [162]. Морфологический анализ выполнен с целью выбора перспективных направлений создания КРК лёгкого класса. В качестве инвариантов использовано конечное множество отличительных признаков КРК, распределённых по соответствующим иерархическим уровням, и относящееся к каждому отличительному признаку конечное множество возможных (альтернативных) вариантов технических решений. Элементу морфологического анализа соответствует определённый уровень иерархии, отличительный признак и вариант технического решения.

Проблемно-ориентированный морфологический анализ применён при рассмотрении методических аспектов разработки отечественных стандартов телеметрии [46]. Определены атрибуты, относящиеся к первому уровню ЭМВОС [213] и являющиеся инвариантами, касающимися рекомендаций CCSDS. Показана [46] возможность использования соответствующих инвариантов для других уровней ЭМВОС.

Морфологический анализ позволяет обеспечить целенаправленный поиск наиболее результативных решений при построении рациональных стратегий  $U_{ус\_рац}$  и  $U_{прим\_рац}$  вместо поиска традиционным методом «проб и ошибок» [2, 89]. Однако с ростом количества альтернативных вариантов трудоёмкость морфологического анализа возрастает. В этом случае целесообразно исключить из дальнейшего рассмотрения на ранних стадиях анализа варианты с признаками их явной непригодности.

Известны [124, с. 55] способы уменьшения множества исходных стратегий проведения операции путем исключения из анализа стратегий, не соответствующих цели операции; выбора из оставшихся физически реализуемых стратегий, а из них – лучших.

Наиболее подходящим инструментом для группирования вариантов по определённым признакам (для комбинирования) является теоретико-множественный подход [70; 90, с. 86-95].

Другой методологический принцип – **принцип определённости цели развития СИТО**, заключающейся в повышении эффективности процесса усовершенствования и применения усовершенствованных СИТО. Это означает, что для различных стратегий  $U_{ус}$  и  $U_{прим}$ , направленных на противодействие неопределённым факторам разной природы, должны быть выбраны общие показатели эффективности и установлена мера между ними и параметрами, подлежащими улучшению. В этой связи актуальны методы оценивания эффективности проведения операций с использованием технических систем [122, 124, 140], однако для полноценного использования требуется их адаптация к решаемой проблеме.

**Принцип целенаправленного поиска рациональных стратегий**  $U_{ус\_рац}$  и  $U_{прим\_рац}$  принят с целью не пропустить их выбор из множества альтернативных стратегий и, наоборот, исключить из дальнейшего рассмотрения на ранних стадиях анализа стратегии с признаками их явной непригодности. Существуют универсальные методы поиска (типа метода Саати [99, 153], методов ТРИЗ [2, 94]) или проблемно-ориентированные (типа метода построения бортовых систем обмена информации [148]). Для СИТО предпочтительнее проблемно-ориентированные методы, в частности, вследствие специфичности задач ИТО.

**Принцип конкретизации требований к СИТО** принят, исходя из особенностей ИТО отработки средств выведения (значительная доля БМП от общего количества ТМП, топология построения ТК с разнесённым приёмом ТМИ и т.д.). С учётом этих особенностей и особенностей противодействия неопределённым факторам разной природы сформулированы требования к СИТО. Их выполнение в значительной мере связано с разработкой новых методов действий над ТМИ, которые базируются на теории измерений, теории передачи данных, теории разнесённого приёма сигналов и данных, теории адаптации.

**Принцип рационального использования существующего научно-методического аппарата** заключается в использовании имеющихся методоло-

**гических возможностей** решения проблемы. Обоснована необходимость адаптивования имеющегося научно-методического аппарата к решаемой проблеме (таблица 1.9).

Таблица 1.9 – Методологические аспекты, касающиеся решения проблемы

№ п/п	Область знаний	Дано, найти	Проблемные аспекты
	Принятие решений в условиях концептуальной неопределённости.	Дано: цель, критерии, альтернативы Найти: лучшие варианты из альтернатив	1 Нужные критерии отсутствуют. 2 Альтернативные варианты достижения цели неочевидны.
1	Оценивание эффективности проведения операций с использованием технических систем.	Дано: показатели, характеризующие полезный эффект, материальные затраты, оперативность. Найти: показатели рациональных стратегий, относящихся к ИТО.	1.1 Неочевидны способы использования существующих характеристик потерь ТМИ для идентификации рациональных стратегий. 1.2 Показатели материальных затрат на рассматриваемом этапе не могут быть конкретизированы. 1.3 Необходимо обосновать выбор показателей оперативности решения задач ИТО.
2	Применяемый в системном анализе морфологический анализ, позволяющий построить конечное множество стратегий $U_{\text{прим.исх}}$ .	Дано: морфологические признаки Найти: стратегии $U_{\text{прим.исх}}$ ( $U_{\text{прим.рац}} \subset U_{\text{прим.исх}} \subset U_{\text{прим}}$ ).	2.1 Неочевиден состав морфологических признаков для составления комбинаций, соответствующих стратегиям $U_{\text{прим.исх}}$ .
2.1	Применяемое в системном анализе стратифицированное описание объектов (для определения совокупности морфологических признаков).	Дано: множества стратифицированных объектов, относящихся к стратегиям $U_{\text{прим.исх}}$ . Найти: нужные стратифицированные объекты.	Выбор стратифицированных объектов неочевиден (нужно его обосновать).

Следование принятым (и кратко описанным выше) методологическим принципам является необходимым условием успешного построения рациональной СИТО.

## 1.2. Стратифицированное описание объектов, касающихся СИТО

С целью формализации проблемы исследования осуществлено стратифицированное описание объектов [19]. Рассмотрены страты (аспекты предмета исследования), связанные со следующими стратифицированными объектами:

- телеметрируемые объекты  $O$ ;
- задачи  $Z_{\text{ИТО}}$  ИТО;
- программно-технические средства (ПТС)  $R$ ;
- методы  $Met_{Q_{\text{ТМИ}}}$  (алгоритмы  $Alg_{Q_{\text{ТМИ}}}$ ) непосредственных действий над ТМИ ( $Q_{\text{ТМИ}}$ );
- сигналы (данные)  $Q$ ;
- функции  $F$  ПТС  $R$  (режимы  $Reg$  функционирования ПТС  $R$ );
- стратегии  $U_{\text{прим}}$  применения СИТО;

- стратегии  $U_{yc}$  усовершенствования СИТО;
- неопределённые факторы  $\Lambda_{иссл}$ , влияющие на результаты осуществления стратегий  $U_{прим}$ ;
- неопределённые факторы  $\Lambda_{разв}$ , влияющие на результаты осуществления стратегий  $U_{yc}$ ;
- показатели  $W_{эф}$  эффективности (качества) осуществления стратегий  $U_{прим}$  и  $U_{yc}$ ;
- предприятия (организации)  $Org$ ;
- множество положений стандартов  $TrS$  (в том числе стандартов  $TrS_{ИТО\_рац}$ , необходимых для построения рациональных СИТО, базирующихся на официальной концепции  $TrS_{ИТО}$  развития СИТО).

### Телеметрируемые объекты $O$

$O$  – множество телеметрируемых объектов;

$O_{РКН}$  – множество ракет космического назначения (РКН),  $O_{РКН} \subset O$ ;

$O_{СК}$  – множество стартовых комплексов (СК);

$O_{R_*}$  – множество телеметрируемых ПТС  $R_*$  (обычно такими ПТС являются  $R_{ПП}$ ,  $R_{БРТС}$ ,  $R_{ПРС}$ ; где  $R_{ПП}$  – источники первичных сигналов [71],  $R_{БРТС}$  – БРТС,  $R_{ПРС}$  – ПРС).

Атрибуты телеметрируемых объектов  $O_*$  ( $O_{РКН}$ ):

$$O_* = \langle \Omega_{O_*}, Tr_{O_*}, T_{пер_{O_*}} \rangle, \quad (1.19)$$

где  $\Omega_{O_*}$  – множество физических процессов, происходящих на объектах  $O_*$ ,  $\Omega_{O_*} \subset \Omega$ ;

$Tr_{O_*}$  – множество траекторий полёта телеметрируемых объектов  $O_*$ ;

$T_{пер_{O_*}}$  – периодичность пусков телеметрируемых объектов  $O_*$ .

### Задачи $Z_{ИТО}$

Наиболее актуальные задачи ИТО  $Z_{ИТО\_иссл}$  связаны с ФОМДТ (1.11).

### ПТС $R$

$R_{ИТО}$  – множество ПТС, используемых для решения задач ИТО;

$R_{ОТ}$  – множество ПТС, размещаемых на телеметрируемых объектах,  $R_{ОТ} \subset R$ ;

$R_{ПП}$  – источники (формирователи) первичных сигналов,  $R_{ПП} \subset R_{ОТ}$ ;

$R_{БРТС}$  – множество бортовых радиотелеметрических систем (БРТС),  $R_{БРТС} \subset R_{ОТ}$ ;

$R_{ТК}$  – множество ПТС для использования в составе ТК,  $R_{ТК} \subset R$ ;

Наиболее актуальные ПТС из состава ТК (см. рисунок 1.13 и пояснения к нему):

$R_{\text{ПРС}}$  – множество ПРС в составе ТК,  $R_{\text{ПРС}} \subset R_{\text{ТК}}$ ;

$R_{\text{ФОМДТ}}$  – ПТС ФОМДТ,  $R_{\text{ФОМДТ}} \subset R_{\text{ТК}}$ ;

Наиболее актуальные ПТС из состава  $R_{\text{ОТ}}$  (см. рисунок 1.13) –  $R_{\text{БРТС}}$ .

$R_{\text{внеш}}$  – множество дополнительных ПТС по отношению к обычно используемым ПТС  $R_{\text{ТК}}$  и  $R_{\text{ОТ}}$  (например,  $R_{\text{МКСП}}$  – ПТС МКСП, в частности МКСП типа «Луч»).

### Методы $Met_{Q_{\text{ТМИ}}}$

$$Met_{Q_{\text{ТМИ}}} = \langle Met_{Q_{\text{ТМИ\_измер}}}, Met_{Q_{\text{ТМИ\_преоб}}}, Met_{Q_{\text{ТМИ\_накопл}}}, Met_{Q_{\text{ТМИ\_обмен}}} \rangle, \quad (1.20)$$

где  $Met_{Q_{\text{ТМИ}}}$  – методы непосредственных действий над ТМИ  $Q_{\text{ТМИ}}$ ;

$Met_{Q_{\text{ТМИ\_измер}}}$  – методы измерений физических величин для последующего формирования ТМИ (для формирования первичных сигналов  $Q_{\text{ТМИ\_пп}}$ );

$Met_{Q_{\text{ТМИ\_преоб}}}$  – методы преобразования (обработки) ТМИ;

$Met_{Q_{\text{ТМИ\_накопл}}}$  – методы накопления (регистрации) ТМИ;

$Met_{Q_{\text{ТМИ\_обмен}}}$  – методы обмена данными при передаче ТМИ по каналам связи.

Методы  $Met_{Q_{\text{ТМИ}}}$  (1.20) осуществляют в ПТС  $R_{\text{ИТО}}$ .

### Данные (сигналы)

С учётом ПТС  $R^{**}$

$$f_{Q_{\text{От}_1\text{ }_21}} : Q^* \times R^{**} \rightarrow Q_{\text{От}_1\text{ }_21}, \quad Q_{\text{От}_1\text{ }_21} \subset Q^*, \quad (1.21)$$

где  $Q_{\text{От}_1\text{ }_21}$  – множество сигналов (данных), формируемых, принимаемых, преобразуемых, передаваемых и т.д. ПТС  $R^{**}$ .

Составляющие множества  $Q_{R^*}$  (детализация  $Q_{\text{От}_1\text{ }_21}$  (1.21)), относящиеся к ПТС  $R^*$ , таковы (см. рисунок 1.4):

$$Q_{R^*} = \langle Q_{R^*_{\text{вх}}}, Q_{R^*_{\text{вых}}}, Q_{R^*_{\text{упр}}}, Q_{R^*_{\text{сост}}} \rangle, \quad (1.22)$$

где  $Q_{R^*_{\text{вх}}}$  ( $Q_{R^*_{\text{вых}}}$ ) – сигналы (данные) на входах (на выходах) ПТС  $R^*$ ;

$Q_{\text{упр}}$  – управляющие сигналы (данные) ПТС  $R^*$ ;

$Q_{\text{сост}}$  – сигналы (данные), содержащие информацию (сведения) о состоянии ПТС  $R^*$ .

### Функции $F$ ПТС $R$ (режимы $Reg$ функционирования ПТС $R$ )

Функциональные состояния  $F_{R^*}$  ПТС  $R^*$  представлены в виде кортежа:

$$F_{R^*} = \langle R^*, Met_{R^*}, Q_{R^*}, T_{R^*} \rangle, \quad (1.23)$$

где  $F_{R_*}$  – функции, осуществляемые ПТС множества  $R_*$ ;

$Met_{R_*}$  – методы, реализованные ПТС  $R_*$ ; причём их значительная часть является методами  $Met_{Q_{ТМИ}}$  (1.20) действий над ТМИ;

$Q_{R_*}$  – сигналы (данные), относящиеся к ПТС  $R_*$  (1.22);

$T_{R_*}$  – последовательности текущего времени при осуществлении функций  $F_{R_*}$ .

Элементы кортежа (1.23) выбирают исходя из требуемой детализации сущностей функций  $F_{R_*}$ .

Режимы  $Reg_{R_{**}}$  функционирования ПТС  $R_{**}$  описывается последовательностью их функциональных состояний:

$$Reg_{R_{**}} = \langle F_{R_{**}}^{(1)}, F_{R_{**}}^{(2)}, \dots, F_{R_{**}}^{(N)}, T_{R_*} \rangle. \quad (1.24)$$

Исходим из того, что

$$f_{O_{1\_25}} : \Omega_* \times L_{ПТИ_{**}} \rightarrow \Omega_{ТМП_*}, \quad (1.25)$$

где  $\Omega_*$  – компоненты множества  $\Omega$  (например,  $\Omega_{РКН}$ ,  $\Omega_{РКН\_PH}$ ,  $\Omega_{РКН\_PH\_cm\_i}$  и т.д.; см. (1.19));

$\Omega_{ТМП_*}$  – множество телеметрируемых параметров (ТМП),  $\Omega_{ТМП_*} \subset \Omega_*$ ;

$L_{ПТИ_{**}}$  – ограничения, описанные в ПТИ [71].

В свою очередь –

$$f_{O_{1\_26}} : \Omega_{ТМП_*} \times Met_{Q_{ТМИ\_измер}} \times R_{ПП} \rightarrow Q_{ТМИ\_ПП_*}, \quad (1.26)$$

где  $Q_{ТМИ\_ПП_*}$  – первичные сигналы, формируемые ПТС  $R_{ПП}$ .

Множество  $Q_{ТМИ\_ПП_*}$  (1.26) является входными сигналами рассматриваемой СИТО, а её выход – обобщённые данные телеизмерений  $Q_{ТМИ\_ОМ}$  (т.е. данные, полученные методами разнесённого приёма, см. рисунок 1.13 и пояснения к нему).

Формульное выражение (1.19) трансформируется следующим образом:

$$O_* = \langle Q_{ТМИ\_ПП\_O_*}, Tr_{O_*}, T_{пер\_O_*} \rangle. \quad (1.27)$$

Для пояснения сущностей функций  $F_{R_*}$  (1.23) представлен пример описания одной из функций БРТС:

$$F_{БРТС(1)} = \langle R_{БРТС}, Met_{Q_{ТМИ\_преоб\_Л\_ТМП}}, Q_{ТМИ\_ПП}, Q_{ТМИ\_КП\_1}, T_{БРТС(1)} \rangle,$$

$$Met_{Q_{ТМИ\_преоб\_Л\_ТМП}} \subset Met_{Q_{ТМИ\_преоб}},$$

где  $R_{БРТС}$  – БРТС;  $Q_{ТМИ\_ПП}$  – первичные сигналы;



$Q_{\text{ТМИ\_КП\_1}}$  – данные кодов параметров, полученные преобразованием первичных сигналов;

$Met_{Q_{\text{ТМИ\_преоб\_Л\_ТМП}}}$  – метод преобразования первичных сигналов  $Q_{\text{ТМИ\_ПП}}$ , уменьшающий потери ТМИ из-за неопределённости ТМП;

$T_{\text{БРТС(1)}}$  – последовательности текущего времени при осуществлении функции  $F_{\text{БРТС(1)}}$ .

### **Стратегии $U_{\text{прим}}$ применения ПТС $R$**

Атрибуты объектов  $U_{\text{прим}}$  (с учётом принятых ограничений, касающихся телеметрируемых объектов  $O$  (1.27) и задач  $Z_{\text{ИТО\_иссл}}$  (1.11)):

$$U_{\text{прим\_**}} = \langle Z_{\text{ИТО\_иссл}}, O^*, Reg_{R\_**}, R^{**}, Met_{R\_**}, Q_{R\_**}, T_{R\_**} \rangle, \quad (1.28)$$

где  $U_{\text{прим}}$  – множество стратегий применения ПТС по целевому назначению.

При осуществлении стратегий  $U_{\text{прим}}$  для повышения их результативности оперируют (варьируют) следующими параметрами (1.28):  $Met_{R\_**}, Q_{R\_**}, R^{**}, Reg_{R\_**}$ .

### **Стратегии $U_{\text{ус}}$ усовершенствования СИТО**

Исходим из того, что

$$f_{O_{\text{т1\_29}}} : U_{\text{прим\_*}} \times U_{\text{ус\_*}} \rightarrow U_{\text{прим\_ус\_*}}, \quad (1.29)$$

где  $U_{\text{прим\_*}}$  – множество совершенствуемых, а  $U_{\text{прим\_ус\_*}}$  – множество усовершенствованных стратегий применения в соответствии со стратегиями  $U_{\text{ус\_*}}$ .

Осуществление стратегий  $U_{\text{ус}}$  (1.29) связано с построением новых (по отношению к существующим) элементов  $Met_R, Q_R, R, Reg_R$  множества  $U_{\text{прим}}$  (1.28).

Необходимые признаки рациональных стратегий  $U_{\text{ус\_рац}}$  – построение в результате их осуществления рациональных стратегий  $U_{\text{прим\_рац}}$  применения:

$$f_{O_{\text{т1\_30}}} : U_{\text{прим}} \times U_{\text{ус\_рац}} \rightarrow U_{\text{прим\_рац}}. \quad (1.30)$$

### **Неопределённые факторы $\Lambda$**

Выявлены следующие неопределённые факторы, наиболее сильно влияющие на результаты осуществления стратегий  $U_{\text{прим}}$  и  $U_{\text{ус}}$ :

$\Lambda_{\text{от}}$  – неопределённость обрабатываемых телеметрируемых объектов множества  $O$ ,  $\Lambda_{\text{от}} \subset \Lambda$ ;

$\Lambda_{\text{ФП}}$  – неопределённость сущностей физических процессов на телеметрируемых объектах  $O$ , создающая необходимость использования разнообразных методов измерений,  $\Lambda_{\text{ФП}} \subset \Lambda_{\text{ОТ}}$ ;

$\Lambda_{\text{ОТ\_кол\_ТМП}}$  – неопределённость, проявляющаяся в большом разбросе количества ТМП в зависимости от сущностей объектов измерений  $O$ ,  $\Lambda_{\text{ОТ\_кол\_ТМП}} \subset \Lambda_{\text{ОТ}}$ ;

$\Lambda_{\text{ОТ\_Tr}}$  – неопределённость траекторий полёта телеметрируемых объектов  $O$ ,  $\Lambda_{\text{ОТ\_Tr}} \subset \Lambda_{\text{ОТ}}$ ;

$\Lambda_{\text{ОТ\_T\_пер}}$  – неопределённость периодичности пусков  $\Lambda_{\text{ОТ\_T\_пер}} \subset \Lambda_{\text{ОТ}}$ ;

$\Lambda_{\text{ТМП}}$  – неопределённость поведения ТМП, являющаяся причиной потерь ТМИ,  $\Lambda_{\text{ТМП}} \subset \Lambda$ ;

$\Lambda_{\text{ПТС\_ОТ\_аном}}$  ( $\Lambda_{\text{ПТС\_ТК\_аном}}$ ,  $\Lambda_{\text{ПТС\_внеш\_аном}}$ ) – неопределённые факторы, являющиеся причиной потерь ТМИ, связанные с отказами и аномальным функционированием ПТС  $R_{\text{ОТ}}$  ( $R_{\text{ТК}}$ ,  $R_{\text{внеш}}$ ), с действием на них дестабилизирующих факторов разной природы;

$\Lambda_{\text{пом}}$  – неопределённые факторы, касающиеся помех в каналах «борт-Земля»,  $\Lambda_{\text{пом}} \subset \Lambda$ ;

$\Lambda_{\text{униф}}$  – неопределённость, связанная с многообразием неунифицированных структур сигналов и данных (в том числе содержащих ТМИ) и элементов СИТО;

$\Lambda_{\text{разв}}$  – неопределённость условий усовершенствования СИТО (неопределённые факторы, влияющие на результаты осуществления стратегий  $U_{\text{ус}}$ ).

Для дальнейшего рассмотрения выбраны следующие неопределённые факторы  $\Lambda_{\text{иссл}}$ , касающиеся стратегий  $U_{\text{прим}}$  применения, наиболее важные с точки зрения решаемой проблемы:

$$\Lambda_{\text{иссл}} = \langle \Lambda_{\text{ТМП}}, \Lambda_{\text{пом}}, \Lambda_{\text{ОТ\_кол\_ТМП}}, \Lambda_{\text{ОТ\_Tr}}, \Lambda_{\text{ОТ\_T\_пер}}, \Lambda_{\text{униф}} \rangle. \quad (1.31)$$

### **Характеристики и показатели $W_{\text{эф}}$ стратегий $U_{\text{прим}}$ и $U_{\text{ус}}$**

Предложено четырёхуровневое оценивание стратегий  $U_{\text{прим}}$  и  $U_{\text{ус}}$ :

$$W_{\text{эф}} = \langle W_{\text{Q\_ТМИ}}, W_{\text{ТЭХ}}, W_{\text{прим}}, W_{\text{ус}} \rangle, \quad (1.32)$$

где  $W_{\text{эф}}$  – множество характеристик и показателей ИТО;

$W_{\text{ус}}$  ( $W_{\text{прим}}$ ) – показатели выполнения операций усовершенствования (применения) в соответствии со стратегиями  $U_{\text{ус}}$  ( $U_{\text{прим}}$ );

$W_{ТЭХ}$  – множество технико-экономических характеристик элементов СИТО;

$W_{Q\_ТМИ}$  – множество характеристик ТМИ ( $Q_{ТМИ}$ ).

Такое оценивание позволяет наиболее полно учитывать влияние изменяющихся свойств отдельных элементов, относящихся к стратегиям  $U_{прим}$  (1.28) и  $U_{ус}$  (1.29), на **общённые показатели**  $W_{прим}$  и  $W_{ус}$  **ИТО**:

$$f_{Met\_W\_прим\_рац} : (f_{Met\_W\_ТЭХ\_тр} : \quad (1.33)$$

$$(f_{Met\_W\_Q\_ТМИ\_об\_тр} : U_{прим\_рац} \times \Lambda_{иссл} \rightarrow W_{Q\_ТМИ\_ОМ\_тр}) \rightarrow W_{ТЭХ\_тр}) \rightarrow W_{прим\_рац} ,$$

где  $f^*$  – функция отображения одного множества в другое, соответствующая определённому научно-методическому обоснованию этого отображения;

$W_{Q\_ТМИ\_ОМ\_тр}$  – необходимые для осуществления рациональных стратегий  $U_{прим\_рац}$  характеристики данных телеизмерений обобщённого массива;

$W_{ТЭХ\_тр}$  – необходимые для осуществления рациональных стратегий  $U_{прим\_рац}$  технико-экономические характеристики применяемых ПТС;

$W_{прим\_рац}$  – показатели  $W_{прим}$  для рациональных стратегий  $U_{прим\_рац}$  (1.30) ( $W_{прим\_рац} \subset W_{прим}$ ).

### **Предприятия (организации) *Org***

Множество предприятий (организаций)  $Org$ , имеющих отношение к осуществлению стратегий  $U_{прим}$  и  $U_{ус}$ , делится (в зависимости от специфики их производственной деятельности) на следующие подмножества:

$$Org = \langle Org_{разр}, Org_{изг}, Org_{эксп}, Org_{ан}, Org_{станд} \rangle , \quad (1.34)$$

где  $Org_{разр}$  – разработка ПТС;  $Org_{изг}$  – изготовление ПТС;  $Org_{эксп}$  – эксплуатация (применение ПТС по их целевому назначению);  $Org_{ан}$  – использование ТМИ по целевому назначению (анализаторы);  $Org_{станд}$  – стандартизация.

При этом одно предприятие может совмещать две и более функций; например, разработку и изготовление ПТС.

### **Стандарты *TrS***

Предприятия (организации)  $Org$  (1.34) имеют интересы и полномочия, отсюда – их стремления. Нужны стимулы, чтобы эти стремления были направлены на осуществление рациональных стратегий  $U_{прим\_рац}$  и  $U_{ус\_рац}$ . Для этого их деятельность нужно регламентиро-

вать. Необходимым условием такого регламентирования является официальная концепция  $TrS_{ИТО}$  развития СИТО, определяющая направления и параметры развития, обеспечивающая правильный выбор нужных элементов в множество  $TrS_{ИТО}$  положений стандартов (они в настоящее время отсутствуют) [64, 221]:

$$f_{Org\_станд\_2} : (f_{Org\_станд\_1} : TrS_{исх} \rightarrow TrS_{ИТО}) \rightarrow TrS_{ИТО}, \quad (1.35)$$

$$f_{Org\_*} : U_{прим} \times TrS_{ИТО\_Org\_*} \rightarrow U_{прим\_рац}, \quad (1.36)$$

$$f_{Org\_**} : U_{ус} \times TrS_{ИТО\_Org\_**} \rightarrow U_{ус\_рац}, \quad (1.37)$$

где  $f_{Org\_станд\_2} : (f_{Org\_станд\_1})$  – функции отображения, соответствующие целевой деятельности предприятий (организаций)  $Org_{станд}$ ;

$TrS_{исх}$  – множество исходных сведений (материалов) для формулирования положений концепции  $TrS_{ИТО}$  и стандартов  $TrS_{ИТО}$ ;

$f_{Org\_*} (f_{Org\_**})$  – функции отображения, соответствующие целевой деятельности предприятий (организаций)  $Org_*$  ( $Org_{**}$ ) по осуществлению рациональных стратегий  $U_{прим\_рац}$  ( $U_{ус\_рац}$ );  $Org_* \subset Org$ ,  $Org_{**} \subset Org$  (1.34);

$TrS_{ИТО\_Org\_*} (TrS_{ИТО\_Org\_**})$  – положения (требования) стандартов, касающиеся интересов и полномочий предприятий (организаций)  $Org_*$  ( $Org_{**}$ ).

Таким образом, стратифицированное описание объектов касается элементов СИТО и позволяет рассмотреть различные (и актуальные) аспекты решаемой проблемы. Наиболее проблемные вопросы связаны с построением рациональных стратегий  $U_{прим\_рац}$  и  $U_{прим\_исх}$ .

### **1.3 Методические основы повышения результативности СИТО. Выбор направлений исследования**

Влияние неопределённых факторов  $\Lambda_{иссл}$  (1.31) при применении традиционных СИТО значительно ухудшает результаты осуществления стратегий  $U_{прим}$ . В этой связи определены ограничения (требования)  $L_{U_{прим\_исх}}$ , относящиеся к осуществлению исходных стратегий  $U_{прим\_исх}$  применения ( $U_{прим\_рац} \subset U_{прим\_исх} \subset U_{прим}$ ), по противодействию отдельным неопределённым факторам множества  $\Lambda_{иссл}$  (таблица 1.10).

Таблица 1.10 – Ограничения (требования)  $L_{U\_прим\_исх}$ 

$\Lambda_{иссл}$	Суть ограничений (требований) $L_{U\_прим\_исх}$	Ожидаемый полезный эффект от мер противодействия неопределённым факторам $\Lambda_{иссл}$	Примечания
$\Lambda_{ФП}$	$L_{U\_прим\_исх\_1}$ – получение дополнительных сведений о физических процессах, происходящих на телеметрируемом объекте, путём использования новых методов измерений множества $Met_{Q\_ТМИ\_измер}$ .	Получение новыми методами измерений дополнительных сведений (информации) о телеметрируемом объекте, позволяющих улучшить качество решений, направленных на достижение цели его отработки (см. Пример 1.1 [149] и Пример 1.2 [117]).	1, 2
$\Lambda_{ФП}$	$L_{U\_прим\_исх\_2}$ – улучшение характеристик $W_{Q\_ТМИ}$ ТМИ и $W_{ТЭХ}$ СИТО путём выбора методов измерений из множества $Met_{Q\_ТМИ\_измер}$ , реализуемых ПТС множества $R_{ПП}$ ; причём природа соответствующих ТМП (ТМП из множества $\Omega_{ТМП}$ ) такова, что существуют благоприятные условия для компактного представления данных $Q_{ТМИ\_КП}$ и для восстановления данных $Q_{ТМИ\_КП}$ наземными ПТС $R_{обработ\_вц}$ в случае искажений ТМИ $Q_{ТМИ\_ОМ}$ помехами, действующими в канале «борт-Земля».	Компактное представление данных телеизмерений и повышение помехоустойчивости использованием семантических свойств этих данных, зависящих от выбранных методов измерений множества $Met_{Q\_ТМИ\_измер}$ , осуществляемых на телеметрируемом объекте (см. Пример 1.3).	1, 2
$\Lambda_{ОТ\_кол\_ТМП}$	$L_{U\_прим\_исх\_3}$ – априорное сокращение численности избыточных ТМП и обеспечение их рационального состава по методам (по методикам) $Met_{U\_исх\_кол\_ТМП}$ , базирующимся на сведениях о результатах наземных испытаний, моделировании и учёте ценности ТМП по статистическим данным, полученным в ходе ЛИ [88]. $L_{U\_прим\_исх\_4}$ – уменьшение объёма ТМИ $Q_{ТМИ\_КП}$ путём оперативного изменения состава ТМП в полётное время и результативного использования освоенных телеметрических каналов (см., например, [86]).	Уменьшение суммарной скорости поступления ТМИ с выходов БРТС при допустимых потерях информации о состояниях телеметрируемого объекта на этом объекте.	1
$\Lambda_{ТМП}$	$L_{U\_прим\_исх\_5}$ – существенное уменьшение потерь информации из-за ошибок в выборе диапазона измерения ТМП и частоты опроса датчика (улучшение качества семантической составляющей данных $Q_{ТМИ\_КП}$ ) при преобразовании первичных сигналов $Q_{ТМИ\_ПП}$ в данные $Q_{ТМИ\_КП}$ и компактное представление данных $Q_{ТМИ\_КП}$ .	Существенное улучшение качества семантической составляющей ТМИ, формируемой на телеметрируемом объекте, и уменьшение суммарной скорости поступления ТМИ с выходов БРТС, актуальное в условиях жёстких ограничений пропускной способности каналов «борт-Земля» и космических радиолиний для непосредственной ретрансляции и сбора ТМИ.	
$\Lambda_{ФП}$ , $\Lambda_{ТМП}$ , $\Lambda_{пом}$ , $\Lambda_{ОТ\_кол\_ТМП}$ , $\Lambda_{ПТС\_аном}$	$L_{U\_прим\_исх\_6}$ – восстановление информации обобщённого массива данных телеизмерений $Q_{ТМИ\_ОМ}$ , потерянной из-за недостатков применённых методов измерений, из-за неопределённости поведения ТМП, из-за помех, действующих в каналах «борт-Земля», и из-за аномальной работы ПТС, методами, базирующимися на рациональном использовании избыточности ТМП [88], в процессе обработки данных $Q_{ТМИ\_ОМ}$ и анализа данных $Q_{ТМИ\_ан}$ .	Использование избыточности телеизмерений для компенсации потерь информации о телеметрируемом объекте.	1, 3
$\Lambda_{пом\_1}$	$L_{U\_прим\_исх\_7}$ – увеличение времени передачи символа (аналоговой реализации цифрового телеметрического сигнала) с выхода БРТС методами множества $Met_{Q\_ТМИ\_преоб}$ , обеспечивающими компактное представление ТМИ множеств $Q_{ТМИ\_КП}$ , $Q_{ТМИ\_ТС}$ и $Q_{ТМИ\_БД}$ .	Существенное уменьшение потерь ТМИ из-за помех, действующих в каналах борт-Земля», путём надления ТМИ, формируемой в БРТС, свойствами, улучшающими энергетические характеристики отдельной радиолинии	2

	<p><math>L_{U\_прим\_исх\_8}</math> – создание предпосылок улучшения помехоустойчивости ТМИ привнесением искусственной избыточности в данные <math>Q_{ТМИ\_БД}</math> (например, методами помехоустойчивого кодирования [220], выбором нужного приложенного маркера [220], формированием обучающей выборки для осуществления разнесённого приёма ТМИ [201]);</p> <p><math>L_{U\_прим\_исх\_9}</math> – улучшение помехоустойчивости ТМИ методами множества <math>Met_{Q\_ТМИ\_преоб}</math> (в частности, включающими в себя методы модуляции), связанными с преобразованием сигналов <math>Q_{ТМИ\_зр\_прд\_исх}</math>, <math>Q_{ТМИ\_зр\_прд\_обр}</math>, <math>Q_f</math>, <math>Q_{ТМИ\_мод}</math>, <math>Q_{ТМИ\_мод\_обр}</math>, <math>Q_{ТМИ\_р\_прд}</math>, <math>Q_{ТМИ\_р\_прд\_обр}</math>, обеспечивающими увеличение доли мощности радиосигнала боковой полосы (переносящего информацию непосредственно) по отношению к несущей (беспольной с точки зрения содержания в ней информации);</p> <p><math>L_{U\_прим\_исх\_10}</math> – повышение мощности излучаемого телеметрического радиосигнала конструктивными методами <math>Met_{U\_yc\_R\_констр}</math> (увеличение мощности РПУ, сужение диаграммы направленности антенны передающей бортовой и/или приёмной наземной и т.д.) в пределах допустимых требований.</p>	(повышающими помехоустойчивость ТМИ).	
$\Lambda_{ном\_1}$	<p><math>L_{U\_прим\_исх\_11}</math> – обеспечение разнесения ТМИ по частоте бортовой радиотелеметрической системой конструктивными методами <math>Met_{U\_yc\_R\_констр}</math> (вводом в состав <math>R_{БРТС}</math> дополнительного РПУ с последующим формированием радиосигналов <math>Q_{ТМИ\_р\_прд\_*}</math> и <math>Q_{ТМИ\_р\_прд\_**}</math>, причём с выбором несущих <math>Q_f^*</math> и <math>Q_f^{**}</math> с учётом необходимой помехоустойчивости и требований руководящих документов, касающихся ЭМС) и обеспечение приёма радиосигналов <math>Q_{ТМИ\_р\_прд\_*}</math> и <math>Q_{ТМИ\_р\_прд\_**}</math> приёмно-регистрирующими станциями <math>R_{ПРС}</math> с последующим использованием при формировании ТМИ <math>Q_{ТМИ\_ПРС}</math> или <math>Q_{ТМИ\_ОМ}</math> методов множества <math>Met_{Q\_ТМИ\_преоб}</math>, относящихся к разнесённому приёму.</p>	Уменьшение потерь информации в ТМИ, принятой ПРС и/или полученной в результате ФОМДТ, путём разнесения ТМИ по частоте (см., в частности, широко применяемое в отечественной практике использование РПУ метрового и дециметрового диапазонов в составе БРТС).	4
$\Lambda_{ном\_1}$	<p><math>L_{U\_прим\_исх\_12}</math> – обеспечение разнесения ТМИ по поляризации бортовой радиотелеметрической системой конструктивными методами <math>Met_{U\_yc\_R\_констр}</math> (использованием бортовых антенн, осуществляющих круговую поляризацию радиосигналов) и обеспечение приёма радиосигналов <math>Q_{ТМИ\_р\_прд\_обр}</math> с круговой поляризацией приёмно-регистрирующими станциями <math>R_{ПРС}</math> и формирование сигналов <math>Q_{ТМИ\_ПРС\_верт}</math> вертикальной и <math>Q_{ТМИ\_ПРС\_гориз}</math> горизонтальной поляризации с последующим использованием при формировании ТМИ <math>Q_{ТМИ\_ПРС}</math> или <math>Q_{ТМИ\_ОМ}</math> методов множества <math>Met_{Q\_ТМИ\_преоб}</math>, относящихся к разнесённому приёму.</p>	Уменьшение потерь информации в ТМИ, принятой ПРС и/или полученной в результате ФОМДТ, путём разнесения ТМИ по поляризации радиосигнала (см., в частности, широко применяемое в отечественной практике использование принятых радиосигналов вертикальной и горизонтальной поляризации).	4
$\Lambda_{ном\_1}$ , $\Lambda_{от\_Tr}$	<p><math>L_{U\_прим\_исх\_13}</math> – обеспечение разнесения ТМИ пространстве путём непосредственной передачи ТМИ <math>Q_{ТМИ\_р\_прд\_обр}</math> с выходов <math>R_{БРТС}</math> на входы <math>R_{ПРС}</math>, размещённых на ИПах, ВИПах, ПодИК и ПерИК.</p> <p><math>L_{U\_прим\_исх\_14}</math> – обеспечение разнесения ТМИ пространстве путём непосредственной ретрансляции ТМИ через СР (в том числе с накоплением ТМИ в ПТС, размещённых на СР, и последующей передачей накопленной ТМИ, т.е. технология типа DTN [214]), при осуществ-</p>	Существенное уменьшение потерь информации в ТМИ, принятой ПРС и/или полученной в результате ФОМДТ, путём разнесения ТМИ в пространстве.	4

	лении которой избегают вредного влияния факела работающей ДУ, плазмы при отделении ступеней РН, сбросе обтекателя и т.д. (см. рисунки Б.28 и Б.29 и пояснения к ним).		
$\Lambda_{\text{пом}_1}$ , $\Lambda_{\text{от}_Tr}$	<p><math>L_{U\_прим\_исх\_15}</math> – обеспечение разнесения ТМИ множества <math>Q_{\text{ТМИ\_БД}}</math> во времени бортовой радиотелеметрической системой конструктивными методами <math>Met_{U\_ус\_R\_констр}</math> (вводом традиционных БЗУ в состав <math>R_{\text{БРТС}}</math>), причём запись и последующее (через относительно короткий интервал времени) воспроизведение ТМИ осуществляется после прогнозируемого окончания действия помех и в зоне радиовидимости ПТС ТК; например, осуществляется запись ТМИ на интервале отделения ступени РН длительностью 10-20 сек с последующим неоднократным воспроизведением.</p> <p><math>L_{U\_прим\_исх\_16}</math> – отличается от <math>L_{U\_прим\_исх\_15}</math> тем, что запись (запоминание) ТМИ в БЗУ осуществляется вне зоны, а воспроизведение в зоне радиовидимости ПТС ТК; при таком разнесении ТМИ существенно уменьшается объём задействуемых ПТС ТК, однако значительно увеличивается риск потери запомненной ТМИ при возникновении полётной аварии на телеметрируемом объекте.</p> <p><math>L_{U\_прим\_исх\_17}</math> – запоминание и управляемое повторное воспроизведение ТМИ множества <math>Q_{\text{ТМИ\_БД}}</math>, накопленной в БЗУ, по командам, формируемым ПТС ТК по результатам приёма ТМИ приёмно-регистрирующими станциями и/или по результатам ФОМДТ; причём вышеупомянутые команды передают на телеметрируемый объект по обратному каналу связи.</p>	Существенное уменьшение потерь информации в ТМИ, принятой ПРС и/или полученной в результате ФОМДТ, путём разнесения ТМИ во времени.	4
$\Lambda_{\text{пом}_1}$	<p><math>L_{U\_прим\_исх\_18}</math> – получение обобщённых данных <math>Q_{\text{ТМИ\_ОМ}}</math> преобразованием данных <math>Q_{\text{ТМИ\_ПРС}}</math> методами восстановления синхросигналов и рациональными алгоритмами получения обобщённых данных, обеспечивающими наиболее полное использование возможностей разнесённого приёма ТМИ.</p> <p>Примечание: для выполнения ограничений <math>L_{U\_прим\_исх\_18}</math> должны быть созданы бортовой радиотелеметрической системой <math>R_{\text{БРТС}}</math> условия использования методов <math>Met_{Q\_ТМИ\_ФОМДТ}</math> (в частности, в ТМИ <math>Q_{\text{ТМИ\_БРТС}}</math> должны быть предусмотрены тестовые данные, или обучающая выборка; см. <math>L_{U\_прим\_исх\_8}</math>).</p>	Существенное уменьшение потерь ТМИ в обобщённом массиве данных телеизмерений из-за помех, действующих в каналах «борт-Земля».	3
$\Lambda_{\text{пом}_1}$ , $\Lambda_{\text{ои}_Tr}$	<p><math>L_{U\_прим\_исх\_19}</math> – априорное конфигурирование ПТС СИТО (обоснование состава КСИСО) на основе оценивания методами (методиками) <math>Met_{U\_прим\_рп\_кр\_рац}</math> «вклада» задействованных ПРС (задействованных каналов разнесения) в обеспечение качества обобщённых данных <math>Q_{\text{ТМИ\_ФОМДТ}}</math>, полученных методами <math>Met_{Q\_ТМИ\_ФОМДТ}</math> ФОМДТ, путём сопоставления данных <math>Q_{\text{ТМИ\_ПРС}}</math>, принятых ПРС <math>R_{\text{ПРС}}</math>, с данными <math>Q_{\text{ТМИ\_ОМ}}</math>.</p> <p><math>L_{U\_прим\_исх\_20}</math> – конфигурирование ПТС <math>R_{\text{ТК}}</math> и <math>R_{\text{внеш}}</math> методами <math>Met_{U\_прим\_конф\_R\_рац}</math>, обеспечивающими оперативный выбор рационального состава необходимых ПТС из <math>R_{\text{ТК}}</math> и <math>R_{\text{внеш}}</math>, предполагающими учёт особенностей циклограммы функционирования <math>R_{\text{БРТС}}</math> в полётное время и изменяющихся</p>	Адекватное противодействие помехам, действующим в каналах «борт-Земля», обеспечением в условиях жёстких ограничений материальных ресурсов рациональных материальных затрат на осуществление стратегий $U_{\text{прим}}$ , связанных с разнесённым приёмом ТМИ, путём выбора рационального состава каналов разнесения (взаимодублируемых ПРС).	4

	зон радиовидимости ПТС $R_{\text{КСИСО}}$ КСИСО (например, автоматический переход ПРС на другую частоту приёма после отделения ступени и приём ТМИ, соответственно, другой ступени РН).		
$\Lambda_{\text{пом}_2}$ , $\Lambda_{\text{ои}_Tr}$	$L_{U\_прим\_исх\_21}$ – размещение ПТС $R_{\text{КСИСО}}$ КСИСО с учётом их зон радиовидимости и прогнозируемого качества приёма ТМИ, а также с учётом прошлого опыта, базирующегося на результатах применения методик $Met_{U\_прим\_контр\_дост\_Q\_ТМИ}$ контроля качества ТМИ $Q_{\text{ТМИ\_ПРС}}$ , осуществляемых с использованием ПТС $R_{\text{ФОМДТ}}$ ФОМДТ, позволяющих устанавливать факты действия интерференции прямого и отражённого телеметрических сигналов.	Предотвращение потерь ТМИ из-за интерференции прямого и отражённого телеметрических сигналов путём удачных размещения и топологии ПТС $R_{\text{КСИСО}}$ .	2
$\Lambda_{\text{пом}_3}$	$L_{U\_прим\_исх\_22}$ – выполнение требований к ЭМС, касающихся обеспечения допустимых внеполосных излучений, методами множества $Met_{Q\_ТМИ\_преоб}$ , реализованными в $R_{\text{БРТС}}$ БРТС, связанными с преобразованием сигналов $Q_{\text{ТМИ\_зр\_прд}}$ , $Q_{\text{ТМИ\_зр\_прд\_обр}}$ , $Q_f$ , $Q_{\text{ТМИ\_мод}}$ , $Q_{\text{ТМИ\_мод\_обр}}$ , $Q_{\text{ТМИ\_р\_прд}}$ , $Q_{\text{ТМИ\_р\_прд\_обр}}$ .	Предотвращение потерь ТМИ соблюдением требований к ЭМС элементов СИТО, направленных на ограничение допустимых внеполосных излучений [72] радиопередающих устройств.	1, 2
$\Lambda_{\text{пом}_4}$	$L_{U\_прим\_исх\_23}$ – выполнение требований к ЭМС, касающихся обеспечения допустимых излучений радиопередающих устройств в необходимой ширине полосы частот методами множества $Met_{Q\_ТМИ\_преоб}$ , реализованными в $R_{\text{БРТС}}$ БРТС, связанными с преобразованием сигналов $Q_{\text{ТМИ\_зр\_прд}}$ , $Q_{\text{ТМИ\_зр\_прд\_обр}}$ , $Q_f$ , $Q_{\text{ТМИ\_мод}}$ , $Q_{\text{ТМИ\_мод\_обр}}$ , $Q_{\text{ТМИ\_р\_прд}}$ , $Q_{\text{ТМИ\_р\_прд\_обр}}$ .	Предотвращение потерь ТМИ соблюдением требований к ЭМС элементов СИТО, направленных на ограничение излучений радиопередающих устройств в необходимой ширине полосы частот [72].	1, 2
$\Lambda_{\text{ПТС\_от\_аном}}$ , $\Lambda_{\text{ПТС\_тк\_аном}}$ , $\Lambda_{\text{ПТС\_внеш\_аном}}$	$L_{U\_прим\_исх\_24}$ – обнаружение и (или) предотвращение ошибок в принятой ТМИ методами $Met_{U\_ус\_R\_констр}$ (в частности, обеспечивающими повышение надежности применяемых ПТС их резервированием) и $Met_{U\_эксpl}$ (например, обеспечивающими повышение верности сообщений мерами эксплуатационного и профилактического характера, касающимися недопущения отклонений от нормы несущих частот, нестабильности уровней передаваемых сигналов и т.д.), связанными с ПТС $R_{\text{от}}$ , $R_{\text{тк}}$ , $R_{\text{внеш}}$ .	Адекватное противодействие потерям информации из-за аномального функционирования ПТС $R_{\text{от}}$ , $R_{\text{тк}}$ и $R_{\text{внеш}}$ традиционными методами.	1, 2
$\Lambda_{\text{ПТС\_аном}}$ , $\Lambda_{\text{ТМП}}$ , $\Lambda_{\text{пом}}$	$L_{U\_прим\_исх\_25}$ – контроль качества ТМИ $Q_{\text{ТМИ\_ПРС}}$ и $Q_{\text{ТМИ\_ом}}$ с применением методик $Met_{U\_прим\_контр\_дост\_Q\_ТМИ}$ , осуществляемый с использованием ПТС $R_{\text{ФОМДТ}}$ , и выдача соответствующих рекомендаций, касающихся особенностей последующей обработки данных $Q_{\text{ТМИ\_ом}}$ с целью получения данных $Q_{\text{ТМИ\_ан\_р}}$ .	Адекватное противодействие потерям информации из-за аномального функционирования ПТС $R_{\text{от}}$ , $R_{\text{тк}}$ и $R_{\text{внеш}}$ , из-за неопределённости поведения ТМП и из-за помех, действующих в каналах «борт-Земля», путём контроля дефектов ТМИ с целью выявления природы (источников) дефектов и исключения случаев дезинформации анализаторов данными $Q_{\text{ТМИ\_ан\_р}}$ , содержащими скрытые дефекты.	3
$\Lambda_{\text{ои}_Tr}$ , $\Lambda_{\text{ои}_T\_пер}$	$L_{U\_прим\_исх\_26}$ – построение ПТС $R_{\text{КСИСО}}$ для обработки различных телеметрируемых объектов в условиях наличия альтернативных вариантов осуществления стратегий множеств $U_{\text{прим}}$ и $U_{\text{ус}}$ (выбор стратегий по обобщённым показателям $W_{U\_прим}$ и $W_{U\_ус}$ ).	Выбор рациональных стратегий $U_{\text{прим\_рац}}$ и $U_{\text{ус\_рац}}$ , касающихся ПТС $R_{\text{КСИСО}}$ , связанных с разнесённым приёмом ТМИ.	4
$\Lambda_{\text{униф}}$	$L_{U\_прим\_исх\_27}$ – разработка концепции $Tr_{\text{СИТО}}$ развития СИТО и стандартов $Tr_{\text{СИТО\_рац}}$ на основе научно-методического обеспечения развития СИТО.	Создание благоприятных условий для осуществления рациональных стратегий $U_{\text{прим\_рац}}$ и $U_{\text{ус\_рац}}$ путём стандартизации и унификации ПТС СИТО и структур ТМИ.	4



Примечания:

1. Направление исследований выходит за границы настоящей работы, является предметом её дальнейшего развития.
2. Меры по недопущению негативного влияния факторов множества  $\Lambda_{иссл.}$ .
3. Меры по устранению последствий действия факторов множества  $\Lambda_{иссл.}$ .
4. Сочетание мер по недопущению негативного влияния факторов  $\Lambda_{иссл.}$  и по устранению последствий их действия.

Наиболее важными элементами стратегий  $U_{прим}$  (1.28) являются методы  $Met_{Q\_ТМИ}$  непосредственных действий над ТМИ. Потенциальные методы, влияющие на свойства сигналов (данных), представлены в виде иерархической структуры (таблица 1.11). Большинство из них относится к множеству  $Met_{Q\_ТМИ}$ . Причём верхнему иерархическому уровню соответствует 16 подмножеств, каждое из которых распределено по находящимся ниже уровням (по мере конкретизации методов).

Таблица 1.11 – Перечень методов, влияющих на свойства сигналов (данных)

№ п/п	Наименование методов
1	2
1	Методы формирования сигналов несущих (поднесущих) частот (см., например, [213] их параметры):
.....	.....
2	Методы формирования групповых сигналов (см., например, форматы цифровых данных на рисунке 6.24 [203]):
.....	.....
3	Методы выполнения требований ЭМС, заключающиеся в расширении спектра (spread spectrum) (см. [202; 213, рек. 3.3.2А]):
.....	.....
4	Методы формирования радиосигналов в радиопередающем устройстве с уменьшенным соотношением мощностей несущей (не содержащей информации о модулирующем сигнале) и боковых сигналов (содержащих информацию о модулирующем сигнале):
4.1	с остаточной несущей (ФАПЧ приёмника ориентирована на работу с остаточной несущей);
.....	.....
4.2	с подавленной несущей (ФАПЧ приёмника ориентирована на работу с подавленной несущей);
.....	.....
5	Методы модуляции (включают предварительную обработку группового сигнала; возможно также установление соотношения мощностей несущей и боковых полос выбором соответствующего коэффициента модуляции):
5.1	Методы фазовой модуляции (манипуляции):
5.1.1	фильтрованная BPSK [213];
5.1.2	фильтрованная QPSK [213];
5.1.3	фильтрованная OQPSK
5.1.4	GMSK
.....	.....
5.2	Методы частотной модуляции:
5.2.1	с непрерывной фазой (МНЧМ);
.....	.....
5.3	Методы амплитудной модуляции:
.....	.....
5.4	Комбинированные методы модуляции:
.....	.....
6	Методы приёма сигналов:
6.1	с использованием импульсных аналоговых сигналов:
.....	.....
6.2	с использованием цифровых сигналов:

6.2.1	методы посимвольного приёма;
6.2.2	методы приёма в целом;
6.2.3	метод Вагнера;
6.2.4	аналог метода Вагнера для четырёхпозиционного сигнала [15, 16];
.....	.....
7	Методы разнесённого приема:
7.1	при разнесении каналов:
7.1.1	по частоте (использование нескольких несущих частот для передачи сообщений);
7.1.2	по поляризации (использование бортовых и наземных антенн, обеспечивающих требуемый тип поляризации);
7.1.3	во времени, по типу системы Вердана (с использованием БЗУ);
7.1.4	в пространстве (приём на разные антенны, в том числе размещённые на разных ИПах);
7.2	без адаптации к условиям помеховой обстановки:
7.2.1	методы получения суммарного сигнала:
7.2.1.1	путём усреднения значений принятых аналоговых реализаций сигналов;
.....	.....
7.2.2	методы получения обобщённых данных:
7.2.2.1	путём мажорирования (дискретного сложения);
.....	.....
7.3	при наличии адаптации к условиям помеховой обстановки:
7.3.1	методы получения суммарного сигнала:
7.3.1.1	с использованием для вычисления коэффициентов усиления сигналов, поступивших из каналов разнесения, их оценок верности:
7.3.1.1.1	путём автовыбора;
.....	.....
7.3.2	методы получения обобщённых данных:
7.3.2.1	с использованием для вычисления весовых характеристик достоверности данных, поступивших из каналов разнесения, тестовых данных:
7.3.2.1.1	путём автовыбора;
7.3.2.1.2	путём подбора весовых характеристик достоверности данных [29, 58];
.....	.....
8	Методы повышения достоверности с применением систем с обратной связью [159, гл. 6]:
8.1	с решающей (управляющей) обратной связью (РОС):
8.1.1	РОС с ожиданием сигнала обратной связи (старт-стопный режим обмена данными) (РОС-ОЖ);
8.1.2	РОС с последовательной передачей комбинаций (РОС-ПП):
8.1.2.1	РОС-ПП с изменением порядка следования комбинаций (РОС-ПП <sub>им</sub> );
8.1.2.2	РОС-ПП с блокировкой приёмника на $h$ комбинаций после обнаружения ошибочной комбинации и с повторением при запросе блока из $h$ комбинаций;
8.1.2.3	РОС-ПП с контролем заблокированных комбинаций (РОС-ПП <sub>кз</sub> );
8.1.3	РОС с накоплением правильно принятых комбинаций (РОС-НК);
8.1.4	РОС с адресным переспросом (РОС-АП).
8.2	с информационной обратной связью ИОС, или с переспросом:
8.2.1	полная, или ретрансляционная ИОС;
8.2.2	ИОС с квитированием.
8.3	с комбинированной обратной связью КОС:
.....	.....
9	Методы контроля качества принимаемых сигналов (данных):
9.1	основанные на вычислении оценок дисперсии помех;
9.2	основанные на введении зоны обнаружения ошибок:
9.2.1	для символов (идентификация ненадёжных символов);
9.2.2	для данных (использование избыточного алфавита данных, в частности при применении корректирующих кодов);
9.3	основанные на подсчете числа недостоверных тестовых реализаций сигнала (данных) на анализируемом временном интервале (в принятом блоке данных);
10	Методы обнаружения и (или) предотвращения ошибок в принятых данных путём использования корректирующих кодов:
.....	.....
11	Методы повышения верности сообщений увеличением мощности передаваемого радиосигнала:
11.1	путём использования антенн с остронаправленной диаграммой;
11.2	путём повышения мощности передатчика;
11.3	путём уменьшения уровня собственных шумов приемника;

.....	.....
12	Методы обнаружения и (или) предотвращения ошибок в принятой ТМИ путём повышения надёжности применяемых ПТС:
12.1	основанные на резервировании ПТС:
.....	.....
12.2	основанные на проверках правильности функционирования ПТС:
.....	.....
13	Методы повышения верности сообщений мерами эксплуатационного и профилактического характера (меры по недопущению отклонений от нормы несущих частот, нестабильности уровней передаваемых сигналов и т.д.):
.....	.....
14	Методы повышения верности путём использования априорной информации о телеметрируемых процессах:
14.1	Методы, основанные на избыточности телеметрируемых параметров [88]:
.....	.....
14.2	Методы отбраковки аномальных ошибок:
14.2.1	допусковый метод отбраковки аномальных ошибок;
14.2.2	отбраковка аномальных результатов измерений с использованием априорных моделей телеметрируемых процессов;
.....	.....
14.3	Методы сглаживания результатов телеизмерений:
.....	.....
14.4	Методы восстановления телеметрируемых процессов по дискретным отсчетам:
14.4.1	Методы интерполяции телеметрируемых процессов:
.....	.....
14.5	Методы аппроксимации телеметрируемых процессов:
14.5.1	метод наименьших квадратов;
.....	.....
15	Методы уменьшения избыточности:
15.1	методы уменьшения числа координат, в которых представляются сигналы (данные):
10.1.1	методы сокращения объёма телеметрируемых параметров:
15.1.1.1	на основе функциональных связей между телеметрируемыми параметрами:
.....	.....
15.1.1.2	на основе выбора телеметрируемых параметров по приоритетам:
.....	.....
15.1.2	методы получения обобщённых характеристик телеметрируемых процессов:
15.1.2.1	методы вычисления интегральных характеристик телеметрируемого процесса:
.....	.....
15.1.2.2	методы вычисления экстремальных характеристик телеметрируемого процесса:
.....	.....
15.1.2.3	методы идентификации состояний объекта измерений:
.....	.....
15.1.3	ортогональные преобразования для сжатия данных:
.....	.....
15.1.4	апертурные методы сжатия данных:
15.1.4.1	методы предсказания:
15.1.4.1.1	предсказание нулевого порядка;
15.1.4.1.2	предсказание первого порядка;
.....	.....
15.1.4.2	интерполяционные методы:
15.1.4.2.1	интерполяция нулевого порядка;
15.1.4.2.2	интерполяция первого порядка;
.....	.....
15.2	методы сужения шкалы представления отдельной координаты:
15.2.1	путём представления значений первичных сигналов системой остаточных классов:
.....	.....
15.2.2	путём сужения шкалы представления значений первичных сигналов на основе априорных сведений о диапазоне измерений телеметрируемого параметра или требуемой точности измерений;
15.2.3	путём аналого-цифровых преобразований первичных сигналов при неравномерном шаге квантования:

.....	.....
15.2.4	дельта-модуляция.
.....	.....
15.3	комбинированные методы сжатия данных:
15.3.1	метод разностно-дискретной модуляции;
15.3.2	методы сжатия на основе структурного описания данных:
.....	.....
16	Методы представления, заключающиеся в уменьшении числа координат, в которых представляются сигналы (данные), за счет расширения шкалы представления отдельной координаты:
16.1	путём применения аналоговых методов передачи ТМИ вместо цифровых:
.....	.....
16.2	путём увеличения позиционности сигналов при передаче данных по каналу связи:
.....	.....
16.3	путём увеличения разрядности информационных слов, вводимых в канал связи, до разрядности средства ввода данных в канал связи с целью рационального использования шкалы представления этого средства:
.....	.....

Представленные в таблице 1.11 методы (и аналогичные им) являются инструментами (управляющими факторами) надления ТМИ заданными свойствами при построении стратегий  $U_{прим}$ , обеспечивающими, во-первых, уменьшение потерь ТМИ, а во-вторых, условия для выполнения требований к оперативности и материальным затратам. Именно с этой точки зрения следует комбинировать отдельные элементы множества  $U_{прим}$  (1.28). Для улучшения возможностей такого комбинирования актуальна классификация целей  $Cel$  действий над сигналами (данными)  $Q^*$  программно-техническими средствами  $R^*$  с использованием методов  $Met^*$  (в процессе осуществления режимов  $Reg_{R^*}$ ).

Достижение целей  $Cel$  ( $Cel = \{Pred, Osh, Izb\}$ ) связано с решением триединой задачи:

- представление в соответствии с заданной формой (структурой)  $Pred$ ;
- обнаружение и устранение искажений (ошибок)  $Osh$ ;
- создание  $Izb_{соз}$  и устранение  $Izb_{усп}$  избыточности  $Izb$  ( $Izb = \{Izb_{соз}, Izb_{усп}\}$ ).

Компоненты  $Cel$  взаимосвязаны и противоречивы.

Так, при уменьшении объёма сигналов (данных) создаются условия (см. рисунки 1.14 и 1.15 и пояснения к ним) для сокращения ресурсов (т.е. для улучшения ИТО). Поэтому следует стремиться к устранению избыточности  $Izb_{усп}$  (к компактному представлению ТМИ). С другой стороны, для успешного обнаружения и устранения ошибок  $Osh$  избыточность  $Izb_{соз}$  необходима. Отсюда, с точки зрения эффективности ИТО, избыточность должна быть адекватной влиянию неопределённых факторов  $\Lambda_{иссл}$  (1.31).

Задачи  $Osh$  решаются в два этапа ( $Osh = \{Osh_1, Osh_2\}$ ). На первом этапе ( $Osh_1$ ) решается задача обнаружения ошибок (искажений). Если не предусмотрены возможности их устранения  $Osh_2$ , то констатируется факт наличия ошибок и принимается решение о последующем преобразовании сигналов (данных), содержащих ошибки (в этом случае  $Osh = Osh_1$ ). Ошибки обнаруживаются и устраняются следующим образом:

- использование избыточности лишь принятых сигналов (данных)  $Osh_{i\_изб}$ ,  $i = 1, 2$ ;

- повторная передача принятых с ошибками сигналов (данных)  $Osh_{i\_нов}$ ,  $i = 1, 2$ ;

Сущности  $Osh$  связаны с комбинациями  $Osh_{i\_изб}$  и  $Osh_{i\_нов}$  при  $i = 1, 2$ .

Устранение избыточности  $Izb_{ycm}$  осуществляется [103]:

- уменьшением числа координат, в которых представляют сигналы (данные)  $Izb_{ycm\_1}$ ;

- сужением шкалы представления отдельной координаты  $Izb_{ycm\_2}$ .

Координата может соответствовать определённому моменту времени (например, моменту опроса датчика в дискретизированном первичном сигнале) или номеру гармоники (в случае представления последовательности телеизмерений в виде набора каких-либо ортогональных функций).

Избыточность является следствием неопределённости, ограниченности априорных сведений о телеметрируемых параметрах. В настоящее время она достигает 95% от общего количества телеизмерений [129].

Для её устранения необходим переход к адаптивным методам сжатия данных [129]. В существующих отечественных БИТС число уровней квантования первичных сигналов задано жестко и составляет 256 и 512. При этом отсутствует возможность избирательного изменения точности измерения отдельных телеметрируемых параметров.

С формой (структурой)  $Pred$  связаны следующие промежуточные цели:

- формирование унифицированных (стандартных) форм (структур) ТМИ, для обеспечения возможностей использования унифицированных ПТС;

- создание условий для автоматизации преобразований принятой ТМИ, в частности, размещением необходимой справочной информации о структуре формируемых стандартных блоков данных (см., например, технологию пакетной телеметрии [208]);

- инжестирование в ТМИ синхросигналов (синхроданных) для обеспечения нужной помехоустойчивости синхронизации блоков данных (см., например, приложенный к фрейму передачи 32-битовый маркер CCSDS [220]);

- формирование и размещение в передаваемых блоках данных тестовых данных для создания условий осуществления результативных алгоритмов получения обобщённых данных, используемых при разнесённом приёме ТМИ [201]; и т.д.

С компонентой *Pred* также связаны определённые противоречия. Например, из-за применения аналоговых реализаций аналоговых (а не цифровых) сигналов для передачи ТМИ БМП по каналам «борт-Земля» использование результативных алгоритмов получения обобщённых телеизмерений исключается [25, 29, 40], а применение цифровых сигналов, создающих благоприятные условия для улучшения ИТО, сдерживается существующим уровнем развития отечественных СИТО.

Атрибуты *Cel* позволяют структурировать нужным образом (с точки зрения решаемой проблемы) знания, касающиеся отношений между множествами сигналов (данных)  $Q^*$  и методами *Met\*\** (прежде всего, методами множества  $Met_{Q\_ТМИ}$  (1.20)):

$$f_{ot\_1\_38} : Q^* \times Cel \rightarrow Met^{**} . \quad (1.38)$$

Локализация «проблемных» объектов СИТО сводится к обоснованию выбора элементов множества  $U_{прим}$  (1.28) для их последующего усовершенствования (1.30). При этом ограничение задач ИТО  $Z_{ИТО}$  задачами  $Z_{ИТО\_иссл}$  (1.11) ( $Z_{ИТО\_иссл} \subset Z_{ИТО}$ ), а также сформулированные ограничения (требования)  $L_{U\_прим\_исх}$  (см. таблицу 1.10) существенно сужают («локализируют») область исследований, связанную с решаемой проблемой. Однако сущности требуемых элементов множества  $U_{прим}$  (1.28) относительно многогранны и не очевидны. Для построения рациональных стратегий  $U_{прим\_рац}$  необходимо устранить выявленные противоречия (таблица 1.12), в том числе противоречия типа антиномии [161], заключающиеся во взаимоисключающих рекомендациях, полученных с применением разных методик (в частности, методик оценивания стратегий  $U_{ус}$  и  $U_{прим}$ ).

Таблица 1.12 – Сущности противоречий, связанных с повышением эффективности СИТО, и предлагаемые общие меры по их устранению

Где проявляются противоречия	Конфликтующие противоположности		Недостатки существующего научно-методического аппарата, не позволяющие устранить противоречия	Последствия неразрешенных противоречий	Необходимые меры по устранению противоречий
Развитие СИТО	Возможности современных ПТС, информационных технологий стремительно возрастают.	Всё более нерезультативна практическая реализация этих возможностей из-за неопределённости разной природы, из-за неизбежных субъективных подходов к усовершенствованию СИТО.	Отсутствует необходимое научно-методическое обеспечение усовершенствования СИТО.	Процесс развития СИТО неэффективен. Стимулами для внедрения современных ПТС и ИТ являются их явные преимущества перед устаревшими аналогами и новые задачи ИТО.	Определить комплекс параметров, подлежащих улучшению; установить меру их улучшения.
Подготовка к решению новых задач ИТО.	Увеличение количества телеметрируемых параметров при изменении задач ИТО, изменение траекторий полёта обрабатываемых РКН, причём в условиях неопределённости развития ПТС и ИТ и потенциальных телеметрируемых объектов.	Значительное увеличение суммарной скорости передачи ТМИ по каналам «борт-Земля» и лавинообразное увеличение объёма наземных средств ТК, применение которых для решения других (обычных) задач ИТО нецелесообразно. Разнонаправленность траекторий полёта РКН усугубляет ситуацию.	Отсутствуют научно обоснованные правила комплексирования методов действий над сигналами (данными), учёта разнотипности РКН и разнонаправленности траекторий их полёта, обеспечивающие целенаправленное построение стратегий повышения эффективности СИТО, характерной особенностью которых является уменьшение потерь ТМИ на телеметрируемом объекте, в каналах «борт-Земля» и при ФОМДТ, компактное представление данных телеизмерений в БИТС и уменьшение количества каналов разнесения (количества задействуемых ПРС) и, соответственно, уменьшение количества ПТС ТК.	1. Значительные материальные затраты на дооснащение ТК при изменении задач ИТО в случае увеличения количества телеметрируемых параметров, в случае новых траекторий полёта. 2. Увеличение сроков подготовки ПТС ТК к новым задачам ИТО в условиях жёстких временных ограничений, негативно влияющее на качество подготовки (особенно на качество ПО ТК).	Разработать научно-методическое обеспечение минимизации количества ПТС ТК и инвариантности СИТО к изменяющимся задачам ИТО, причём в условиях действия неопределённых факторов разной природы.
ФОМДТ и условия его осуществления.	Значительное улучшение качества решения задач ИТО внедрением в практику обработки ТМИ в ВЦ элементов безбумажной технологии.	Сдерживание процесса повышения эффективности ИТО в целом низким качеством решения задач, касающихся ФОМДТ.	1. Не разработаны новые методы обработки ТМИ в БРТС, позволяющие сократить потери ТМИ, причём в условиях риска полётной аварии на РКН; создать благоприятные условия для ФОМДТ. 2. Не созданы необходимые правила обмена данными по каналам «борт-Земля» в интересах ФОМДТ. 3. Отсутствует необходимое научно-методическое обеспечение усовершенствования технологии ФОМДТ.	Требования, предъявляемые к качеству данных обобщённого массива, к оперативности его формирования не выполняются.	Определить стратегии усовершенствования СИТО, основанные на рациональном осуществлении разнесённого приёма ТМИ.
Получение обобщённых данных.	Расширяются возможности разработки ПО ФОМДТ. Применяются для ФОМДТ средства на базе ПЭВМ (их технико-экономические характеристики стремительно улучшаются).	Качество обобщённого массива данных телеизмерений остаётся низким. Не реализуются возможности разнесения телеметрических сигналов для повышения достоверности обобщённых телеизмерений.	Отсутствует необходимый научно-методический аппарат для создания рациональных алгоритмов получения обобщённых данных, адаптирующихся к условиям помеховой обстановки.	Обеспечиваемая достоверность обобщённых телеизмерений низка. Относительно часты случаи поиска наиболее достоверных телеизмерений среди принятых на ИПах после ФОМДТ.	Разработать рациональные алгоритмы получения обобщённых данных, адаптирующиеся к изменяющимся условиям помеховой обстановки, а также метод улучшения качества синхронизации принятых блоков данных, обеспечивающий эффективную работу вышеупомянутых алгоритмов.
Выбор рациональных	Существует хороший научно-	Существующий научно-методический	Отсутствует необходимый научно-методический аппа-	Существующий порядок выбора алгоритмов	Создать инструмент (научно-методический

алгоритмов получения обобщённых данных.	методический аппарат, относящийся к разнесённому приёму сигналов. Значительный вклад в теорию разнесённого приёма внесли отечественные учёные (их работы доступны широкому кругу специалистов).	аппарат не ориентирован на произвольные помехи (т.е. на условия помеховой обстановки при обработке РКН, не учитывает специфические особенности ТМИ).	аппарат для оценивания алгоритмов получения обобщённых данных с целью выбора рациональных алгоритмов с учётом условий помеховой обстановки при обработке РКН.	получения обобщённых телеизмерений для их практического применения основан на здравом смысле. Поэтому не учитываются многие неочевидные факторы, ухудшающие достоверность обобщённых данных.	аппарат) для оценивания алгоритмов получения обобщённых данных, применяемых в условиях произвольных помех.
---	---	--	---	--	--

Таким образом, для решения настоящей проблемы возможностей существующего научно-методического аппарата недостаточно. Требуется новый целостный проблемно-ориентированный научно-методический аппарат.

Его построение предполагает решение следующих задач.

1. Построение комплекса показателей, характеризующих существенные аспекты ИТО обработки средств выведения, и обеспечение их результативного использования в условиях неопределённости.
2. Развитие подхода к интеграции ПТС ИТО в единый комплекс и формулирование соответствующих ограничений (требований) к комплексированию элементов СИТО.
3. Разработка с использованием предложенного комплекса показателей ИТО и развитого подхода к интеграции ПТС теоретических положений, обеспечивающих рациональное управление избыточностью данных телеизмерений.
4. Обеспечение условий для реализации сформулированных теоретических положений (прикладные результаты).
5. Разработка критериев, моделей и методик для оценивания уровня достоверности, обеспечиваемого алгоритмами получения обобщённых данных, и результаты их применения.

#### **1.4 Постановка научной проблемы. Методическая схема решения проблемы**

##### **Вербальная постановка научной проблемы**

*Актуальность проблемы.* Необходимое качество данных результатов обработки ТМИ обеспечивается высокой избыточностью данных телеизмерений. Вследствие значительного увеличения объёма данных телеизмерений проявляются издержки. В частности, появляется задача ФОМДТ. Ухудшаются показатели оперативности решения задач ИТО, увеличиваются материальные затраты на поддержание и развитие СИТО (особенно, на ТК). Причём качество данных



обобщённого массива низкое из-за ошибок в выборе диапазона измерений телеметрируемых параметров, недостаточной частоты опроса датчиков; из-за искажений данных, вызванных действием помех в каналах «борт-Земля». Из-за неинвариантности СИТО к изменяющимся задачам ИТО отвлекаются значительные силы и средства на подготовку к решению новых задач ИТО (прежде всего, на доработку существующего ПО, дооснащение ТК), особенно при существенном увеличении количества ТМП; значительно ухудшаются условия осуществления ФОМДТ. Качество управления процессом развития СИТО недостаточное, доминируют субъективные и фрагментарные подходы. Другими словами, предпринимаемые меры противодействия неадекватны имеющему место действию вредных факторов. В целом качество ИТО ниже требуемого, что отрицательно сказывается на выполнении задач анализа. Поэтому актуальна проблема создания необходимых условий для обеспечения требуемого качества ИТО, связанная с построением стратегий противодействия воздействию неопределённых факторов различной природы на основе управления избыточностью данных телеизмерений.

В настоящее время имеют место предпосылки для её решения, связанные с возможностями современных ПТС на базе ПЭВМ, информационных технологий обмена данными по каналам связи, с подвижками в направлении интеллектуализации БИТС. Однако практический опыт показал, что их результативное использование невозможно без системного подхода к усовершенствованию СИТО, для осуществления которого не существует пока целостного научно-методического аппарата. Таким образом, необходимо научно-методическое обеспечение улучшения ИТО проблемно-ориентированными методами, направленными на противодействие влиянию неопределённых факторов различной природы.

*Постановка общей научной проблемы.* С учетом выявленных в результате проведенного анализа недостатков известного научно-методического аппарата, применяемого для исследования вопросов улучшения ИТО, *общая научная проблема диссертационного исследования состоит* в разработке стратегий управления избыточностью данных телеизмерений, обеспечивающих сокращение потерь телеметрической информации при решении задач информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения в условиях

действия неопределённых факторов разной природы, чтобы существенно улучшить информационно-телеметрическое обеспечение. Для её решения необходимо следующее:

- обеспечить определение ценности стратегий усовершенствования  $U_{yc}$  и применения  $U_{прим}$  СИТО в условиях неопределённости, разработав комплекс показателей, характеризующих существенные аспекты ИТО;
- развить подход к интеграции ПТС ИТО в единый комплекс, базирующийся на теоретико-множественном подходе и проблемно-ориентированном морфологическом анализе, и сформулировать соответствующие ограничения (требования) к комплексированию элементов СИТО;
- разработать с использованием предложенного комплекса показателей ИТО и развитого подхода к интеграции ПТС теоретические положения, обеспечивающие рациональное управление избыточностью данных телеизмерений при осуществлении стратегий усовершенствования  $U_{yc}$  и применения  $U_{прим}$  СИТО;
- обеспечить условия реализации сформулированных теоретических положений (получить соответствующие прикладные результаты);
- разработать научно-методический аппарат для выбора алгоритмов (стратегий), обеспечивающих *существенное* улучшение достоверности обобщённых данных, и получить результаты его применения.

### **Формализованная постановка проблемы**

*Постановка общей научной проблемы в формализованном виде.*

Дано:

$S_{ИТО\_им}$  – имеющиеся СИТО (располагаемые ресурсы для решения задач ИТО);

$O$  – множество телеметрируемых объектов;

$\Lambda$  – неопределённые факторы разной природы;

$U_{прим}(U_{yc})$  – различные стратегии применения (усовершенствования) СИТО.

Найти:

$U_{прим\_рац}$  – стратегии применения СИТО, обеспечивающие требуемые значения показателей эффективности  $W_{U_{yc\_mp}}$  в условиях действия неопределённых факторов  $\Lambda_{иссл}$  ( $W_{U_{yc\_тр}} \subset W_{U_{yc}}$ ,  $\Lambda_{иссл} \subset \Lambda$ ).

Ограничения:

- сокращение количества ПТС:  $N_{\text{БРТС}_{\text{рац}}} \leq N_{\text{БРТС}_{\text{им}}}$ ,  $N_{\text{ПРС}_{\text{рац}}} \leq N_{\text{ПРС}_{\text{им}}}$ ,  
 $N_{\text{ФОМДТ}_{\text{рац}}} \leq N_{\text{ФОМДТ}_{\text{им}}}$ ,

- повышение оперативности ИТО:  $T_{\text{сбор\_ФОМДТ}_{\text{рац}}} \leq T_{\text{сбор\_ФОМДТ}_{\text{тр}}}$ ,  $T_{\text{ФОМДТ}_{\text{рац}}} \leq T_{\text{ФОМДТ}_{\text{тр}}}$ ,

- существенное уменьшение потерь ТМИ:  $K_{\text{ТМП\_МО}_{\text{рац}}} < K_{\text{ТМП\_МО}_{\text{им}}}$ ,

$\Delta T_{\text{ПИ\_инт\_}\Sigma_{\text{рац}}} \ll \Delta T_{\text{ПИ\_инт\_}\Sigma_{\text{им}}}$ ,  $\Delta T_{\text{деф\_ТМИ}_{\text{рац}}} < \Delta T_{\text{деф\_ТМИ}_{\text{им}}}$ ,  $K_{\text{полн\_}\Sigma_{\text{рац}}} = 0$ .

Примечание:  $N^*_{\text{рац}}$  – количество ПТС в случае  $U_{\text{прим}_{\text{рац}}}$ ,

$N^*_{\text{им}}$  – обычно применяемое количество ПТС;

$T_{\text{сбор\_ФОМДТ}_{\text{тр}}}$ ,  $T_{\text{ФОМДТ}_{\text{тр}}}$  – требования к оперативности ИТО;

Критерии:

$W_{U_{\text{ус}}} = f_{W_{U_{\text{ус}}}}(K_{\text{ТМП\_МО}}, \Delta T_{\text{ПИ\_инт\_}\Sigma}, \Delta T_{\text{деф\_ТМИ}}, K_{\text{полн\_}\Sigma}, T_{\text{сбор\_ФОМДТ}}, T_{\text{ФОМДТ}}, N_{\text{БРТС}}, N_{\text{ПРС}}, N_{\text{ФОМДТ}})$ ,

где  $W_{U_{\text{ус}}}$  – общие показатели результативности операции усовершенствования СИТО,

$U_{\text{прим}} = \langle Z_{\text{ИТО\_иссл}}, O, Reg_R, R, Met_R, Q_R, T_{R^*} \rangle$ ,  $O = \langle Q_{\text{ТМИ\_ПП\_O}}, Tr_O, T_{\text{пер\_O}} \rangle$ .

*Частные задачи, составляющие проблему.*

1. Построить комплекс показателей  $W_{U_{\text{ус}}}$  и  $W_{U_{\text{прим}}}$ , относящихся к стратегиям  $U_{\text{ус}}$  усовершенствования и  $U_{\text{прим}}$  применения СИТО, характеризующих существенные аспекты ИТО отработки средств выведения; установить меру  $\Delta W_{\text{ус}}$  их улучшения.

Дано:

$W_{\text{эф\_суц}}$  – множество существующих характеристик и показателей ИТО.

Найти:

$W_{U_{\text{ус}}}$  ( $W_{U_{\text{прим}}}$ ) – общие показатели, касающихся осуществления стратегий  $U_{\text{ус}}$  ( $U_{\text{прим}}$ ), характеризующие существенные аспекты ИТО;

$\Delta W_{\text{ус}}$  – мера улучшения показателей  $W_{\text{ус}}$ ;

$Met_{\text{исп\_}W_{\text{ус\_}W_{\text{прим}}}}$  – научно-методическое обеспечение использования показателей  $W_{U_{\text{ус}}}$ ,  $W_{U_{\text{прим}}}$  и меры  $\Delta W_{\text{ус}}$ , устанавливающее отношения между ними.

Критерии:

$f_{\text{Met\_выб\_}W_{\text{ус}}} : W_{\text{эф\_суц}} \rightarrow W_{U_{\text{ус}}}$ ,

$$f_{Met\_выб\_W\_прим} : W_{эф\_сущ} \rightarrow W_{U\_прим} ,$$

$$Met_{W\_yc} = \langle W_{U\_yc}, W_{U\_прим}, \Delta W_{yc}, Met_{исп\_W\_yc\_W\_прим} \rangle$$

где  $f_{Met\_выб\_W\_yc}$  ( $f_{Met\_выб\_W\_прим}$ ) – функция отображения множества существующих характеристик  $W_{эф\_сущ}$  в множество искомых общих показателей  $W_{U\_yc}$  ( $W_{U\_прим}$ ), соответствующая научно-методическому обоснованию  $Met_{выб\_W\_yc}$  ( $Met_{выб\_W\_прим}$ );

$Met_{выб\_W\_yc}$  – научно-методическое обоснование выбора общих показателей  $W_{U\_yc}$  осуществления стратегий  $U_{yc}$  и установления меры  $\Delta W_{yc}$  их улучшения;

$Met_{выб\_W\_прим}$  – научно-методическое обоснование выбора общих показателей  $W_{U\_прим}$  осуществления стратегий  $U_{прим}$  и установления меры  $\Delta W_{yc}$  их улучшения в результате усовершенствования;

$Met_{W\_yc}$  – научно-методическое обеспечение оценивания усовершенствования СИТО.

2. Развить подход к интеграции ПТС ИТО в единый комплекс, базирующийся на теоретико-множественном подходе и проблемно-ориентированном морфологическом анализе, и сформулировать соответствующие ограничения (требования) к комплексированию элементов СИТО.

Дано:

$L_{U\_прим\_исх}$  – ограничения (требования), связанные с мерами противодействия отдельным неопределённым факторам  $\Lambda_{иссл}$ ;

$L_{Z\_ИТО\_иссл}$  – ограничения (требования), связанные со спецификой решения задач  $Z_{ИТО\_иссл}$  ИТО.

Найти:

$L_{Kort\_Z\_ИТО\_выб}$  – множество наборов ограничений (требований) для построения стратегий  $U_{прим\_выб}$ ;

$L_{Kort\_Z\_ИТО\_выб\_рац}$  – множество наборов ограничений (требований), соответствующих рациональным стратегиям  $U_{прим\_рац}$  применения СИТО (т.е. соответствующих показателям  $W_{U\_yc\_рац}$  и  $W_{U\_прим\_рац}$ ),  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_выб\_рац} \subset L_{Kort\_Z\_ИТО\_выб}$ .

Критерии:

$$f_{L\_U\_прим\_исх} : L_{U\_прим\_исх}^2 \rightarrow L_{Kort\_U\_прим\_исх} , \quad f_{L\_Z\_ИТО\_иссл} : L_{Z\_ИТО\_иссл}^2 \rightarrow L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл} ,$$

$$f_{L\_Z\_ИТО\_выб} : L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл} \times L_{Kort\_U\_прим\_исх} \rightarrow L_{Kort\_Z\_ИТО\_выб} ,$$

$$f_{L\_Z\_ИТО\_выб\_рац} : L_{Kort\_Z\_ИТО\_выб} \rightarrow L_{Kort\_Z\_ИТО\_выб\_рац} .$$

3. Разработать с использованием предложенного комплекса показателей ИТО ( $W_{U\_ус}$ ,  $W_{U\_прим}$ ) и развитого подхода к интеграции ПТС ( $L_{Kort\_Z\_ИТО\_выб\_рац}$ ) **теоретические положения**, обеспечивающие реализацию рационального управления избыточностью данных телеизмерений, включающие:

- $Alg_{Q\_ТМИ\_преоб\_Λ\_ТМП}$  – алгоритм преобразования первичных сигналов  $Q_{ТМИ\_ПП}$  в данные  $Q_{ТМИ\_КП}$ , уменьшающий потери ТМИ вследствие ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений (купирующий влияние неопределенных факторов  $Λ_{ТМП}$ ), обеспечивающий компактное представление данных  $Q_{ТМИ\_КП}$ .

- $Met_{Q\_ТМИ\_урп}$  – технологии управляемого разнесённого приёма, обеспечивающие уменьшение потерь ТМИ вследствие действия помех в каналах «борт-Земля» улучшением достоверности обобщённых данных, а также создающие благоприятные условия для сокращения количества ПРС;

- $Met_{A\_рац}$  – метод построения рациональных алгоритмов получения обобщённых данных  $A_{рац}$ , адаптирующихся к изменяющимся условиям помеховой обстановки, а также алгоритмы  $A_{рац}$ , построенные с использованием этого метода, обеспечивающие *существенное* повышение достоверности обобщённых данных;

- $Met_{восст\_синхр\_Q\_ТМИ\_БД}$  – метод улучшения качества синхронизации принятых блоков данных, обеспечивающий благоприятные условия применения алгоритмов  $A_{рац}$ .

Критерии:

$$f_{Met\_W\_прим\_рац} : (f_{Met\_W\_ТЭХ\_тр} : (f_{Met\_W\_Q\_ТМИ\_об\_тр} : U_{прим} \times L_{Kort\_Z\_ИТО\_выб\_рац} \times \Lambda_{иссл} \rightarrow W_{Q\_ТМИ\_ОМ\_тр}) \rightarrow W_{ТЭХ\_тр}) \rightarrow W_{U\_прим\_рац} ,$$

$$Alg_{Q\_ТМИ\_преоб\_Λ\_ТМП} \in U_{прим\_рац}, Met_{Q\_ТМИ\_урп} \in U_{прим\_рац},$$

$$A_{рац} \in U_{прим\_рац}, Met_{восст\_синхр\_Q\_ТМИ\_БД} \in U_{прим\_рац}.$$

где  $W_{ТЭХ\_тр}$  – множество требуемых технико-экономических характеристик СИТО;

$W_{Q\_ТМИ\_ОМ\_тр}$  – множество требуемых характеристик данных обобщённого массива ( $Q_{ТМИ\_ОМ}$ ).

4. Получить следующие **прикладные результаты**, обеспечивающие условия для реализации сформулированных **теоретических положений**:

-  $L_{Met\_Q\_ТМИ\_накопл}$  – рекомендации по беззатратному накоплению ТМИ на борту РКН, (касаются методов  $Met_{Q\_ТМИ\_накопл}$ , применяемых в условиях риска полётных аварий телеметрируемых объектов);

-  $L_{TK\_рац}$  – рекомендации по формированию облика рационального телеметрического комплекса космодрома;

-  $Mod_{U\_ФОМДТ}$  – проблемно-ориентированная концептуальная модель процесса ФОМДТ, базирующаяся на системном подходе к его составляющим, обеспечивающая формулирование рекомендаций  $L_{U\_ФОМДТ}$  для построения рациональных стратегий  $U_{прим\_рац\_ФОМДТ}$  в части, касающейся ФОМДТ ( $U_{прим\_рац\_ФОМДТ} \subset U_{прим\_рац}$ );

-  $L_{деф\_ТМИ}$  – рекомендации по разработке технологии выявления причин (источников) дефектов ТМИ  $Q_{ТМИ\_ПРС}$  и  $Q_{ТМИ\_ОМ}$ , осуществляемого с использованием ПТС  $R_{ФОМДТ}$  ФОМДТ, позволяющие устанавливать факты наличия дефектов (искажений) ТМИ.

#### Критерии:

$$\langle L_{Met\_Q\_ТМИ\_накопл}, L_{TK\_рац}, L_{U\_ФОМДТ}, L_{деф\_ТМИ} \rangle = L_{ПР},$$

$$L_{ПР} \cup L_{Kort\_Z\_ИТО\_выб\_рац} = L_{Kort\_Z\_ИТО\_выб\_рац\_дет},$$

где  $L_{ПР}$  – рекомендации, базирующиеся на полученных **прикладных результатах**;

$L_{Kort\_Z\_ИТО\_выб\_рац\_дет}$  – детализированные по отношению к  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_выб\_рац}$  рекомендации.

5. Обеспечить оценивание алгоритмов  $A$  получения обобщённых данных и по результатам оценивания выбрать рациональные алгоритмы  $A_{рац}$  ( $A_{рац} \subset A$ ), разработав соответствующие критерии, модели и методики для оценивания.

5.1. Разработать критерии  $Kr(A_{исп}, A_{\bar{o}})$  оценивания уровня достоверности, обеспечиваемой алгоритмами  $A$ , и методику  $Met_{U\_прим\_РП\_КР\_рац}$  определения рационального состава каналов разнесения.

#### Дано:

$A$  – алгоритмы получения обобщённых данных;

$R_{КР}$  – множество оцениваемых каналов разнесения.

Найти:

$Kr(A_{ucn}, A_{\delta})$  – критерии оценивания уровня достоверности, обеспечиваемой алгоритмами  $A$ , базирующиеся на сопоставлении уровней достоверности, обеспечиваемой испытуемыми  $A_{ucn}$  и базовыми  $A_{\delta}$  алгоритмами ( $A_{ucn} \subset A, A_{\delta} \subset A$ );

$Met_{U\_прим\_РП\_КР\_рац}$  – методика определения рационального состава каналов разнесения с использованием бутстреп-метода для искусственного размножения статистических выборок.

Критерии:

$$f_{Kr} : \Delta D_{OM\_A} \rightarrow E, \quad \Delta W_{U\_yc} = \Delta W_{U\_yc}(E), \quad \Delta W_{U\_прим} = \Delta W_{U\_прим}(E),$$

где  $f_{Kr}$  – функция отображения множества показателей изменения уровня достоверности  $\Delta D_{OM\_A}$  обобщённых телеизмерений при замене базовых алгоритмов  $A_{\delta}$  испытуемыми  $A_{ucn}$  в множество балльных показателей  $E$ , соответствующая критериям  $Kr(A_{ucn}, A_{\delta})$ ;

$$f_{Met\_U\_прим\_РП\_КР\_рац} : U_{РП}^2(R_{КР}) \times \Lambda_{пом} \rightarrow E,$$

где  $f_{Kr}$  – функция отображения, соответствующая методике  $Met_{U\_прим\_РП\_КР\_рац}$ ;

$Met_{U\_прим\_РП\_КР\_рац}$  – методика определения рационального состава каналов разнесения с использованием бутстреп-метода для искусственного размножения статистических выборок;

$U_{РП}(R_{КР})$  – стратегии разнесённого приёма ТМИ в зависимости от состава каналов разнесения  $R_{КР}$ ;

$\Lambda_{пом}$  – неопределённые факторы, касающиеся помех в каналах «борт-Земля»;

$E$  – балльные показатели изменения уровня достоверности  $\Delta D_{OM\_U\_РП}$  обобщённых телеизмерений при сравнении стратегий испытуемых  $U_{РП}(R_{КР\_ucn})$  и базовых  $U_{РП}(R_{КР\_{\delta}})$ ,  $R_{КР\_ucn} \subset R_{КР\_{\delta}} \subseteq R_{КР}$ ; при осуществлении методики  $Met_{U\_прим\_РП\_КР\_рац}$  показатели  $E$  могут быть вычислены по критериям  $Kr$ ; показатели  $E$  имеют связь с общими показателями ИТО:  $\Delta W_{U\_yc} = \Delta W_{U\_yc}(E), \Delta W_{U\_прим} = \Delta W_{U\_прим}(E)$ .

5.2. Разработать **комплекс взаимодополняемых моделей**  $Mod_{\Lambda_{пом}}$  помеховой обстановки, а также научно-методический аппарат  $Met_{HMA\_A\_рац}$ , обеспечивающий их построение и использование для выбора рациональных алгоритмов  $A_{рац}$  получения обобщённых данных из множества  $A$ .

Дано:

$A$  – алгоритмы получения обобщённых данных.

Найти:

$Met_{\text{HMA}_{\Lambda_{\text{ном}}}}$  – научно-методический аппарат для построения моделей  $Mod_{\Lambda_{\text{ном}}}$ , разработанный с учётом сущностей неопределённых факторов  $\Lambda_{\text{ном}}$ , касающихся помех в каналах «борт-Земля», и алгоритмов  $A$  получения обобщённых данных;

$Mod_{\Lambda_{\text{ном}}}$  – модели помеховой обстановки для оценивания достоверности, обеспечиваемой алгоритмами  $A$ ;

$Met_{\text{выб}_{A_{\text{рац}}}}$  – методики выбора рациональных алгоритмов  $A_{\text{рац}}$  с использованием моделей  $Mod_{\Lambda_{\text{ном}}}$ .

Критерии:

$$f_{Met_{\text{HMA}_{\Lambda_{\text{ном}}}}} : A \times \Lambda_{\text{ном}} \rightarrow Mod_{\Lambda_{\text{ном}}},$$

$$f_{Met_{\text{выб}_{A_{\text{рац}}}}} : A \times Mod_{\Lambda_{\text{ном}}} \rightarrow A_{\text{рац}}.$$

где  $f_{Met_{\text{HMA}_{\Lambda_{\text{ном}}}}}$  – функция отображения декартова произведения алгоритмов множества  $A$  и элементов множества, связанных с неопределёнными факторами  $\Lambda_{\text{ном}}$  и опосредованных через них, в множество моделей  $Mod_{\Lambda_{\text{ном}}}$ , причём элементы, относящиеся к  $\Lambda_{\text{ном}}$ ,  $A$  и  $Mod_{\Lambda_{\text{ном}}}$ , выбраны таким образом, что обеспечивается требуемое качество моделей  $Mod_{\Lambda_{\text{ном}}}$ ;

$f_{Met_{\text{выб}_{A_{\text{рац}}}}}$  – функция отображения декартова произведения алгоритмов множества  $A$  и моделей множества  $Mod_{\Lambda_{\text{ном}}}$  в множество рациональных алгоритмов  $A_{\text{рац}}$  в соответствии с методиками выбора  $Met_{\text{выб}_{A_{\text{рац}}}}$ .



### Методическая схема решения проблемы

Методическая схема проведения исследований, направленных на решение поставленной проблемы, представлена на рисунке 1.18.

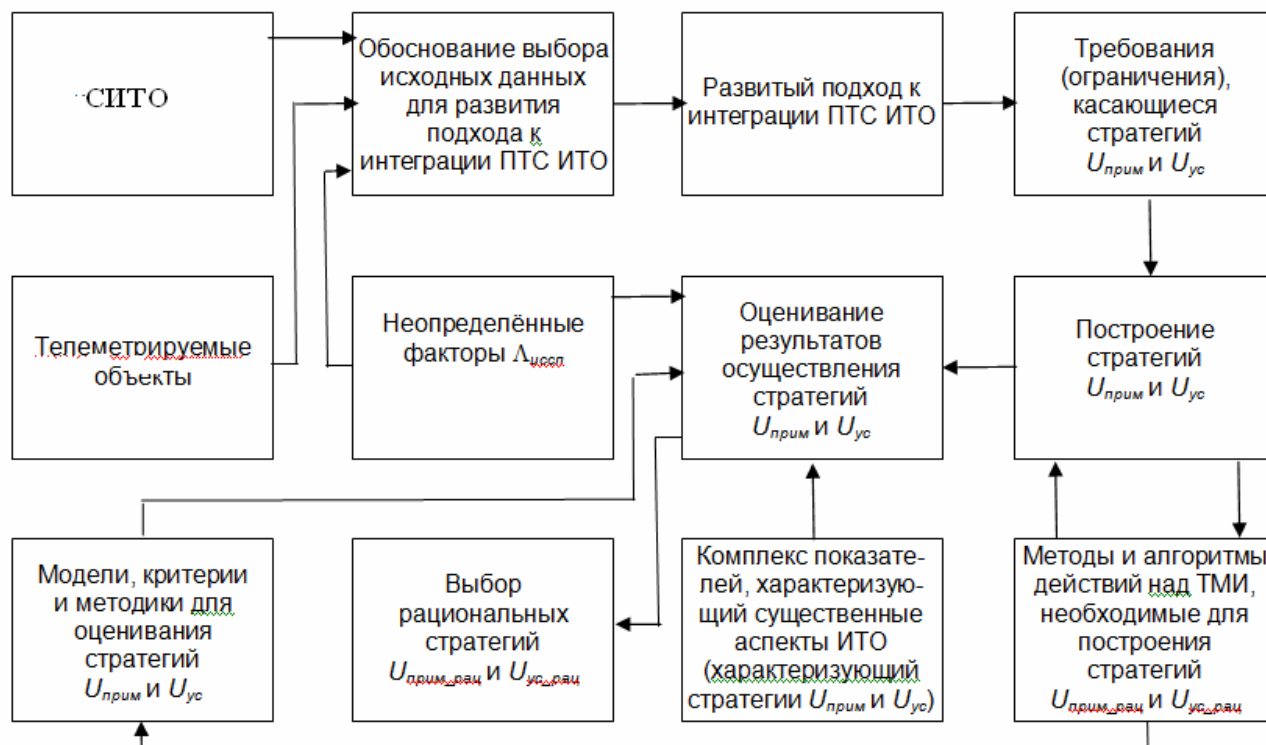


Рисунок 1.18 – Обобщённая методическая схема решения научной проблемы

В разработанной **методической схеме** решения научной проблемы центральным звеном являются сформулированные наборы ограничений (требований). Каждый из таких наборов соответствует множеству стратегий применения СИТО. Из этих наборов ограничений (требований) следует, какие новые методы, алгоритмы, методики, модели и рекомендации необходимы для **управления избыточностью данных телеизмерений**, чтобы осуществить построение рациональных стратегий применения и усовершенствования СИТО.

### Выводы по главе 1

1. Существующие СИТО не удовлетворяли и не удовлетворяют анализаторов по обеспечиваемому качеству данных результатов обработки ТМИ (оно явно неудовлетворительно в случае возникновения аномалий на телеметрируемом объекте), по оперативности их получения; нет также оснований считать рациональ-

ными материальные затраты на СИТО (особенно на ИТ и ПТС ТК). Следовательно, предъявляемые требования к ИТО не выполняются. Для их выполнения необходимы новые СИТО. Однако из-за взаимовлияния отдельных несовершенных элементов СИТО и технологических процессов сдерживается их развитие в целом, а пути улучшения неочевидны.

2. С развитием ПТС, информационных технологий появилась реальная возможность выполнения предъявляемых к ИТО требований. Однако для этого необходимо соответствующее научно-методическое обеспечение развития СИТО. Из-за его отсутствия ТК не инвариантен к изменяющимся задачам ИТО (требуются значительные временные и материальные затраты на его подготовку к решению новых задач ИТО), а при его модернизации возможности современных ПТС и информационных технологий используются нерационально (преобладает субъективный подход, что не позволяет выполнить требования, предъявляемые к ИТО).

3. В настоящее время необходимая для практики достоверность телеизмерений, получаемых при пусках РКН, обеспечивается их чрезмерной избыточностью, создаваемой при формировании ТМИ в БИТС и при осуществлении разнесённого приёма ТМИ. Тем не менее, имеют место значительные потери ТМИ, особенно в случае нештатных и аварийных ситуаций на телеметрируемом объекте. Приходится констатировать, что существующая отечественная телеметрия является телеметрией нормального пуска, в то время как наиболее острая потребность в ТМИ появляется именно при нештатных и аварийных ситуациях. Для сокращения этих (значительных) потерь ТМИ традиционным путём требуется дальнейшее увеличение избыточности телеизмерений. Рост скорости передачи данных при приёмо-регистрации, сборе ТМИ является причиной существенного увеличения количества существующих ПТС ТК, которые (с целью улучшения ИТО) необходимо уменьшать. Выходом из этой противоречивой ситуации является построение новых стратегий противодействия влиянию неопределённых факторов различной природы на основе управления избыточностью данных телеизмерений.

4. Для построения вышеупомянутых стратегий управления избыточностью телеизмерений необходим системный подход к развитию СИТО, создающий ус-

ловия результативного противодействия неопределённым факторам различной природы. Для его осуществления существующий научно-методический аппарат не может быть использован в достаточной мере. Необходимы поиск нужных его фрагментов, их адаптация к решаемой проблеме, а также создание новых фрагментов. Методологическая основа применяемого при этом системного подхода связана с проблемно-ориентированными теоретико-множественным подходом и морфологическим анализом, что позволяет целенаправленно выбирать нужные стратегии и уже на начальном этапе исключить нерациональные. Они (теоретико-множественный подход и морфологический анализ) хорошо согласуются с представленным стратифицированным описанием объектов, касающихся СИТО.

## ГЛАВА 2. ПОСТРОЕНИЕ КОМПЛЕКСА ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ СУЩЕСТВЕННЫЕ АСПЕКТЫ ИТО ОТРАБОТКИ СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ, И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИХ РЕЗУЛЬТАТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

### **2.1 Разработка комплекса показателей, характеризующих существенные аспекты ИТО отработки средств выведения**

Разработанный **комплекс показателей ИТО** [31, 62, 222] базируется на **теории оценивания эффективности проведения операций с использованием технических систем** [122, 124, 140 и др.].

Необходимость его разработки (см. таблицу 1.9) обусловлена тем, что существующие и рассмотренные ранее характеристики потерь ТМИ (см. таблицу 1.5) недостаточно точны, чтобы идентифицировать рациональные стратегии усовершенствования ( $U_{ус}$ ) и применения по назначению ( $U_{прим}$ ) СИТО. Прежде всего это касается потерь ТМИ вследствие действия произвольных помех в каналах «борт-Земля». Кроме того, в составе обобщённых показателей (комплекса показателей) должны использоваться оценки материальных затрат, которые на рассматриваемом этапе не могут быть конкретизированы, опосредованы через количество применяемых ПТС и осуществлены на качественном уровне. Необходимы также показатели оперативности усовершенствования и применения СИТО.

Эффективность [122, 124] в технике оценивается по каким-то определённым (выбранным, заданным, разработанным) критериям. Известна [181] весьма широкая трактовка термина «критерий». В контексте решаемой проблемы: 1) *критерий* есть мера предпочтения ЛПР, ориентированная на потребителя; 2) *выбор критерия* не является математической задачей, а основан на здравом смысле [96] (т.е. на практическом опыте). Отсюда – выбор и последующее использование критерия связаны с субъективными подходами. На основе полученных по различным критериям оценок могут быть приняты противоречивые решения. Обычно оценивание эффективности осуществляется в условиях действия неопределённых факторов различной природы (неопределённость целевая, поведенческая, «природная») [122], значительно осложняющих оценивание [122, гл. 13].

Существует [122, 124, 140] относительно совершенный научно-методический аппарат для оценивания эффективности операций в технике.

Исход операции  $g$  ( $g \in G$ ) зависит от выбранной стратегии  $u$  ( $u \in U$ ). Из-за действия неопределённых факторов  $\Lambda$  он в какой-то мере случаен.

Зависимость показателя эффективности  $W(u)$  от выбранной стратегии  $u$  ( $u \in U$ ), от факторов  $\Lambda$ , определяющих комплекс условий проведения операции, задается [124] в общем виде составным отображением

$$\Psi : \{H : U \times \Lambda \rightarrow Y\} \rightarrow W, \quad (2.1)$$

где  $H : U \times \Lambda \rightarrow Y$  – модель результата, позволяющая вычислить значения реального результата  $Y$  операции для каждой стратегии  $u$  ( $u \in U$ ) при действии каждого фактора  $\lambda$  ( $\lambda \in \Lambda$ ) из множества  $\Lambda$  факторов, формирующих условия обстановки (проведения) операции;  $Y = f_Y(G)$  – количественные характеристики исходов операции.

Результат операции  $Y$  ставится в зависимость от полезного эффекта  $q$ , затраченных ресурсов  $C$  и времени  $T$ , которые, в свою очередь, зависят от выбранной стратегии  $u$  ( $u \in U_{ус}$ ,  $u \in U_{прим}$ ) [122]:

$$Y(u) = Y(q(u), C(u), T(u)). \quad (2.2)$$

Причём характеристики результата могут быть представлены как в скалярном, так и в векторном виде – в виде  $m$ -мерного вектора ( $m = m_1 + m_2 + m_3$ ):

$$Y^{(m)} = \langle q^{(m_1)}, C^{(m_2)}, T^{(m_3)} \rangle. \quad (2.3)$$

Показатель эффективности  $W$  (2.1) есть мера степени соответствия реального результата  $Y$  операции требуемому  $Y_{тр}$ .

Приведённый подход к оцениванию эффективности операций исключает двусмысленность, встречающуюся в технической литературе. («Оценивать полученный эффект можно двояко: сопоставляя результат с затратами на его получение или сопоставляя полученный результат с тем, который планировался, т.е. с целью. В английском языке эти оценки имеют разное обозначение, а в русском им соответствует лишь термин *эффективность*.» [91]) Полученный (или ожидаемый) результат нужно сопоставлять не с затратами на его получение, а с требуе-

мым результатом. В общем случае полезный эффект  $q$  (2.3) является компонентой полученного результата и сравнивается с требуемым полезным эффектом (при этом сопоставляются и соответствующие полученные и требуемые характеристики затраченных материальных ресурсов и времени).

Кроме встречающихся методически неверных подходов, следует отметить и другую особенность существующего научно-методического аппарата для оценивания качества ПТС и ИТ, результатов проведения операций с их использованием.

Разные авторы по-разному представляют необходимый научно-методический аппарат.

В одном случае [20, 22] о методических основах исследования операций в технике сведения самые общие, их объём весьма мал (в отличие, например, от [122, 124]), но при этом широко представлены методы линейного программирования, оптимизации, имитационного моделирования и т.п. методы решения конкретных задач для выбора наилучших стратегий.

Во втором случае [74, гл. 8] представлен другой подход (отличающийся от описанного в [122, 124]) к оцениванию технических систем (ТС). Вводятся векторные показатели качества ТС (вектор  $K$ ). Качество ТС представляется точкой в  $n$ -многомерном пространстве (где  $n$  – число показателей качества ТС). При этом показатели качества могут быть взаимозависимыми. Затем с учётом сущностей решаемой задачи вводятся ограничения, в соответствии с которыми формулируются критерии качества технической системы. Например, осуществляется теоретико-множественный подход [124, гл. 1] к принятию решений при многих критериях [68].

Наиболее простым критерием предпочтений является критерий Парето. Суть его состоит в том, что при сравнении двух систем  $S^I$  и  $S^{II}$ , которым соответствуют векторы качества  $\mathbf{K}^I = \langle k^I_1, \dots, k^I_i, \dots, k^I_m \rangle$  и  $\mathbf{K}^{II} = \langle k^{II}_1, \dots, k^{II}_i, \dots, k^{II}_m \rangle$  (чем меньше  $k_i$ , тем лучше система при неизменных значениях остальных  $(m - 1)$  показателей), необходимое и достаточное условие того, что система  $S^{II}$  лучше, чем система  $S^I$ , имеет вид

$$k^{II}_i \leq k^I_i \text{ для всех } i = 1, \dots, m, \quad (2.4)$$

и, по меньшей мере, для одного номера  $i = i_o$  выполняется неравенство

$$k''_{io} < k'_{io} .$$

В третьем случае [134, 184 и др.] применён системный подход к созданию сложных систем, на основе которого показана взаимосвязь их различных характеристик и представлен научно-методический аппарат для получения этих характеристик, для оценивания целесообразности тех или иных технических решений (например, выбор степени автоматизации управления [184, § 9.1]).

Прежде всего необходимо адаптировать существующий (относящийся к [122, 124, 140]) научно-методический аппарат для оценивания эффективности операций в технике к решаемой проблеме.

Результат усовершенствования СИТО (аналогично (2.3)) зависит от выбранной стратегии  $u_{yc}$  усовершенствования и заключается в полезном эффекте от усовершенствования (которым предлагается [31] считать улучшение  $\Delta Y_{прим}$  результата от применения усовершенствованной СИТО), в материальных затратах  $C_{yc}$  на усовершенствование и в оперативности  $T_{yc}$  процесса усовершенствования:

$$Y_{yc}(u_{yc}) = \langle \Delta Y_{прим}(u_{yc}), C_{yc}(u_{yc}), T_{yc}(u_{yc}) \rangle , \quad u_{yc} \in U_{yc} . \quad (2.5)$$

Полезный эффект  $\Delta Y_{прим}$  (2.5) характеризует степень достижения цели операции усовершенствования СИТО. Показатели эффективности процесса усовершенствования  $W_{эф\_*}$  зависят от сопоставления оцениваемых показателей результата усовершенствования с их требуемыми значениями (обозначенными здесь и далее дополнением «тр» к индексам):

$$W_{эф\_Y_{yc}}(u_{yc}) = f_{эф\_Y_{yc}}(Y_{yc}(u_{yc}), Y_{yc\_тр}) , \quad (2.6)$$

$$W_{эф\_ΔY_{прим}}(u_{yc}) = f_{эф\_ΔY_{прим}}(\Delta Y_{прим}(u_{yc}), \Delta Y_{прим\_тр}) , \quad (2.7)$$

$$W_{эф\_C_{yc}}(u_{yc}) = f_{эф\_C_{yc}}(C_{yc}(u_{yc}), C_{yc\_тр}) , \quad (2.8)$$

$$W_{эф\_T_{yc}}(u_{yc}) = f_{эф\_T_{yc}}(T_{yc}(u_{yc}), T_{yc\_тр}) , \quad (2.9)$$

В свою очередь, степень улучшения  $\Delta Y_{прим}$  результата от применения усовершенствованной СИТО (по сравнению с неусовершенствованной) зависит от выбранной стратегии  $u_{yc}$  и заключается в улучшении полезного эффекта (которым предлагается [31] считать улучшение качества данных для анализа  $\Delta W_{ан\_Σ}$  (1.6) (1.13)), в сокращении материальных затрат

$\Delta C_{\text{прим}}$  на применение усовершенствованной СИТО, в повышении оперативности  $\Delta T_{\text{прим}}$  решения задач ИТО:

$$\Delta Y_{\text{прим}}(u_{\text{yc}}) = \langle \Delta W_{\text{ан}_\Sigma}(u_{\text{yc}}), \Delta C_{\text{прим}}(u_{\text{yc}}), \Delta T_{\text{прим}}(u_{\text{yc}}) \rangle, u_{\text{yc}} \in U_{\text{yc}}. \quad (2.10)$$

Показатели  $\Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma}}$ ,  $\Delta W_{\text{эф}_C_{\text{прим}}}$  и  $\Delta W_{\text{эф}_T_{\text{прим}}}$  предлагается [31] получать путём сопоставления компонент  $\Delta Y_{\text{прим}}$  с соответствующими им мерами  $\Delta W_{\text{ан}_\Sigma_{\text{суи}}}$ ,  $\Delta C_{\text{прим}_{\text{суи}}}$  и  $\Delta T_{\text{прим}_{\text{суи}}}$  существенного улучшения этих показателей:

$$\Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma}}(u_{\text{yc}}) = f_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma}}(\Delta W_{\text{ан}_\Sigma}(u_{\text{yc}}), \Delta W_{\text{ан}_\Sigma_{\text{суи}}}) , \quad (2.11)$$

$$\Delta W_{\text{эф}_C_{\text{прим}}}(u_{\text{yc}}) = f_{\text{эф}_C_{\text{прим}}}(\Delta C_{\text{прим}}(u_{\text{yc}}), \Delta C_{\text{прим}_{\text{суи}}}) , \quad (2.12)$$

$$\Delta W_{\text{эф}_T_{\text{прим}}}(u_{\text{yc}}) = f_{\text{эф}_T_{\text{прим}}}(\Delta T_{\text{прим}}(u_{\text{yc}}), \Delta T_{\text{прим}_{\text{суи}}}) . \quad (2.13)$$

Исходя из (2.11), (2.12) и (2.13), вместо (2.7) запишем:

$$W_{\text{эф}_\Delta Y_{\text{прим}}} = \langle \Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma}}, \Delta W_{\text{эф}_C_{\text{прим}}}, \Delta W_{\text{эф}_T_{\text{прим}}} \rangle . \quad (2.14)$$

В итоге общий показатель эффективности усовершенствования  $W_{\text{эф}_Y_{\text{yc}}}$  (2.6) включает в себя следующие частные показатели:

$$W_{\text{эф}_Y_{\text{yc}}} = \langle W_{\text{эф}_\Delta Y_{\text{прим}}}, W_{\text{эф}_C_{\text{yc}}}, W_{\text{эф}_T_{\text{yc}}} \rangle \quad (2.15)$$

или (подставив (2.14) в (2.15)) –

$$W_{\text{эф}_Y_{\text{yc}}} = \langle \Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma}}, \Delta W_{\text{эф}_C_{\text{прим}}}, \Delta W_{\text{эф}_T_{\text{прим}}}, W_{\text{эф}_C_{\text{yc}}}, W_{\text{эф}_T_{\text{yc}}} \rangle. \quad (2.16)$$

Полагаем, что в зависимости от результата сравнения с мерами  $\Delta W_{\text{ан}_\Sigma_{\text{суи}}}$ ,  $\Delta C_{\text{прим}_{\text{суи}}}$  и  $\Delta T_{\text{прим}_{\text{суи}}}$  показатели  $\Delta W_{\text{эф}_W_{\text{ан}_\Sigma}}$ ,  $\Delta W_{\text{эф}_C_{\text{прим}}}$ ,  $\Delta W_{\text{эф}_T_{\text{прим}}}$  будут принимать множество значений  $\{-1, 0, 1\}$ , означающих: «-1» – *существенное* ухудшение показателя после усовершенствования, «0» – *несущественное* изменение, «1» – *существенное* улучшение.

Показатели  $W_{\text{эф}_C_{\text{yc}}}$  и  $W_{\text{эф}_T_{\text{yc}}}$  (2.15) будут принимать множество значений  $\{-1, 1\}$ , что означает следующее: «-1» – показатели  $C_{\text{yc}}$  ( $T_{\text{yc}}$ ) (2.5) хуже требуемых (хуже  $C_{\text{yc}_\text{тр}}$  и/или  $T_{\text{yc}_\text{тр}}$ ), а «1» – не хуже требуемых.

**Правила** вычисления общего показателя  $W_{\text{эф}_Y_{\text{yc}}}$  (2.16):

- если хотя бы один из показателей  $W_{\text{эф}_Y_{\text{yc}}}$  равен «-1», то  $W_{\text{эф}_Y_{\text{yc}}} = -1$ ; или
- если  $\Delta W_{\text{эф}_I_{\text{ан}_\Sigma}} = \Delta W_{\text{эф}_C_{\text{прим}}} = \Delta W_{\text{эф}_T_{\text{прим}}} = 0$ , то  $W_{\text{эф}_Y_{\text{yc}}} = -1$ ;
- если иначе, то  $W_{U_{\text{yc}}} = 1$ .



Стратегии множества  $U_{yc}$  в случае  $W_{эф\_Y_{yc}} = -1$  отбраковываются, а  $W_{эф\_Y_{yc}} = 1$  является необходимым условием их принадлежности к множеству  $U_{yc\_рац}$  рациональных стратегий.

Для практического применения предложенных показателей необходимо установить их зависимость от частных показателей, т.е. конкретизировать зависимость типа (1.13).

Следует отметить некоторые важные особенности условий применения представленного научно-методического аппарата.

В значительной мере эффективность операции (в том числе и касающаяся усовершенствования СИТО) зависит от качества управления её проведением и связана с управленческой деятельностью ЛПР [204].

При разработке научно-методического обеспечения операции исходят из того, что оно должно создаваться для конкретного ЛПР [122, 124]. Т.е. изначально принимаются потенциальные издержки, связанные с субъективным подходом (например, некомпетентностью, нерешительностью, боязнью ответственности и т.д.). Кроме того, большие возможности, исходящие от ЛПР, не гарантируют автоматическую готовность других участников операции ими воспользоваться. История знает много примеров (программа создания АСУ, построения ОГАС – общегосударственной автоматизированной системы [91]), когда игнорирование этих субъективных факторов приводило к большим неудачам.

Представленный научно-методический аппарат не учитывает некоторые важные аспекты проблемы определения целесообразности внедрения новой техники. Например, замечено [91], что при этом нужны критерии, в основе которых лежат моральные, эстетические и другие нормы социума. Современная техника, новые технологии меняют качество жизни людей, для оценки которого показатели пока не созданы.

## 2.2 Особенности оценивания эффективности усовершенствования программно-технических средств и информационных технологий в условиях неопределённости

Исход усовершенствования  $g_{yc}$  ( $g_{yc} \in G_{yc}$ ) существенно зависит от выбранной стратегии  $u_{yc}$  ( $u_{yc} \in U_{yc}$ ). Однако вследствие действия неопределённых факторов  $\Lambda$  разной природы реальный результат усовершенствования  $y_{yc\_u}$  ( $y_{yc\_u} \in Y_{yc\_u}$ ) для одной и той же стратегии  $u_{yc}$  в какой-то мере случаен [124] (рисунок 2.1):

$$f_{U_{yc}} : U_{yc} \times \Lambda \rightarrow Y_{yc\_u} . \quad (2.17)$$

( $Y = f_Y(G)$  – количественные характеристики исходов операции.)

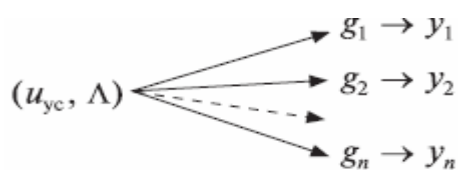


Рисунок 2.1 – Из-за действия неопределённых факторов исходы усовершенствования ПТС и ИТ в какой-то степени случайны

Известна [124] классификация неопределённости (в какой-то мере условная): целевая, поведенческая и «природная». На исходы (и, соответственно, результаты) осуществления стратегий  $U_{yc}$  весьма сильное влияние оказывает целевая и поведенческая неопределённость.

Целевая неопределённость связана с недостаточными сведениями о целях вышестоящих руководителей, смежников, партнеров и т.д. (зачастую между реальными целями и декларируемыми, видимыми имеются большие отличия).

Поведенческая неопределённость связана с психологией человека.

Если принять её во внимание (например, [186]: профессиональную ограниченность, невосприимчивость из-за различной направленности мышления (люди в большей степени стремятся узнать те факты, которые подтверждают их мнение, чем те, которые противоречат их убеждениям), трудность восприятия отрицательных выводов, склонность к преувеличению плохого, боязнь ответственности и т.д.), то станут более понятны мотивы невнятной технической идеологии, «группового эгоизма», лоббирования интересов отдельных предприятий и т.д., проявление которых чрезвычайно трудно учесть при планировании совместных действий.

В качестве примера, характеризующего поведенческую неопределённость, уместно сослаться на эксперименты Эша [151]. Испытуемые разбивались на группы в 7÷9 человек. Им сообщалось, что они будут участвовать в эксперименте на зрительное восприятие. От них требовалось определить, какая из трёх показанных им для сравнения линий соответствовала по длине стандартной линии. Процесс сравнения не представлял сложности с точки зрения очевидности результатов. Однако все испытуемые, за исключением отвечающего последним, были сообщниками Эша и давали неверные ответы, подготовленные Эшем. Не знающие о подвохе испытуемые проявляли удивительную конформность, вопреки тому, что они реально воспринимали. Они либо считали данные собственного восприятия почему-то ошибочными (а данные восприятия представителей единодушного большинства – верными), либо просто не желали выглядеть «отщепенцами», даже будучи вполне уверенными в ошибочности мнения большинства. В ходе исследований Эш установил два важных факта: во-первых, численность единодушного большинства не обязательно должна быть особенно большой; во-вторых, заблуждающееся большинство должно быть единодушным. Поведение человека ещё более неадекватно в условиях риска: большой неочевидности последствий принятия им тех или иных решений, персональной ответственности и неопределённости прогнозов реакции на эти решения (или последствия их осуществления) коллег, смежников, руководства.

«Природная» неопределённость (см.  $\Lambda_{иссл}$  (1.31)) обусловлена незнанием природы явлений. Например, из-за недостаточности априорных сведений о телеметрируемом параметре возникают ошибки в выборе диапазона измерений (т.е. потери ТМИ).

Выделяют [91] четыре иерархических уровня, на которых проявляются результаты внедрения новых ИТ и ПТС и соответствующие неопределённые факторы  $\Lambda$ .

1. Уровень технологии. Внедрение новых ИТ и ПТС на этом уровне обычно обусловлено технологией выполнения работ. Оценки полезного эффекта (эффективности) опре-

деляются путём сравнения результатов применения базовых (например, применяемых) и предлагаемых ПТС и ИТ (см. разд. 2.1). Полученные таким образом оценки неполны.

2. Уровень человеко-машинных комплексов. Добавление реального человека к новой технологии («человеческий фактор») существенно меняет условия оценивания [102]. Порой сроки решения типовой задачи разными специалистами отличаются в разы. Результативное использование человеческих возможностей – задача управления (вне решаемой проблемы).

3. Уровень организации. Рассматривают взаимодействие человеко-машинных комплексов в общей организации. При этом учитываются такие факторы, как бюрократизация управления, число иерархических уровней, уровень секретности, безопасности информации и т.п. Они связаны с доктриной, в соответствии с которой функционирует предприятие.

4. Макроэкономический уровень. Реализация потенциальных возможностей ИТ и ПТС связана с положением дел в стране, с мировым рынком. Здесь критерий эффективности замещается критерием существования: либо хозяйственная организация использует эффективные ИТ и ПТС и существует и развивается, либо не использует их и тем самым обрекает себя на гибель.

Решаемая проблема касается лишь первого уровня.

Методом аналогий выявлены [31, 81, 83, 100, 104 и др.] следующие тенденции роста неопределённости факторов  $\Lambda_{разв}$ , влияющих на процесс развития ПТС и ИТ (и, соответственно, СИТО).

1. Возрастание неопределённости сведений о ПТС (о возможностях и особенно о недостатках) из-за устойчивой тенденции расширения ассортимента и существенных изменений качества. Существующую устойчивую тенденцию изменения качества ПТС отражает закон Мура [104], согласно которому с периодичностью 18 месяцев происходит удвоение либо вычислительной мощности, либо степени интеграции. В настоящее время по темпам роста предложение опережает спрос. Потребителям не хватает времени, чтобы разобраться в преимуществах и (что особенно важно) в недостатках, а тем более провести научные исследо-

вания (особенно дорогостоящие и долговременные), направленные на обоснование выбора ПТС и способов их применения.

2. Ухудшение и без того низкого качества прогнозов развития ПТС. Известны многочисленные примеры не просто ошибочных, а курьезных прогнозов. Факты свидетельствуют, что у современных экспертов нет оснований считать себя прозорливее своих предшественников.

3. Усиление сомнений в необходимости научных исследований. Отчасти ослабление интереса к науке связано с повышением стоимости научных исследований и сокращением доли полученных результатов, используемых практически [172]. Многочисленность исследований, их узкая направленность приводят к непониманию сути конкретных работ даже высокообразованными специалистами из смежной области знаний.

4. Увеличение скорости распространения сведений, мощности информационных потоков и проявление связанных с этим «побочных» эффектов (прежде всего, возросшая опасность получения дезинформации).

5. Усиление взаимовлияния производителей и потребителей. Отсюда – тенденция ограничения круга производителей, с которыми взаимодействуют пользователи. При этом в условиях усиливающейся нестабильности рынка неопределённость удачного выбора предприятия-производителя (риск) возрастает.

Таким образом, в условиях усиливающегося влияния факторов, приносящих неопределённость, быстрых и существенных качественных изменений ПТС длительность планируемых сроков развития СИТО не должна быть большой, а значит, и предварительные исследования не должны быть трудоёмкими, а сроки их проведения – растянутыми. От замысла до практической реализации проекта должно быть не более двух лет. В этих условиях нужны оценки СИТО, не требующие сложных расчетов, инвариантные качественным изменениям ПТС и ИТ, согласуемые с простым и эффективным научно-методическим аппаратом.

Чем больше неопределённость факторов, влияющих на показатели эффективности [124], тем менее они предсказуемы, тем более оправдано смягчение требований к точности их оценок.

В этом контексте интересны результаты исследования [185]: ВЦ не нуждается в новом языке, если тот не обеспечивает прирост производительности более чем на 38%. Они были получены, когда не существовало методик определения производительности как функции языка.

Утверждают [91, 167], что новая техника, современные информационные технологии существенно меняют образ жизни людей. При разработке критериев оценки эффективности (первый иерархический уровень, см. выше) факторы социально-психологического характера игнорируются. Однако они создают дополнительную компоненту к суммарному полезному эффекту. Она не учитывается, но её наличие позволяет небезосновательно считать, что реальный суммарный полезный эффект превосходит учитываемую компоненту. Пользуясь терминологией теории измерений, можно говорить о систематической погрешности оценки (о некотором занижении) полезного эффекта от применения современных ПТС и ИТ.

Видение возможностей, открываемых новыми ПТС и ИТ, не является окончательным. Оно не только трансформируется во времени (т.е. соответствует духу времени), но и зачастую имеет ярко выраженный индивидуальный характер (проявляющийся в разных подходах к проблеме усовершенствования) [33].

В условиях усиливающейся неопределённости (прежде всего, целевой, поведенческой) весьма актуальны методы экспертного оценивания [124]. Их используют во всех случаях, когда оцениваемые объекты или их характеристики субъективны и поэтому получить требуемые данные о них путём объективных измерений невозможно (например, с помощью измерительных приборов, действие которых основано на использовании физических законов). Под методом экспертного оценивания обычно понимают комплекс логических и математических процедур, направленных на получение от специалистов-экспертов информации, её анализ и обобщение с целью выбора рациональных решений [124].

Суждения экспертов определённым образом обрабатываются с использованием соответствующего математического аппарата, в результате чего получают так называемые *экспертные оценки*. Эти оценки субъективны, и степень доверия к ним зависит от знаний, опыта и психологии экспертов.

Если исходной информации недостаточно или задача является уникальной, то применяют **методы индивидуального экспертного оценивания**: «интервью», аналитических докладных записок, сценария.

Для ситуации с большим объёмом информации обычно привлекают не одного, а нескольких специалистов и используют методы **группового экспертного оценивания**: анкетирования, «комиссий», коллективной генерации идей, комплексные.

Все методы хорошо изучены [124]. Преимущества каждого из них проявляются в конкретной ситуации.

В настоящее время многие практические задачи развития ПТС и ИТ, производства и сбыта потребительских товаров имеют социальную, психологическую подоплеку [31, 151]. Чтобы усилить влияние на потенциальных покупателей, всё больше денежных средств вкладывается в рекламу [193], в исследования психологических особенностей рынка [121]. Именно субъективный подход во многом является определяющим при решении вопросов развития ПТС и ИТ. При этом чрезвычайно велик разброс мнений, даже среди специалистов одного предприятия, о чём в полной мере свидетельствуют результаты тестирования [33], содержащие сведения об отношении людей к внедрению новых систем, технологий и о мотивировках обновления, характеризующие при этом поведенческую неопределённость. В таких условиях весьма непросто выбрать научно-методический аппарат, удовлетворяющий широкому кругу потенциальных ЛПР.

Следует учесть также и частые ошибочные прогнозы самých экспертов и разработчиков стратегий усовершенствования. «Когда речь идет о прогнозировании событий с большим числом весьма изменчивых переменных величин, каждая из которых может определить результат, эксперты становятся беспомощными» [102, с. 102-103].

Однако необходимость решения повседневных практических задач с использованием ПТС и ИТ вынуждает искать выход, делать свой выбор.

Так, в 40-х годах XX века кибернетика Н. Винера первоначально вызвала много обоснованных нареканий из-за претензий её автора на всеобщий характер новой дисциплины и несостоятельности исходного философского фундамента

[115]. Однако она была ориентирована во многом на информационные проблемы, а в послевоенные годы разразился «кризис избытка информации». В тех условиях оказалось, что лучше винеровская кибернетика, чем никакой [115, с. 23-24].

Следует заметить, что для понимания (даже коллегами) некоторых аспектов предложенного научно-методического аппарата порой нужно время. Финк Л.М., разработавший критерий эквивалентной вероятности ошибок, в течение пяти лет безуспешно убеждал «в разумности этого критерия одного очень талантливого исследователя, который предпочитал пользоваться остаточной вероятностью ошибки, гораздо хуже характеризующей верность приёма» [181, с. 122-127].

В общем случае предпочтения экспертов могут не совпадать с предпочтениями ЛПР [124, гл. 11]. Появляется необходимость критически осмыслить различные точки зрения и путём поэтапного согласования позиций (путем итераций) выбрать удовлетворяющую ЛПР стратегию усовершенствования ПТС и ИТ.

### **2.3 Построение рациональных планов усовершенствования технических систем по экономическим показателям**

Возможности усовершенствования технической системы (ТС) зависят от жизненных циклов [122, с.13-14] ПТС, вводимых на каком-либо этапе  $j$  ( $j=0,1,\dots,m$ ) в её состав. Необходимым условием практической реализации  $i$ -го ( $i=0,1,\dots,n$ ) варианта системы является появление необходимых ПТС на рынке сбыта товара на этапе  $j_n^{(i)}$ . Практика эксплуатации технических систем свидетельствует о субъективных оценках этапов окончания их жизненного цикла. Эти оценки связаны с возможностями приобретения новых ПТС, передовых технологий [101]. Этап окончания жизненного цикла  $i$ -й системы  $j_n^{(i)}$  будем отождествлять с этапом перехода от  $i$ -го варианта системы к более совершенному  $(i+1)$ -му варианту  $j_n^{(i,i+1)}$ , выбор которого основан на стремлении пользователя вводить в состав системы современные элементы (в идеале  $j_n^{(i,i+1)} = j_n^{(i+1)}$ ), обеспечивая при этом приемлемые затраты.

В этой связи разработана [28] общая методика планирования процесса усовершенствования ТС на основе прогнозирования и учёта тенденций развития их



элементов, способствующая уменьшению материальных затрат.

Среди затрат, характеризующих процесс усовершенствования системы, выделим разовые (капитальные)  $C_1(i,j)$  и текущие (на содержание системы)  $C_2(i,j)$ , а также скорость изменения  $V_2(i,j)$  текущих затрат (текущие затраты в течение одного этапа). Существующие многочисленные методики определения текущих затрат [105, 132, 195 и др.], учитывающие затраты на электрическую энергию, на содержание помещений, на материально-техническое обеспечение и т.д., могут быть использованы в качестве частных методик.

Таким образом, исходными данными для планирования усовершенствования являются прогнозируемые изменения параметров  $j_n^{(i)}$ ,  $C_1(i,j)$ ,  $V_2(i,j)$ . С учётом ограничений, касающихся стратегий усовершенствования, определяются этапы переходов к новым вариантам ( $j_n^{(i,i+1)}$ ,  $i=0,1,2,\dots,n$ ), обеспечивающие приемлемые затраты.

Возможные варианты усовершенствования ТС на различных этапах представим в виде множества точек на плоскости, находящихся внутри прямоугольника ( $j_{max} = m$ ,  $i_{max} = n$ ). Существующая модификация ТС обозначена нулевым вариантом. Дополнительные ограничения проявляются при учете параметров  $j_n^{(i)}$ ,  $i=0,1,2,\dots,n$ . Эти точки – вершины направленного графа [123, гл. 3]. Пример графа представлен на рисунке 2.2. Горизонтальные переходы из вершины  $(i,j)$  к  $(i,j+1)$  соответствуют затратам на содержание  $i$ -го варианта ТС в течение одного этапа. Вертикальные переходы из вершины  $(i,j)$  к  $(i+r,j)$  соответствуют затратам на практическое осуществление  $(i+r)$ -го варианта системы на  $j$ -м этапе.

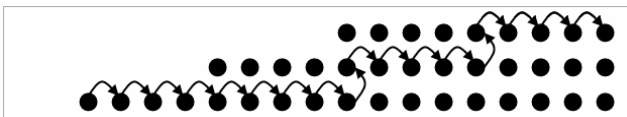


Рисунок 2.2 – Граф процесса усовершенствования системы

Ограничения на стратегии усовершенствования могут быть различными. В частности:

- из всех анализируемых  $n$  вариантов модификации выбираются лишь те, которые обеспечивают приемлемые затраты (т.е.  $i$ -й вариант системы заменяется  $(i+r)$ -м и при этом не обязательно  $r = 1$ );

- обязателен последовательный выбор каждого варианта модификации ( $i = 0, 1, 2, \dots, n$ );

- обязателен выбор одного варианта модификации из нескольких ( $q=1, 2, \dots, r_p$ ), находящихся в группе, при наличии нескольких ( $p$ ) групп.

При наличии относительно большого количества вершин в графе может существовать значительное число вариантов перехода из начальной вершины ( $i = 0, j = 0$ ) в конечную ( $i = n, j = m$ ), отличающихся по затратам. Один из известных [123, гл. 3] и простых (с точки зрения понимания) способов определения оптимальных этапов перехода от одного варианта системы к другому – последовательный перебор всех возможных траекторий движения из точки  $(0,0)$  в точку  $(n,m)$  и решение задачи численными методами. Его недостаток – значительный объем вычислений. Для уменьшения численности анализируемых вариантов целесообразен теоретико-множественный подход, предполагающий введение ограничений (типа представленных выше). Другой способ – аналитический. Его преимущества связаны с удобством использования аналитических выражений, что не всегда достигаемо в практике из-за сложности объекта исследования. Поэтому решение о целесообразности применения какого-либо метода зависит от конкретной ситуации.

Суммарные затраты на содержание системы на этапах от  $j_n$  до  $j_k$  при обязательном переходе от  $i$ -го варианта системы к  $(i+r)$ -му на этапе  $j_n^{(i,i+r)}$  вычисляются по формуле:

$$C_2(j_n^{(i,i+r)}) = \int_{j_n}^{j_n^{(i,i+r)}} V_2^{(i)} dj + \int_{j_n^{(i,i+r)}}^{j_k} V_2^{(i+r)} dj. \quad (2.18)$$

В этом случае разовые затраты  $C_1$  зависят от стоимости осуществления  $(i+r)$ -го варианта системы на  $j_n^{(i,i+r)}$ -м этапе. Оптимальный этап обязательного перехода от  $i$ -го варианта системы к  $(i+r)$ -му  $j_{n \text{ onm } об}^{(i,i+r)}$  определяется из условия минимума суммарных затрат  $C_\Sigma$  ( $C_\Sigma = C_1 + C_2$ ) на этапах от  $j_n$  до  $j_k$  :

$$C_\Sigma(j_{n \text{ onm } об}^{(i,i+r)}) \rightarrow \min.$$

Поясним термин «оптимальный этап обязательного перехода от  $i$ -го вариан-

та системы к  $(i+r)$ -му» ( $j_{\text{п опт об}}^{(i,i+r)}$ ).

В данном случае «обязательный» означает одиночный переход от  $i$ -го варианта к  $(i+r)$ -му, минуя  $(i+1)$ -й,  $(i+2)$ -й, ...,  $(i+r-1)$ -й варианты. «Оптимальный» – обеспечивающий минимум суммарных затрат. Оптимальные этапы перехода от  $i$ -го варианта системы к  $(i+r)$ -му обеспечивают минимум суммарных затрат, в том числе и через промежуточные  $(i+q)$ -е варианты ( $1 < q < r$ ).

В процессе исследования рассмотрены стратегии усовершенствования с учётом следующих ограничений (требований к процессу усовершенствования):

- усовершенствование системы на заданных этапах не осуществляется ( $i(j) = 0 - const$ );

- последовательные оптимальные обязательные переходы к новым вариантам системы ( $j_{\text{п}}^{(i,i+1)} = j_{\text{п опт об}}^{(i,i+1)}$ );

- последовательные обязательные переходы к новым вариантам системы на начальных этапах их возможного осуществления ( $j_n^{(i,i+1)} = j_n^{(i+1)}$ ).

Для удобства последующих расчетов среди разовых затрат выделены две независимые составляющие:

- разовые затраты на осуществление  $i$ -го варианта на начальном ( $j_n^{(i)}$ -м) этапе ( $C_{11}(i)$ );

- доля разовых затрат на осуществление  $i$ -го варианта через  $k$  этапов после  $j_n^{(i)}$ -го этапа ( $C_{12}(k)$ ,  $k^{(i)} = j - j_n^{(i)}$ ,  $C_{12}(k=0) = 1$ ).

Тогда

$$C_1(i, j) = C_{11}(i) \cdot C_{12}(k^{(i)}), \quad (2.19)$$

где  $C_1(i, j)$  – разовые затраты при осуществлении  $i$ -го варианта системы на  $j$ -м этапе.

Также выделены две независимые составляющие, характеризующие текущие затраты:

- скорость изменения доли текущих затрат в момент  $j_n^{(i)}$  ( $V_{21}(i)$ );

- скорость изменения доли текущих затрат через  $k$  этапов после  $j_n^{(i)}$ -го этапа

$$(V_{22}(k), \kappa^{(i)} = j - j_n^{(i)}, V_{22}(k=0) = 1).$$

По аналогии с (2.19):

$$V_2(i, j) = V_{21}(i) \cdot V_{22}(k^{(i)}). \quad (2.20)$$

Пусть составляющие выражений (2.19) и (2.20) имеют вид:

$$C_{11}(i) = a \cdot e^{-\omega i}, C_{12}(k) = e^{-\tau k}, V_{21}(i) = b \cdot e^{-\beta i}, V_{22}(k) = 1, i = 0, 1, \dots, n. \quad (2.21)$$

Формулы для нахождения этапов оптимальных обязательных переходов получим из условия равенства нулю производной функции суммарных затрат ( $C'_\Sigma(\kappa_{n \text{ опт об}}^{(i,i+1)}) = 0$ ,  $\kappa_{n \text{ опт об}}^{(i,i+1)} = j_{n \text{ опт об}}^{(i,i+1)} - j_n^{(i+1)}$ ), предварительно конкретизировав (2.19) и (2.20) с учетом (2.21):

$$b \cdot e^{-\beta} - b \cdot e^{-\beta(i+1)} - \tau \cdot a \cdot e^{-\omega(i+1)} \cdot e^{-\tau \kappa_{n \text{ опт об}}^{(i,i+1)}} = 0, \quad (2.22)$$

$$e^{-\tau \kappa_{n \text{ опт об}}^{(i,i+1)}} = \frac{b(e^\beta - 1)e^{(\beta - \omega)(i+1)}}{\tau a} = Q_{i,i+1},$$

$$\kappa_{n \text{ опт об}}^{(i,i+1)} = -\frac{1}{\tau} \ln Q_{i,i+1}.$$

Положим  $n = 2$ ,  $m = 16$ ,  $b = 1/m = 0,0625$  (т.е.  $C_2(i=0) = 1$ ),  $\beta = \omega = 0,40547$ ,  $\tau = 0,5$ . Вершины графа для данного примера – на рисунке 2.2 ( $j_n^{(i+1)} = 4 + j_n^{(i)}$ ). Переходы к новым состояниям системы (ребра графа) показаны для  $a = 0,5$ ,  $j_n^{(i,i+1)} = j_{n \text{ опт об}}^{(i,i+1)}$ . Результаты вычислений  $\kappa_{n \text{ опт об}}^{(i,i+1)}$  и затрат  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_\Sigma$  для заданных значений параметра  $a$ , характеризующих разовые затраты, представлены в таблице 2.1. При вычислении затрат  $C_1$  и  $C_2$ , значения  $\kappa_{n \text{ опт об}}^{(i,i+1)}$  округлялись до целых чисел.

Таблица 2.1 – Этапы обязательных оптимальных переходов и затраты при усовершенствовании системы для заданных характеристик разовых затрат

№ п/п	$a$	$j_n^{(i,i+1)} = j_{n \text{ опт об}}^{(i+1)}$				$j_n^{(i,i+1)} = j_n^{(i+1)}$		
		$\kappa_{n \text{ опт об}}^{(i,i+1)}$	$C_1$	$C_2$	$C_\Sigma$	$C_1$	$C_2$	$C_\Sigma$
1	0,0625	0	0,069	0,639	0,708	0,069	0,639	0,708
2	0,5	4,159	0,075	0,778	0,853	0,556	0,639	1,194
3	2,0	6,931	0,067	0,882	0,949	2,222	0,639	2,861
4	4,0	8,318	0,081	0,917	0,998	4,444	0,639	5,083

Получены результаты имитации ситуаций, с которыми можно столкнуться, выбирая стратегию усовершенствования системы.

В первом случае ( $a = 0,0625$ ) целесообразность усовершенствования системы очевидна как с экономической, так и с точки зрения стремления пользователя к построению современной системы. Оптимальные обязательные этапы переходов к новым вариантам системы совпадают с начальными этапами возможного осуществления этих вариантов:  $j_n^{(i,i+1)} = j_n^{(i+1)}$  ( $k_n^{(i,i+1)} \approx 0$ ). Суммарные затраты составляют 70,8 % от затрат на содержание существующей системы ( $i = 0$ ).

Во втором случае ( $a = 0,5$ ) при оптимальных обязательных переходах ( $k_{n \text{ опт об}}^{(i,i+1)} \approx 4$ ) затраты при усовершенствовании системы составляют 85,3% от затрат на содержание существующей системы – в экономическом смысле данная стратегия хороша. Однако переход к оптимальному варианту системы не совпадает с начальным этапом возможного осуществления более современного варианта системы ( $j_n^{(i,i+1)} = j_n^{(i+2)}$ , см. рисунок 2.2) – в данной стратегии заложено техническое отставание. При выборе переходов к новым вариантам системы на начальных этапах возможного осуществления этих вариантов ( $j_n^{(i,i+1)} = j_n^{(i+1)}$ ) затраты увеличиваются в 1,2 раза, по сравнению с затратами на содержание существующей системы. Для окончательного выбора стратегии усовершенствования системы нужны дополнительные аргументы.

В оставшихся случаях (третий и четвертый, соответственно  $a = 2$  и  $a = 4$ ) оптимальные обязательные переходы к новым вариантам системы ( $k_{n \text{ опт об}}^{(i,i+1)} \approx 7$  и  $k_{n \text{ опт об}}^{(i,i+1)} \approx 8$  соответственно) не обеспечивают существенных преимуществ в экономическом смысле – созданы предпосылки ещё большего технического отставания, чем во втором случае. Плата же за получение современной системы высока и превышает расходы на содержание существующей системы соответственно в 2,9 и в 5 раз – выбор приемлемой стратегии усовершенствования системы связан с ещё большими противоречиями.

Из полученных результатов следует, что не исключены такие тенденции развития конкретных ПТС, при которых поиск наилучших стратегий усовершен-

ствования будет осуществляться среди очень нерациональных (в экономическом смысле) вариантов.

Основу многих современных ПТС ТК составляют средства ПЭВМ. Причём существенным фактором, стимулирующим пользователей обновлять (модернизировать) свои средства, является стратегия развития ПТС ПЭВМ, осуществляемая дуополией *Intel* и *Microsoft*, доминирующей на рынке компьютеров. Так, моральное старение шины ISA обусловило замену ПЭВМ и модулей M1081 и M1181E1 [113], применяемых для ввода ТМИ в ПЭВМ и для передачи её по ШКС [152], на адаптированные к появившейся позже шине PCI аналоги M2081 [112] и M2181E1 [114].

При планировании усовершенствования ТС нужно обратить внимание на следующее.

1. Часты факты многократного превышения расходов, первоначально запланированных. Специалисты давно пытались понять причину таких «систематических ошибок». Анализируя работу Госплана СССР, академик Моисеев Н.Н. [116, с.160-166] обратил внимание на постоянные корректировки планов, причём исключительно в сторону их уменьшения. Исследования Питера [135, с.211-214] выявили постоянные сознательные занижения в планах-сметах военных расходов США. Это упрощало процесс принятия планов. А после утверждения бюджета можно было почти беспрепятственно увеличивать траты.

2. Затраты на усовершенствование системы абстрактны без учета возможностей пользователя. Шкала ценности денег для различных предприятий (фирм) неодинаковая.

3. Любой план – лишь инструмент для достижения целей. Эти цели (реальные, а не декларируемые) определяют люди, привнося свою долю субъективизма (сознательно или не ведая о том), при разработке методик оценивания, при подготовке данных для последующих вычислений предстоящих затрат. Планируемые затраты, вычисленные по разным методикам, могут существенно отличаться даже при стремлении создателей этих методик быть объективными. Обычно в реальных условиях точность прогнозируемых затрат и сроков их осуществления невысока, что, тем не менее, не должно обескураживать, т.к. «планирование ... – это не

регламентация частных, а система механизмов, своеобразный автопилот, позволяющий направить ... объективно существующую стихию стремлений и целей в единое русло» [116, с.18].

4. Обычно закономерности изменения цен ассоциируются с понятием «тренд» [197]. Однако возможны существенные колебания цен относительно тренда, характеризующиеся осцилляторами [197]. Если учитывать только устойчивые тенденции изменения цен (тренд), то при принятии решений о приобретении ПТС возможны просчёты. Явления колебания цен на различные товары, курсов валют довольно часты даже в странах с устойчивой экономикой [197], причём разница цен у разных распространителей также весьма существенна [171, 187].

Таким образом, при выборе стратегии усовершенствования ТС, обеспечивающей требуемые технический уровень и материальные затраты, в силу субъективных подходов, неполной информации о перспективах развития ПТС точность прогнозов обычно невысока. Однако предпочтительнее иметь грубые ориентиры, чем вовсе никаких.

#### **2.4 Сущности отношений свойств телеметрической информации и разработанных показателей, характеризующих существенные аспекты ИТО**

Связь между свойствами ТМИ  $W_{Q\_ТМИ}$  и показателями ИТО  $W_{эф\_У\_ус}$  (2.16) в соответствии с четырёхуровневыми оценками стратегий  $U_{прим}$  и  $U_{ус}$  (1.32) иллюстрирует рисунок 2.3. Из него следует, что для обеспечения требуемых свойств ТМИ  $W_{Q\_ТМИ\_i}$  отдельным ПТС  $R_i$  нужно осуществить в нём подходящий метод (или совокупность методов) множества  $Met_{Q\_ТМИ}$  (положим, осуществить метод  $Met_{Q\_ТМИ\_i}$ ,  $Met_{Q\_ТМИ\_i} \in Met_{Q\_ТМИ}$  (1.20)), причём с учётом свойств ТМИ на входе этого ПТС. ПТС  $R_i$  обеспечивает определённую производительность (быстродействие), а его эксплуатация требует определённых материальных затрат (т.е. ПТС  $R_i$  имеет ТЭХ  $W_{ТЭХ\_i}$  (1.32)). Варианты применения ПТС  $R_i$  в составе СИТО связаны с осуществлением множества стратегий  $U_{прим}$  (1.28). Показано (1.14) влияние ПТС  $R_i$  (или совокупности таких ПТС) на состав ТК. При этом если общие показатели  $W_{эф\_У\_ус}$  (2.16), касающиеся качества данных  $Q_{ТМИ\_ан\_р}$ , оперативности и материальных затрат, связанных с решением задач ИТО, окажутся не хуже требуемых  $W_{ТМИ\_ан\_тр}$ ,  $T_{ИТО\_тр}$  и  $C_{ИТО\_тр}$  (см. рису-

нок 2.3), то необходимое условие целесообразности включения ПТС  $R_i$  в состав СИТО выполнено. Другое условие, касающееся  $W_{эф\_Y\_yc}$  (2.16), связано со сроками получения ПТС  $R_i$  и с материальными затратами на его получение, при которых  $T_{yc}(u_{yc}) \leq T_{yc\_тр}$ ,  $C_{yc}(u_{yc}) \leq C_{yc\_тр}$  (со стратегиями  $U_{yc}$  (1.29) (1.30)).

Обычно в практике отношения между свойствами ТМИ и соответствующими им ПТС и методами более сложные, чем рассмотренные выше, касающиеся двух последовательно соединённых устройств, для которых одни и те же сигналы или данные являются выходными для одного устройства и входными для другого (соседнего). Например, методы модуляции, реализованные в РПУ БРТС, существенно влияют на достоверность данных, принимаемых ПРС. Отсюда – необходимость комплексного (системного) подхода к установлению свойств (требуемых характеристик) ТМИ, обеспечиваемых отдельными ПТС и (соответственно) методами множества  $Met_{Q\_ТМИ}$ . Правильность осуществления такого подхода в каждом конкретном случае определяется показателями множества  $W_{эф\_Y\_yc}$  (2.16).

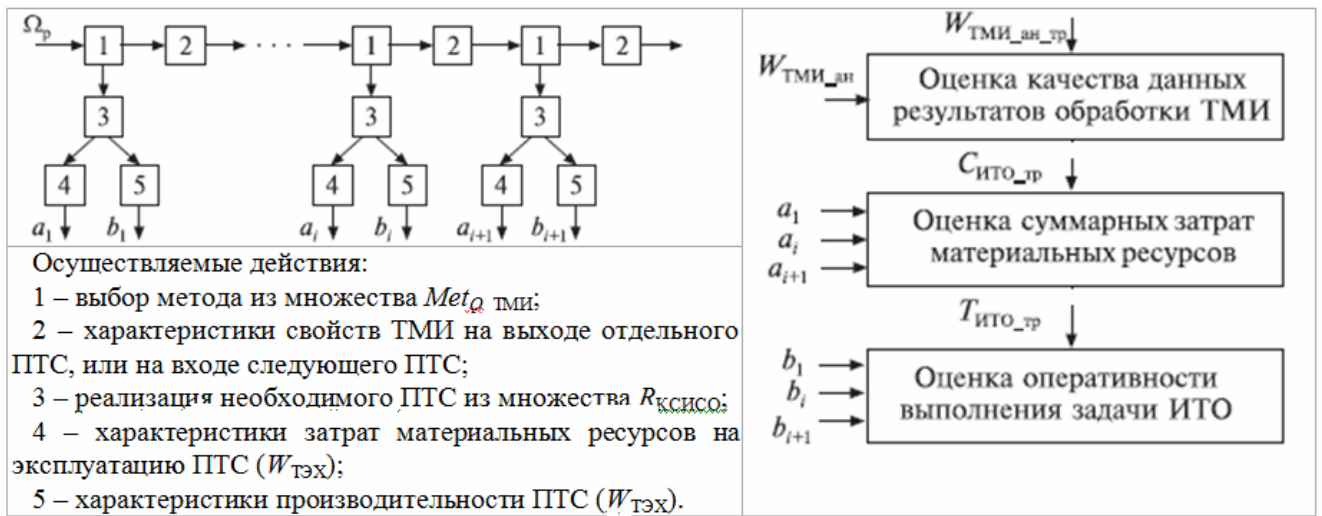


Рисунок 2.3 – Схема усовершенствования ПТС КСИСО ТМИ (выполнение условий  $T_{yc}(u_{yc}) \leq T_{yc\_тр}$ ,  $C_{yc}(u_{yc}) \leq C_{yc\_тр}$  на рисунке не показано)

Для пояснения сущностей отношений свойств (характеристик) ТМИ  $W_{Q\_ТМИ}$  и общих показателей  $\Delta W_{эф\_W\_ан\_Σ}$ ,  $\Delta W_{эф\_C\_прим}$ ,  $\Delta W_{эф\_T\_прим}$  (2.16) характеристики ТМИ условно разделены на следующие три группы:

$$W_{Q\_ТМИ} = \{W_{Q\_ТМИ\_сем}, W_{Q\_ТМИ\_вт}, W_{Q\_ТМИ\_yh}\}, \quad (2.23)$$

где  $W_{Q\_ТМИ\_сем}$  – характеристики семантической составляющей ТМИ, связанные с потерями информации (см. таблицу 1.5 и пояснения к ней);

$W_{Q\_ТМИ\_вт}$  – объёмно-временные характеристики ТМИ;



$W_{Q\_ТМИ\_ун}$  – характеристики ТМИ, связанные с унификацией структур сигналов и данных,

а сами отношения описаны на вербальном уровне (таблица 2.2), причём с краткими пояснениями сущностей соответствующих стратегий множества  $U_{прим}$ .

Из таблицы 2.2 следует, что характеристики каждой из групп  $W_{Q\_ТМИ\_сем}$ ,  $W_{Q\_ТМИ\_VT}$  и  $W_{Q\_ТМИ\_ун}$  (2.23) в той или иной степени влияют на отдельную компоненту множества показателей  $\Delta W_{эф\_W\_ан\_Σ}$ ,  $\Delta W_{эф\_C\_прим}$ ,  $\Delta W_{эф\_T\_прим}$  (2.16). Причём степень этого влияния (и плата за его обеспечение) в значительной мере зависит от сущностей стратегий  $U_{прим}$  (1.28) и  $U_{ус}$  (1.29).

Таблица 2.2 – Сущности отношений  
общих показателей  $\Delta W_{эф\_W\_ан\_Σ}$ ,  $\Delta W_{эф\_C\_прим}$ ,  $\Delta W_{эф\_T\_прим}$  и  
улучшенных характеристик качества ТМИ  $W_{Q\_ТМИ\_сем}$ ,  $W_{Q\_ТМИ\_VT}$  и  $W_{Q\_ТМИ\_ун}$

$W_{Q\_ТМИ}$	$\Delta W_{эф\_W\_ан\_Σ}$	$\Delta W_{эф\_T\_прим}$	$\Delta W_{эф\_C\_прим}$
$W_{Q\_ТМИ\_сем}$	<p>1. Использование ПТС <math>R_{от}</math>. Уменьшение потерь ТМИ на телеметрируемом объекте (в частности, потерь из-за неопределённости поведения ТМП) и создание благоприятных условий (например, применением методов модуляции, помехоустойчивого кодирования; формированием ТМИ с заданными свойствами, необходимыми для осуществления результативного разнесённого приёма) для работы ПТС ТК по улучшению достоверности ТМИ.</p> <p>2. Использование ПТС <math>R_{ТК}</math>. Улучшение качества принятой (принимаемой) ТМИ применением рациональных методов приёма ТМИ (в частности, методов разнесённого приёма, методов восстановления искажённых сигналов и данных).</p> <p>3. Комплексирование ПТС <math>R_{от}</math> и <math>R_{ТК}</math>. Уменьшение потерь ТМИ в каналах «борт-Земля» путём управляемого разнесённого приёма ТМИ.</p>	<p>Повышение оперативности выполнения задач ИТО путём сокращения количества циклов обработки ТМИ вследствие повышения уровня достоверности данных телеизмерений.</p>	<p>Создание благоприятных условий для сокращения объёма ПТС ТК, других дорогостоящих ПТС и численности соответствующих задач по улучшению качества ТМИ. Например, уменьшение количества ПРС в составе ТК путём осуществления управляемого разнесённого приёма ТМИ, обеспечиваемого комплексированием БРТС и ПТС ТК.</p>
$W_{Q\_ТМИ\_VT}$	<p>1. Использование ПТС <math>R_{от}</math>. Уменьшение потерь информации в каналах «борт-Земля» путём компактного представления ТМИ в БРТС и последующего улучшения энергетических характеристик каналов «борт-Земля» увеличением времени передачи одного символа.</p>	<p>Создание благоприятных условий для повышения оперативности решения задач ИТО (прежде всего задач сбора ТМИ и ФОМДТ) путём компактного представления ТМИ в БРТС, а также путём существенного уменьшения объёма ТМИ на входе ПТС ТК (например, осу-</p>	<p>1. Использование ПТС <math>R_{от}</math>. Создание благоприятных условий для сокращения материальных затрат (особенно на развитие и поддержание ТК) путём компактного представления ТМИ в БРТС, обеспечивающего уменьшение количества комплектов БРТС, размещаемых на</p>

	<p>2. Использование ПТС <math>R_{TK}</math>. Наиболее полная реализация возможностей улучшения достоверности обобщённых данных путём рационального выбора каналов разнесения (рационального выбора ПРС для взаимного дублирования). Соответственно, рациональным выбором каналов разнесения обеспечивается рациональный объём ТМИ на входе ПТС ТК.</p> <p>3. Комплексование ПТС <math>R_{OT}</math> и <math>R_{TK}</math>. Существенное улучшение достоверности путём осуществления управляемого разнесённого приёма ТМИ (требуемая достоверность обобщённых данных в обеспечивается минимальным объёмом повторно переданной ТМИ на вход ПТС ТК).</p>	<p>существенным управляемого разнесённого приёма ТМИ). Существенное сокращение объёма данных телеизмерений позволяет существенно сократить время на действия над ними.</p>	<p>телеметрируемом объекте, и, соответственно, существенное сокращение количества ПРС ТК, необходимых для разнесения ТМИ в пространстве.</p> <p>2. Комплексование ПТС <math>R_{OT}</math> и <math>R_{TK}</math>. Создание благоприятных условий для сокращения материальных затрат (прежде всего на развитие и поддержание ТК) путём уменьшения объёма ТМИ для ФОМДТ. Например, при осуществлении управляемого разнесённого приёма ТМИ. Прежде всего, сокращается количество задействуемых ПРС, пропорционально уменьшаются материальные затраты.</p>
$W_{Q\_TMI\_ун}$	<p>Уменьшение потерь информации путём реализации новых (выбранных в качестве стандартных, обеспечивающих, например, высокую помехоустойчивость) методов действий над ТМИ, формирования соответствующих (унифицированных) структур ТМИ.</p>	<p>Повышение оперативности решения задач ИТО путём автоматизации процессов сбора и обработки ТМИ, необходимые условия осуществления которой создаются формированием унифицированных структур ТМИ (типа пакетов, сегментов, фреймов передачи CCSDS).</p>	<p>Уменьшение материальных затрат на решение задач ИТО сокращением доли ручных операций (автоматизацией). Кроме того, использование стандартных (унифицированных) методов действий над ТМИ, структур ТМИ и соответствующих им ПТС создаёт благоприятные условия адаптации существующих СИТО к изменяющимся задачам ИТО.</p>

Принятые ограничения позволяют конкретизировать вышеупомянутые отношения.

Так, исходя из состава задач ИТО  $Z_{ИТО\_иссл}$  (1.11), для исследуемой СИТО сигналы  $Q_{TMI\_пп}$  являются входными, а данные  $Q_{TMI\_ом}$  – выходными (см. рисунок 1.13). Тогда показатели  $\Delta W_{эф\_W\_ан\_Σ}$  (2.16) должны быть получены оцениванием данных  $Q_{TMI\_ом}$ , причём (в условиях установленных структур этих данных и с точки зрения решаемой проблемы) они связаны прежде всего с семантической составляющей  $W_{Q\_TMI\_сем}$  (2.23) данных  $Q_{TMI\_ом}$ , характеризующей потери информации (см. таблицу 1.5) вследствие влияния неопределённых факторов  $\Lambda_{иссл}$  (1.31). Для такого оценивания необходимы критерии, методики типа соответствующих формульному выражению (1.13).

Представленные пояснения, касающиеся характеристик ТМИ, направлены на систематизацию атрибутов, связанных с построением и оцениванием стратегий

$U_{ус}$  и  $U_{прим}$ . Их актуальность проявляется, например, на фоне показанных характеристик  $W_{Q\_ТМИ\_ан\_р}$  (1.12).

В значительной мере свойства  $Q_{ТМИ}$  (характеристики  $W_{Q\_ТМИ}$ ) и, соответственно, показатели  $\Delta W_{эф\_W\_ан\_Σ}$ ,  $\Delta W_{эф\_C\_прим}$ ,  $\Delta W_{эф\_T\_прим}$  обеспечиваются свойствами выбранных методов множества  $Met_{Q\_ТМИ}$  (1.38), их возможностями купировать влияние неопределённых факторов  $\Lambda_{иссл}$  (1.31). Отсюда – актуальность правил комплексования методов  $Met_{Q\_ТМИ}$  (1.20) и связанных с ними стратифицированных объектов (см. разд. 1.2), направленных на конкретизацию стратегий  $U_{прим\_исх}$  и последующий выбор рациональных стратегий  $U_{прим\_рац}$  ( $U_{прим\_рац} \subset U_{прим\_исх}$ , см. таблицу 1.10). Необходимо развитие существующего подхода к интеграции ПТС ИТО в единый комплекс.

## Выводы по главе 2

1. Целью развития СИТО является улучшение ИТО. Операция усовершенствования СИТО характеризуется полезным эффектом от усовершенствования, заключающимся в улучшении результата от применения усовершенствованной СИТО, материальными затратами на усовершенствование и оперативностью процесса усовершенствования. В свою очередь, улучшение результата от применения СИТО характеризуется уменьшением потерь ТМИ, сокращением материальных затрат на применение усовершенствованных ПТС СИТО, повышением оперативности решения задач ИТО. Необходимым условием принятия стратегии усовершенствования является *существенное* улучшение результата от применения усовершенствованной СИТО.

2. Научно-методическое обеспечение процесса усовершенствования СИТО должно создаваться для конкретного ЛПР. Поэтому изначально должны приниматься потенциальные издержки, связанные с его субъективным подходом. Из-за неопределённости (целевой, поведенческой и «природной») исход усовершенствования в какой-то мере случаен. Причём имеют место тенденции роста неопределённости факторов, влияющих на процесс развития СИТО. В этих условиях планируемые сроки усовершенствования СИТО не должны быть большими, предварительные исследования не должны быть трудоёмкими, а сроки их проведения

– растянутыми. От замысла до практического осуществления стратегии усовершенствования СИТО должно быть не более двух лет.

3. Результаты внедрения новой информационной техники в условиях действия неопределённых факторов проявляются не только на уровне технологии, но и на других уровнях. Чтобы их учесть на уровне технологии, (в частности, моральные, эстетические и другие аспекты) при прогнозировании ожидаемых показателей эффективности нужно делать «поправку» на неопределённость. Чем больше неопределённость, тем больше «поправка». Худшие ожидаемые показатели эффективности процесса усовершенствования не должны быть хуже требуемых. Социально-психологическая компонента при усовершенствовании ПТС и ИТ является дополнительной к суммарному полезному эффекту. Её следует воспринимать как «систематическую» ошибку.

4. Разница в подходах к усовершенствованию ПТС и ИТ значительна. Предпочтения ЛПР и других участников операции усовершенствования ПТС и ИТ могут не совпадать. Для понимания (даже коллегами) некоторых аспектов предложенного научно-методического аппарата порой проходит много времени. В этих условиях необходим механизм критического осмысления различных точек зрения и поэтапное согласование позиций с целью выбора удовлетворяющей ЛПР стратегии усовершенствования. Для упрощения процесса согласования необходимы понятный ЛПР научно-методический аппарат и (или) его доверие к экспертам и разработчикам стратегий усовершенствования ПТС и ИТ.

5. Экономические показатели являются важной компонентой, характеризующей эффективность процесса усовершенствования ТС. При оптимальной модернизации по экономическим показателям суммарные материальные затраты на усовершенствование и содержание усовершенствованной ТС минимальны. Однако при принятии стратегии оптимальной модернизации возможно технологическое отставание. Не исключён поиск наилучших стратегий усовершенствования среди очень нерациональных (в экономическом смысле) вариантов. В силу субъективных подходов, неполной информации о перспективах развития ПТС и ИТ

точность прогнозируемых технико-экономических характеристик обычно невысока. Однако предпочтительнее иметь грубые ориентиры, чем вовсе никаких.

6. Общие показатели ИТО (разработанные показатели, характеризующие существенные аспекты ИТО) зависят от совокупности свойств ТМИ, обеспечиваемой отдельными ПТС из состава КСИСО (ТК). Требуемые свойства (характеристики) ТМИ обеспечивают осуществлением стратегий усовершенствования и применения СИТО с целью сокращения потерь информации в условиях влияния неопределённых факторов разной природы. В зависимости от стратегий отвлекаются определённые материальные и временные затраты (ресурсы). Ценность той или иной характеристики ТМИ определяется её влиянием на общие показатели ИТО. При этом одинаковые общие показатели ИТО могут быть получены осуществлением разных стратегий. Отсюда – актуальность комплексного подхода к построению стратегий усовершенствования и применения СИТО, в основе которого развитый подход к интеграции ПТС ИТО в единый комплекс.

### ГЛАВА 3. ОСНОВЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ МЕТОДОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ УПРАВЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ ДАННЫХ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЙ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ ПРИМЕНЕНИЯ СИТО

#### **3.1 Основы комплексирования методов противодействия неопределённым факторам, влияющим непосредственно на ТМИ**

Комплексирование методов непосредственных действий над ТМИ связано с управлением избыточностью данных телеизмерений и направлено на сокращение потерь ТМИ при решении задач ИТО и на обеспечение инвариантности ТК (неизменности ПТС ТК) к изменяющимся задачам ИТО, которая (в свою очередь) обеспечивается путём минимизации количества ПТС ТК и унификации и стандартизации элементов СИТО. Минимизация количества ПТС ТК обеспечивается путём ограничения скорости передачи ТМИ с выходов БРТС, по отдельным каналам разнесения «борт-Земля», а также путём уменьшения количества каналов разнесения. При этом должны выполняться требования к качеству данных  $Q_{\text{ТМИ}_{ан,р}}$  для анализа (прежде всего к качеству её семантической составляющей).

##### **3.1.1 Общие подходы к комплексированию методов компактного представления ТМИ**

Обычно употребляемый термин «сжатие данных» [129] определён, но не всегда достаточно полно характеризует сущности имеющих отношение к настоящей работе методов множества  $Met_{Q_{\text{ТМИ}}}$ . С компактным представлением ТМИ (а не «сжатием данных» по обычной [103, 129] терминологии) связаны преобразования первичных сигналов [40], рациональное (максимальное) заполнение структур телеметрических слов и блоков данных данными, содержащими информацию. Следовательно, сжатие данных является частным случаем компактного представления ТМИ.

Далее в зависимости от контекста (от уместности) применяются термины как «сжатие данных», так и «компактное представление ТМИ».

Компактным представлением ТМИ создаются предпосылки для улучшения характеристик  $W_{Q_{\text{ТМИ}}_{\text{VT}}}$  (2.23) и в итоге – для улучшения СИТО (2.16). Оно наиболее актуально при передаче ТМИ по ШКС, особенно по каналам «борт-Земля». Применяемые в основном БРТС с традиционным ВРК создают большую избыточность телеизмерений, порождая про-

блемы, связанные с приёмом-регистрацией, передачей и обработкой значительных объёмов данных (см. рисунки 1.14 и 1.15 и пояснения к ним).

Значительная избыточность связана с использованием аналоговых методов передачи ТМИ БМП по каналам «борт-Земля» (основу БМП составляют вибрационные параметры). Вследствие совмещения аналоговых и цифровых методов передачи ТМИ данные, формируемые ПРС, в значительной мере избыточны (например, данные кадра структуры С4, формируемые ПРС типа БРС-4) [27]. При этом из-за аналоговых методов велика помеховая составляющая [24] (см. рисунок Б.7 и пояснения к нему).

В настоящее время имеет место устойчивая тенденция перехода на цифровые сигналы для передачи ТМИ БМП по каналам «борт-Земля». Она обусловлена особенностями мирового развития телеметрии [125, 208, 213, 217 и др.], возросшими возможностями отечественных предприятий-производителей телеметрических средств вследствие повышения их технологического уровня. При этом перспективы передачи ТМИ БМП связывают с увеличением скорости поступления данных с выхода БИТС. Появление модифицированной БИТС «Орбита» [6] в 2000 году со скоростью передачи данных до 3,14 Мбит/с отмечено [138] как начало перехода к передаче ТМИ БМП по цифровым радиолиниям.

Возникает дилемма: обеспечивать большую пропускную способность ШКС или решать проблему интеллектуализации БИТС (предполагающую компактное представление ТМИ, прежде всего, ТМИ БМП).

Первые теоретические работы по сжатию данных появились более 70 лет назад [136]. Однако в отечественной телеметрии перспективы применения методов сжатия данных вряд ли можно считать хорошими. Если тенденции сохранятся, то можно с большой долей уверенности полагать, что возможности обработки данных в БИТС «по заданным пользователями алгоритмам» [84], заложенные разработчиками БИТС, чаще всего будут оставаться невостребованными. Для изменений к лучшему необходим комплекс организационно-технических мер, плохо сочетающийся с существующим подходом к развитию СИТО.

До середины 80-х годов 20-го века акценты были смещены на обеспечение сжатия данных в условиях жёстких ограничений ёмкости памяти БЗУ [103, 129].

Теперь таких ограничений практически нет. Причём обнаружена [136] закономерность: возможности увеличения коэффициента сжатия данных существенно зависят от объёма сжимаемых данных (чем больше их объём, тем благоприятнее условия для повышения коэффициента сжатия).

В то же время, одна из основных причин не востребоваемости многих разработок, связанных с обработкой ТМИ в БИТС (включая сжатие данных телеизмерений), – устоявшееся мнение авторитетных специалистов о возможных потерях информации из-за задержки данных телеизмерений в БИТС при возникновении полётной аварии. Однако результаты исследований [61] показали, что существуют большие возможности спасения ТМИ, накопленной на телеметрируемом объекте.

Но дело не только в этом.

Значительное повышение коэффициента сжатия данных ( $K_{сж}$ ) связано с индивидуальным подходом к телеметрируемым параметрам [1, 103, 129 и др.]. Однако известно [129], что при таком подходе  $K_{сж}$  существенно зависит от сочетаемости поведения первичного сигнала и выбранного алгоритма сжатия. Возникает дополнительная задача классификации телеметрируемых параметров и подбора эффективных алгоритмов сжатия, причём при осложняющем её решении изменении первичных сигналов: в соответствии со штатной циклограммой работы бортовых систем, в нештатных ситуациях, под действием дестабилизирующих факторов, «размывающих» уровни первичных сигналов. Если сжатие осуществляется в наземных средствах, то к относительно трудоёмкой процедуре выделения данных отдельных телеметрируемых параметров (так называемой «декоммутации») добавляются осложняющие обстоятельства, связанные с помехами в каналах «борт-Земля».

Выход из этой ситуации (относительно универсальный метод сжатия данных) отчасти найден. Суть его заключается в переборе фактически нескольких алгоритмов сжатия данных и последующем выборе алгоритма, обеспечивающего максимальный  $K_{сж}$  [206] (при этом не учитываются особенности семантической составляющей подвергаемых сжатию данных).

Несложные расчеты показывают, что при  $K_{сж} = 1$  даже для небольшой доли данных существенно ухудшаются оценки общего коэффициента сжатия  $K_{сж\_об}$ :



$$K_{сж\_об} = \frac{V_{об}}{\frac{V_1}{K_{сж\_1}} + \frac{V_2}{K_{сж\_2}}}, \quad V_{об} = V_1 + V_2, \quad (3.1)$$

где  $V_1$  ( $V_2$ ) – объём несжатых данных первой (второй) группы телеметрируемых параметров (например, количество слов установленного размера);

$K_{сж\_1}$  ( $K_{сж\_2}$ ) – коэффициент сжатия данных первой (второй) группы.

Если, например,  $V_{об} = 100$ ,  $K_{сж\_1} = 1$ , то с ростом объёма данных  $V_1$  наблюдается стремительное падение значений  $K_{сж\_об}$  (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Пример зависимости  $K_{сж\_об}$  от доли данных, для которых  $K_{сж\_1} = 1$

$K_{сж\_2}$	$K_{сж\_об}$ при $V_1 =$						
	1	2	10	20	30	40	50
10	9,2	8,5	5,3	3,6	2,7	2,2	1,8
100	50,3	33,6	9,2	4,8	3,3	2,5	2,0

Обычно стремление обеспечить максимальный  $K_{сж}$  имеет место в случае сжатия данных как самостоятельной задачи [130 § 2.1]. Ситуация существенно меняется, если обосновывать требования к  $K_{сж}$ , исходя из требований к ИТО; появляется возможность существенного смягчения требований к  $K_{сж}$  [39].

Замечено [169, 170], что плата за большой коэффициент сжатия ( $K_{сж\_больш}$ ) может быть неприемлемо высокой, а при этом для удовлетворения требований к ИТО подойдет и гораздо меньший коэффициент  $K_{сж\_дон}$  ( $K_{сж\_дон} \ll K_{сж\_больш}$ ). Поэтому повышение коэффициента сжатия не является самоцелью. Если, например, пропускная способность ШКС равна 240 кБайт/с, несжатые данные формируются со скоростью 300 кБайт/с, а  $K_{сж} = 1,5$ , то скорость ввода в ШКС сжатых данных составит 200 кБайт/с, а  $K_{сж\_дон} = 300 : 240 = 1,25$  (увеличивать коэффициент сжатия не имеет смысла).

Следовательно, если рост значений  $K_{сж}$  связан с какими-либо дополнительными издержками (например, с увеличением материальных затрат), то по достижении  $K_{сж} \geq K_{сж\_дон}$  его дальнейшее увеличение нецелесообразно, причём значение  $K_{сж\_дон}$  может быть относительно малым.

Следует отметить ещё одну особенность, связанную с коэффициентом сжатия.

Применением последовательно к сигналам (данным)  $Q_{\text{ТМИ}_i}$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) различных методов компактного представления ТМИ  $Met_{Q_{\text{ТМИ}_комп}}$  ( $Met_{Q_{\text{ТМИ}_комп}} \subset Met_{Q_{\text{ТМИ}}}$  (1.20)), обеспечивающих относительно малые значения  $K_{сж_i}$  в отдельности, общий коэффициент сжатия  $K_{сж_об}$  может существенно увеличиться ( $K_{сж_об} = K_{сж_1} \times K_{сж_2} \times \dots \times K_{сж_N}$ , пусть для простоты  $K_{сж_1} = K_{сж_2} = \dots = K_{сж_N}$ ). Возможны ситуации, когда  $K_{сж_i} < K_{сж_дон}$ , но  $K_{сж_об} > K_{сж_дон}$ . Если, например,  $K_{сж_i} = 1,5$ ,  $N = 2$ , то  $K_{сж_об} = 2,25$ ; если  $K_{сж_i} = 1,8$ ,  $N = 2$ , то  $K_{сж_об} = 3,24$ . Видим, что даже при незначительном росте значений  $K_{сж_i}$  значение  $K_{сж_об}$  увеличивается существенно. Ещё больше возрастают значения  $K_{сж_об}$  при увеличении количества применённых методов  $Met_{Q_{\text{ТМИ}_комп}}$  (при увеличении  $N$ ). Например, если  $K_{сж_i} = 1,5$ ,  $N = 3$ , то  $K_{сж_об} = 3,375$ ; если  $K_{сж_i} = 1,8$ ,  $N = 3$ , то  $K_{сж_об} = 5,832$ .

При комплексировании методов  $Met_{Q_{\text{ТМИ}_комп}}$  компактного представления ТМИ необходимо учитывать ограничения  $L_{U_{прим_исх}}$  (см. таблицу 1.10), с которыми связано их осуществление. Ценность каждого метода множества  $Met_{Q_{\text{ТМИ}_комп}}$  (как и других методов  $Met_{Q_{\text{ТМИ}}}$ ) определяется его влиянием на общие показатели СИТО (2.16). Реализация методов  $Met_{Q_{\text{ТМИ}_комп}}$  (особенно для ТМИ БМП) наиболее актуальна в месте зарождения ТМИ (в БИТС). Большие возможности уменьшения объёмов ТМИ СИТО связаны с уменьшением количества каналов разнесения (количества ПРС), обеспечиваемого путём управляемого разнесённого приёма ТМИ [53].

### **3.1.2 Общие подходы к выбору методов сокращения потерь ТМИ в отдельном канале «борт-Земля»**

Рассмотренные ниже общие подходы не касаются каких-либо аспектов, относящихся к сокращению потерь информации применением каналов с обратной связью или методами разнесённого приёма ТМИ. Они также не касаются методов  $Met_{Q_{\text{ТМИ}_измер}}$  и, соответственно, ограничений  $L_{U_{прим_исх_1}}$ ,  $L_{U_{прим_исх_2}}$  и т.д. (см. таблицу 1.10) и связаны с выбором методов  $Met_{Q_{\text{ТМИ}_преоб}}$  (1.20), относящимся к наиболее актуальным задачам ИТО (см. рисунок 1.13 и пояснения к нему). Их сущности таковы:

- разработка методов  $Met_{Q_{ТМИ\_Л\_ТМП}}$  преобразования первичных сигналов  $Q_{ТМИ\_ПП}$  в данные  $Q_{ТМИ\_КП}$ , обеспечивающих существенное уменьшение потерь информации из-за неопределённости  $\Lambda_{ТМП}$  поведения ТМП (см. ограничения  $L_{U\_прим\_исх\_5}$ );

- обоснование форматов телеметрических слов  $Q_{ТМИ\_ТС}$  и блоков данных  $Q_{ТМИ\_БД}$ , разработка технологии их формирования и технологии кодопреобразования принятых наземными средствами ТК блоков  $Q_{ТМИ\_БД}$  и слов  $Q_{ТМИ\_ТС}$ ;

- действия над ТМИ, структуры (форматы) сигналов и данных для реализации в  $R_{БРТС}$  БРТС с целью противодействия неопределённым факторам  $\Lambda_{ном}$ , представленные в документах CCSDS и обеспечивающие существенное улучшение помехоустойчивости:

а) методы действий над блоками данных  $Q_{ТМИ\_БД}$ , содержащих ТМИ [220]:

1) добавление (необязательное) контрольных данных в соответствии с выбранным методом помехоустойчивого кодирования (метод Рида-Соломона, турбокодирование, LDPC-кодирование);

2) рандомизация с целью улучшения качества синхронизации блоков данных (она не всегда требуется, см. [213, рек. 2.3.2А; 220, рек. 2.3.2А, п. 4]);

3) добавление прикрепляемого маркера синхронизации, обеспечивающего требуемую надёжность синхронизации блоков данных;

б) групповой сигнал  $Q_{ТМИ\_ГС\_прд}$  (см. рисунок 1.3), формируемый на передающей стороне (сформулировано следующее требование, связанное с устранением фазовой неопределённости [213, рек. 2.4.2]: в схемах модуляции подавленной несущей выбирать формат NRZ-M в случае, если синхромаркеры не применяются, и выбирать в формат NRZ-L, если синхромаркеры применяются, как это рекомендовано в [213, рек. 2.4.11]);

в) групповой сигнал  $Q_{ТМИ\_гр\_прд\_обр}$  обработанный:

1) свёрточное кодирование (необязательное);

2) предварительная обработка модулирующего сигнала с целью противодействия неопределённым факторам  $\Lambda_{ном\_4}$ , направленная на ограничение излучаемой РПУ мощности путём использованием сигналов с расширением спектра методом прямой последовательности (Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS) [202] (применяется в случае необходимости);

3) предварительная обработка модулирующего сигнала с целью противодействия неопределённым факторам  $\Lambda_{ном_3}$  ограничением мощности побочного излучения (например, при реализации метода GMSK-модуляции [199] выполняют предварительные логические преобразования модулирующего сигнала, его последующую фильтрацию с использованием Гауссовского фильтра и лишь затем, собственно, осуществляют модуляцию, т.е. фазовую манипуляцию);

г) методы модуляции, сигналы  $Q_{ТМИ\_мод}$  на выходе модулятора и сигналы  $Q_f$  несущих частот. В случае подавления несущей (а не остаточной несущей!) предпочтительны фильтрованная модуляция OQPSK или модуляция GMSK [213, рек. 2.3.2А];

д) сигналы  $Q_{ТМИ\_мод\_обр}$ :

1) подавление одной из боковых полос сигнала  $Q_{ТМИ\_мод}$ ;

2) устранение внеполосных излучений (противодействие неопределённым факторам  $\Lambda_{ном_3}$ ) методом фильтрации.

Некоторые пояснения, касающиеся рассмотренного выше противодействия неопределённым факторам  $\Lambda_{ном}$ , осуществляемого БРТС.

1. С энергетической точки зрения лучше, если в спектре сигнала на выходе модулятора несущая полностью подавлена (т.е. отсутствует). Однако многие Космические Агентства ещё имеют наземные станции с ФАПЧ, для нормальной работы которой требуется несущая частота в спектре принимаемого радиосигнала (остаточная несущая). Поэтому агентствам CCSDS рекомендуется выбирать коэффициенты модуляции такими, чтобы уменьшение мощности несущей относительно полной мощности немодулированной несущей не превышало 10 дБ (см. [213, рек. 2.1.6]).

2. Для обеспечения требуемой ЭМС (для результативного противодействия неопределённым факторам  $\Lambda_{ном_3}$  и  $\Lambda_{ном_4}$ ) в рекомендациях CCSDS предусмотрены следующие меры: ограничение мощности побочного излучения (противодействие  $\Lambda_{ном_3}$ ) и установление допустимой плотности потока мощности на поверхности Земли (противодействие  $\Lambda_{ном_4}$ ). Заметим в этой связи:

а) для результативного противодействия  $\Lambda_{ном_4}$  существуют следующие возможности:

1) методы кодирования канала типа каскадных кодов CCSDS могут уменьшать спектральную плотность мощности более, чем на 10 дБ при понижении восприимчивости к помехам [213, рек. 3.6.1А, п. b];

2) обеспечения допустимой плотности потока мощности на поверхности Земли конструктивными методами  $Met_{U_{yc}R_*}_{констр}$  (изменение мощности РПУ, диаграммы направленности передающей бортовой антенны и т.д.) (см. ограничения  $L_{U_{прим}usc}_{10}$ ); и т.д.;

б) для результативного противодействия  $\Lambda_{ном_3}$  необходимо выполнить следующие требования:

1) асимметрия символа не должна превышать 0,2% (в рекомендации представлено описание сущностей параметра «Асимметрия символа») [213, рек. 2.4.8];

2) неустойчивость фазы модулятора не должна превышать 5 градусов и неустойчивость амплитуды не должна превышать 0,5 дБ [213, рек. 2.4.12А];

3) выбор оптимальных коэффициентов модуляции (см. [213, рек. 4.1.1]), причём в условиях совмещения задач (одновременно выполняются операции по измерению дальности, передаче телекоманд и телеметрии [202, 211, 212]); и т.д.

3. Большие возможности создания благоприятных условий для противодействия неопределённым факторам  $\Lambda_{ном_1}$  связаны с компактным представлением ТМИ (см. ограничения  $L_{U_{прим}usc}_7$ , см. разд. 3.1.1).

Таким образом, существуют большие и вполне определённые возможности сокращения потерь ТМИ в отдельном канале «борт-Земля». Однако необходимы правила комплексирования элементов СИТО (прежде всего методов  $Met_{Q_{ТМИ}}$  (1.20) действий над ТМИ). Даже хорошо систематизированные рекомендации CCSDS, связанные с противодействием помехам (неопределённым факторам  $\Lambda_{ном}$ ), требуют значительных (и неочевидных) усилий по их адаптивному к отечественной практической телеметрии, относящейся к средствам выведения.

### **3.1.3 Обоснование требований к алгоритмам получения обобщённых данных на основе анализа возможностей теории разнесённого приёма по улучшению качества ТМИ**

Дополнительные возможности сокращения потерь информации из-за помех в каналах «борт-Земля» связаны с разнесённым приёмом ТМИ (с ФОМДТ).

Применение научно-методического аппарата, касающегося разнесённого приёма сигналов [3, 16, 82, 107-109, 141, 158, 175-182, 189-191], предполагает конкретизацию:

- параметров сигналов, передаваемых по каналам разнесения;
- характеристик помех в каналах разнесения;
- показателей верности [103, с.79].

Существующие теоретические разработки связаны в основном с получением аналоговых реализаций суммарного сигнала. (Исключение составляют несовершенные автовыбор [78], мажорирование [182, гл.6] и некоторые их модификации [194, с.21], при осуществлении которых используются данные каналов разнесения, выделенные из аналоговых реализаций цифровых сигналов.) Аналоговый суммарный сигнал, несущий информацию о ТМП, подвержен влиянию помех каналов разнесения, проявляющемуся в результатах последующей обработки. Это влияние может быть оценено численными показателями верности [103, с.79]. Причём результаты сравнительной оценки таких показателей верности, полученные различными методами, зачастую не позволяют сделать однозначные выводы о преимуществах того или иного метода разнесённого приёма, что обусловлено их зависимостью от различных факторов [25]:

- от неопределённости помеховой обстановки (произвольные помехи);
- от выбранных показателей верности;
- от свойств первичных сигналов (сигналов на выходах датчиков);
- от вида характеристик, получаемых в результате обработки ТМИ;
- от исходных данных, используемых для получения результатов обработки.

Обосновано [25], что практически невозможно прогнозировать влияние помех, содержащихся в аналоговом суммарном сигнале, на результаты его последующей обработки, а, значит, невозможно и сформулировать требования к алгоритмам получения суммарного сигнала. Получено экспериментальное подтверждение справедливости этого утверждения (см. рисунки Б.30 ÷ Б.34 и пояснения к ним). Обосновано [25] также, что наиболее эффективный разнесённый приём связан с полным переходом на цифровые способы передачи ТМИ по каналам «борт-Земля» [23, 24, 29]. Средства обработки цифровых сигналов широко применяются, как наиболее эффективные средства [110, 174].

Существующая теория разнесённого приёма сигналов исходит из слабой зависимости помех в каналах разнесения, их стационарности. В условиях лётных испытаний (на активном участке траектории полета РН, при входе ББ в плотные слои атмосферы) одной из основных причин возникновения помех является образование плотной, неоднородной и нестационарной (турбулентной) плазмы [196, гл.7]. Источник помех при этом как бы совмещается с источником передачи информации, возникает сильная зависимость и нестационарность помех в каналах разнесения, что подтверждают экспериментальные исследования.

При анализе различных методов разнесённого приёма в рамках существующего научно-методического аппарата обычно полагают помеховую обстановку неизменной, что не соответствует реальным условиям при пуске РКН. Возникает необходимость установления связи между общим показателем достоверности и частными показателями [68; 184, с.110-111], соответствующими различным условиям помеховой обстановки. Во время лётных испытаний она изменяется в широких пределах (имеют место произвольные помехи), что не позволяет показать очевидное преимущество какого-либо одного метода.

В зависимости от наличия априорной определённости параметров, используемых для получения суммарного сигнала, в методах разнесённого приёма может быть реализован детерминированный или стохастический подход.

При детерминированном подходе зависимость

$$z_{\Sigma} = f_{\delta}(z_1, z_2, \dots, z_n) , \quad (3.2)$$

где  $z_1, z_2, \dots, z_n$  – реализации сигналов в первом, втором, ... $n$ -м каналах разнесения;

$z_{\Sigma}$  – реализация суммарного сигнала,

является функциональной (т.е. значениям  $z_1, z_2, \dots, z_n$  соответствует вполне определённое значение  $z_{\Sigma}$ ).

Примером детерминированного подхода может быть метод усреднения:

$$z_{\Sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i . \quad (3.3)$$

Другой пример – дискретное сложение (мажорирование) данных [182], получаемых путём преобразования разнесённых цифровых сигналов. Обычно при детерминированном

подходе обеспечивается высокая результативность при некоторых априорно известных условиях действия помех в каналах разнесения.

При стохастическом подходе зависимость  $z_1, z_2, \dots, z_n$  и  $z_\Sigma$  описывается стохастической функцией, для вычисления значений которой используют статистические данные, содержащие информацию о реальной помеховой обстановке (т.е. осуществляется адаптация к условиям помеховой обстановки). Простейшим примером осуществления стохастического подхода является автовыбор [78].

С точки зрения обеспечения максимальной полноты информации о характере действия помех на сигналы наиболее предпочтительна многомерная функция правдоподобия

$$L(z_\Sigma) = p_z(z_1, z_2, \dots, z_n | z_\Sigma) \quad (3.4)$$

аналогичная используемой в методе максимального правдоподобия (см. [150, с. 117-131]). Задача состоит в нахождении такого значения реализации суммарного сигнала  $z_\Sigma^*$  среди переменных  $z_\Sigma$ , при котором значение функции правдоподобия максимально:

$$L(z_\Sigma^*) = \max_z L(z_\Sigma) \quad (3.5)$$

Однако получение оценок функции  $L(z_\Sigma)$  при неизвестной функциональной зависимости (3.4) весьма проблематично. Суть этой проблемы исчерпывающе объясняется теорией адаптации.

Согласно теории адаптации [166] неопределённость сконцентрирована в небольшом количестве параметров  $b$  функции  $L(z_\Sigma)$ :

$$L(z_\Sigma) = f_L(z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_n, z_\Sigma, b_1, \dots, b_r) \quad (3.6)$$

$$b = \|b_1, \dots, b_r\|^T \quad (3.7)$$

где  $r$  – число параметров.

При неизвестном распределении  $p(z_1, z_2, \dots, z_n)$  функциональную зависимость  $p(z_1, z_2, \dots, z_n | b)$  полагают известной. Значения параметров  $b$  могут быть определены по обучающей выборке:

$$z_0 = \|z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0k}\|^T \quad (3.8)$$

где  $k$  – число реализаций сигнала обучающей выборки;

$z_{0i}$  – значение  $i$ -й реализации сигнала обучающей выборки.



Приемлемая близость оценочного распределения  $p(z_1, z_2, \dots, z_n|b^*)$  к истинному  $p(z_1, z_2, \dots, z_n|b)$  достигается при условии [166]:

$$r \ll k . \quad (3.9)$$

При использовании функции  $L(z_\Sigma)$  (3.4) (для обеспечения максимальной полноты информации о влиянии помех на сигналы) необходимо найти её значение для каждой комбинации значений реализаций  $z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_n, z_\Sigma$ , нужна неприемлемо большая обучающая выборка (3.8).

Для обеспечения бóльшей инвариантности функции правдоподобия к различным условиям помеховой обстановки необходимо увеличивать количество параметров  $r$  (3.7), что, в свою очередь, приводит к необходимости увеличения обучающей выборки (3.8) (по условию (3.9)). Причём способов увеличения выборки немного:

- увеличение временного интервала, для которого вычисляется оценка функции правдоподобия (3.6);
- замена информационных сигналов тестовыми;
- применение селекции ненадёжных аналоговых реализаций цифровых сигналов при попадании их в зону ненадёжности [15; 16, с. 27-28] (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Эюра четырёхпозиционного сигнала, поясняющая процесс селекции ненадёжных сигналов (зона ненадёжности обозначена серым цветом)

Следует заметить, что возможности увеличения объёма  $k$  обучающей выборки (3.8) весьма ограничены. Увеличению временного интервала препятствует нестационарность процесса действия помех. Введение дополнительных тестовых сигналов ограничивает возможности передачи ТМИ. Полезный эффект от реализованной возможности использования в качестве обучающей выборки информационных сигналов снижается из-за ошибок, вызванных наличием недостоверных сигналов, реализации которых не попали в зону ненадёжности. Впрочем, в какой-то мере отрицательные последствия этих ошибок компенсируются вследствие пе-

рехода количества в качество – по аналогии с методами, использующими знаковые функции (например, методы вычисления знаковых корреляционных функций [97; 111, с. 178-212]).

Итак, актуальна задача назначения ограниченного количества  $r$  параметров  $b$  (3.7), наиболее полно учитывающих влияние помех в каналах разнесения на сигнал, аналогичная повышению информативности при формировании признакового пространства в статистической теории распознавания образов (см., например, [183, с. 8-46]).

Один из путей уменьшения количества  $r$  (3.7) заключается в игнорировании информации о законе распределения помех.

К методам, игнорирующим информацию о законе распределения помех, относятся методы наименьших квадратов, наименьших модулей и т.д. (критерием для них служит минимум нормы вектора невязок). Суммарный сигнал, полученный в результате разнесённого приёма, может быть представлен следующим образом:

$$z_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^n \beta_i z_i(t) , \quad (3.10)$$

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

$$z_i(t) = w_i y(t) + x_i(t) , \quad (3.11)$$

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:

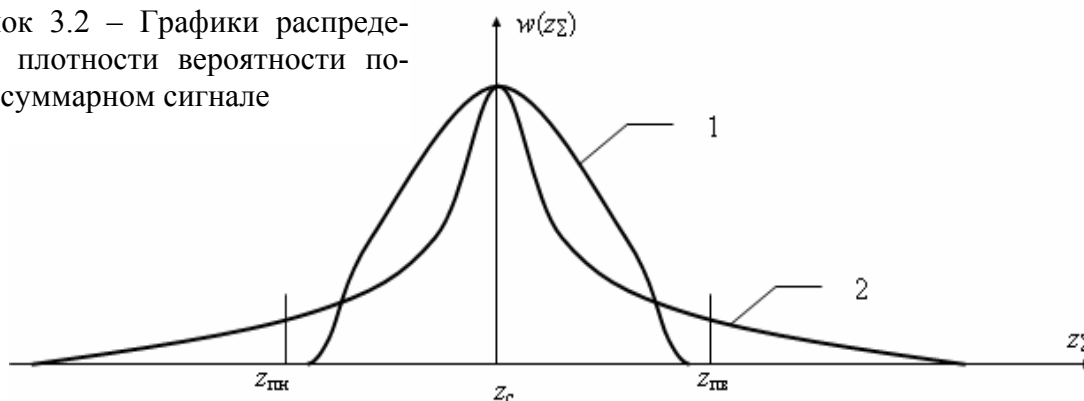
$$\beta_{xi} = \frac{w_i}{D_{xi}} , \quad (3.12)$$

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

Однако в ряде работ отмечается необъективность такого подхода к оценке помех (см. критические замечания по работам Бреннана и др. [3, с. 23-241; 182, с. 405]). В правомерности этих замечаний можно убедиться на простом примере. Пусть вычислены две группы коэффициентов  $\beta$  (3.12) для получения суммарных цифровых сигналов  $z_{\Sigma}(t)$  (3.10), при применении которых имеют место два вари-

анта распределения реализаций суммарного сигнала  $w_1(z_\Sigma)$  и  $w_2(z_\Sigma)$  (рисунок 3.2). Положим также, что дисперсия помех на выходе первой системы разнесённого приёма больше, чем на выходе второй системы:  $D_{x\Sigma 1} > D_{x\Sigma 2}$ . С точки зрения анализируемого метода предпочтительнее второй вариант. Но выбор именно второго варианта приводит к ошибкам 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. рисунок 3.2).

Рисунок 3.2 – Графики распределения плотности вероятности помех в суммарном сигнале



Из приведенного примера следует, что упрощённый подход к назначению параметров  $b$  (3.7) не обеспечивает нужное качество суммарного сигнала  $z_\Sigma(t)$  (нужный уровень достоверности обобщённых данных) в условиях произвольных помех, обычных при пусках РКН. 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. Они могут быть аддитивными и/или мультипликативными.

Этот пример представляет и практический интерес в связи с периодически выдвигаемыми предложениями об использовании таких параметров ПРС, как «соотношение сигнал/шум», «уровень сигнала АРУ», для получения суммарных (в том числе четырёхпозиционных) сигналов или обобщённых данных.

Следует заметить, если в каналах разнесения действуют независимые помехи в виде аддитивного белого гауссова шума (АБГШ), плотность распределения которых подчиняется нормальному закону, то при вычисленных по формуле (3.12) коэффициентах  $\beta$  искажения суммарного сигнала  $z_\Sigma(t)$  (3.10) минимальные. В этом случае дисперсия помех  $D_{x_i}$  ( $i = 1, \dots, n$ ) полно описывает условия помеховой обстановки.

Следовательно, в определённых случаях (типа АБГШ) возможно использование относительно малого количества параметров  $b$  без ущерба качеству суммарных сигналов (типа  $z_{\Sigma}(t)$  (3.10)) или достоверности обобщённых данных. Проблематичность определения рационального объёма  $r$  параметров  $b$  (3.7) (описания условий помеховой обстановки с использованием параметров  $b$ ) особенно сильно проявляется при произвольных помехах. Увеличение их количества может не только существенно усложнить вычисления, но и привести к обратному эффекту – к усилению искажений суммарных сигналов (обобщённых данных). Чаще всего при выборе состава параметров  $b$  (3.7) приходится полагаться на мнение разработчика системы разнесённого приёма (в той или иной мере обоснованное).

При использовании аналоговых реализаций сигналов информация о функции правдоподобия наиболее полна. Однако и после выделения данных из аналоговых реализаций цифровых сигналов она теряется не полностью, возможность ее восстановления повышается с увеличением объёма обучающей выборки. Это подтверждает анализ методики оценивания качества разнесённого приёма, при осуществлении которой значениям параметров, характеризующих помехи, ставят в соответствие вероятность ошибки при опознании, например [182, гл.6], двоичного символа; анализ точности вычисления корреляционных функций при грубом квантовании входных сигналов [111]. Т.е. существуют предпосылки создания весьма эффективных алгоритмов получения обобщённых данных (а не суммарных аналоговых реализаций сигналов).

Достоверность, обеспечиваемая разнесённым приёмом, во многом зависит от соответствия выбранных алгоритмов получения обобщённых данных условиям помеховой обстановки [30], которого проблематично добиться при влиянии произвольных помех, обычных при пусках РКН.

Из проведенного анализа существующего научно-методического аппарата, относящегося к разнесённому приёму, вытекает необходимость разработки алгоритмов получения обобщённых данных телеизмерений, обеспечивающих *существенное* повышение достоверности в условиях *произвольных помех*; поиска путей эффективного применения этих algo-

ритмов; а также методического аппарата для оценивания разработанных алгоритмов и выбора среди них рациональных алгоритмов.

### 3.1.4 Способы управления методами действий над ТМИ и сущности управляющих сигналов (данных)

Оперативный выбор в полётное время нужных элементов СИТО с учётом изменяющихся состояний телеметрируемого объекта, его местоположения и условий помеховой обстановки позволит существенно повысить качество данных  $Q_{\text{ТМИ\_ан\_р}}$  (1.6) в условиях жёстких ограничений пропускной способности каналов «борт-Земля» и ограниченного количества ПТС ТК.

Широкие возможности СИТО связаны с управлением методами  $Met_{\text{ТМИ}}$  (1.20) в полётное время.

Сущности действий по изменению свойств методов множества  $Met_{\text{ТМИ}}$  в зависимости от изменяющихся условий их применения таковы ( $Upr_1$ ):

- отсутствие действий (неизменные априори устанавливаемые свойства методов),  $Upr_1 = 1$ ;

- изменение исходных данных ( $Q_{\text{ИД}}$ ) для функционирования отдельного метода (например, изменение размера апертуры для метода сжатия данных путём аппроксимации полиномом первой степени),  $Upr_1 = 2$ ;

- замена одного метода, осуществляемого в отдельном ПТС, другим (например, методы сжатия данных CCSDS [206] – перебор методов с целью выбора обеспечивающего  $K_{\text{сж\_max}}$ ),  $Upr_1 = 3$ ;

- осуществление комбинирования отдельных методов, реализованных в распределённых ПТС СИТО ( $Upr_1 = 4$ ).

Для осуществления управляемого процесса комбинирования отдельных методов, реализованных распределено в СИТО ( $Upr_1 = 4$ ), необходима синхронизация процесса изменения свойств методов по времени (аналогично описанной в [207]).

Представленная выше классификация соответствует иерархической структуре. Её нижний уровень касается управления свойствами отдельного метода, а верхний – всей совокупности методов.

Представлены следующие характеристики гибкости изменения свойств методов из множества  $Met_{ТМИ}$  ( $Upr_2$ ):

- априори устанавливаемые (неизменные) свойства,  $Upr_2 = 1$ ;
- изменяемые оператором вручную с помощью органов управления ПТС (например, с использованием клавиатуры ПЭВМ), в том числе дистанционно,  $Upr_2 = 2$ ;
- программируемые изменения свойств (в определённые моменты времени),  $Upr_2 = 3$ ;
- изменения свойств путём адаптации к изменяющимся условиям,  $Upr_2 = 4$ .

Управляющие данные в виде исходных данных  $Q_{ИД}$  или команд  $Q_{ком}$  могут быть сформированы самим отдельным ПТС, в котором реализован метод множества  $Met_{ТМИ}$  (см., например, вышеупомянутый перебор методов сжатия данных CCSDS [206]), а могут поступать по обратному каналу связи от другого ПТС (см. рисунок 1.4; например, при применении методов множества  $Met_{Q\_ТМИ\_обмен}$  [159, гл. 6]).

В определённых случаях при осуществлении методов множества  $Met_{Q\_ТМИ\_обмен}$  необходимы сигналы (данные)  $Q_{сост\_*}$  (1.22) о состоянии объекта «\*» (объекты «\*» принадлежат множествам  $Q_{ТМИ}$ ,  $R$ ,  $Reg$ ,  $U_{прим}$ ). Например, это – данные, содержащие сведения об оценках достоверности принятой ТМИ; данные, содержащие сведения о состоянии ПТС  $R^*$  (в частности, содержащие сведения о состоянии первичного преобразователя – «норма», «обрыв», «короткое замыкание»; об уровне АРУ ПРС) – и т.д.

С точки зрения решаемой проблемы наиболее актуальны сигналы (данные)  $Q_{сост\_Q\_ТМИ}$ , содержащие сведения о свойствах ТМИ. В этой связи заметим, что, в частности, в ПРС, формируют оценки качества принятой ТМИ типа соотношения сигнал/шум, а при этом ТМИ содержит тестовые сигналы (данные)  $Q_{тест\_ТМИ\_*}$ , по которым также могут быть вычислены оценки качества принятой ТМИ; в принятой ТМИ могут содержаться данные о её структуре (например, сведения о структуре фрейма передачи CCSDS находятся в его первичном заголовке [208, 219]), которые могут быть интерпретированы и как сигналы (данные) множества  $Q_{сост\_Q\_ТМИ}$ , и как инструкция (команда,  $Q_{ком\_*}$ ) для ПТС ТК, которая используется, например, для извлечения из вышеупомянутых фреймов передачи CCSDS данных для их последующей передачи определённым потребителям. Другими словами, классификация сигналов (данных)  $Q_{сост\_Q\_ТМИ}$ ,  $Q_{ИД}$ ,  $Q_{ком\_*}$  (1.22) весьма условна. Атрибуты  $Upr$

( $Upr = \langle Upr_1, Upr_2 \rangle$ ,  $Upr_1 = \{1, 2, 3, 4\}$ ,  $Upr_2 = \{1, 2, 3, 4\}$ ) достаточно полно характеризуют сущности управления свойствами методов  $Met_{ТМИ}$  в полётное время.

Для понимания сущностей управления отдельным методом или набором (группой) методов множества  $Met_{ТМИ}$  в полётное время осуществлено комбинирование значений атрибутов  $Upr_1$  и  $Upr_2$ , некоторые из них из-за противоречивости исключены из рассмотрения.

Существуют определённые возможности установления априори условий комбинирования атрибутов  $Upr_1$  и  $Upr_2$ . Выгода от их реализации связана с улучшением СИТО путём упрощения процесса управления свойствами методов  $Met_{ТМИ}$ . Например, если в одном случае комплекты БРТС размещены на каждой из нескольких ступеней РН, а в другом – один комплект БРТС размещён на последней ступени РН, то в первом случае может существовать целесообразность перехода ПРС с частоты приёма отделившейся ступени РН на частоту РПУ БРТС другой ступени, а во втором случае такой необходимости явно нет. При этом во втором случае наиболее вероятна необходимость управления свойствами методов множества  $Met_{ТМИ}$ , осуществляемых в БРТС, связанная с использованием телеметрических каналов ранее задействованных под датчики отделившейся ступени под датчики других ступеней [86].

Следует заметить, что признаком рациональных стратегий  $U_{прим\_рац}$  применения СИТО является использование методов множества  $Met_{ТМИ}$ , адаптирующихся к изменяющимся условиям ( $Upr_2 = 4$ ).

Обосновано [7], что возможности улучшения ИТО, связаны с унификацией процедур (операций) формирования в БРТС, приёмо-регистрации, сбора и обработки ТМИ (при осуществлении стратегий  $U_{yc}$  и  $U_{прим}$ ). Унификация (и соответствующая ей стандартизация) необходима, чтобы при требуемом разнообразии структур ТМИ не допустить их многотипности. Актуальны правила формирования разнообразных однотипных структур ТМИ, причём в полётное время.

Суть этих правил состоит в следующем.

Положим, что  $S_{OT}$  – множество возможных состояний телеметрируемого объекта в полётное время ( $S_{OT} = \{S_{OT\_i}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_{OT}$ ). Каждому состоянию  $S_{OT\_i}$

соответствует некоторая семантическая компонента, содержащаяся, в частности, в данных  $Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}_i}$  блока, формируемого БИТС.

Некоторые свойства ТМИ, формируемой БРТС в соответствии с изменяющимися состояниями  $S_{\text{от}}$  телеметрируемого объекта, априори неизвестны. Соответственно, априори неизвестны параметры формируемых данных  $Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}}$  ( $Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}} = \{Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}_i}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_{\text{от}}$ ). Поэтому формируется множество  $Q_{\text{спр}}$  справочных данных, инжектируемых в ТМИ  $Q_{\text{ТМИ\_БРТС}}$ , используемых для последовательного осуществления услуг (функций) с помощью наземных ПТС. Причём, например, функции, реализуемые по стандартам пакетной телеметрии, относятся к соответствующим уровням семиуровневой эталонной модели взаимосвязи открытых систем (ЭМВОС) [208, 213, 218 и др.]

Если процесс выбора структур ТМИ  $Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}}$  представить в виде отображения декартова произведения множеств отдельных справочных данных  $Q_{\text{спр}_j}$  ( $j = 1, 2, \dots, K$ ) в набор необходимых для практического применения справочных данных  $Q_{\text{спр\_общ}}$  (например, формируемых в соответствии с рекомендациями CCSDS), то:

$$f_{\text{форм}_Q_{\text{спр\_общ}}} : Q_{\text{спр}_1} \times Q_{\text{спр}_2} \times \dots \times Q_{\text{спр}_j} \times \dots \times Q_{\text{спр}_K} \rightarrow Q_{\text{спр\_общ}} . \quad (3.13)$$

Из-за принятых CCSDS ограничений, касающихся атрибутов данных  $Q_{\text{спр\_общ}}$  и проявляющихся в резервировании их некоторых значений, в исключении ненужных вариантов  $Q_{\text{спр\_общ}}$  и т.д.,

$$N_{Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд\_возм}}} > N_{Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}}} , \quad (3.14)$$

где  $N_{Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}}}$  – количество вариантов построения структур ТМИ  $Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}}$ , соответствующее справочным данным  $Q_{\text{спр\_общ}}$  (3.13);

$N_{Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд\_возм}}}$  – количество возможных вариантов построения структур ТМИ  $Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}}$ ,  $N_{Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд\_возм}}} = \prod_{j=1}^K 2^{v_j}$

Комбинированием (3.13) отдельных справочных данных  $Q_{\text{спр}_j}$  ( $j = 1, 2, \dots, K$ ) обеспечивается значительное количество  $N_{Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}}}$  вариантов построения структур ТМИ  $Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}}$  ПТИ:

$$K \ll N_{Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}}} . \quad (3.15)$$

В наземных средствах ТК преобразование ( $f_{\text{ПТС\_ТК}_*}$ ) принятых данных  $r$ -го уровня ЭМВОС ( $Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд\_Ur}_r}$ ) в данные более высокого  $(r+1)$ -го уровня



( $Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрм\_Ur\_r+1}}$ ) осуществляется автоматически с использованием справочных данных  $r$ -го уровня ( $Q_{\text{спр\_Ur\_r}}$ ):

$$f_{\text{ПТС\_ТК\_*}} : Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрм\_Ur\_r}} \rightarrow Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрм\_Ur\_r+1}}, Q_{\text{спр\_Ur\_r}} \subset Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрм\_Ur\_r}}. \quad (3.16)$$

Стандартизация (в частности, CCSDS) предполагает создание чётких (недвусмысленных) правил ( $f_{\text{форм\_Q\_спр\_общ}}$ ) формирования элементов множества  $Q_{\text{спр\_общ}}$  (3.13), позволяющих реализовывать отдельные варианты структуры  $Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}}$ , а также правил ( $f_{\text{ПТС\_ТК\_*}}$ ) преобразования принятых данных  $Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрм\_Ur\_r}}$  (3.16) с помощью наземных средств. При этом количество  $N_{Q_{\text{ТМИ\_БД\_нрд}}}$  вариантов построения структур ТМИ должно быть относительно большим (по сравнению с количеством справочных данных  $K$  (3.15)) и адекватным широкому спектру решаемых с требуемой эффективностью задач ИТО (текущих и перспективных). Относительно небольшой объём данных  $Q_{\text{спр}}$  позволяет отвлекать вполне приемлемые ресурсы для обеспечения необходимой оперативности их формирования, а также для осуществления с их использованием контроля и управления наземными средствами. Однако требования существующих стандартов (типа стандартов CCSDS и IRIG) не могут быть автоматически распространены на отечественную телеметрию, относящуюся к средствам выведения, из-за необходимости учёта специфических особенностей решаемых задач  $Z_{\text{ИТО}}$  и условий развития отечественных СИТО.

Для осуществления рациональных стратегий  $U_{\text{прим\_рац}}$  свойства не каждого метода множества  $Met_{\text{ТМИ}}$  обязательно должны изменяться. Более того, отсутствие действий ( $U_{pr_1} = 1, U_{pr_2} = 1$ ) по управлению определёнными методами  $Met_{\text{ТМИ\_*}}$  ( $Met_{\text{ТМИ\_*}} \subset Met_{\text{ТМИ}}$ ), позволяющее существенно повысить качество данных  $Q_{\text{ТМИ\_ан\_р}}$  в условиях жёстких ограничений пропускной способности каналов «борт-Земля», создаёт предпосылки экономии ресурсов за счёт упрощившегося процесса управления свойствами методов  $Met_{\text{ТМИ}}$  (предпосылки улучшения СИТО). Так, из-за необходимости синхронизации применения методов во времени (например, в случае  $U_{pr_1} = 4, U_{pr_2} = 2$ ) возрастает актуальность централизованно-

го и дистанционного управления элементами СИТО, проявляются в значительной мере недостатки и преимущества, связанные с «человеческим фактором».

Таким образом, актуальность тех или иных способов управления методами множества  $Met_{ТМИ}$  (1.20) в полётное время определяется общими показателями ИТО  $W_{эф\_У\_ус}$  (2.16), связанными с осуществлением стратегий множеств  $U_{прим}$  и  $U_{ус}$ .

### **3.2 Возможности улучшения ИТО, связанные с выбором телеметрируемых объектов**

Множество телеметрируемых объектов условно делится на следующие подмножества:

- типичные средства выведения ( $O_{РКН\_РН}$ ,  $O_{РКН\_РБ}$  и т.д.);
- попутно телеметрируемые объекты ( $O_{СК}$ ,  $O_{КА}$  и т.д.);
- объекты, относящиеся к ПТС  $R_{КСИСО}$  и  $R_{ОТ}$  (телеметрирование осуществляется для получения сведений о функционировании применяемых ПТС ИТО с целью текущего контроля и управления ими и поиска сущностей разрабатываемых стратегий  $U_{прим}$  и  $U_{ус}$ ); возможен, например, контроль состояния датчика на телеметрируемом объекте: «норма», «обрыв», «короткое замыкание»; контроль уровня АРУ ПРС).

Такая классификация весьма условна. Так, относительно часты случаи подключения датчиков последней ступени РН к входам БИТС, размещённой на КА; для получения ТМИ этой ступени возникает необходимость обработки ТМИ КА программно-техническими средствами ТК (КА не относится к средствам выведения).

Существуют следующие возможности улучшения ИТО выбором телеметрируемых объектов множества  $O$ :

- минимизация количества космодромов (полигонов) и ПТС ТК и, соответственно, рост интенсивности пусков обычных (типичных) РКН, осуществляемых с одного космодрома;
- более результативное использование сведений о телеметрировании ПТС  $R_{КСИСО}$  и  $R_{ОТ}$  при осуществлении стратегий  $U_{ус}$  усовершенствования СИТО;
- увеличение многотипности обрабатываемых на космодроме (полигоне) телеметрируемых объектов за счёт нетипичных объектов.

При конкретизации перечисленных выше возможностей улучшения ИТО нужно учесть устойчивую тенденцию уменьшения интенсивности пусков обычных (типичных) РКН, обусловленную следующими факторами:

- повышение надёжности КА (увеличение сроков эксплуатации КА и, как следствие, сокращение количества пусков для восстановления численности группировки);
- значительное улучшение массово-габаритных характеристик бортовых систем КА и – как следствие – расширение возможностей вывода нескольких КА одной РН;
- уменьшение количества пусков по программе ЛИ из-за ограниченности материальных ресурсов;
- расширение возможностей конкурентов по оказанию пусковых услуг;
- успешные работы (большой опыт) по созданию РН многоразового применения.

Следует заметить, что с формальной точки зрения на ИТО признаками телеметрируемых объектов являются множества физических процессов, происходящих на них в полётное время (и соответствующие им ТМП и первичные сигналы (1.19), (1.27)), и траектории полёта (зоны радиовидимости). Именно эти сведения, а также сведения о периодичности пусков РКН важны для подготовки к решению задач ИТО (для разработки ПТИ и для определения состава КСИСО ТМИ).

Кроме технических возможностей и устоявшихся подходов (существующего порядка), имеются дополнительные возможности выбора телеметрируемых объектов (особенно нетипичных для ПТС ТК и объектов, относящихся к ПТС  $R_{КСИСО}$  и  $R_{ОТ}$ ), связанные с интересами и полномочиями соответствующих ЛПР улучшать СИТО. Отсюда – актуальность мер по совершенствованию производственных отношений отечественных предприятий ракетно-космической отрасли, побуждение ЛПР к соответствующим действиям (однако это направление исследования выходит за границы настоящей работы, является предметом её дальнейшего развития).

### 3.3 Развитие подхода к интеграции ПТС ИТО в единый комплекс, а также сформулированные с его использованием ограничения (требования) к комплексированию элементов СИТО

#### 3.3.1. Сущности развитого подхода

Развитие подхода к интеграции ПТС ИТО в единый комплекс [52, 222] основано на формальной процедуре морфологического анализа (рисунок 3.3).

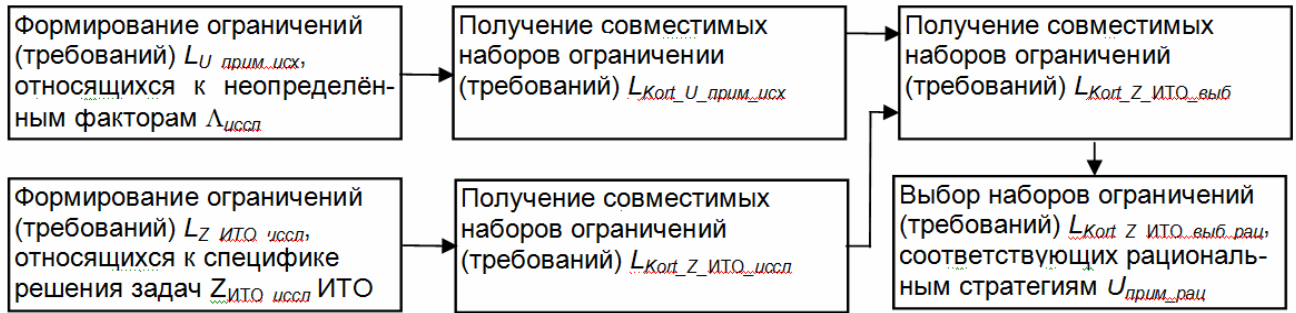


Рисунок 3.3 – Схема развития подхода к интеграции ПТС ИТО

Исходными сведениями для развития подхода являются ограничения (требования)  $L_U_{прим.исх}$  и  $L_Z_{ИТО_{иссл}}$ , связанные, соответственно:

- с мерами противодействия отдельным неопределённым факторам  $\Lambda_{иссл}$  (см. таблицу 1.10);

- со спецификой решения задач  $Z_{ИТО_{иссл}}$  (1.11) ИТО.

При развитии подхода выполняют следующие действия.

1. Устанавливают ограничения (требования)  $L_U_{прим.исх_i}$  ( $L_U_{прим.исх} = \{L_U_{прим.исх_i}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_1$ ), регламентирующие осуществление исходных стратегий  $U_{прим.исх}$  применения и касающихся противодействия неопределённым факторам  $\Lambda_{иссл}$ .

2. Попарно сопоставляют отдельные ограничения (требования)  $L_U_{прим.исх_i}$  и  $L_U_{прим.исх_j}$  ( $L_U_{прим.исх_i}, L_U_{прим.исх_j} \in L_U_{прим.исх}$ ;  $i, j = 1, 2, \dots, N_1$ ;  $i \neq j$ ):

$$f_{0t\_3\_17} : L^2_{U_{прим.исх}} \rightarrow Y_{L_{U_{прим.исх}}} \quad (3.17)$$

Возможные результаты сопоставления таковы:

- совместимые (взаимодополняемые),  $Y_{L_{U_{прим.исх_i_j}}} = 0$ ;

- взаимоисключающие (альтернативные, несовместимые),  $Y_{L_{U_{прим.исх_i_j}}} = 1$ .

3. Формируют из отдельных совместимых (взаимодополняемых, см. п. 2) элементов  $L_{U\_прим\_исх\_i}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_1$ ) множество кортежей ограничений (требований)  $L_{Kort\_U\_прим\_исх}$  ( $L_{Kort\_U\_прим\_исх} = \{L_{Kort\_U\_прим\_исх\_k}\}$ ,  $k = 1, 2, \dots, N_3$ ), каждый из которых содержит максимально возможное количество элементов.

Пояснение п. 3. В принципе, возможны различные по количеству вышеупомянутых элементов комбинации (различные кортежи). Например,  $L_{Kort\_U\_прим\_исх\_*} = \langle L_{U\_прим\_исх\_3}, L_{U\_прим\_исх\_4} \rangle$ ,  $L_{Kort\_U\_прим\_исх\_**} = \langle L_{U\_прим\_исх\_3}, L_{U\_прим\_исх\_4}, L_{U\_прим\_исх\_5} \rangle$  и т.д. (см. таблицу 1.10). Исходим из того, что выполнение каждого отдельного набора ограничений (требований)  $L_{U\_прим\_исх\_i}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_1$ ) существенно улучшит качество ИТО, а его игнорирование не влечёт невыполнение оставшихся ограничений (требований).

4. Устанавливают ограничения (требования)  $L_{Z\_ИТО\_иссл}$ , касающиеся оперативности решения задач  $Z_{ИТО\_иссл}$  и объёмов (скорости передачи) ГМИ, над которой осуществляют действия при решении этих задач.

5. Формируют множество кортежей ограничений (требований)  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл}$  группированием установленных по п. 4 ограничений (требований)  $L_{Z\_ИТО\_иссл}$  ( $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл} = \{L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_i}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_5$ ).

6. Парно сопоставляют отдельные ограничения (требования) множеств  $L_{Z\_ИТО\_иссл}$  (см. п. 4) и  $L_{U\_прим\_исх}$  (см. п. 1), результаты сопоставления аналогичны п. 2.

7. Формируют из отдельных совместимых (взаимодополняемых, см. п. 6) элементов множеств  $L_{U\_прим\_исх}$  и  $L_{Z\_ИТО\_иссл}$ , входящих, соответственно, в состав отдельных кортежей множеств  $L_{Kort\_U\_прим\_исх}$  (см. п. 3) и  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл}$  (см. п. 5), множество кортежей  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб}$  ( $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб} = \{L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб\_i}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_7$ ).

8. Выбирают из множества кортежей  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб}$  (см. п. 7) наиболее актуальные кортежи  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_рац}$  (кортежи, обладающие по результатам экспертных оценок показателей признаками рациональных стратегий  $U_{прим\_рац}$ ),  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_рац} \subset L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб}$ .

9. Конкретизируют выбранные по п. 8 ограничения (требования)  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб\_j}$ ,  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб\_j} \in L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_рац}$  (т.е. формулируют рекомендации по построению новых элементов множества  $U_{прим}$  (1.28) и/или  $F_R$  (1.23)).

В результате осуществления развитого подхода к интеграции ПТС ИТО границы поиска рациональных стратегий усовершенствования и применения СИТО определяются сформулированными ограничениями (требованиями)  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_рац}$ , они существенно сужаются без ущерба его качеству.

### 3.3.2 Результаты осуществления развитого подхода

Ниже описаны действия, выполненные при осуществлении развитого подхода и полученные результаты [52].

1. Сформулированы ограничения (требования)  $L_{U\_прим\_исх}$  (см. таблицу 1.10).

В таблице 1.10 представлены ограничения (требования)  $L_{U\_прим\_исх}$ , относящиеся к исходным стратегиям  $U_{прим\_исх}$  применения, обеспечивающим противодействие отдельным неопределённым факторам множества  $\Lambda_{иссл}$  ( $U_{прим\_рац} \subset U_{прим\_исх} \subset U_{прим}$ ).

2. Попарно сопоставлены отдельные ограничения (требования)  $L_{U\_прим\_исх\_i}$  и  $L_{U\_прим\_исх\_j}$  ( $L_{U\_прим\_исх\_i}, L_{U\_прим\_исх\_j} \in L_{U\_прим\_исх}; i, j = 1, 2, \dots, N_1; i \neq j$ ). Получены следующие результаты сопоставления  $L_{U\_прим\_исх\_i}$  и  $L_{U\_прим\_исх\_j}$ :

$$Y_{L_{U\_прим\_исх\_i}, j} = 0$$

при  $i = 1, 2, \dots, 27; i \neq j; i = 15, j \neq 16, 17; i = 16, j \neq 15, 17; i = 17, j \neq 15, 16;$

$$Y_{L_{U\_прим\_исх\_15}, 16} = Y_{L_{U\_прим\_исх\_15}, 17} = Y_{L_{U\_прим\_исх\_16}, 17} = 1.$$

3. Сформировано с учётом результатов сопоставления по п. 2 (в частности,  $Y_{L_{U\_прим\_исх\_15}, 16} = Y_{L_{U\_прим\_исх\_15}, 17} = Y_{L_{U\_прим\_исх\_16}, 17} = 1$ ) множество следующих кортежей ограничений (требований)  $L_{Kort\_U\_прим\_исх}$  ( $L_{Kort\_U\_прим\_исх} = \{L_{Kort\_U\_прим\_исх\_k}\}, k = 1, 2, 3$ ):

$$L_{Kort\_U\_прим\_исх\_j} = \langle L_{U\_прим\_исх\_1}, L_{U\_прим\_исх\_2}, \dots, L_{U\_прим\_исх\_j}, \dots, L_{U\_прим\_исх\_27} \rangle,$$

$j = 1, 2, \dots, 14, 15, 18, 19, \dots, 27$  при  $k = 1$ ;

$j = 1, 2, \dots, 14, 16, 18, 19, \dots, 27$  при  $k = 2$ ;

$j = 1, 2, \dots, 14, 17, 18, 19, \dots, 27$  при  $k = 3$ .

Примечание: Из результатов сопоставления ограничений (требований)  $L_{U\_прим\_исх\_i}$  и  $L_{U\_прим\_исх\_j}$  (построения кортежей  $L_{Kort\_U\_прим\_исх\_k}, k = 1, 2, 3$ ) следует, что они совместимы (взаимодополняемы), за исключением ограничений (требований)  $L_{U\_прим\_исх\_15}, L_{U\_прим\_исх\_16}$  и  $L_{U\_прим\_исх\_17}$ , являющихся по отношению к друг другу альтернативными, связанными с разнесением ТМИ во времени. Выполнение ограничений (требований)  $L_{Kort\_U\_прим\_исх\_1},$

$L_{Kort\_U\_prim\_ucx\_2}$  и  $L_{Kort\_U\_prim\_ucx\_3}$  в какой-то мере обеспечивает противодействие каждому из неопределённых факторов множества  $\Lambda_{иссл}$  (1.31).

4. Для создания благоприятных условий построения относительно полного и допустимо избыточного множества исходных стратегий  $U_{prim\_ucx}$ , связанных с решением задач  $Z_{ИТО\_иссл}$  (1.11), установлены следующие ограничения (требования)  $L_{Z\_ИТО\_иссл}$ , касающиеся оперативности решения задач  $Z_{ИТО\_иссл}$  и объёма (скорости передачи) ТМИ, над которой осуществляют действия в процессе решения этих задач [44]:

- $L_{Z\_ИТО\_12\_T\_1}$  – формирование ТМИ в БРТС ( $Z_{ИТО\_1}$ ) и приёмо-регистрация ( $Z_{ИТО\_2}$ ) осуществляются лишь в полётное время;

- $L_{Z\_ИТО\_12\_T\_2}$  – формирование ТМИ в БРТС ( $Z_{ИТО\_1}$ ) и приёмо-регистрация ( $Z_{ИТО\_2}$ ) осуществляются не только в полётное, но и в послеполётное время (аналог такой технологии – DTN [214], DTN – Delay Tolerant Networking – устойчивые к задержкам сети).

- $L_{Z\_ИТО\_3\_T\_1}$  – сбор ТМИ ( $Z_{ИТО\_3}$ ) преимущественно в темпе формирования ТМИ в БРТС в полётное время;

- $L_{Z\_ИТО\_3\_T\_2}$  – сбор ТМИ ( $Z_{ИТО\_3}$ ) преимущественно в послеполётное время;

- $L_{Z\_ИТО\_4\_T\_1}$  – ФОМДТ ( $Z_{ИТО\_4}$ ) преимущественно в темпе формирования ТМИ в БРТС в полётное время;

- $L_{Z\_ИТО\_4\_T\_2}$  – ФОМДТ ( $Z_{ИТО\_4}$ ) в послеполётное время;

- $L_{Z\_ИТО\_2\_V\_1}$  – объём ТМИ  $Q_{ТМИ\_рег}$ , зарегистрированной ПРС, обычный для существующих СИТО ( $V_{Q\_ТМИ\_рег} \sim n_{кр} V_{Q\_ТМИ\_ом}$ ,  $n_{кр} = n_{кр\_суц}$ );

- $L_{Z\_ИТО\_2\_V\_2}$  – объём ТМИ  $Q_{ТМИ\_рег}$  существенно уменьшен, по сравнению с обычным для существующих СИТО объёмом, путём сокращения количества каналов разнесения ( $V_{Q\_ТМИ\_рег} \sim n_{кр} V_{Q\_ТМИ\_ом}$ ,  $n_{кр} = n_{кр\_ум}$ ,  $n_{кр\_ум} < n_{кр\_суц}$ , где  $n_{кр\_суц}$  – количество обычно используемых каналов разнесения, или количество обычно задействуемых ПРС;  $n_{кр\_ум}$  – уменьшенное, по сравнению с  $n_{кр\_суц}$ , количество каналов разнесения, или количество ПРС);

- $L_{Z\_ИТО\_3\_V\_1}$  – объём ТМИ  $Q_{ТМИ\_ФОМДТ}$ , поступившей (выбранной) для ФОМДТ, примерно равен объёму всей ТМИ  $Q_{ТМИ\_рег}$ , зарегистрированной ПРС ( $V_{Q\_ТМИ\_ФОМДТ} \sim V_{Q\_ТМИ\_рег}$ );

-  $L_{Z\_ИТО\_3\_V\_2}$  – объём ТМИ  $Q_{ТМИ\_ФОМДТ}$ , значительно меньше объёма ТМИ  $Q_{ТМИ\_рег}$  ( $V_{Q\_ТМИ\_ФОМДТ} \ll V_{Q\_ТМИ\_рег}$ ).

5. Сформировано множество кортежей ограничений (требований)  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл}$  группированием установленных по п. 4 ограничений (требований)  $L_{Z\_ИТО\_иссл}$  ( $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл} = \{L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_i}\}, i = 1, 2, \dots, 16$ ).

Сформулированы следующие правила комбинирования ограничений (требований)  $L_{Z\_ИТО\_иссл}$  (т.е. правила построения множества кортежей  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл}$ ,  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_i} \in L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл}$ ): ограничения (требования)  $L_{Z\_ИТО\_i\_T\_1}$  и  $L_{Z\_ИТО\_i\_T\_2}$ ,  $L_{Z\_ИТО\_i\_V1\_1}$  и  $L_{Z\_ИТО\_i\_V1\_2}$ ,  $L_{Z\_ИТО\_i\_V2\_1}$  и  $L_{Z\_ИТО\_i\_V2\_2}$ ,  $L_{Z\_ИТО\_i\_T\_2}$  и  $L_{Z\_ИТО\_i+k\_T\_1}$  ( $i, k = 1, 2, 3$ ) являются альтернативными (взаимоисключающими, несовместимыми).

Кортежи множества  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл}$  ( $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл} = \{L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_i}\}, i = 1, 2, \dots, 16$ ) построены группированием установленных по п. 4 ограничений (требований)  $L_{Z\_ИТО\_иссл}$  по сформулированным правилам комбинирования и представлены в таблице 3.2. В таблице 3.3 представлены вербальные характеристики, определяемые сущностями отдельных ограничений множества  $L_{Z\_ИТО\_иссл}$  ( $L_{Z\_ИТО\_12\_T\_1}$ ,  $L_{Z\_ИТО\_12\_T\_2}$ ,  $L_{Z\_ИТО\_3\_T\_1}$  и т.д.); показаны кортежи  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_i}$  ( $i = 1, 2, \dots, 16$ ), к которым эти характеристики относятся.

Таблица 3.2 – Кортежи множества  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл}$  ( $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл} = \{L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_i}\}, i = 1, 2, \dots, 16$ )

$L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_i}, i =$	$L_{Z\_ИТО\_12\_T\_j}, j =$	$L_{Z\_ИТО\_3\_T\_j}, j =$	$L_{Z\_ИТО\_4\_T\_j}, j =$	$L_{Z\_ИТО\_2\_V\_j}, j =$	$L_{Z\_ИТО\_3\_V\_j}, j =$	Прим.
1	1	1	1	1	1	
2	X	2	1	1	1	*
3	X	1	2	1	1	*
4	X	2	2	1	1	*
5	2	1	1	2	1	
6	X	2	1	2	1	*
7	3	1	2	2	1	
8	4	2	2	2	1	
9	5	1	1	1	2	
10	X	2	1	1	2	*
11	X	1	2	1	2	*
12	X	2	2	1	2	*
13	6	1	1	2	2	
14	X	2	1	2	2	*
15	7	1	2	2	2	
16	8	2	2	2	2	
17	9	1	1	1	1	
18	X	2	1	1	2	*
19	X	1	2	1	1	*
20	X	2	2	1	1	*
21	10	1	1	2	1	
22	X	2	1	2	1	*



23	11	1	2	2	1	2	
24	12	2	2	2	1	2	
25	13	1	1	1	2	2	
26	X	2	1	1	2	2	*
27	X	1	2	1	2	2	*
28	X	2	2	1	2	2	*
29	14	1	1	2	2	2	
30	X	2	1	2	2	2	*
31	15	1	2	2	2	2	
32	16	2	2	2	2	2	

\* Примечание: рассматриваемый кортеж (рассматриваемая строка таблицы) содержит противоречивые ограничения (требования), см. (выше) правила комбинирования.

Таблица 3.3 – Вербальные характеристики ограничений (требований) множества  $L_{Z\_ИТО\_иссл}$  и возможностей их выполнения

$L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_i}$ $i =$	$L_{Z\_ИТО\_иссл}$	Сущности действий по выполнению ограничений (требований) множества $L_{Z\_ИТО\_иссл}$	Краткая характеристика стратегий $U_{прим}$ , соответствующих ограничениям (требованиям) множества $L_{Z\_ИТО\_иссл}$	
			Сильные стороны (достоинства)	Слабые стороны (недостатки)
1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15.	$L_{Z\_ИТО\_12\_T\_1}$	<p>1. Традиционные (по принципам функционирования) БРТС и ПРС, размещённые на ИПах, ВИПах, ПодИК и ПерИК.</p> <p>2. Использование МКСР для сокращения количества задействуемых ПРС и других ПТС ТК и для улучшения достоверности телеизмерений разнесением ТМИ в пространстве (см. рисунки Б.28 и Б.29).</p> <p>3. Использование управляемого разнесённого приёма ТМИ во времени, причём оценивание принятой ТМИ с целью определения её пригодности для ФОМДТ производится в полётное время: - в ПТС ФОМДТ; - в ПРС.</p> <p>4. Возможно комбинирование действий представленных выше п. 1, 2, 3.</p>	<p>1. В случае традиционных траекторий полёта и относительно малого количества ТМП для приёмо-регистрации ТМИ в полном объёме не требуется принятия мер по обеспечению зон радиовидимости, связанных с развёртыванием дополнительных ИПов, ВИПов, ПерИК и применения ПодИК;</p> <p>2. Создаются необходимые условия для полноценного решения задач экспресс-обработки ТМИ и последующего экспресс-анализа; благоприятные условия (с точки зрения требуемой оперативности) для сбора ТМИ в интересах оперативной обработки и ФОМДТ;</p> <p>3. Появляется возможность беззатратного накопления ТМИ в БЗУ на телеметрируемом объекте, создающая благоприятные условия для осуществления управляемого разнесённого приёма ТМИ, позволяющего минимизировать ресурсы, связанные с ТК (прежде всего с ПРС) и при этом существенно улучшить (по сравнению с традиционным разнесённым приёмом ТМИ) достоверность обобщённых данных телеизмерений.</p>	<p>1. Для осуществления приёмо-регистрации ТМИ в темпе её формирования в БРТС возможны значительные материальные затраты, связанные с обеспечением зон радиовидимости (особенно в случае нетрадиционных траекторий полёта телеметрируемых объектов и/или относительно большого количества ТМП).</p> <p>2. Материальные затраты, связанные с использованием МКСР, могут быть существенно больше, чем альтернативное использование ИПов, ВИПов, ПерИК и ПодИК.</p> <p>3. В случае обеспечения управляемого разнесения ТМИ во времени необходимо наделять БРТС и ПРС или ПТС ФОМДТ соответствующими дополнительными функциями.</p>

4, 8, 12, 16.	<i>L<sub>Z</sub>ИТО_12_Т_2</i>	<p>1. Использование БЗУ, размещённом на телеметрируемом объекте, причём запись (запоминание) в нём ТМИ осуществляется вне зоны, а воспроизведение в зоне радиовидимости ПТС ТК (см. <i>L<sub>U</sub>прим_исх_16</i> и рисунок Б.27 и пояснения к нему).</p> <p>2. Накопление ретранслируемой ТМИ в ПТС, размещённых на СР, с последующей передачей накопленной ТМИ со значительной задержкой на наземные ПТС (аналог такой технологии – DTN [214], DTN – Delay Tolerant Networking – устойчивые к задержкам сети).</p>	<p>1. В случае накопления ТМИ на телеметрируемом объекте или на СР (аналог технологии DTN) с последующей ретрансляцией накопленной ТМИ на наземные ПТС ТК существенно уменьшается количество задействуемых ПТС ТК (в частности, в случае телеметрирования РБ, см. рисунок Б.27 и пояснения к нему).</p> <p>2. Технология, связанная с размещением БЗУ на телеметрируемом объекте, в настоящее время хорошо отработана.</p>	<p>1. При строгих ограничениях времени получения обобщённого массива данных телеизмерений значительная задержка приёма-регистрации ТМИ автоматически влечёт ужесточение требований к времени сбора ТМИ и ФОМДТ.</p> <p>2. Чем больше время задержки ТМИ в БЗУ, размещённом на телеметрируемом объекте, тем больше риск потери запомненной (наиболее важной) ТМИ при возникновении полётной аварии.</p> <p>3. Технология типа DTN является новой для ИТО (необходимо учесть при её построении специфику ИТО). Не исключено, что материальные затраты, связанные с осуществлением технологии типа DTN окажутся существенно больше, чем в случае альтернативного использования ИПов, ВИПов, ПерИК и ПодИК, а также использования МКСР.</p>
1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14.	<i>L<sub>Z</sub>ИТО_3_Т_1</i>	Возможно использование существующих (штатных) ШКС и ПТС и ИТ для сбора ТМИ.	<p>1. Сбор ТМИ преимущественно в темпе формирования ТМИ в БРТС в полётное время создаёт благоприятные условия для смягчения требований к оперативности ФОМДТ, что актуально в условиях строгих ограничений сроков получения обобщённого массива данных телеизмерений.</p> <p>2. Расширяются возможности выбора наиболее достоверной ТМИ для решения задач экспресс-обработки ТМИ и (соответственно) последующего экспресс-анализа (т.е. создаются предпосылки для улучшения качества экспресс-обработки ТМИ и экспресс-анализа и, соответственно, качества оперативной обработки ТМИ и оперативного анализа).</p>	<p>1. Необходимо обеспечить приёмо-регистрацию ТМИ в темпе её формирования в БРТС, следствием чего могут быть значительные материальные затраты, связанные с использованием ПТС, размещённых на ИПах, ВИПах, ПодИК и ПерИК, и/или с использованием МКСР.</p> <p>2. Создаются предпосылки увеличения материальных затрат на осуществление нужного количества ШКС для сбора ТМИ, особенно для сбора ТМИ с ВИПов, ПодИК и ПерИК.</p> <p>3. Стратегии, связанные со значительной задержкой приёмо-регистрации ТМИ (типа вышеупомянутых БЗУ на телеметрируемом объекте и DTN) оказываются неприемлемыми.</p>
3, 4, 7, 8, 11, 12, 15, 16.	<i>L<sub>Z</sub>ИТО_3_Т_2</i>	Возможно использование существующих (штатных) ШКС и ПТС и ИТ для сбора	1. Сбор ТМИ преимущественно в послеполётное время совместим с огра-	1. Неизбежным следствием сбора ТМИ преимущественно в послеполётное время

		ТМИ.	<p>ничениями (требованиями) <math>L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_2}</math>, выполнение которых обеспечивает определённые преимущества.</p> <p>2. Появляется возможность смягчить требования к пропускной способности ШКС средств сбора ТМИ, что создаёт предпосылки для снижения материальных затрат, по сравнению со сбором ТМИ в темпе её приёма-регистрации.</p>	<p>является ужесточение требований к оперативности ФОМДТ из-за ограниченности сроков получения обобщённого массива данных телеизмерений.</p> <p>2. Ограниченное количество ПРС, задействуемых для сбора ТМИ в темпе формирования ТМИ в БРТС, создаёт предпосылки для ухудшения качества экспресс-обработки ТМИ и экспресс-анализа и – далее – оперативной обработки ТМИ и оперативного анализа (соответственно ограничивается выбор ТМИ взаимодублируемых ПРС).</p>
1, 5, 9, 13.	$L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_1}$	<p>1. Стратегии решения задач ИТО, обеспечивающие ФОМДТ в темпе поступления всей ТМИ (<math>Q_{ТМИ\_рег}</math>), принимаемой ПРС, на входы ПТС ФОМДТ.</p> <p>2. ФОМДТ выполняют в темпе поступления ТМИ на входы ПТС ФОМДТ, причём оно ориентировано на управляемый разнесённый приём во времени, при осуществлении которого оценивание принятой ТМИ с целью определения её пригодности для ФОМДТ производится в ПТС ФОМДТ.</p>	<p>1. Выполнение ограничений (требований) <math>L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_1}</math> (ФОМДТ в полётное время) создаёт благоприятные условия для управляемого разнесённого приёма во времени, при осуществлении которого оценивание принятой ТМИ с целью определения её пригодности для ФОМДТ производится в ПТС ФОМДТ в полётное время (см. выше). В свою очередь, осуществление управляемого разнесённого приёма ТМИ позволяет минимизировать ресурсы, связанные с ТК (прежде всего с ПРС) и при этом существенно улучшить (по сравнению с традиционным разнесённым приёмом ТМИ) достоверность обобщённых данных телеизмерений.</p> <p>2. Появляется возможность использовать сформированные обобщённые данные для решения задач экспресс-обработки ТМИ и экспресс-анализа и – далее – оперативной обработки ТМИ и оперативного анализа.</p>	<p>1. Ограничения (требования) <math>L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_1}</math> несовместимы с <math>L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_2}</math> и <math>L_{Z\_ИТО\_3\_Т\_2}</math>, выполнение которых обеспечивает определённые преимущества.</p> <p>2. Для осуществления ФОМДТ с учётом ограничений (требований) <math>L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_1}</math> необходимо выполнить ограничения (требования) <math>L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_1}</math> и <math>L_{Z\_ИТО\_3\_Т\_1}</math>, с которыми связаны не только определённые преимущества, но и недостатки.</p> <p>3. Для выполнения ограничений (требований) <math>L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_1}</math> необходимы принципиально новые стратегии решения задач ИТО (их сущности и связанные с ними материальные затраты неочевидны).</p>
2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16.	$L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_2}$	<p>1. Использование традиционных стратегий ФОМДТ.</p> <p>2. Использование модернизированных стратегий ФОМДТ, ориентированных на послеполётное время (в частности, применение новых алгоритмов <math>A_4</math> и <math>A_{42}</math> получения обобщённых данных).</p> <p>3. Использование управля-</p>	<p>1. Ограничения (требования) <math>L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_2}</math> (ФОМДТ в послеполётное время) не являются жёсткими (они обычные, по сравнению с альтернативными им <math>L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_1}</math>), что создаёт благоприятные условия для рационального распределения имеющихся ресурсов во времени.</p>	<p>Недостатки, связанные с ограничениями (требованиями) <math>L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_2}</math>, в свою очередь связаны с недостатками тех из следующих ограничений (требований), которые обязательны для выполнения: <math>L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_1}</math>, <math>L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_2}</math>, <math>L_{Z\_ИТО\_3\_Т\_1}</math>, <math>L_{Z\_ИТО\_3\_Т\_2}</math>, <math>L_{Z\_ИТО\_2\_Т\_1}</math>.</p>

		мого разнесённого приёма ТМИ во времени, причём оценивание принятой ТМИ с целью определения её пригодности для ФОМДТ производится в полётное время в ПРС.	2. Ограничения (требования) $L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_2}$ хорошо сочетаются со многими ограничениями (требованиями) множества $L_{Z\_ИТО\_иссл}$ , а именно: $L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_2}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_Т\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_Т\_2}$ , $L_{Z\_ИТО\_2\_V\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_2\_V\_2}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_V\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_V\_2}$ .	$L_{Z\_ИТО\_2\_V\_2}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_V\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_V\_2}$ .
1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12.	$L_{Z\_ИТО\_2\_V\_1}$	Традиционные (по принципам функционирования) БРТС и ПРС, размещённые на ИПах, ВИПах, ПодИК и ПерИК.	1. Ограничения (требования) $L_{Z\_ИТО\_3\_V\_1}$ – обычные для существующих средств приёмо-регистрации и сбора ТМИ. 2. Ограничения (требования) $L_{Z\_ИТО\_2\_V\_1}$ хорошо сочетаются со многими ограничениями (требованиями) множества $L_{Z\_ИТО\_иссл}$ , а именно: $L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_2}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_Т\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_Т\_2}$ , $L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_2}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_V\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_V\_2}$ . При выполнении вышеперечисленных ограничений (требований) получают определённые преимущества.	1. Большой объём принятой ТМИ ( $Q_{ТМИ\_pec}$ ) избыточен. Отвлекаются значительные ресурсы для действий над этой избыточной ТМИ. 2. Недостатки, связанные с ограничениями (требованиями) $L_{Z\_ИТО\_2\_V\_1}$ , в свою очередь связаны с недостатками тех из следующих ограничений (требований), которые обязательны для выполнения: $L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_2}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_Т\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_Т\_2}$ , $L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_2}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_V\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_V\_2}$ .
5, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 16.	$L_{Z\_ИТО\_2\_V\_2}$	1. Использование МКСП для сокращения количества задействуемых ПРС и других ПТС ТК и для улучшения достоверности телеизмерений разнесением ТМИ в пространстве (см. рисунки Б.28 и Б.29). 2. Использование управляемого разнесённого приёма ТМИ во времени, причём оценивание принятой ТМИ с целью определения её пригодности для ФОМДТ производится в полётное время: - в ПТС ФОМДТ; - в ПРС. 3. Возможно комбинирование действий представленных выше п. 1, 2.	Сокращением объёма принятой ТМИ ( $Q_{ТМИ\_pec}$ ) обеспечивается экономия ресурсов, выделяемых для действий над этой ТМИ.	1. В случае использования МКСП не исключено, что материальные затраты окажутся существенно больше, чем альтернативное использование ИПов, ВИПов, ПерИК и ПодИК. 2. В случае обеспечения управляемого разнесения ТМИ во времени необходимо наделять БРТС и ПРС или ПТС ФОМДТ соответствующими дополнительными функциями.
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.	$L_{Z\_ИТО\_3\_V\_1}$	Традиционные и обновлённые (модернизированные) средства сбора ТМИ.	1. Ограничения (требования) $L_{Z\_ИТО\_3\_V\_1}$ – обычные для существующих средств сбора ТМИ (велика вероятность, что дополнительные ресурсы для их выполнения не понадобятся). 2. Ограничения (требования) $L_{Z\_ИТО\_2\_V\_1}$ хорошо сочетаются со многими ограничениями (требованиями) множества $L_{Z\_ИТО\_иссл}$ , а именно: $L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_2}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_Т\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_3\_Т\_2}$ , $L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_4\_Т\_2}$ , $L_{Z\_ИТО\_2\_V\_1}$ , $L_{Z\_ИТО\_2\_V\_2}$ . При	1. Значительный объём ТМИ, собранный для ФОМДТ ( $Q_{ТМИ\_ФОМДТ}$ ), избыточен. Отвлекаются значительные ресурсы для сбора этой избыточной ТМИ. 2. Недостатки, связанные с ограничениями (требованиями) $L_{Z\_ИТО\_3\_V\_1}$ , в свою очередь связаны с недостатками тех из следующих ограничений (требований), которые выбраны в качестве обязательных для выполнения, а именно: $L_{Z\_ИТО\_12\_Т\_1}$ ,

			выполнении вышеперечисленных ограничений (требований) получают определённые преимущества.	$L_{Z\_ито\_12\_T\_2}$ , $L_{Z\_ито\_3\_T\_2}$ , $L_{Z\_ито\_4\_T\_2}$ , $L_{Z\_ито\_2\_V\_2}$ .
9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16.	$L_{Z\_ито\_3\_V\_2}$	<p>1. Использование предварительно выбранной (наиболее достоверной) ТМИ из принятой <math>Q_{ТМИ\_рег}</math> для последующего ФОМДТ. Выбор осуществляется по следующим данным:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- данные, содержащие оценки достоверности принятой (<math>Q_{ТМИ\_рег}</math>) ТМИ (например, оценки в виде количества недостоверных тестовых данных в текущих принятых блоках данных с ТМИ);</li> <li>- тестовые данные, выделенные из принятой <math>Q_{ТМИ\_рег}</math> ТМИ, и сопровождающие их данные (типа содержащихся в ТМИ <math>Q_{ТМИ\_рег}</math> синхросигналов), позволяющие получать с использованием ПТС ФОМДТ обобщённые тестовые данные и по ним оценивать ожидаемую достоверность обобщённых данных телеизмерений <math>Q_{ТМИ\_ом}</math>. Вышеупомянутые данные могут формироваться и передаваться на входы ПТС ФОМДТ как в темпе приёма-регистрации ТМИ, так и позже (например, в послеполётное время). Соответственно время последующего сбора ТМИ для осуществления ФОМДТ. При этом осуществляют сбор не всей ТМИ <math>Q_{ТМИ\_рег}</math>, а лишь тех ПРС и тех временных интервалов, которая необходима для ФОМДТ.</li> </ul> <p>2. Сбор ТМИ для ФОМДТ в два этапа. На первом этапе собирают ТМИ, принятую и зарегистрированную частью ПРС, оценивают потребности в дополнительной ТМИ для ФОМДТ и отправляют запросы со сведениями о временных интервалах с недостающей ТМИ. Задачи первого этапа могут решаться как в полётное, так и в послеполётное время. На втором этапе осуществляют сбор не всей ТМИ, принятой оставшимися ПРС, а лишь временных интервалов с недостоверной (с недостающей) ТМИ.</p>	При допустимой оперативности сбора ТМИ обеспечивается возможность смягчить требования к пропускной способности ШКС средств сбора ТМИ, что может быть весьма актуально при сборе ТМИ с ВИПов, ПодИК и ПерИК (в случае жёстких ограничений пропускной способности соответствующих ШКС).	Создаются предпосылки для неприемлемого увеличения материальных затрат, связанных с выполнением ограничений (требований) $L_{Z\_ито\_3\_V\_2}$ .

6. Парно сопоставлены отдельные ограничения (требования) множеств  $L_{Z\_ито\_исл}$  (см. п. 4) и  $L_{U\_прим\_исх}$  (см. п. 1), результаты сопоставления аналогичны п. 2.

Обнаружены следующие альтернативные (взаимоисключающие, несовместимые) пары:  $L_{U\_прим\_исх\_15}$  и  $L_{Z\_ито\_12\_T\_2}$ ,  $L_{U\_прим\_исх\_16}$  и  $L_{Z\_ито\_12\_T\_1}$ ,  $L_{U\_прим\_исх\_17}$  и  $L_{Z\_ито\_12\_T\_2}$ .

7. Сформировано следующее множество кортежей  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб}$  ( $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб} = \{L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб\_i}, i = 1, 2, \dots, 28\}$ ):

$$- L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб\_i} = \langle L_{Kort\_U\_прим\_исх\_1}, L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_j} \rangle,$$

$$i = 1, 2, \dots, 12; j = 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15;$$

$$- L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб\_i} = \langle L_{Kort\_U\_прим\_исх\_2}, L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_j} \rangle,$$

$$i = 13, 14, 15, 16; j = 4, 8, 12, 16;$$

$$- L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб\_i} = \langle L_{Kort\_U\_прим\_исх\_3}, L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_j} \rangle,$$

$$i = 17, 18, \dots, 28; j = 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15.$$

8. Выбраны из множества кортежей  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб}$  (см. п. 7) множество наиболее актуальных кортежей  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_рац}$ .

Среди ограничений (требований), относящихся к кортежам  $L_{Kort\_U\_прим\_исх\_1}$ ,  $L_{Kort\_U\_прим\_исх\_2}$  и  $L_{Kort\_U\_прим\_исх\_3}$ , наиболее актуальны (с точки зрения достоверности обобщённых данных  $Q_{ТМИ\_ОМ}$  и минимизации количества ПТС ТК  $R_{ТК}$ ) связанные с кортежем  $L_{Kort\_U\_прим\_исх\_3}$  [223, 225]. В свою очередь, сущности кортежа  $L_{Kort\_U\_прим\_исх\_3}$  во многом определяются ограничениями (требованиями)  $L_{U\_прим\_исх\_17}$  (см. табл. 1.10), касающимися управляемого разнесения ТМИ, причём  $L_{U\_прим\_исх\_17} \in L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб\_i}$ ,  $i = 17, 18, \dots, 28$ . Следовательно, в дальнейшем целесообразно сосредоточиться на детализации объектов, относящихся к кортежам  $L_{Kort\_Z\_ИТО\_иссл\_выб\_i}$ ,  $i = 17, 18, \dots, 28$ .

9. Конкретизация выбранных по п. 8 ограничений (требований) касается разработки **теоретических положений** [222], обеспечивающих рациональное управление избыточностью данных телеизмерений, с которыми связаны элементы множеств  $U_{прим}$  (1.28) и  $F_R$  (1.23). К ним относятся:

- **алгоритм преобразования первичных сигналов**, уменьшающий потери ТМИ из-за неопределённости ТМП;

- **технологии управляемого разнесённого приёма ТМИ**;

- **метод построения алгоритмов** получения обобщённых данных, адаптирующихся к изменяющимся условиям помеховой обстановки, а также **рациональные алгоритмы получения обобщённых данных**, разработанные с его использованием;

- **метод улучшения качества синхронизации** принятых блоков данных.

### Выводы по главе 3

1. Необходимым условием улучшения ИТО является минимизация количества ПТС ТК и их инвариантность к изменяющимся задачам ИТО, обеспечиваемые, прежде всего, ограничением суммарной скорости поступления ТМИ с выходов БРТС и уменьшением количества каналов разнесения «борт-Земля» (т.е. уменьшением избыточности данных телеизмерений) при существенном уменьшении потерь ТМИ. Это противоречивое условие выполняется результативным комплексным применением методов компактного представления ТМИ (прежде всего в БИТС), методов улучшения энергетических характеристик отдельных каналов «борт-Земля», а также методов разнесённого приёма ТМИ.

2. Ограничения (требования), сформулированные с использованием развитого подхода к интеграции ПТС ИТО в единый комплекс, позволяют целенаправленно конкретизировать сущности ПТС, методов (прежде всего, методов действий над ТМИ), структур ТМИ и других элементов (аспектов) стратегий усовершенствования и применения СИТО. При этом построение неограниченного множества стратегий (исходя из непрерывности процесса развития СИТО) регламентируют конечным множеством ограничений (требований). Обеспечивается возможность исключения явно ущербных стратегий на ранних этапах их построения.

3. Большие возможности исходят от БРТС. Они касаются создания условий для улучшения качества обобщённых телеизмерений преобразованием первичных сигналов, существенно уменьшающим потери информации, связанные с неопределённостью поведения ТМП; осуществлением алгоритмов компактного представления ТМИ (прежде всего, ТМИ о БМП) в БИТС; формированием компактных структур ТМИ в БИТС; осуществлением управляемого разнесённого приёма ТМИ.

ГЛАВА 4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ,  
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ РАЦИОНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ ДАННЫХ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЙ

**4.1 Алгоритм преобразования первичных сигналов,  
уменьшающий потери ТМИ вследствие ошибок  
в выборе ожидаемого диапазона измерений  
и обеспечивающий компактное представление данных**

На рисунке 4.1 представлены сведения о сущностях метода и (соответственно) разработанного алгоритма преобразования данных телеизмерений в БИТС в условиях жёстких ограничений пропускной способности каналов «борт-Земля». Исследованы [24, 222] возможности алгоритма, касающиеся повышения точности измерений, уменьшения потерь ТМИ из-за ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений (см. рисунки Б.3 – Б.7).

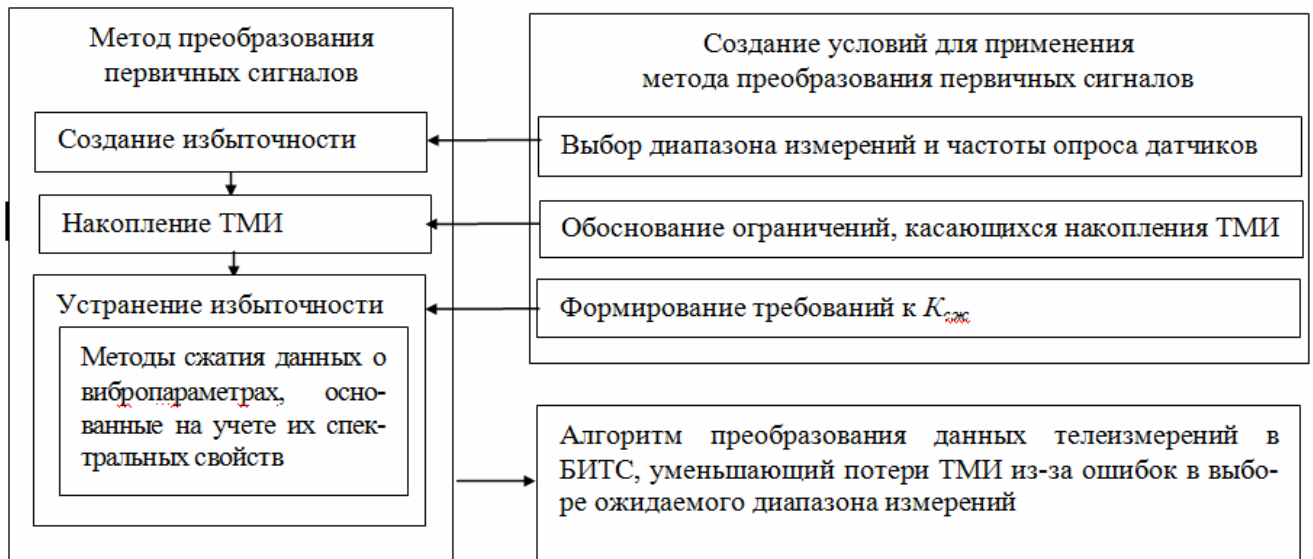


Рисунок 4.1 – Схема, поясняющая суть метода компактного представления данных телеизмерений в БИТС

Суть алгоритма заключается в первоначальном избыточном квантовании первичного сигнала с последующим устранением избыточности и передачей информации об уровнях квантования [57]:

$$u(t) = \{U_0, U_1, \dots, U_n\}, \quad T = \Delta T \cdot n, \quad (4.1)$$

$$U_{nj} = K_n \frac{U_j - U_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}}, \quad K_n < K_u, \quad \langle U_j \rangle = \langle U_{nj}, U_{\min}, U_{\max} \rangle, \quad A = U_{\max} - U_{\min},$$

где  $K_u$  ( $K_n$ ) – количество уровней квантования исходного  $U_j$  (преобразованного  $U_{nj}$ ) измерения;



$A$  – размах сигнала;

$T$  – временной интервал обработки.

Алгоритм включает:

а) уменьшение коэффициента усиления для первичного сигнала и первоначальное квантование сигнала, причём существенно бóльшим количеством уровней, по сравнению с выходным сигналом, с целью снижения риска потери информации из-за ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений (когда первичный сигнал зашкаливает или он находится на уровне шума); последующее формирование данных телеизмерений;

б) накопление формируемых данных телеизмерений;

в) выбор среди накопленных данных телеизмерений, имеющих экстремальные значения;

г) значительное уменьшение разрядности всех накопленных данных телеизмерений, за исключением имеющих экстремальные значения, равносильное грубому квантованию первичного сигнала в интервале между его экстремальными значениями, причём погрешность вследствие грубого квантования выходного сигнала мала относительно других привносимых в первичный сигнал погрешностей;

д) формирование и передача выходных данных с уменьшенной и с увеличенной (для обеспечения возможности представления всех переданных данных телеизмерений в единой шкале телеметрического канала) разрядностью.

При исследовании возможностей предложенного алгоритма проведен сравнительный анализ результатов его применения и результатов преобразований первичных сигналов, осуществляемых в БИТС типа БРС-4 в случае аналогового метода передачи ТМИ. Для простоты полагаем, что шумы квантования и помехи, действующие в каналах «борт-Земля» аддитивны и распределены равномерно – интенсивность помех может быть выражена эквивалентным количеством уровней квантования. Вероятность попадания в ожидаемый диапазон измерений равна:

$$P = \int_{A_{\text{н}}}^{A_{\text{в}}} w(A) dA, \quad (4.2)$$

где  $A_{\text{н}}$  ( $A_{\text{в}}$ ) – нижняя (верхняя) граница рабочего диапазона измерений;

$w(A)$  – плотность вероятности распределения сигналов.

Пусть плотность вероятности  $w(A)$  распределена по нормальному закону, её максимальное значение соответствует размаху сигнала, составляющему 50% рабочего диапазона [126]. Такое предположение основано на стремлении обеспечить наименьшую вероятность выхода сигнала как за нижнюю, так и за верхнюю границу ожидаемого диапазона.

Из-за ошибок в установлении коэффициента усиления измеренное значение сигнала на выходе усилителя  $A^*$  не совпадает с его истинным значением  $A$ :

$$A^* = A_\phi(K \pm \Delta K) = A_\phi K \pm A_\phi K \frac{\Delta K}{K} = A \pm A \delta K, \quad (4.3)$$

где  $A_\phi$  – размах сигнала на выходе фильтра;

$K$  – истинное значение коэффициента усиления;

$\Delta K$  ( $\delta K$ ) – абсолютная (относительная) погрешность установления.

Предположено (для простоты), что ошибки установления коэффициента усиления распределены равномерно. По аналогии с [103, с.64]:

$$\sigma_{yc} = \frac{A \delta K}{\sqrt{3}}, \quad \gamma_{yc} = \frac{\delta K}{\sqrt{3}}, \quad (4.4)$$

где  $\sigma_{yc}$  – среднеквадратическая ошибка определения размаха сигнала из-за неточного установления коэффициента усиления;

$\gamma_{yc} - \sigma_{yc}$  в приведенном к  $A$  виде.

По аналогии с [103, с.128-129] вычисляются ошибки квантования:

$$\gamma_{кв} = \frac{\sigma_{кан}}{A}, \quad (4.5)$$

Среднеквадратическое отклонение ошибки канала  $\sigma_{кан}$  зависит от количества уровней квантования сигнала в канале (от шага квантования  $\Delta u$ ):

$$\sigma_{кан} = \sigma_{кв} = \Delta u / 2\sqrt{3}. \quad (4.6)$$

На основании (4.5) и (4.6):

$$\gamma_{кв}^{(1)} = \frac{\Delta u_n}{2\sqrt{3}A} = \frac{\Delta u_n}{2\sqrt{3} \cdot \Delta u_n \cdot K_n} = \frac{1}{2\sqrt{3}K_n}, \quad (4.7)$$

$$\gamma_{кв}^{(2)} = \frac{\sigma_{кан}}{\text{Ш}_{кан}} \frac{\text{Ш}_{кан}}{A} = \frac{\text{Ш}_{кан}}{A} \frac{1}{2\sqrt{3}N_n}, \quad (4.8)$$

где  $\Delta u_n$  – шаг квантования первичного сигнала при применении предложенного алгоритма;

$Ш_{кан}$  – шкала канала;

$N_n$  – интенсивность помех, выраженная эквивалентным количеством уровней квантования.

$\gamma_{кв}^{(1)}$  ( $\gamma_{кв}^{(2)}$ ) – характеристика ошибок при применении предложенного алгоритма (существующей БИТС типа БРС-4).

Суммарная ошибка (т.к. ее составляющие независимы) равна:

$$\gamma_{\Sigma} = \sqrt{\gamma_{yc}^2 + \gamma_{кв}^2}. \quad (4.9)$$

На основании (4.5), (4.7), (4.8) и (4.9):

$$\gamma_{\Sigma}^{(1)} = \sqrt{\frac{(\delta K)^2}{3} + \frac{1}{12K_n^2}}, \quad (4.10)$$

$$\gamma_{\Sigma}^{(2)} = \sqrt{\frac{(\delta K)^2}{3} + \frac{Ш_{кан}^2}{12A^2N_n^2}}. \quad (4.11)$$

Для выполнения расчетов по формулам (4.10) и (4.11) использованы следующие исходные данные:  $Ш_{кан} = 512$  единиц и  $Ш \approx 400$  единиц (из практики),  $\delta K \approx 4,5 \cdot 10^{-2}$  (исходя из паспортных данных),  $N_n \approx 10 \div 15$  (исходя из практики, выбрано  $N_n = 12$ ),  $K_n = 4$  (8, 16),  $A_{min} = 20$ ,  $A_{max} = 400$ ,  $\Delta A = 20$  (шаг  $A$ ). Учтено, что в практике принято считать сигнал на уровне шумов, если его размах составляет менее 20% от шкалы измерений  $Ш$ , т.е.:

$$A_{u2} \approx 0,2Ш. \quad (4.12)$$

Определены интервалы изменения  $A$ , при которых предложенный алгоритм (или применение БИТС типа БРС-4) имеет преимущества:

$$\gamma_{\Sigma}^{(1)} = \gamma_{\Sigma}^{(2)}, \quad A_{=} = \frac{Ш_{кан}K_n}{N_n}. \quad (4.13)$$

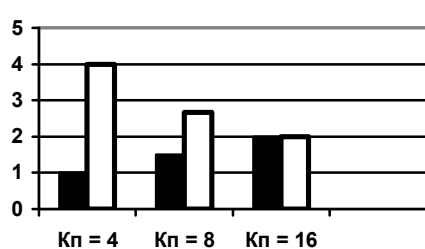
Вычислено (4.13):  $A_{=} = 170$  при  $K_n = 4$ ,  $A_{=} = 340$  при  $K_n = 8$ ;  $\gamma_{yc} \approx 2,6\%$  (4.4). Вычислены также доли от общего объёма измерений:  $\gamma_{\Sigma}^{(1)}(A) < \gamma_{\Sigma}^{(2)}(A)$  (лучше предложенный алгоритм);  $\gamma_{\Sigma}^{(1)}(A) > \gamma_{\Sigma}^{(2)}(A)$  (лучше БИТС типа БРС-4);  $\gamma_{\Sigma}^{(1)}(A < A_{u1}, A > A_6)$  и  $\gamma_{\Sigma}^{(2)}(A < A_{u2}, A > A_6)$  (потери ТМИ).

При  $K_n = 4$  точность, обеспечиваемая предложенным алгоритмом, для 36,4% измерений ( $A = 0 \div 170$ ) не хуже обеспечиваемой БИТС типа БРС-4; максимальная разница характеристик ошибок  $\Delta\gamma_{max} \approx 4,0\% - 7,7\% = -3,7\%$ ; потери ТМИ за счёт расширения рабочего диапазона  $A_{u1} \approx 0$ ,  $A_{u2} = 80$  (4.12)) составляют 15,1% – сокращаются на 7,9%.

При  $K_n = 8$  преимущества имеют 73,8% измерений ( $A = 0 \div 340$ ), по точности уступают 11% измерений, а  $\Delta\gamma_{max} \approx 4,0\% - 4,5\% = -0,5\%$ .

При  $K_n = 16$   $\Delta\gamma_{max} \approx 4,0\% - 3,2\% = 0,8\%$  – в пользу предложенного алгоритма.

Из полученных характеристик следует, что для более трети случаев точность выше уже при  $K_n = 4$ . Выбирать  $K_n > 8$  вообще не имеет смысла. В зависимости от выбранного  $K_n$  изменяется соотношение объёмов реализаций четырёхпозиционного сигнала на выходе БИТС и данных на выходе ПРС (рисунок 4.2).



Условные обозначения:

■ – увеличение объёма реализаций сигнала на выходе БИТС;

□ – уменьшение объёма данных на выходе ПРС.

Рисунок 4.2 – Результаты применения предложенного алгоритма

Осуществлено усовершенствование этого алгоритма [9].

В усовершенствованном алгоритме изменён порядок установления экстремальных значений размаха сигнала  $A$  ( $A_{min\_уст}$  и  $A_{max\_уст}$ ), а также количества уровней квантования  $K_n$  и значений выходных данных  $U_{nj}$ . В качестве устанавливаемых ( $A_{min\_уст}$  и  $A_{max\_уст}$ ) могут быть выбраны не только экстремальные значения  $A_{min}$  и  $A_{max}$  текущего ( $m$ -го) интервала обработки длительностью  $T$  (4.1), но и предыдущих  $[(m - 1)$ -го,  $[(m - 2)$ -го и т.д.] интервалов. Обычно  $T \ll T_{нс}$  (где  $T_{нс}$  – длительность интервала обработки наземными средствами), поэтому если разница текущих экстремальных значений  $A_{min}$  и  $A_{max}$  существенно меньше разницы установленных значений  $A_{min\_уст}$  и  $A_{max\_уст}$ , то появляется возможность уменьшения уровней квантования  $K_n$  (и, соответственно, объёма выходного данного) без увеличения погрешности измерений. Также в усовершенствованном алгоритме пре-

дусмотрено задание априори допустимых устанавливаемых значений  $A_{min\_уст\_дон}$  и  $A_{max\_уст\_дон}$ . Разница текущих экстремальных значений  $A_{min}$  и  $A_{max}$  меньше разницы заданных значений  $A_{min\_уст\_дон}$  и  $A_{max\_уст\_дон}$  может означать, что телеметрируемый объект находится в состоянии покоя (вибрации отсутствуют), формирование выходных данных  $U_{nj}$  (4.1) отменяется.

Таким образом, рассмотренный алгоритм обеспечивает уменьшение потерь ТМИ вследствие ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений и компактное представление данных, что создаёт благоприятные условия для применения цифровых методов передачи ТМИ по каналам «борт-Земля» и (соответственно) использования рациональных алгоритмов получения обобщённых данных телеизмерений [23, 29 и др.].

#### 4.2 Технологии управляемого разнесённого приёма ТМИ

Для компенсации последствий влияния неопределённости помеховой обстановки  $\Lambda_{пом}$  (1.31) в полётное время разработаны **технологии управляемого разнесённого приёма ТМИ** [53, 222].

Их аналогами являются радиолиния с обратным каналом и разнесение ТМИ во времени с использованием БЗУ – неэффективные в условиях действия помех в каналах «борт-Земля» при пусках РКН.

Их суть заключается в автоматическом изменении времени задержки БЗУ в зависимости от необходимости повторной передачи данных телеизмерений для формирования обобщённых данных. Команды на изменение времени задержки БЗУ инициируют ПТС ТК (ПТС ФОМДТ или ПРС).

Показан [61] способ расширения возможностей обычной радиолинии с обратным каналом возможностями разнесённого приёма (применением эффективных алгоритмов получения обобщённых данных  $A_4$  и  $A_{42}$  [61, 66, 201]), что позволяет сократить количество циклов повторной передачи блоков данных и значительно улучшить достоверность данных.

Однако преимущества разнесённого приёма оказываются не реализованными в условиях сильных и продолжительных помех (когда временные интервалы с

ЧПИ и ППИ значительно больше времени передачи отдельного блока данных, что характерно для радиоканалов «борт-Земля» при передаче ТМИ с РКН в полётное время) [53, 61].

В практике построения радиолиний известны методы, обеспечивающие передачу не отдельного блока данных, а значительного количества блоков без какого-либо подтверждения от приёмной станции [13, 159]. Однако они не могут быть результативными в условиях длительных (до единиц секунд) интервалов с ЧПИ и ППИ.

С целью улучшения достоверности обобщённых данных, а также уменьшения количества задействуемых для осуществления разнесённого приёма взаимодублируемых ПРС разработаны [53] два типа технологий управляемого разнесённого приёма ТМИ, причём:

- в первом случае команда на повтор инициируется ПТС формирования обобщённого массива данных телеизмерений (ПТС ФОМДТ) на основании вычисленных оценок достоверности сформированных обобщённых данных телеизмерений по тестовым данным, содержащимся в ТМИ;

- во втором случае команда на повтор инициируется приёмно-регистрирующими станциями из состава взаимодублируемых ПРС по результатам сопоставления вычисленных оценок уровня достоверности принятых ими данных телеизмерений с их допустимыми значениями.

Сущности разработанных технологий пояснены [53] примерами функционирования бортовых и наземных ПТС управляемого разнесённого приёма (УРП) ТМИ.

Бортовое ПТС УРП ТМИ (рисунок 4.3) включает в себя  $N_{\text{БЗУ}}$  последовательно соединённых БЗУ и блок выбора потока ТМИ. Время задержки изменяется оперативно по команде «упр.», поступающей на управляющий вход блока выбора потока ТМИ от наземных ПТС, или по команде, формируемой в этом блоке. В зависимости от необходимой задержки на выход блока выбора потока ТМИ (на выход устройства) поступает ТМИ с выхода одного из последовательно соединённых БЗУ<sub>1</sub>, БЗУ<sub>2</sub>, ..., БЗУ<sub>N\_БЗУ</sub>,  $\text{ТМИ}_{\text{ВП}} = \{\text{ТМИ}_{\text{БЗУ}_1}, \text{ТМИ}_{\text{БЗУ}_2}, \dots, \text{ТМИ}_{\text{БЗУ}_N_{\text{БЗУ}}}\}$ .

В отечественной практике часто применяют распараллеливание полного потока ТМИ (ТМИ всех каналов ОК) на два потока для последующей непосредственной передачи (ТМИ<sub>НП</sub>) и для передачи с установленной постоянной задержкой через БЗУ (ТМИ<sub>ВП</sub>). Такое распараллеливание реализовано, например, в БРТС «Кварц» и «Скут-40» [73]. Актуально использование БРТС, аналогичных вышеупомянутым «Кварц» и «Скут-40», для последующих действий над сформированной ТМИ<sub>НП</sub> и ТМИ<sub>ВП</sub>.

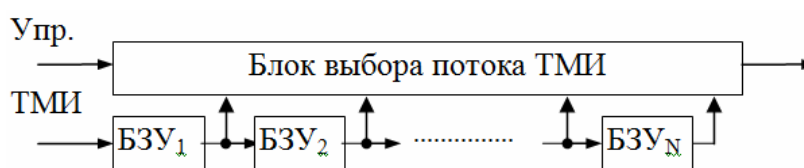


Рисунок 4.3 – Упрощённая схема бортового ПТС управляемого разнесённого приёма ТМИ

В наземном ПТС УРП ТМИ одновременно с приёмо-регистрацией на временном интервале длительностью  $\Delta T_{\text{нак}}$  непрерывно осуществляется накопление поступающей ТМИ, а на интервале длительностью  $\Delta T_{\text{обр}}$  – обработка накопленной ТМИ (рисунок 4.4). По результатам обработки принимается решение о необходимости повторной передачи (т.е. о ценности ТМИ<sub>БЗУ<sub>i</sub></sub>), и в течение времени  $\Delta T_{\text{ком}}$ , обозначенном (см. рисунок 4.4) «ком.», инициируется соответствующая команда. Суммарное время  $\Delta T_{\text{нак}}$  и  $\Delta T_{\text{обр}}$  не должно превышать времени задержки  $T_{\text{зад}}$  ТМИ в БЗУ ( $\Delta T_{\text{нак}} + \Delta T_{\text{обр}} < T_{\text{зад}}$ ), при этом  $\Delta T_{\text{обр}} < \Delta T_{\text{нак}}$ , а  $\Delta T_{\text{нак}} + \Delta T_{\text{обр}} + \Delta T_{\text{ком}} = T_{\text{зад}}$  и  $\Delta T_{\text{нак}} = \Delta T_{\text{обр}} + \Delta T_{\text{ком}}$ .

Приемо-регистрация ТМИ $i$ -го пакета	Приемо-регистрация ТМИ $(i + 1)$ -го пакета		Приемо-регистрация $(i + 2)$ -го пакета
Накопление ТМИ $i$ -го пакета	Обработка ТМИ $i$ -го пакета	Ком.	Накопление ТМИ $(i + 2)$ -го пакета
	Накопление ТМИ $(i + 1)$ -го пакета	Обработка ТМИ $(i + 1)$ -го пакета	Ком.

Рисунок 4.4 – Циклограмма накопления и обработки поступающей ТМИ

Время передачи блока данных ТМИ равно  $T_{\text{БД}}$ , причём за время  $\Delta T_{\text{нак}}$  передаётся и накапливается пакет блоков данных из  $N_{\text{БД}_{\text{нак}}}$  блоков, его длительность равна  $T_{\text{БД}_{\text{нак}}}$  ( $N_{\text{БД}_{\text{нак}}} - \text{целое число}$ ,  $T_{\text{БД}_{\text{нак}}} = \Delta T_{\text{нак}} = N_{\text{БД}_{\text{нак}}} T_{\text{БД}}$ ). Пусть в дальнейшем (для определённости)  $N_{\text{нак}_{\text{нак}_1}} = 2$  ( $N_{\text{нак}_{\text{нак}_1}} = T_{\text{зад}} : T_{\text{БД}_{\text{нак}}}$ ,  $N_{\text{нак}_{\text{нак}_1}}$  – максимальное количество пакетов, накопленных в одном БЗУ;  $N_{\text{нак}_{\text{нак}_1}} - \text{целое число}$ ). Максимальное

количество пакетов, накопленных в вместе взятых БЗУ<sub>1</sub>, БЗУ<sub>2</sub>, ..., БЗУ<sub>N<sub>БЗУ</sub></sub> (см. рисунок 4.3), равно  $N_{\text{пак\_пак\_}N}$  ( $N_{\text{пак\_пак\_}N} = N_{\text{пак\_пак\_}1} N_{\text{БЗУ}} = T_{\text{зад\_}N\text{\_БЗУ}} : T_{\text{БД\_пак}}$ ).

Необходимо обеспечить идентификацию каждого пакета с ТМИ<sub>НП</sub> и соответствующих ему пакетов с ТМИ<sub>БЗУ<sub>1</sub></sub>, ТМИ<sub>БЗУ<sub>2</sub></sub>, ..., ТМИ<sub>БЗУ<sub>N<sub>БЗУ</sub></sub></sub>. Показан [53] возможный способ идентификации, связанный с рандомизацией данных [220], формируемых бортовыми ПТС УРП ТМИ.

После накопления и последующей обработки текущего пакета блоков данных с ТМИ наземным ПТС УРП ТМИ в течение времени  $\Delta T_{\text{ком}}$  инициируется команда «ком. 0» или «ком. 1» (см. рисунок 4.4), причём «ком. 0» в случае, когда достаточно ТМИ<sub>НП</sub>, а «ком. 1», «ком. 2», ... «ком. N<sub>БЗУ</sub>» – когда для улучшения достоверности принятой ТМИ<sub>НП</sub> необходима, соответственно, ТМИ<sub>БЗУ<sub>1</sub></sub>, ТМИ<sub>БЗУ<sub>2</sub></sub>, ..., ТМИ<sub>БЗУ<sub>N</sub></sub> этого пакета.

Созданы [53] условия для обеспечения синхронизации действий над пакетами с ТМИ<sub>НП</sub> и с ТМИ<sub>ВП</sub> в процессе функционирования бортового и всех наземных ПТС УРП ТМИ.

Особенности практической реализации технологий УРП ТМИ зависят от сущностей сформулированных [52] ограничений (требований) (см. разд. 3.3), касающихся комплексирования ПТС ИТО.

В частности, случае осуществления **технологии первого типа** в условиях очень жёстких ограничений пропускной способности каналов средств сбора ТМИ возможна [52] (см. разд. 3.3) передача в темпе приёмо-регистрации не всей ТМИ, принятой ПРС, а лишь выделенных из неё тестовых данных для последующего формирования обобщённых тестовых данных (их объём значительно меньше всех принятых и зарегистрированных данных телеизмерений) и на основании оценок уровня их достоверности инициирование команд «ком. 0», «ком. 1», «ком. 2», ..., «ком. N<sub>БЗУ</sub>». Использование ТМИ, принятой и зарегистрированной взаимодублируемыми ПРС, позволит обеспечить требуемый уровень достоверности обобщённых данных телеизмерений. При этом сбор ТМИ и ФОМДТ осуществляют в послеполётное время.

На примере реальной ТМИ и моделируемого управляемого разнесённого приёма показаны возможности уменьшения интервалов потерь принимаемой ТМИ – от единиц секунд до отдельных сбоев.

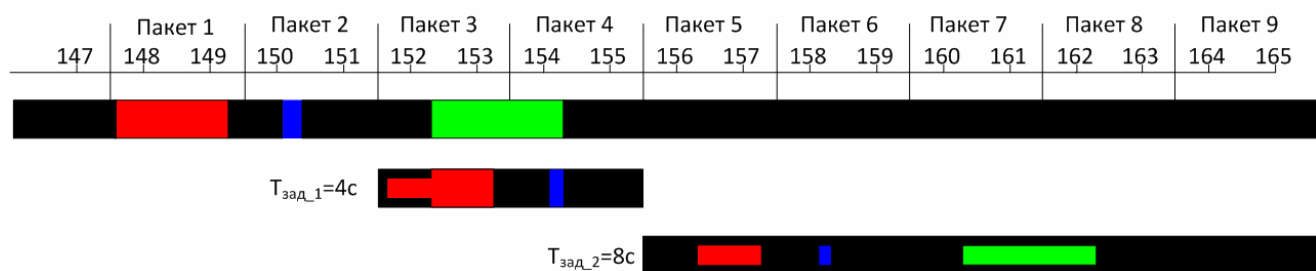


Пусть в составе бортового ПТС (см. рисунок 4.3) имеется восемь БЗУ (БЗУ<sub>1</sub>, БЗУ<sub>2</sub>, ..., БЗУ<sub>8</sub>), каждое из которых обеспечивает одинаковую задержку ТМИ  $T_{зад}$  = 4 с. Тогда задержка ТМИ на выходе БЗУ<sub>1</sub> составит  $T_{зад\_1}$  = 4 с, БЗУ<sub>2</sub> –  $T_{зад\_2}$  = 8 с, БЗУ<sub>3</sub> –  $T_{зад\_3}$  = 12 с, ..., БЗУ<sub>8</sub> –  $T_{зад\_8}$  = 32 с.

Пусть  $T_{БД}$  = 80 мс, а  $N_{БД\_нак}$  = 25 блоков (т.е.  $T_{БД\_нак}$  =  $\Delta T_{нак}$  =  $25 \times 0,08$  = 2 с). Т.к.  $\Delta T_{нак}$  =  $\Delta T_{обр}$  +  $\Delta T_{ком}$ , то пусть  $\Delta T_{обр}$  = 1,5 с, а  $\Delta T_{ком}$  = 0,5 с.

Рассмотрены возможности управляемого разнесённого приёма ТМИ на временном интервале отделения первой ступени РН «Энергия» (пуск от 15.05.1987). Для простоты полагаем, что при его осуществлении применялась лишь одна ПРС МК24, при этом экспериментально установлены потери ТМИ (в секундах полётного времени) на следующих временных интервалах: 147,6 ÷ 149,3; 150,1 ÷ 150,3; 152,3 ÷ 154,3 (см. рисунок Б.8 в).

Полагаем, что требуемая достоверность обеспечивается формированием обобщённых данных телеизмерений путём замены временных интервалов с потерями ТМИ на соответствующие им интервалы с достоверными данными телеизмерений (на этих интервалах недостоверные данные не обнаружены). При этом (для простоты моделирования и оценивания) из рассмотрения исключаются более результативные алгоритмы получения обобщённых данных [61, 201]. Смоделированные результаты ФОМДТ представлены на рисунке 4.5. В таблице 4.1 представлены сведения о сущностях применённых при этом команд «ком. 0», «ком. 1» и «ком. 2».



**Условные обозначения:**

■ - достоверные телеизмерения;

■ ■ ■ - потери ТМИ на первом, втором и третьем временном интервале;

■ ■ ■ - повторно принятые достоверные телеизмерения первого, второго и третьего интервала.

Рисунок 4.5 – Результаты моделирования управляемого разнесённого приёма реальной ТМИ

Таблица 4.1 – Команды, сформированные при осуществлении управляемого разнесённого приёма ТМИ (для пояснения приведённого примера)

Номер пакета	Наземные ПТС,			принята не принята	Бортовое ПТС,			Сведения о ТМИ рассматриваемого пакета
	ком.	время			ком.	время		
		выдачи	срабаты- вания			выдачи	срабаты- вания	
1	1	151,0-151,5	151,5	принята	–	–	–	Необходима ТМИ <sub>БЗУ 1</sub> .
	2	155,0-155,5	155,5	принята	–	–	–	Необходима ТМИ <sub>БЗУ 2</sub> .
	0	159,0-159,5	159,5	принята	–	–	–	ТМИ <sub>ВП</sub> не требуется.
2	1	153,0-153,5	153,5	не принята	1	153,5	153,5	Из-за помех инструкции бортовым ПТС («ком. 0» или «ком. 1») от наземных ПТС не получены.
	2	157,0-157,5	157,5	принята	–	–	–	Требуется ТМИ <sub>БЗУ 2</sub> .
	0	161,0-161,5	161,5	принята	–	–	–	ТМИ <sub>ВП</sub> не требуется.
3	2	155,0-155,5	155,5	принята	–	–	–	Требуется ТМИ <sub>БЗУ 1</sub> , но приоритет имеет «ком. 2» для ТМИ <sub>ВП</sub> пакета 1.
	0	163,0-163,5	163,5	принята	–	–	–	ТМИ <sub>ВП</sub> не требуется.
4	2	157,0-157,5	157,5	принята	–	–	–	Требуется ТМИ <sub>БЗУ 1</sub> , но выполняются действия над ТМИ <sub>БЗУ 1</sub> пакета 1, поэтому выдают «ком. 2».
	0	165,0-165,5	165,5	принята	–	–	–	ТМИ <sub>ВП</sub> не требуется, причём не только для данных пакета 4, но и для пакетов 1, 2, 3. Командой «ком. 0» от наземных ПТС устанавливается время задержки БЗУ для ФОМДТ, при котором достаточно лишь ТМИ <sub>ВП</sub> .

Возможности рассмотренного управляемого разнесённого приёма ТМИ зависят от времени задержки отдельного БЗУ ( $T_{зad}$ ) и от количества таких БЗУ ( $N_{БЗУ}$ , см. рисунок 4.3). Если длительность временного интервала с потерями ТМИ превышает максимальное время задержки ( $T_{зad\_N\_БЗУ}$ ), то потери ТМИ по окончании ФОМДТ неизбежны, а хранение накопленных данных телеизмерений, искажённых помехами, и действия над ними в наземных ПТС УРП ТМИ нецелесообразны. В этом случае актуально удаление вышеупомянутых накопленных данных телеизмерений (по команде «ком. 0») и возврат ПТС УРП ТМИ в исходный режим работы.

Возможности управляемого разнесённого приёма ТМИ могут быть существенно расширены использованием разнесения данных (сигналов) не только во времени (с применением БЗУ) и в пространстве (на разные антенны, размещённые на удалении друг от друга), но и по частоте (разные несущие частоты; например, метрового и дециметрового диапазонов) и по поляризации (например, сигналы вертикальной и горизонтальной поляризации).

Таким образом, предложенные технологии управляемого разнесённого приёма ТМИ обеспечивают существенное улучшение достоверности данных телеизмерений, передаваемых по каналам «борт-Земля», путём более полного использования возможностей адаптации к изменяющимся условиям помеховой обстановки. Их осуществление создаёт предпосылки для уменьшения количества взаимодублируемых ПРС, однако связано с построением дополнительных ПТС (бортовых и наземных), с применением командной радиолинии.

#### **4.3 Метод построения алгоритмов получения обобщённых данных, адаптирующихся к изменяющимся условиям помеховой обстановки, и рациональные алгоритмы, построенные с его использованием**

##### **4.3.1 Факторы, усложняющие условия помеховой обстановки, создающие предпосылки ухудшения достоверности, обеспечиваемой разнесённым приёмом ТМИ**

Достоверность, обеспечиваемая разнесённым приёмом, во многом зависит от соответствия выбранных алгоритмов получения обобщённых данных условиям помеховой обстановки, которого наиболее сложно добиться при их априорной неопределённости, при нестационарных и сильно зависимых помехах (т.е. в условиях произвольных помех). Существенное отрицательное влияние оказывает также выбор для передачи алфавита данных неравноудалённых сигналов [17, с.59], обуславливающий асимметричные ошибки, зависящие от значений передаваемых данных [173, с.12-15].

Показано (см. разд. 3.1.3), что увеличение количества параметров (3.7) функции правдоподобия в условиях неопределённости помеховой обстановки зачастую не только не улучшает, но и усиливает искажения суммарного сигнала (обобщённых данных) из-за пропорционального увеличения суммарной погрешности. В этой связи рассмотрены [30] возможности уменьшения количества параметров (3.7) в зависимости от степени учёта асимметричности ошибок в каналах разнесения.

Разработан алгоритм получения обобщённых данных  $A_5$ , исходя из того, что ошибки в каналах разнесения независимы, а каналы симметричны (асимметричность игнорируется). С использованием разработанной [26] модели источника

ошибок в каналах разнесения получены результаты [30], свидетельствующие об эффективной работе алгоритма  $A_5$  при слабых помехах. При высоком уровне помех в каналах разнесения проявляется влияние зависимости ошибок, достоверность обобщённых данных недопустимо ухудшается.

В качестве инструмента для исследования влияния асимметричности ошибок использован также алгоритм  $A_6$ . Его суть состоит в идентификации состояний помеховой обстановки  $S(00000)$ ,  $S(10000)$ ,  $S(01000)$ ,  $S(11000)$ , ...,  $S(11111)$  по тестовым данным. Условные обозначения: «0» – достоверно, «1» – недостоверно. Например, состояние  $S(11000)$  означает, что из первого и второго каналов поступают недостоверные данные, а из третьего, четвёртого и пятого – достоверные. Данные каналов разнесения выделены из аналоговых реализаций четырёхпозиционных сигналов (0, 1, 2, 3 – алфавит данных). Перечисленным состояниям помеховой обстановки соответствуют вероятности  $P_{00000}$ ,  $P_{10000}$ ,  $P_{01000}$ ,  $P_{11000}$ , ...,  $P_{11111}$ .

Другое описание состояний помеховой обстановки, например,  $S(00012|0)$  означает, что из первого, второго и третьего каналов разнесения поступило данное, значение которого равно «0», из четвёртого – «1», из пятого – «2», а значение переданного данного равно «0». Возможные значения переданного данного: 0, 1, 2. Соответствующие этим гипотезам вероятности ( $P_{00011}$ ,  $P_{11101}$ ,  $P_{11110}$ ) могут быть представлены в виде сумм условных вероятностей:

$$\begin{aligned}
 P_{00011} &= P(00011|0) + P(00012|0) + P(00013|0) + \\
 &+ P(00021|0) + P(00022|0) + P(00023|0) + \\
 &+ P(00031|0) + P(00032|0) + P(00033|0) + \\
 &+ P(11100|1) + P(11102|1) + P(11103|1) + \\
 &+ P(11120|1) + P(11122|1) + P(11123|1) + \\
 &+ P(11130|1) + P(11132|1) + P(11133|1) + \\
 &+ P(22200|2) + P(22210|2) + P(22230|2) + \\
 &+ P(22201|2) + P(22211|2) + P(22231|2) + \dots \\
 P_{11101} &= P(00010|1) + P(20010|1) + P(30010|1) + \\
 &+ P(02010|1) + P(22010|1) + P(32010|1) + \\
 &+ P(03010|1) + P(23010|1) + P(33010|1) + \\
 &+ P(00210|1) + P(20210|1) + P(30210|1) + P(02210|1) + P(22210|1) + \dots \\
 P_{11110} &= P(00001|1) + P(20001|1) + P(30001|1) + \\
 &+ P(02001|1) + P(22001|1) + P(32001|1) + \\
 &+ P(03001|1) + P(23001|1) + P(33001|1) +
 \end{aligned}$$

$$+ P(00201|1) + P(20201|1) + P(30201|1) + P(02201|1) + P(22201|1) + \dots$$

Если канал симметричен и передаваемые значения данных равновероятны, то компоненты вероятности  $P_{00011}$  (как и вероятностей  $P_{11101}$  и  $P_{11110}$ ) одинаковые:  $P(00011|0) = P(00012|0) = P(00013|0) = \dots$ . При этом состояния  $S(00000)$ ,  $S(10000)$ ,  $S(01000)$ ,  $S(11000)$ , ...,  $S(11111)$  достаточно полно характеризуют помеховую обстановку. Если же каналы разнесения несимметричны ( $P(00011|0) \neq P(00012|0) \neq P(00013|0) \neq \dots$ ), то, чем больше разброс значений условных вероятностей  $P(00011|0)$ ,  $P(00012|0)$ ,  $P(00013|0)$ , ..., тем больше будет ошибок в обобщённом массиве данных при игнорировании асимметричности (при идентификации состояний  $S(00000)$ ,  $S(10000)$ ,  $S(01000)$ ,  $S(11000)$ , ...,  $S(11111)$ ). Это подтверждают результаты [30] применения алгоритма  $A_6$  с использованием модели источника ошибок в каналах разнесения [26], имитирующей асимметричные ошибки. Получить же относительно полную информацию о помеховой обстановке с учётом несимметричности каналов весьма проблематично из-за многочисленности состояний помеховой обстановки ( $S(00011|0)$ ,  $S(00012|0)$ ,  $S(00013|0)$ ,  $S(00021|0)$ ...), которые необходимо идентифицировать, и ограниченности объёма обучающей выборки (см. разд. 3.1.3).

Таким образом, наименьшее количество параметров, характеризующих помеховую обстановку, требуется при независимых ошибках в каналах разнесения (алгоритм  $A_5$ ). Если же ошибки зависимые, а каналы разнесения несимметричны (что имеет место при пусках РКН), то для полного описания помеховой обстановки необходимо недопустимо большое количество параметров (3.7). Даже при небольшом количестве каналов разнесения это сделать невозможно. Имеем противоречие: при игнорировании мешающих факторов обеспечиваемая достоверность недопустимо низка, а всеобъемлющий их учёт невозможен. Необходим компромиссный выбор состава и объёма параметров, используемых для описания помеховой обстановки.

### 4.3.2 Методическая схема управления функциональной зависимостью между данными, поступившими из каналов разнесения, и обобщёнными данными для построения алгоритмов получения обобщённых данных, адаптирующихся к помеховой обстановке

Исследования показали [23], что возможность повышения достоверности обобщённых данных определяется во многом выбранным функциональным соответствием между данными, поступившими из каналов разнесения, и обобщённым данным. В качестве инструмента для исследования использованы [23, 30, 56] алгоритмы получения обобщённых данных  $A_1, A_2$  и др.

Сущности  $A_1$  заключаются в следующих формульных выражениях [23, 56]:

$$W_{ki}(j) = A_k - B_i(j) \quad , \quad (4.14)$$

$$W_{ki}(j) = 0 \text{ при } A_k < B_i(j) \quad ,$$

$$W_{ke} = \sum_{i_1, i_2, \dots, i_j} W_{ki}(j) \quad , \quad (4.15)$$

где  $B_i(j)$  - количество ошибок в  $i$ -м канале разнесения при наличии  $j$  ошибок во всех каналах разнесения, вычисленных по принятым тестовым данным, соответствующим одному и тому же переданному данному;

$A_k$  - количественная характеристика  $k$ -го управляющего воздействия;

$W_{ki}(j)$  -  $j$ -я весовая характеристика достоверности (ВХД)  $i$ -го канала разнесения после  $k$ -й коррекции управляющего воздействия;

$W_{ke}$  - ВХД значения принятого данного  $e$  после  $k$ -й коррекции управляющего воздействия.

Путём изменения управляющего воздействия  $A_k$  (4.14) по тестовым данным вычисляют  $A_k = A_{opt}$ , при котором количество ошибок в обобщённом блоке данных минимально. Характеристики  $A_{opt}$  и  $W_{i(j)_{opt}}$  используются для получения обобщённых информационных данных. Переданным считается данное  $e$  с наибольшим значением весовой характеристики  $W_{ke}$  (4.15). Результаты изменения функциональной зависимости под влиянием управляющего воздействия представлены на рисунке 4.6.

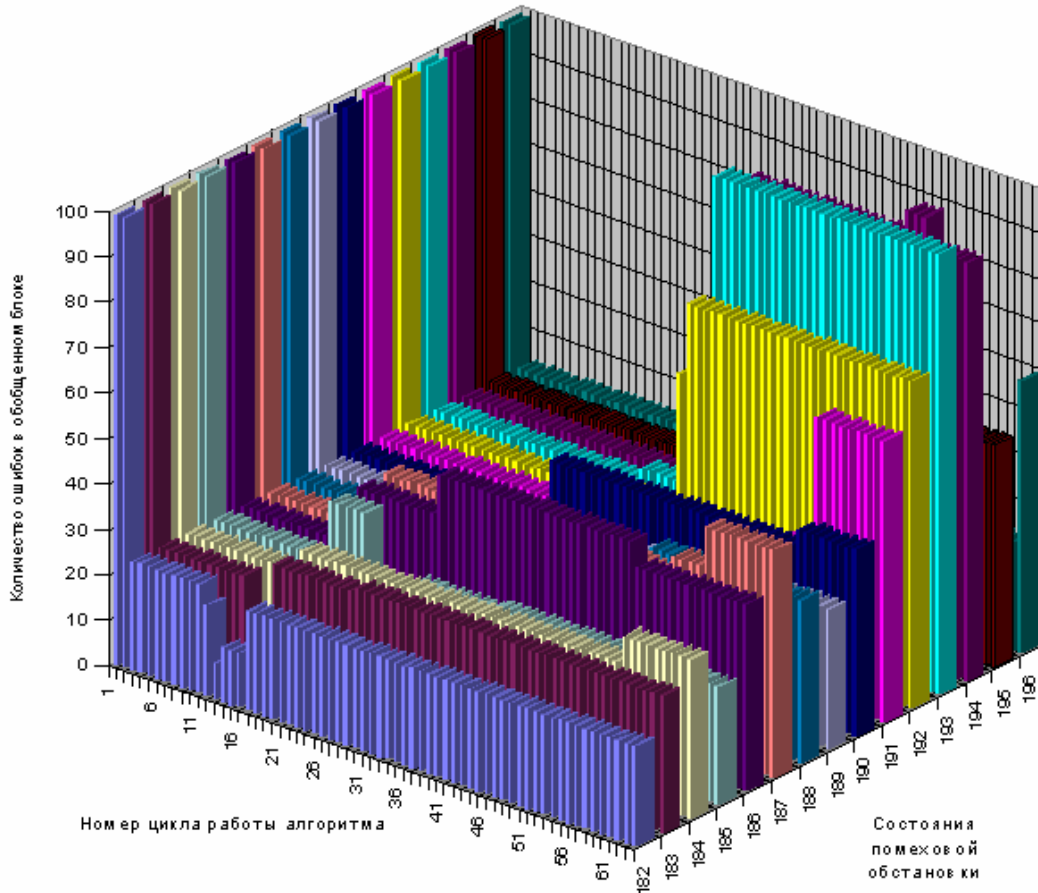


Рисунок 4.6 – Диаграмма зависимости количества ошибок в обобщённом блоке данных от циклов работы алгоритма  $A_1$  и условий помеховой обстановки

Для алгоритма  $A_2$  [23] формульные выражения таковы:

$$W_{ki} = A_k - B_i \quad , \quad (4.16)$$

$$W_{ki} = 0 \text{ при } A_k < B_i \quad ,$$

$$W_{ke} = \sum_{i_1, i_2, \dots, i_j} W_{ki} \quad , \quad (4.17)$$

где  $B_i$  - число ошибок в  $i$ -м канале разнесения.

По обеспечиваемой достоверности он лучше [23], чем автовыбор, мажорирование,  $A_1$  и др., что в значительной мере обусловлено удачным сочетанием функционального соответствия между обобщёнными данными и данными, поступившими из каналов разнесения, и условиями помеховой обстановки. Число вариантов функционального соответствия определяется количеством циклов работы алгоритма  $A_2$  ( $k = \{1, 2, \dots, 64\}$ ,  $\Delta A = 10$  [23]).

Успешное применение алгоритма  $A_2$  дало основание выбрать аналогичный тип функциональной зависимости между данными, поступившими из каналов

разнесения, и обобщёнными данными для построения рациональных алгоритмов получения данных, адаптирующихся к изменяющимся условиям помеховой обстановки, основанных на подборе ВХД  $W$  [29].

Таким образом, задача состоит в исследовании возможностей представления ВХД конечным оптимальным множеством  $W (\{W_{ki}\}; k = 1, \dots, q; i = 1, \dots, n)$ , являющимся матрицей размером  $q \times n$  (где  $q$  – количество комбинаций значений весовых характеристик достоверности данных каналов разнесения, а  $n$  – количество каналов разнесения). Причём с точки зрения возможностей практической реализации алгоритма множество  $W$  должно быть относительно небольшим.

### **4.3.3 Постановка задачи построения рациональных алгоритмов получения обобщённых данных, адаптирующихся к помеховой обстановке, основанных на подборе весовых характеристик достоверности, и результаты её решения**

Задача построения алгоритмов, основанных на подборе ВХД, формулируется следующим образом.

Дано:  $n$  каналов разнесения,  $V_z$  – объём алфавита данных.

Найти: оптимальное множество ВХД  $\{W_{ki}\}_{onm}; k = 1, \dots, q; i = 1, \dots, n$ .

Под оптимальным понимается такое множество ВХД  $(\{W_{ki}\}_{onm})$ , что при использовании по отношению к нему дополнительных комбинаций ВХД достоверность обобщённых данных не улучшится, а при исключении хотя бы одной комбинации создаются предпосылки для её ухудшения.

Задача решена [29, 58, 222] при условии, что число каналов разнесения  $n = 5$ , данные выделяются из аналоговых реализаций четырёхпозиционных сигналов ( $\{0,1,2,3\}$  – алфавит). Имя алгоритма:  $A_4$ .

Множество матриц  $\{M_1, M_2, \dots, M_{51}\}$  и соответствующих им матриц  $\{W_{1\Sigma e}, W_{2\Sigma e}, \dots, W_{51\Sigma e}\}$  в полной мере отражают «реакцию» алгоритма  $A_4$  на поступающие из каналов разнесения данные [29, 61]:

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow W_{1\Sigma e} = \begin{bmatrix} W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow W_{2\Sigma e} = \begin{bmatrix} W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \\ W_5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad M_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow W_{3\Sigma e} = \begin{bmatrix} W_1 + W_2 + W_3 + W_5 \\ W_4 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$


---



$$M_{49} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow W_{49\Sigma} = \begin{bmatrix} W_4 + W_5 \\ W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix}, \quad M_{50} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow W_{50\Sigma} = \begin{bmatrix} W_2 + W_4 + W_5 \\ W_1 + W_3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad M_{51} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow W_{51\Sigma} = \begin{bmatrix} W_2 + W_3 + W_5 \\ W_1 \\ W_4 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Матрицы  $M$  размером  $4 \times 5$  описывают возможные результаты поступления данных из каналов разнесения. Их элементы равны 0 или 1. Номер столбца матрицы  $M_j$  соответствует номеру канала разнесения, а номер строки – значению принятого данного (1-я строка – «0», 2-я – «1», 3-я – «2», 4-я – «3»). Если, например, элемент матрицы  $m_{32} = 1$ , то это означает, что из второго канала поступило данное, значение которого  $e = 2$ .

Возможны 6 вариантов комбинаций поступающих из каналов разнесения данных: 1) значения данных во всех 5-ти каналах одинаковы ( $e_1$ ); 2) в 4-х каналах –  $e_1$ , в одном –  $e_2$ ; 3) в 3-х каналах –  $e_1$ , в 2-х –  $e_2$ ; 4) в 3-х каналах –  $e_1$ , в одном –  $e_2$ , в одном –  $e_3$ ; 5) в 2-х каналах –  $e_1$ , в 2-х –  $e_2$ , в одном –  $e_3$ ; 6) в 2-х каналах –  $e_1$ , в одном –  $e_2$ , в одном –  $e_3$ , в одном –  $e_4$ . (Здесь  $e_i$  – какие-то значения из алфавита данных, причем  $e_i \neq e_j$  при  $i \neq j$ .) Если, например, из 1-го, 2-го и 3-го каналов поступили данные с одинаковым значением  $e_1$ , а из 4-го и 5-го –  $e_2$ , причём  $W_1 + W_2 + W_3 > W_4 + W_5$ , то считается переданным (поступает в обобщённый массив) данное  $e_1$ . С точки зрения качества исследования алгоритма  $A_4$  конкретизация значений  $e_1, e_2, e_3, e_4$  не актуальна, что позволяет сократить объём множества матриц  $M$  до 51:  $M = \{M_1, M_2, \dots, M_{51}\}$ .

Выбор данного в обобщённый массив из каждой комбинации данных, поступивших из каналов разнесения, осуществляется путём вычисления весовых характеристик достоверности значений принятых данных  $W_{k\Sigma e}$  (аналогично (4.17)) и последующего выбора данного  $e$ , которому соответствует максимальное значение характеристики достоверности –  $\max\{W_{\Sigma 0}, W_{\Sigma 1}, W_{\Sigma 2}, W_{\Sigma 3}\}$ . Общая стратегия выбора характеристик  $W_{ki}$  должна быть построена таким образом, чтобы свойства алгоритма трансформировались от мажорирования до автовыбора (например, при  $W_1 = 1, W_2 = 2, W_3 = 4, W_4 = 8, W_5 = 16$ , при которых  $W_1 + W_2 + W_3 + W_4 < W_5$ ). Для удобства дальнейших расчетов введено ограничение

$$W_1 < W_2 < W_3 < W_4 < W_5, \quad (4.18)$$

правомерность которого обоснована непротиворечивостью общей стратегии выбора характеристик  $W_{ki}$ .

С ограничением (4.18) связано предварительное ранжирование каналов разнесения по подсчитанным ошибочным данным, поступившим из них. Если каналы априори не ранжировать в зависимости от величины характеристик  $W_{ki}$ , а сделать это в процессе подбора  $W_{ki}$  (путём переименования номеров каналов), то количество комбинаций  $q$  увеличится в  $n!$  раз [168, с.17] – в  $5! = 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 120$  раз для решаемой задачи (а это недопустимо много).

С учетом условия (4.18) результаты выбора данных в обобщённый массив, полученные путём анализа матриц  $W_{\Sigma e}$ , в некоторых случаях однозначно прогнозируемы. Например, всегда для  $W_{3\Sigma e} - W_1 + W_2 + W_3 + W_5 > W_4$ ; для  $W_{20\Sigma e} - W_1 + W_2 + W_5 > W_3$ ,  $W_1 + W_2 + W_5 > W_4$  - и т.д. Такие случаи не представляют интереса для исследования. Они исключены из анализа. На базе оставшихся матриц получены системы неравенств – 21 неравенство в каждой системе.

Для описания множества знаков неравенств введены соответствующие матрицам  $M_k$  и  $W_{k\Sigma e}$  переменные  $R_{kj}$ , значения которых равны 0, если знак «<», и 1 – если «>». Поэтому многочисленные системы неравенств (каждая система отражает результат выбора данных в обобщённый массив) записаны коротко:

$$\begin{array}{ll}
 W_1 + W_2 + W_3 + W_4 & R_2 \quad W_5, \\
 W_1 + W_2 + W_3 & R_7 \quad W_4 + W_5, \\
 W_1 + W_2 + W_4 & R_8 \quad W_3 + W_5, \\
 W_1 + W_3 + W_4 & R_9 \quad W_2 + W_5, \\
 W_1 + W_3 + W_4 & R_{10} \quad W_1 + W_5, \\
 W_1 + W_2 + W_5 & R_{11} \quad W_3 + W_4, \\
 W_1 + W_2 + W_3 & R_{16} \quad W_5, \\
 W_1 + W_2 + W_4 & R_{17} \quad W_5, \\
 W_1 + W_3 + W_4 & R_{18} \quad W_5, \\
 W_2 + W_3 + W_4 & R_{19} \quad W_5, \\
 W_3 + W_4 & R_{25} \quad W_5, \\
 W_2 + W_4 & R_{28} \quad W_5, \\
 W_2 + W_3 & R_{42} \quad W_5, \\
 W_1 + W_4 & R_{43} \quad W_5, \\
 W_2 + W_3 & R_{31} \quad W_1 + W_4, \\
 W_2 + W_3 & R_{32} \quad W_1 + W_5, \\
 W_2 + W_4 & R_{36} \quad W_1 + W_5, \\
 W_3 + W_4 & R_{38} \quad W_1 + W_5, \\
 W_3 + W_4 & R_{39} \quad W_2 + W_5, \\
 W_1 + W_2 & R_{40} \quad W_5,
 \end{array} \tag{4.19}$$

$$W_1+W_3 \quad R_{41} W_5 .$$

Если бы не существовало взаимозависимости неравенств (4.19), то минимальное количество комбинаций весовых характеристик  $q$  равнялось бы  $2^{21}$ . Очевидно, что при таком огромном количестве комбинаций (объёме вычислений) алгоритм  $A_4$  не может быть реализован практически. Однако из-за взаимного влияния неравенств число систем ( $q$ ) существенно сокращается.

Результат выбора данного в обобщённый массив зависит от совокупности значений  $R_{kj}$  (4.19), а значений ВХД, соответствующих этой совокупности, (см. выше описание свойств матриц  $W_{\Sigma e}$ ) может быть бесконечное множество. Чтобы сократить объём вычислений в процессе решения комбинаторной задачи, при подтверждении гипотезы о возможности существования заданной совокупности значений  $R_{kj}$  выделялась соответствующая этой совокупности комбинация характеристик ВХД, и компьютерная программа переходила к отработке новой гипотезы [29, 61]. В итоге для  $A_4$  получено  $q = 166$  комбинаций ВХД (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Значения параметров  $R_i$  и  $W_j$  (для алгоритма  $A_4$ )

$k$	$R_2$	$R_7$	$R_8$	$R_9$	$R_{10}$	$R_{11}$	$R_{16}$	$R_{17}$	$R_{18}$	$R_{19}$		$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
	$R_{25}$	$R_{28}$	$R_{42}$	$R_{43}$	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{36}$	$R_{38}$	$R_{39}$	$R_{40}$	$R_{41}$					
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		1	10	20	30	62
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0		11	20	30	40	92
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
.....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...					
165	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		51	80	90	100	112
	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1					
166	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		41	60	70	80	82
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					

Примечание: Полные сведения о ВХД представлены в Приложении В и в [201].

Устанавливаемая функциональная зависимость между данными, поступившими из каналов разнесения, и обобщёнными данными определяется значениями относительно малого количества параметров  $R_{kj}$  (4.19) (их количество для алгоритма  $A_4$  равно 21,  $R_{kj} = \{0,1\}$ ). С этими параметрами связаны вычисленные априори ВХД (см. таблицу 4.2), используемые в процессе работы алгоритма  $A_4$ . Перебором ВХД изменяют вышеупомянутую функциональную зависимость, обеспечивая воз-

возможность адаптации алгоритма  $A_4$  к широкому диапазону состояний помеховой обстановки.

С использованием обучающей выборки (с использованием принятых тестовых данных) подбирают оптимальную комбинацию ВХД, обеспечивающую максимальную достоверность тестовых данных, а затем эту комбинацию используют для получения и информационных данных. Вычисления с использованием ВХД осуществляют по формуле (4.17).

На примерах показан механизм выбора данных, поступивших из каналов разнесения, в обобщённый массив (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Примеры вычислений оценок достоверности  $W_{ke}$  (алгоритм  $A_4$ )

$e_i, i =$					$W_{k0}$	$W_{k1}$	$W_{k2}$	$W_{k3}$
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	-	$W_{k5}$	-	$W_{k1} + W_{k2} + W_{k3} + W_{k4}$
...	...	...	...	...	.....	.....	.....	.....

Если  $k = 3$ , то  $W_{k1} = 11$ ,  $W_{k2} = 20$ ,  $W_{k3} = 30$ ,  $W_{k4} = 40$ ,  $W_{k5} = 82$  (см. таблицу 4.3):

$$j: W_{\Sigma_0} = 11 + 30 + 82 = 123, W_{\Sigma_1} = 20, W_{\Sigma_3} = 40; e_{o\bar{o}_k}(k = 3) = 0;$$

$$j+1: W_{\Sigma_0} = 82, W_{\Sigma_1} = 11 + 30 = 41, W_{\Sigma_2} = 20 + 40 = 60; e_{o\bar{o}_k}(k = 3) = 0;$$

$$j+2: W_{\Sigma_1} = 82, W_{\Sigma_3} = 11 + 20 + 30 + 40 = 101; e_{o\bar{o}_k}(k = 3) = 3,$$

где  $e_{o\bar{o}_k}(k = 3)$  – значение данного, выбранного в обобщённый массив, при  $k = 3$ .

Рассмотрена [61] возможность решения задачи при условии, что объём  $V_z$  алфавита не меньше количества каналов разнесения  $n$ :

$$V_z \geq n \quad (4.20)$$

Ограничимся вариантом, для которого  $n = 5$ .

При  $n = 5$  множество матриц  $\{M_1, M_2, \dots, M_{51}\}$  дополнится ещё одной матрицей  $M_{52}$  и соответствующей ей матрицей  $W_{52\Sigma e}$  (среди данных, поступивших из каналов разнесения, одинаковых нет:  $e_i \neq e_j; i, j = 1, 2, \dots, 5$ ):

$$M_{52} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow W_{52\Sigma e} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \\ W_5 \end{bmatrix} .$$

Из условия (4.18) следует, что независимо от номера комбинации ВХД в обобщённый массив будет выбрано данное пятого канала ( $e_5$ ). Поэтому состояние помеховой обстановки, соответствующее  $M_{52}$  и  $W_{52\Sigma e}$ , с точки зрения вычисления оптимального множества комбинаций ВХД, неактуально. Задача трансформируется в задачу вычисления ВХД для алгоритма  $A_4$  (она была решена ранее). При условии (4.20), неизменном  $n = 5$  и росте объёма  $V_z$  алфавита объём оптимального множества комбинаций ВХД остаётся постоянным ( $q = 166$ ) и равным множеству  $\{W_{ki}\}_{onm}; k = 1, \dots, q; i = 1, \dots, n$  для алгоритма  $A_4$  (см. таблицу 4.2 и Приложение В).

Аналогично решена [61] задача построения алгоритма  $A_{42}$  ( $n = 5$ , а данные выделяют из аналоговых реализаций двухпозиционных сигналов,  $\{0,1\}$  – их алфавит). Количество комбинаций ВХД (в отличие от  $A_4$ ) существенно уменьшилось ( $q = 166$  для  $A_4$  и  $q = 7$  для  $A_{42}$ ). Полные сведения о ВХД для алгоритма  $A_{42}$  представлены в Приложении В и в [201].

#### **4.4 Метод улучшения качества синхронизации принятых блоков данных**

Синхросигналы (синхроимпульсы), которыми разделяют блоки данных, (рисунок 4.7) формируют с использованием обнаруженных в принятом сигнале синхромаркеров. 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 обобщённых данных обесмысливается, если синхронизация обладает низкой помехоустойчивостью. Поэтому методы разнесённого приёма и улучшения качества синхронизации должны действовать «рука об руку». Отсюда – целесообразность принятия дополнительных мер по улучшению качества синхронизации принятых блоков данных.

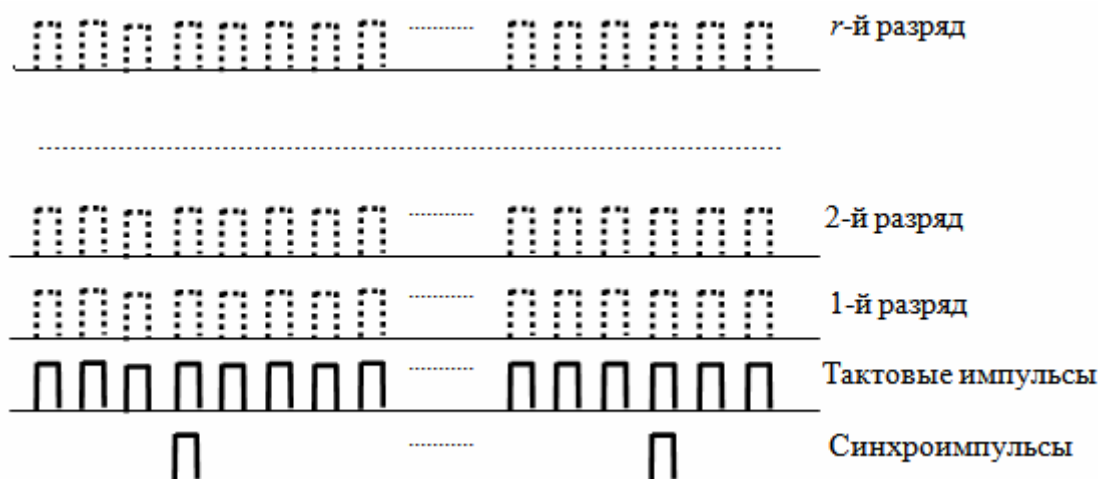


Рисунок 4.7 – Эпюры сигналов (структура данных) на выходе канала разнесения (на выходе программно-технических средств формирования обобщённых данных)

Сущности метода улучшения качества синхронизации принятых блоков данных (последовательность реализации) [59, 201] описана ниже (рисунок 4.8).

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 4.7).

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

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

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

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

6. Регенерированный синхроимпульс  $M_{рег}$  должен подставляться по месту соответствующего синхроимпульса  $M_{мним}$  или  $M_{прм}$ ; синхроимпульс  $M_{прм}$  должен быть удален при отсутствии соответствующего ему синхроимпульса  $M_{рег}$ .

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.

Для практического применения рекомендованы [201] следующие параметры настроек:  $k_1 = k_2 = 5$ ,  $U_{мним} = U_{прм} = 1$ ,  $U_{пор} = 1$ , где  $U_{мним}$  ( $U_{прм}$ ) – амплитуда сигнала  $M_{мним}$  ( $M_{прм}$ ) в условных единицах;  $U_{пор}$  – устанавливаемый уровень порога в условных единицах.

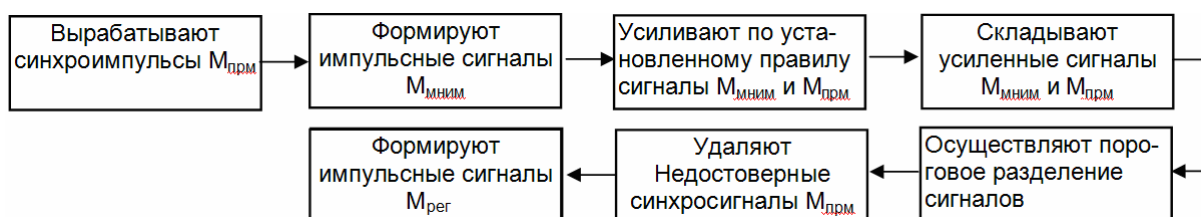


Рисунок 4.8 – Схема, поясняющая сущности метода улучшения качества синхронизации

Приведен [201] пример применения метода. В нём в целях наглядности учтены следующие условия:

- положим, эталонным (переданным без искажения) маркерам соответствуют эталонные (принятые без искажений) синхроимпульсы  $M_{эм}(0)$ ,  $M_{эм}(N_0)$ ,  $M_{эм}(2N_0)$ , ...,  $M_{эм}(15N_0)$ , где  $iN_0$  – количество данных от начала отсчёта, соответствующее  $i$ -му синхроимпульсу  $M_{эм}$ ,  $i = 0, 1, \dots, 15$ ;

- допустим, что помехи в канале связи постепенно усиливаются, а через некоторое время постепенно ослабевают.

В результате искажений, вызванных этими помехами, синхроимпульсы  $M_{эм}(6N_0)$ ,  $M_{эм}(7N_0)$ ,  $M_{эм}(8N_0)$ ,  $M_{эм}(9N_0)$ ,  $M_{эм}(10N_0)$  отсутствуют (соответствующие маркеры

из-за помех не обнаружены), и из-за ложного маркера присутствует ложный синхроимпульс  $M_{лож}(7,3 \cdot N_0)$  (рисунок 4.9).

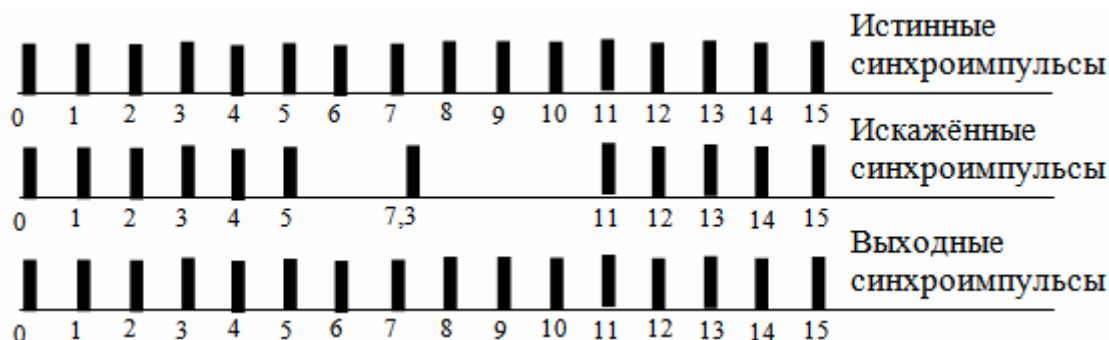


Рисунок 4.9 – Пример регенерации синхроимпульсов предложенным методом

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.  $U_{\Sigma}(iN_0) > U_{нор}$ ,  $i = 6, 7, 8, 9, 10$ , 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 4.9). 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 4.9). Поэтому  $U_{\Sigma}(7,3 \cdot N_0) = 1$  (т.е. условие  $U_{\Sigma}(7,3 \cdot N_0) > U_{нор}$  не выполняется). Ложный синхросигнал  $M_{лож}(7,3 \cdot N_0)$  должен быть удалён из выходной последовательности синхроимпульсов.

## 4.5 Особенности совмещения разнесённого приёма с другими методами улучшения достоверности данных

### 4.5.1 Общие подходы

Обосновано [61], что комплексное применение различных методов улучшения достоверности данных значительно улучшает общий результат. Обычно их совместимость очевидна. Однако конечная достоверность данных не всегда зависит только от выбранных методов. Часто важна очерёдность их применения.

Рассмотрены [38] две стратегии применения методов  $Met_1$  и  $Met_2$ :  $u_1 = \langle Met_2, Met_1 \rangle$  и  $u_2 = \langle Met_1, Met_2 \rangle$  ( $Met_1, Met_2 \in Met_{Q\_ТМИ}$  (1.20)). Введённые параметры  $x$  и  $y$ ;  $x$  характеризует степень искажения помехами исходных данных, а  $y_i$  – после их улучшения (где  $i$  – номер стратегии;  $i = 1, 2$ ). Чем больше  $x$  и  $y$ , тем больше искажения;  $0 \leq x \leq x_{дон}$  (т.е.



при  $x > x_{don}$  исправлять ошибки бесполезно). Предполагается, что исправляющие возможности  $Met_1$  и  $Met_2$  зависят лишь от параметра  $x$  и характеризуются функциями  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$  (рисунок 4.10):

$$\begin{aligned} y_1(x) &= f_1(x_1 = f_2(x)) , \\ y_2(x) &= f_2(x_2 = f_1(x)) . \end{aligned} \quad (4.21)$$

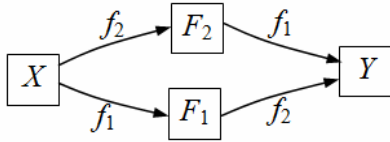


Рисунок 4.10 – Отношения множеств  $X$  и  $Y$  ( $x \in X$ ;  $y_1, y_2 \in Y$ ) при осуществлении стратегий  $u_1$  и  $u_2$

Наибольший интерес представляют следующие варианты (рисунок 4.11): 1) результаты одинаковы, 2) одна из стратегий лучше, 3) преимущество стратегии зависит от помеховой обстановки (например,  $y_1(x) > y_2(x)$  при  $0 < x < x_0$  и  $y_1(x) < y_2(x)$  при  $x_0 < x < x_{don}$ ).

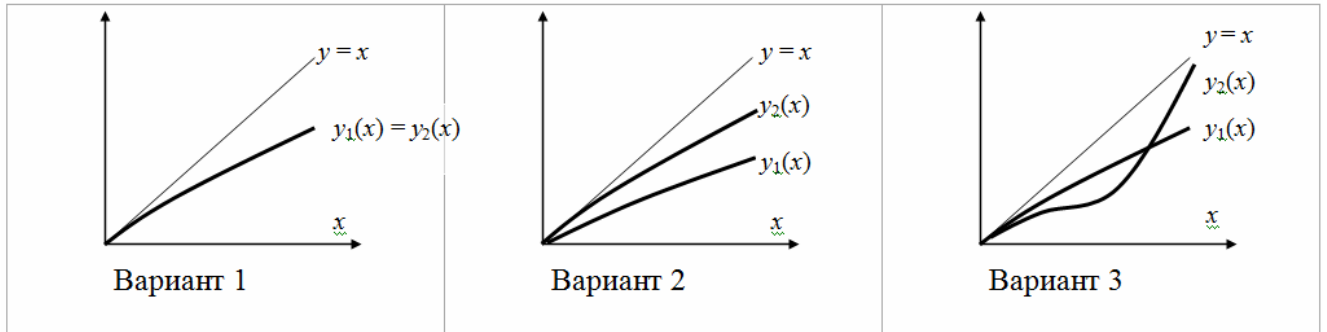


Рисунок 4.11 – Графики, иллюстрирующие возможные результаты применения стратегий  $u_1$  и  $u_2$  улучшения достоверности данных

Если функции  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$  линейны, то всегда выполняется условие  $y_1(x) = y_2(x)$  (первый вариант). Действительно, если  $f_1(x) = a_1x$ ,  $f_2(x) = a_2x$ ,  $0 < a_1 < 1$ ,  $0 < a_2 < 1$ , то  $y_1(x) = y_2(x) = a_1a_2x$  – очерёдность осуществления методов улучшения достоверности не имеет значения.

Доказано [38], что  $f_1(x) > f_2(x)$  является необходимым условием преимущества стратегии  $u_1$  перед  $u_2$  (второй вариант:  $y_2(x) > y_1(x)$ ). Это доказательство позволяет сформулировать важное **правило** (аналогичное теореме Финка [16, с. 277]: из двух методов улучшения достоверности данных первым целесообразно применить тот, исправляющие способности которого с ухудшением помеховой обстановки ухудшаются в меньшей мере.

В случае третьего варианта интервал  $0 < x < x_{don}$  условно разбивается на три части:  $0 < x < x_1$  (для  $y_1(x) > y_2(x)$ ),  $x_2 < x < x_{don}$  (для  $y_2(x) > y_1(x)$ ) и  $x_1 < x < x_2$  (интервал изменения тенденции).

Полученное **правило** не является универсальным (в частности, из-за особенностей условий помеховой обстановки [30]). Оно (см. выше) не действует в случае линейных функций  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$ . Не исключены справедливые нарекания по поводу обоснованности выбора параметра  $x$  при его конкретизации. Тем не менее, правило является хорошим ориентиром при выборе стратегий улучшения достоверности путём комплексного применения различных методов.

#### 4.5.2 Совмещение с методами помехоустойчивого кодирования

Исследовано [38, 67] комплексное применение разнесённого приёма данных и использования корректирующих кодов (кодирования/декодирования). Сопоставлены вычисленные [38] значения функций  $f_1(x)$ ,  $f_2(x)$ ,  $y_1(x)$ ,  $y_2(x)$  (4.21) и сделано заключение о возможностях полученного **правила**.

Среди корректирующих кодов [12, 160] рассмотрены коды с использованием  $m$ -позиционного сигнала ( $m > 2$ ), в частности, четырехпозиционного сигнала ( $m = 4$ ) – совместимые с алгоритмом  $A_4$  (см. разд. 4.3.3). Для получения результатов применения алгоритма  $A_4$  и корректирующих кодов использована модель источника ошибок в каналах разнесения [26]. Устойчивая тенденция улучшения достоверности путём исправления ошибок декодированием сформированных обобщённых данных проявилась лишь в области относительно сильных помех ( $0,075 < p_{oui\_i} < 0,300$ ) [38].

Рассмотрен [61] также другой подход к выбору лучшей стратегии.

Среди стратегий  $u_1$  и  $u_2$  выбрана наиболее результативная (обеспечивающая наилучшую достоверность, характеризуемую количеством ошибок  $N_{oui\_Σ\_1}$  в блоке данных после применения стратегии  $u_1$  и  $N_{oui\_Σ\_2}$  – после применения стратегии  $u_2$ ), причём

$$u_1 = \langle Met_{ПК}, Met_{РП} \rangle, \quad u_2 = \langle Met_{РП}, Met_{ПК} \rangle, \quad (4.22)$$

где  $Met_{ПК}$  – метод декодирования данных,

$Met_{РП}$  – метод разнесённого приёма.

При применении методов  $Met_{ПК}$  обнаруживается  $N_{ош\_обн}$  и обнаруживается и устраняется  $N_{ош\_уст}$  ошибок в блоке данных, причём  $N_{ош\_обн} \geq N_{ош\_уст}$ . Известно [12], что при декодировании применяется неполный декодер или полный декодер. Для простоты и определённости положим, что декодер неполный, поэтому

$$\begin{aligned} N_{ош\_ПК\_i} &= 0 \text{ при } N_{ош\_i} \leq N_{ош\_уст}, \\ N_{ош\_ПК\_i} &= N_{ош\_i} \text{ при } N_{ош\_i} > N_{ош\_уст}, \end{aligned} \quad (4.23)$$

где  $N_{ош\_i}$  ( $N_{ош\_ПК\_i}$ ) – 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  $N_{ош\_1}$ ,  $N_{ош\_2}$ , ...,  $N_{ош\_n}$ , а в обобщённом блоке данных –  $N_{ош\_об}$ . Положим:

$$N_{ош\_1} \geq N_{ош\_2} \geq \dots \geq N_{ош\_n}. \quad (4.24)$$

При применении рациональных методов  $Met_{РП}$

$$0 \leq N_{ош\_об} \leq N_{ош\_n}. \quad (4.25)$$

В дальнейшем полагаем все рассматриваемые методы  $Met_{РП}$  рациональными.

Выявлено [61], что при условии

$$N_{ош\_об} < N_{ош\_уст} < N_{ош\_n}, \quad (4.26)$$

стратегия  $u_2$  результативнее, а в остальных случаях стратегии  $u_1$  и  $u_2$  равноценны. В итоге наиболее подходит стратегия  $u_2$  (4.22).

Следует заметить, что комплексное применение различных методов улучшения достоверности данных не сводится лишь к обоснованию набора независимых методов. В частности, корректирующие разряды могут быть разнесены относительно информационных и тестовых во времени (например, с использованием БЗУ), что позволит реализовать один из методов борьбы с пакетами ошибок, известный [173] как метод разнесения позиций (чередования позиций, декорреляции ошибок). Показаны [38] и более сложные способы взаимодополнения методов. Для обеспечения бóльшей помехоустойчивости целесообразно применять более результативные коды [12, 87, 120 и др.]. Актуальны методы помехоустойчивого кодирования, рекомендуемые CCSDS [50].

Разработанные алгоритмы получения обобщённых данных  $A_4$  и  $A_{42}$  (см. разд. 4.3.3) [61, 201] ориентированы на жёсткое решение при демодуляции. Так как целесообразно ис-

правление ошибок декодированием обобщённых данных (стратегия  $u_2$  (4.22)) и актуально декодирование, ориентированное на мягкое решение при демодуляции (в частности, на декодирование по алгоритму Витерби), то рассмотрены [51, 67] возможности модификации алгоритмов  $A_4$  и  $A_{42}$  с целью их ориентации на мягкое решение демодулятора.

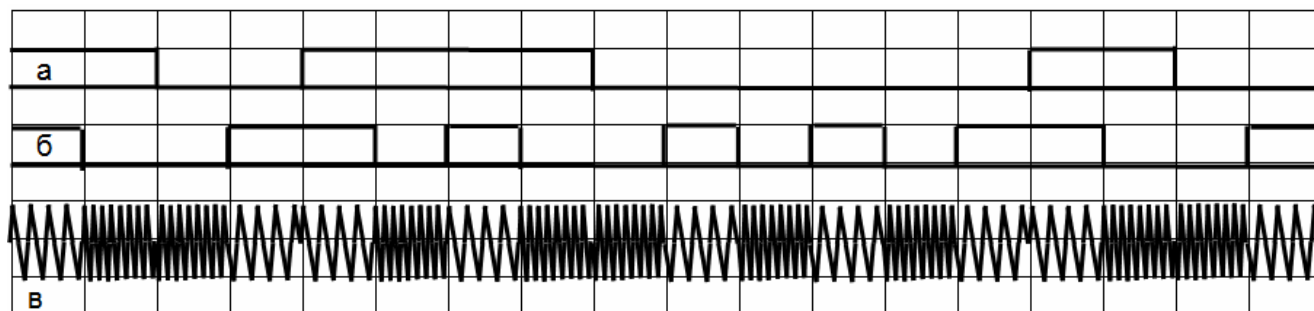
Рассмотренное комплексирование методов разнесённого приёма и кодирования/декодирования в полной мере подходит для предложенных технологий управляемого разнесённого приёма ТМИ (см. разд. 4.2).

#### **4.5.3 Улучшение качества разнесённого приёма данных путём применения помехоустойчивых методов модуляции**

Влияние методов модуляции на результаты применения алгоритмов получения обобщённых данных, казалось бы, очевидно: чем удачнее выбран метод модуляции (и, соответственно, метод приёма модулированных сигналов), тем достовернее выделяемые из сигналов данные, а, значит, тем благоприятнее условия для улучшения достоверности обобщённых данных. Однако при таком – упрощённом – подходе игнорируются некоторые нюансы [65], поэтому целесообразно более детально исследовать влияние методов модуляции, или модуляционного кодирования на качество разнесённого приёма данных.

Каждый получаемый в результате модуляции сигнал можно представить в виде совокупности элементов, или элементарных сигналов [17]. Пусть  $e_{ij\dots r}$  – элементарный сигнал. Позиция каждой из последовательности  $i, j, \dots, r$  индексных букв соответствует условному номерному обозначению информативного параметра элемента  $e_{ij\dots r}$  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  $e_{ij\dots r}$   $i$  – количество градаций первого параметра,  $j$  – второго,  $\dots$ ,  $r$  –  $n_{нар}$ -го. Например (рисунок 4.12), для элемента  $e_{ij}$  первый параметр ( $i$ ) – фаза сигнала,  $0^\circ$  и  $180^\circ$  – её фиксированные значения; второй параметр ( $j$ ) – частота,  $f_1, f_2$  – условные обозначения применяемых частот. Параметр  $i$ -й относится к первому информационному потоку (рисунок 4.12а), а  $j$ -й – ко второму (рисунок 4.12б). Каждый из них содержит информацию

о передаваемых данных. Существуют методы модуляционного кодирования с разбиением передаваемых данных на более чем два потока [159, гл. 3].



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

Рисунок 4.12 – Иллюстрация одного из методов модуляционного кодирования

При отсутствии помех элементарный сигнал можно представить в виде точки в  $n_{нар}$ -мерном пространстве. Однако под влиянием помех положение этой точки смещается случайным образом. При ограниченной шкале чем больше градаций информативного параметра, тем меньше расстояние между соседними градациями. Чем больше градации «размыты» от действия помех и чем меньше расстояние между ними, тем больше вероятность ошибочного опознания элементарного сигнала [61]. В случае симметричного канала, в котором действуют помехи в виде белого шума, (см. (2.44) в [17]):

$$P_{ош\_2} = 0,5m \cdot (m - 1)^{-1} \cdot P_{ош\_m}, \quad (4.27)$$

где  $P_{ош\_2}$  ( $P_{ош\_m}$ ) – вероятность ошибочного приёма двоичного ( $m$ -ичного) элементарного сигнала.

Например, при замене четырехпозиционных двухпозиционными сигналами  $P_{ош\_2} \approx 0,67 P_{ош\_4}$ . Формула (4.27) представлена для иллюстрации зависимости помехоустойчивости элементарного сигнала от количества градаций информативного параметра. При произвольных помехах, действующих в реальных каналах связи «борт-Земля», она отражает лишь характер этой зависимости.

Показано [61], как при уменьшении численности градаций единственного информативного параметра уменьшается объём элементарного данного, передаваемого элементарным сигналом. Неизменность объёма элементарного данного

может быть обеспечена соответствующим увеличением количества  $n_{нар}$  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  $n_{нар}$  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 количества информативных параметров почти не изменяется. Она распределена по составляющим  $n_{нар}$ -мерного пространства.

Если элементарные сигналы  $e_{ij}(t)$  ( $n_{нар} = 2$ ) взаимно-ортогональны, то [17]:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} e_{ij}(t)e_{ik}(t)dt &= 0, j \neq k, \\ \int_{-\infty}^{\infty} e_{ij}(t)e_{rj}(t)dt &= 0, i \neq r, \\ \int_{-\infty}^{\infty} e_{ij}(t)e_{rk}(t)dt &= 0, i \neq r, j \neq k, \\ \int_{-\infty}^{\infty} e_{ij}(t)e_{ij}(t)dt &= E_0, \end{aligned} \quad (4.28)$$

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

Создаются необходимые условия для оптимальной обработки сигналов с помощью согласованных фильтров [17].

Сигналы  $e_{ij}(t)$  (4.28) – равноудалённые [17]. Это означает, что расстояния между двумя любыми точками, обозначающими идеальные (не искаженные помехами) элементарные сигналы в  $n_{нар}$ -мерном пространстве, одинаковы. Свойство равноудалённости является признаком рационального использования  $n_{нар}$ -мерного пространства с целью обеспечения хорошей помехоустойчивости.

На рисунке 4.13 представлена геометрическая интерпретация элементарных равноудалённых сигналов.

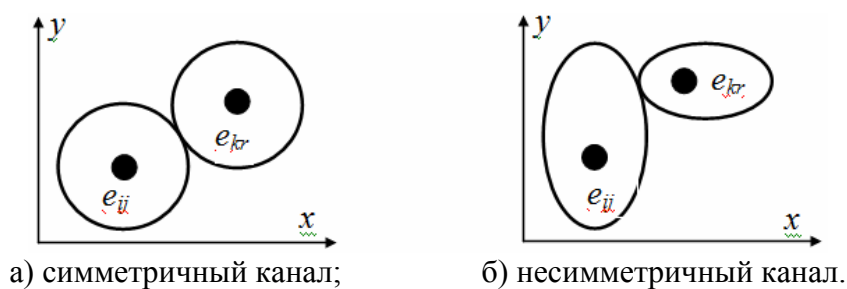


Рисунок 4.13 – Геометрическая иллюстрация зон, относящихся к элементарным сигналам  $e_{ij}$  и  $e_{kr}$

Если сигналы равноудалённые, а энергия действующих на них помех также распределена в  $n_{нар}$ -мерном пространстве равномерно, то зона наиболее вероятного нахождения каждого сигнала ограничена  $n_{нар}$ -мерной сферой, точка в центре которой обозначает идеальный элементарный сигнал. В этом случае канал связи симметричен (рисунок 4.13а), вероятность ошибки при опознании элементарного данного не зависит от его переданного значения [173]. С увеличением объёма алфавита элементарных сигналов за счёт увеличения  $n_{нар}$  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  $n_{нар}$  пространстве. Соотношение сигнал/помеха не уменьшается.

Помехи, действующие в канале связи, могут обладать такими свойствами, что расстояния между точкой, обозначающей идеальный элементарный сигнал, и точками на границе относящейся к нему зоны наиболее вероятного его нахождения, неодинаковы (см. рисунок 4.13б) – энергия помех распределена в  $n_{нар}$ -мерном пространстве неравномерно. Это означает, что при использовании элементарных равноудалённых сигналов из-за особенностей действующих помех канал связи несимметричен [173].

Если каждому элементарному сигналу  $e_{ij}(t)$  (4.28) соответствует определённое вычислительное устройство, необходимое для его идентификации [155, § 7.4], то значение элементарного данного (данного, полученного в результате идентификации сигнала  $e_{ij}(t)$ ) можно представить в виде номера этого устройства. Тогда задача разнесённого приёма связана с улучшением качества идентификации и сводится к получению обобщённых данных

аналогично описанному в разд. 4.3. Если (пример, относящийся к рисунку 4.12) объём алфавита элементарных сигналов  $e_{ij}(t)$  ( $i \in I, j \in J$ ) равен четырём, то 0, 1, 2, 3 – номера вычислительных устройств (и алфавит элементарных данных). В этом случае подходит алгоритм получения обобщённых данных  $A_4$  (см. разд. 4.3).

Обеспечением равноудалённости сигналов  $e_{ij}(t)$  (4.28) создаются благоприятные условия для реализации симметричного канала, использование которого позволяет сократить объём ( $q$ ) оптимального множества ВХД (в частности, с  $q = 166$  до  $q = 132$  – для алгоритма  $A_4$  [32]).

При относительно большом объёме алфавита сигналов  $e_{ij}(t)$  (4.28) показаны [61] определённые подходы к улучшению достоверности, касающиеся разнесённого приёма (см. (4.20) и соответствующие пояснения в разд. 4.3).

Пусть (для простоты) осуществляют методы модуляционного кодирования, при этом передаваемые данные разбиваются на  $n_{nom}$  потоков ( $n_{nom} \geq 2$ ), а данное каждого потока имеет один разряд, значение которого равно «0» или «1» (аналогично представленным на рисунке 4.12 а,б). Тогда восстановленное на приёмной стороне данное, соответствующее переданному элементарному сигналу  $e_{ij}(t)$ , содержит множество элементов  $M_{\Delta e} = \{\Delta e_1, \Delta e_2, \dots, \Delta e_k, \dots, \Delta e_{n_{nom}}\}$  ( $\Delta e_k = \{0,1\}$ ,  $k = 1, 2, \dots, n_{nom}$ ). Если ошибки, возникающие при передаче сигнала  $e_{ij}(t)$ , относящиеся к различным элементам  $M_{\Delta e}$ , независимы, то

$$P(\Delta e_{k_{ou}} | \Delta e_{r_{npd}} = 0) = P(\Delta e_{k_{ou}} | \Delta e_{r_{npd}} = 1) = P(\Delta e_{k_{ou}}); \quad (4.29)$$

$$\Delta e_{k_{ou}}, \Delta e_{r_{npd}} \in M_{\Delta e}; \quad k \neq r,$$

где  $P(\Delta e_{k_{ou}} | \Delta e_{r_{npd}} = l)$  – вероятность ошибки опознания переданного элемента  $\Delta e_k$  при условии, что в переданном сигнале  $e_{ij}(t)$  значение элемента  $\Delta e_r$  равно  $l$ ;

$$P(\Delta e_{k_{ou}}) – \text{вероятность ошибки при опознании переданного элемента } \Delta e_k.$$

Если условие (4.29) выполняется, то при разнесённом приёме сигнала  $e_{ij}(t)$  появляется возможность получать обобщённые элементы данных  $M_{\Delta e\Sigma} = \{\Delta e_{1\Sigma}, \Delta e_{2\Sigma}, \dots, \Delta e_{k\Sigma}, \dots, \Delta e_{n_{nom}\Sigma}\}$ , соответствующие элементам множества  $M_{\Delta e}$  и относящиеся к различным каналам разнесения, в отдельности. Если  $n = 5$ , то для получения отдельных элементов  $M_{\Delta e\Sigma}$  подходит алгоритм  $A_{42}$  с уменьшенным объёмом опти-



мального множества комбинаций ВХД ( $q = 7$ , см. Приложение В и [201]). Уменьшается (соответственно) объём вычислений (по сравнению, например, с алгоритмом  $A_4$ ).

Таким образом, применением рациональных методов модуляции создаются благоприятные условия для значительного уменьшения объёма оптимального множества комбинаций ВХД и разработки результативных алгоритмов получения обобщённых данных при относительно большом объёме алфавита элементарных данных.

#### **Выводы по главе 4**

1. Большие возможности улучшения существующего ИТО связаны с предложенным алгоритмом преобразования первичных сигналов в БИТС, обеспечивающим уменьшение потерь ТМИ вследствие ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений и компактное представление данных телеизмерений, что создаёт преимущества в условиях необходимости осуществления разнесённого приёма ТМИ и жёстких ограничений пропускной способности каналов «борт-Земля».

2. Реализация предложенных технологий управляемого разнесённого приёма позволяет существенно сократить потери ТМИ из-за помех, действующих в каналах «борт-Земля», обеспечивает выполнение требований к оперативности получения обобщённого массива данных телеизмерений, а также улучшает условия для сокращения количества ПТС ТК (прежде всего ПРС).

3. К факторам, усложняющим условия помеховой обстановки и создающим предпосылки ухудшения достоверности обобщённых телеизмерений, относится влияние произвольных помех. Ситуация может усугубляться выбором нерациональных систем сигналов для передачи ТМИ по каналам «борт-Земля». Существуют (и показаны) возможности компромисса, касающегося описания параметров помеховой обстановки при построении алгоритмов получения обобщённых данных, сглаживающего противоречие, заключающееся в том, что при игнорировании мешающих факторов обеспечиваемая достоверность недопустимо низка, а всеобъемлющий их учёт невозможен.

4. Достоверность, обеспечиваемая алгоритмами получения обобщённых телеизмерений, зависит от условий помеховой обстановки и возможностей в этих

условиях управлять функциональной зависимостью между данными, поступившими из каналов разнесения, и обобщёнными данными. Так как условия помеховой обстановки в процессе полёта РКН изменяются, то целесообразно соответственно изменять и функциональную зависимость. Поэтому необходимым условием обеспечения существенных преимуществ от разнесённого приёма ТМИ является применение алгоритмов получения обобщённых данных, адаптирующихся к условиям помеховой обстановки. При этом качество адаптации характеризуется обеспечиваемой достоверностью обобщённых данных.

5. При достаточных ограничениях количества каналов разнесения и объёма алфавита передаваемых данных реализуема возможность получения оптимального множества комбинаций весовых характеристик достоверности, необходимых для установления функциональной зависимости между данными, поступившими из каналов разнесения, и обобщёнными данными. Его использование позволяет максимально увеличить количество состояний помеховой обстановки, к которым адаптируется осуществляемый алгоритм получения обобщённых данных (в определённой мере учесть проявления несимметричности каналов разнесения).

6. Применение алгоритмов получения обобщённых данных обесмысливается, если синхронизация обладает низкой помехоустойчивостью. Поэтому методы разнесённого приёма и улучшения качества синхронизации должны действовать «рука об руку». Предложенный метод улучшения качества синхронизации актуален для условий помеховой обстановки в процессе полёта РКН. Он позволяет значительно уменьшить потери ТМИ из-за сбоев синхронизации.

7. Методы разнесённого приёма гармонично сочетаются с другими методами действий над ТМИ (в частности, с методами помехоустойчивого кодирования/декодирования и модуляции). Показаны широкие возможности их комплексирования, что позволяет существенно повысить уровень достоверности обобщённых данных.

## ГЛАВА 5. ПРИКЛАДНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СФОРМУЛИРОВАННЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОЛОЖЕНИЙ

Ниже показаны возможности обеспечения условий для реализации сформулированных (см. главу 4) **теоретических положений**.

### **5.1 Меры по улучшению качества обобщённых телеизмерений путём обработки ТМИ в БИТС в условиях жёстких ограничений пропускной способности каналов «борт-Земля»**

#### **5.1.1 Ограничения, касающиеся накопления ТМИ в БИТС, применяемых в условиях риска полётных аварий телеметрируемых объектов**

С целью определения возможностей накопления ТМИ на телеметрируемом объекте исследован процесс протекания полётной аварии РН и проанализированы потери ТМИ двигательной установки (ДУ), обусловленные метрологическими отказами датчиков (ПП) и элементов БРТС [43].

Метрологический отказ – это отказ средства измерений, состоящий в потере его метрологической исправности [122]. Под метрологической исправностью понимается состояние средства измерений, определяемое соответствием его нормируемых метрологических характеристик установленным требованиям [122].

Чтобы исследовать природу метрологических отказов, структура БРТС представлена (аналогично [76]) в виде совокупности измерительных каналов. При этом БРТС состоит из подсистем сбора и обработки ТМИ различного иерархического уровня. В случае БИТС с ВРК такими подсистемами являются локальный коммутатор (ЛК) и основной коммутатор (ОК) (рисунок 5.1). С выхода БИТС, или ОК (в случае БИТС с ВРК) групповой сигнал [103] поступает на вход бортового передатчика (ПРД) (см. рисунок 5.1). Каждый канал содержит последовательно соединенные устройства от ПП до ПРД; он может быть метрологически исправен или может находиться в состоянии метрологического отказа. Элементы БРТС размещены на борту РКН (рисунок 5.2).

Метрологическое состояние БРТС определяется метрологическими состояниями измерительных каналов. При наличии измерительных каналов, находящихся в состоянии мет-

рологического отказа, метрологическое состояние БРТС характеризуется уровнем метрологической пригодности [18, 118]. Самый низкий уровень связан с метрологическим отказом ПП, а самый высокий – с подсистемой сбора и обработки ТМИ БИТС первого иерархического уровня (в случае БИТС с ВРК – это ОК) и с ПРД.

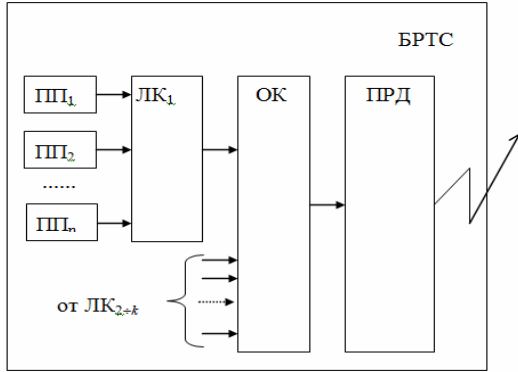


Рисунок 5.1 – Структурная схема  $m$ -го комплекта БРТС

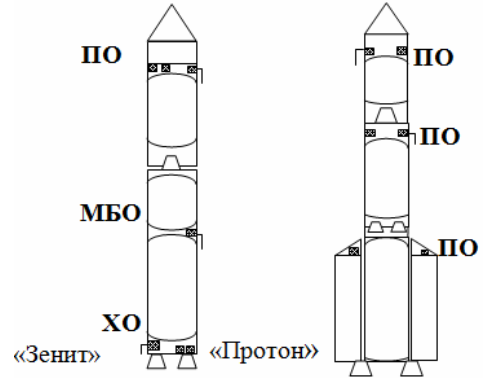


Рисунок 5.2 – Схема расположения элементов БРТС на РН (■ - условное обозначение элементов БРТС; ПО – приборный отсек, МБО – межбаковый отсек, XO – хвостовой отсек)

Рассмотрены [43] метрологические отказы, имевшие место при аварийных пусках РН «Протон» и «Зенит» с 1978-го по 2005-й год. Таких пусков было 8 – по четыре для каждого типа РН. Причем две аварии относятся к первой ступени РН «Зенит», а остальные – ко второй ступени РН «Протон» и «Зенит». С утратой метрологической пригодности БРТС возможность получения ТМИ полностью исключается.

Для исследования ограничений, касающихся накопления ТМИ в БИТС, разработана концептуальная модель перехода БРТС в состояние полной метрологической непригодности, которое определяется метрологическим отказом ОК и/или ПРД. В случае метрологической исправности ОК и ПРД есть основание утверждать, что и для размещенной в этом же месте подсистемы целевой обработки ТМИ (например, осуществляющей сжатие данных телеизмерений) условия функционирования нормальные (т.е. она также будет находиться в исправном состоянии). Состояние метрологического отказа ПП определялось по фактам выхода значений телеметрируемого параметра за границы нижнего или верхнего пределов измерений. Для контроля метрологической исправности ОК и ПРД некоторые измерительные каналы использовались в качестве контрольных. В соответствии с разработанной моделью получены сведения (таблица 5.1):

$$\tau_{ав_1_i} = t_{ав_ДУ_i} - t_{ав_нач}, \quad (5.1)$$

$$\tau_{ав_2_i} = t_{отк\_ПП\_эпиц} - t_{ав_ДУ_i}, \quad (5.2)$$

$$\tau_{ав_3_{i_j}} = t_{отк\_БРТС_j} - t_{ав_ДУ_i}, \quad (5.3)$$

где  $t_{ав_нач}$  – начало развития аварии;

$t_{ав_ДУ_i}$  – начало разрушения ДУ  $i$ -й ступени РН (определяется по началу метрологических отказов ПП, размещенных в эпицентре аварии);

$t_{отк\_ПП\_эпиц}$  – окончание метрологических отказов ПП, размещенных в эпицентре аварии;

$t_{отк\_БРТС_j}$  – возникновение метрологического отказа ОК и (или) ПРД (момент полной утраты метрологической пригодности БРТС;  $j$  – место установки ОК и ПРД из состава БРТС, см. рисунок 5.2);

$\tau_{ав_1_i}$  – время от начала возникновения аварийной ситуации до начала разрушения ДУ  $i$ -й (аварийной) ступени РН;

$\tau_{ав_2_i}$  – время от начала разрушения ДУ  $i$ -й (аварийной) ступени РН до момента возникновения метрологического отказа ПП, размещенных в эпицентре аварии;

$\tau_{ав_3_{i_j}}$  – время от начала разрушения ДУ  $i$ -й (аварийной) ступени РН до момента полной утраты метрологической пригодности  $j$ -й БРТС.

Сделано заключение о весьма больших возможностях спасения ТМИ.

1. Для получения необходимых сведений о поведении параметров ДУ во время развития аварийной ситуации частота опроса соответствующих датчиков должна быть значительно увеличена (с 50-100 до 200÷400 Гц, см. рисунок 1.7).

2. С увеличением времени начала аварии возможности спасения ТМИ, накопленной в БИТС, возрастают. Наиболее уязвимы элементы БРТС первой ступени РН. Поэтому целесообразно накапливать ТМИ  $i$ -й ступени в подсистеме целевой обработки, размещённой на последующих ступенях (на  $(i+1)$ -й или  $(i+2)$ -й). При рациональном размещении элементов БРТС на РН ограничения времени накопления ТМИ составляют более 100 секунд.

3. В применяемых БРТС (типа РТС-9 и БРС-4) защита от короткого замыкания из-за повреждения бортовой кабельной сети при аварии слаба. При его возникновении БРТС бы-

стро переходит в состояние метрологической непригодности. Это следует учесть при построении перспективных БРТС, прежде всего, подсистемы целевой обработки ТМИ.

4. При авариях, приводящим к разрушению элементов конструкции РН, происходит усиление помех в каналах «борт-Земля», по сравнению с уровнем помех при безаварийном пуске. Отсюда – задача обеспечения передачи накопленной ТМИ в условиях усилившихся помех.

Таблица 5.1 – Хронология метрологических отказов ПП и элементов БРТС при аварии ДУ РН

Дата пуска	Сведения о развитии аварии	№ прим.
	<b>РН «Протон»</b>	
17.10.1978	$t_{ав\_нач} = 235,88$ с, $t_{ав\_ДУ\_2} = 235,92$ с, $t_{отк\_ПП\_эниц} = 235,96$ с, $t_{отк\_БРТС\_2} \approx t_{отк\_БРТС\_3} \approx 240,0$ с, $\tau_{ав\_1\_2} = 4$ мс, $\tau_{ав\_2\_2} = 4$ мс, $\tau_{ав\_3\_2} \approx \tau_{ав\_3\_3} \approx 4,1$ с.	1
24.12.1982	$t_{ав\_нач} = 227,15$ с, $t_{ав\_ДУ\_2} = 227,24$ с, $t_{отк\_ПП\_эниц} = 227,50$ с, $t_{отк\_БРТС\_2} \geq t_{к\_2}$ , $t_{отк\_БРТС\_3} > t_{к\_2}$ , $t_{к\_2} = 385,0$ с, $\tau_{ав\_1\_2} = 9$ мс, $\tau_{ав\_2\_2} = 26$ мс, $\tau_{ав\_3\_2} \geq 157,8$ с, $\tau_{ав\_3\_3} > 157,8$ с.	2
05.07.1999	$t_{ав\_нач} = 276,7$ с, $t_{ав\_ДУ\_2} = 277,07$ с, $t_{отк\_ПП\_эниц} = 277,36$ с, $t_{отк\_БРТС\_2} \geq t_{к\_2}$ , $t_{отк\_БРТС\_3} \approx 413,3$ с, $t_{к\_2} = 385,0$ с, $\tau_{ав\_1\_2} \approx 37$ мс, $\tau_{ав\_2\_2} = 29$ мс, $\tau_{ав\_3\_2} \geq 107,9$ с, $\tau_{ав\_3\_3} > 136,2$ с.	2
27.10.1999	$t_{ав\_нач} = 222,035$ с, $t_{ав\_ДУ\_2} = 222,11$ с, $t_{отк\_ПП\_эниц} = 222,13$ с, $t_{отк\_БРТС\_2} \geq t_{к\_2}$ , $t_{отк\_БРТС\_3} > t_{к\_2}$ , $t_{к\_2} = 385,0$ с, $\tau_{ав\_1\_2} = 75$ мс, $\tau_{ав\_2\_2} = 20$ мс, $\tau_{ав\_3\_2} \geq 162,9$ с, $\tau_{ав\_3\_3} > 162,9$ с.	2
	<b>РН «Зенит»</b>	
04.10.1990	$t_{ав\_нач} = 6,41$ с, $t_{ав\_ДУ\_1} = 6,41$ с, $t_{отк\_ПП\_эниц} = 6,44$ с, $t_{отк\_БРТС\_1\_ХО} =$ $6,44$ с, $t_{отк\_БРТС\_1\_МБО} = 6,47$ с, $t_{отк\_БРТС\_2} \approx 12,1 \div 12,3$ с, $\tau_{ав\_1\_1} = 0$ мс, $\tau_{ав\_2\_1} = 30$ мс, $\tau_{ав\_3\_1\_ХО} = 30$ мс, $\tau_{ав\_3\_1\_МБО} = 60$ мс, $\tau_{ав\_3\_2} \approx 5,7 \div 5,9$ с.	-
30.08.1991	$t_{ав\_нач} = 157,84$ с, $t_{ав\_ДУ\_2} = 157,89$ с, $t_{отк\_ПП\_эниц} = 157,95$ с, $t_{отк\_БРТС\_2} \approx 158,0 \div 158,1$ с, $\tau_{ав\_1\_2} = 50$ мс, $\tau_{ав\_2\_2} = 60$ мс, $\tau_{ав\_3\_2} \approx 110 \div 210$ мс.	3
05.02.1992	$t_{ав\_нач} = 158,517$ с, $t_{ав\_ДУ\_2} = 158,537$ с, $t_{отк\_ПП\_эниц} = 158,577$ с, $t_{отк\_БРТС\_2} \approx 190,0$ с, $\tau_{ав\_1\_2} = 20$ мс, $\tau_{ав\_2\_2} = 40$ мс, $\tau_{ав\_3\_2} > 31,5$ с.	2
20.05.1997	$t_{ав\_нач} = 44,93$ с, $t_{ав\_ДУ\_1} = 44,97$ с, $t_{отк\_ПП\_эниц} = 45,05$ с, $t_{отк\_БРТС\_1\_ХО} \approx 45,08$ с, $t_{отк\_БРТС\_1\_МБО} > 139,2$ с, $t_{отк\_БРТС\_2} > 139,2$ с, $\tau_{ав\_1\_1} = 4$ мс, $\tau_{ав\_2\_1} = 80$ мс, $\tau_{ав\_3\_1\_ХО} \approx 110$ мс, $\tau_{ав\_3\_1\_МБО} > 94,3$ с, $\tau_{ав\_3\_2} > 94,3$ с.	2

**Примечания:**

1. Полная утрата метрологической пригодности БРТС 2-й и 3-ей ступеней обусловлена замыканием силовых цепей из-за повреждения бортовой кабельной сети вследствие возгорания в хвостовой отсеке 2-й ступени РН.

2. Вывод данных контрольных параметров прекращен за ненадобностью (без учёта наличия зарегистрированной на ИПах ТМИ).

3. Полная утрата метрологической пригодности БРТС 2-й ступени обусловлена коротким замыканием цепей питания из-за аварии ДУ РН.

Таким образом, реализация сформулированных рекомендаций по беззатратному накоплению ТМИ в БИТС существенно улучшает условия обработки ТМИ в БИТС (в частности, обеспечивается возможность реализации алгоритма преобразования первичных сигналов, см. разд. 4.1; технологий управляемого разнесённого приёма ТМИ, см. разд. 4.2), значительно снижая риск потери накопленных данных из-за полётной аварии.

### 5.1.2 Методическая схема компактного представления данных о вибропараметрах

Компактное представление ТМИ в БИТС необходимо обеспечивать комплексированием методов множества  $Met_{Q\_ТМИ\_преоб}$  (1.20) (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Данные (сигналы) и методы для компактного представления ТМИ в БИТС

№ п/п	$Q_{R*_{вх}}$	$Q_{R*_{вых}}$	$Met_{Q\_ТМИ\_преоб}$	Примечания
1	$Q_{ТМИ\_ПП}$	$Q_{ТМИ\_КП\_1}$	$Met_{Q\_ТМИ\_преоб \wedge ТМП}$	См. разд. 4.1
2	$Q_{ТМИ\_КП\_1}$	$Q_{ТМИ\_КП\_2}$	$Met_{Q\_ТМИ\_преоб\_КП\_1\_2}$	См. методы сжатия данных CCSDS [205, 206]
3	$Q_{ТМИ\_КП\_1}$	$Q_{ТМИ\_КП\_3}$	$Met_{Q\_ТМИ\_преоб\_КП\_1\_3}$	
4	$Q_{ТМИ\_КП\_3}$	$Q_{ТМИ\_КП\_4}$	$Met_{Q\_ТМИ\_преоб\_КП\_3\_4}$	См. методы сжатия данных CCSDS [205, 206]
5	$Q_{ТМИ\_КП}$	$Q_{ТМИ\_КП\_j}, j = 1, \dots, 4$	$Met_{Q\_ТМИ\_преоб\_КП\_1234\_j}$	
6	$Q_{ТМИ\_КП}$	$Q_{ТМИ\_ТС}$	$Met_{Q\_ТМИ\_преоб\_КП\_ТС}$	
7	$Q_{ТМИ\_ТС}$	$Q_{ТМИ\_БД}$	$Met_{Q\_ТМИ\_преоб\_ТС\_БД}$	

Пояснение обозначений (см. таблицу 5.2):

$Q_{R*_{вх}}$  ( $Q_{R*_{вых}}$ ) – сигналы/данные на входах (на выходах) ПТС  $R^*$  (1.22);

$Q_{ТМИ\_ПП}$  – первичные сигналы;

$Q_{ТМИ\_КП\_1}$  – данные кодов параметров, полученные преобразованием первичных сигналов (в частности, квантованием первичных сигналов по уровню);

$Q_{ТМИ\_КП\_2}$  – данные  $Q_{ТМИ\_КП\_1}$ , сжатые обратимыми методами;

$Q_{ТМИ\_КП\_3}$  – интегральные характеристики (ИХ), полученные преобразованием данных  $Q_{ТМИ\_КП\_1}$  (данные, сжатые необратимыми методами);

$Q_{ТМИ\_КП\_4}$  – данные  $Q_{ТМИ\_КП\_3}$ , сжатые обратимыми методами;

$Q_{ТМИ\_КП\_5}$  – данные, выбранные из  $Q_{ТМИ\_КП\_1}$ ,  $Q_{ТМИ\_КП\_2}$ ,  $Q_{ТМИ\_КП\_3}$  и  $Q_{ТМИ\_КП\_4}$  путём исключения избыточных (с точки зрения анализа) данных;

$Q_{ТМИ\_ТС}$  – телеметрические слова для размещения в них данных  $Q_{ТМИ\_КП}$ ;

$Q_{ТМИ\_БД}$  – блоки данных для размещения в них телеметрических слов  $Q_{ТМИ\_ТС}$ .

Поясним порядок комплексирования методов  $Met_{Q\_ТМИ\_преоб}$  (см. таблицу 5.2), касающийся БМП (в частности, вибропараметров). При выборе методов компактного представления ТМИ учтены особенности БМП.

Характерной особенностью БМП является значительная неопределённость их поведения. Отсюда – значительные потери информации из-за ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений (см. рисунок 1.8 и пояснения к нему) и, соответственно, – актуальность метода  $Met_{Q\_ТМИ\_преоб\_Λ\_ТМП}$  (см. разд. 4.1).

Другой особенностью БМП является широкий спектр первичного сигнала. Его максимальная частота ( $F_m$ , (1.7)) может достигать десятков килогерц (см. разд. 1.1). Поэтому, несмотря на относительную компактность данных  $Q_{ТМИ\_кп\_1}$ , обеспечиваемую методом  $Met_{Q\_ТМИ\_преоб\_Λ\_ТМП}$ , актуальны методы сжатия данных  $Met_{Q\_ТМИ\_преоб\_кп\_1\_2}$ , в частности, методы, рекомендуемые CCSDS [205, 206], а также традиционные методы типа интерполяции полиномами первого порядка, выделение экстремальных значений данных [54] и т.д.

Обычно устанавливаемая априори частота опроса датчика  $f_{опр}$  БМП ориентирована некую частоту  $F_m$  (1.7) [85], которая больше текущей частоты  $F_{m\_i}$  ( $i = 1, 2, \dots$ ), относящейся к  $i$ -му блоку данных, формируемому в БИТС. Соответственно, актуален выбор текущей частоты  $f_{опр\_i}$  опроса в зависимости от  $F_{m\_i}$  (рисунок 5.3).

Для получения ещё бóльших преимуществ от сжатия предложено [61] представлять значения данных о номере существенного измерения в виде остатков. В этом случае структура  $i$ -го данного ( $t_i$ ) соответствует кортежу  $\langle b_i, U_i \rangle$ , причем

$$t_i = b_{i,k} + km \quad , \quad (5.4)$$

где  $b_i$  – значение номера измерения, представленное в системе остатков;

$m$  – значение модуля сравнения,  $k$  – номер шкалы передачи.



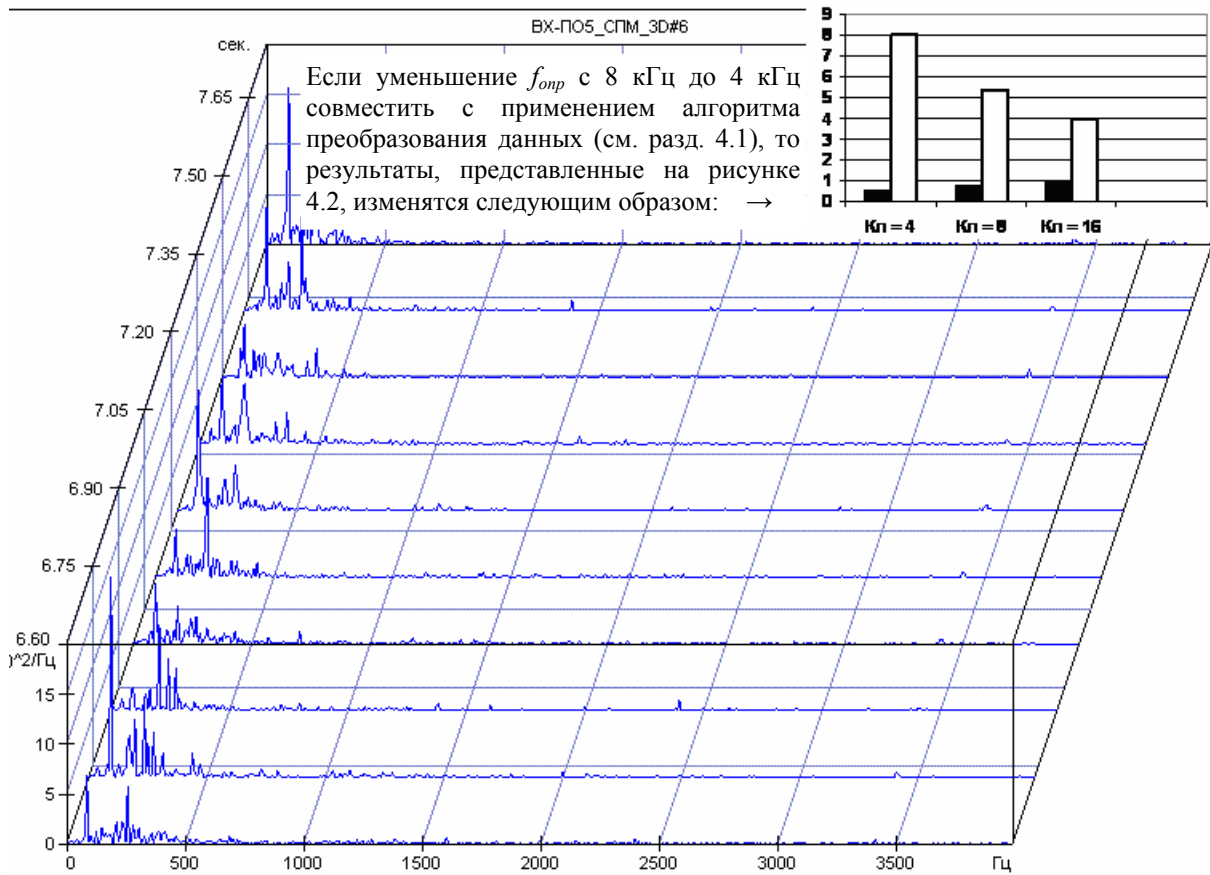


Рисунок 5.3 – На представленном временном интервале спектральные составляющие параметра VX-ПО5 смещены в область низких частот, их максимальная частота не превышает 500 Гц; в одной выборке – 1024 телеизмерений (правомерно уменьшить частоту опроса с  $f_{опр} = 8$  кГц до  $f_{опр\_i} = 4$  кГц)

Восстановление значений  $t_i$  по принятым  $b_{i,k}$  (5.4) осуществляется аналогично восстановлению телеизмерений [95, с. 16-24], представленных в виде остатков (рисунок 5.4). Момент перехода от одной шкалы к другой определяется по резкому перепаду значений соседних измерений ( $|U_{i,k} - U_{i+1,k+1}| \sim m$ ). Поэтому для восстановления  $t_i$  необходимо выполнить условие

$$b_{i,k} \geq b_{i+1,k+1} , \tag{5.5}$$

где  $i$  – номер существенного измерения,  
 $k$  – номер шкалы.

Если  $t_i$  и  $t_{i+1}$  относятся к шкалам  $k$  и  $k+1$  соответственно, то  $t_i = b_{i,k} + km$ ,  $t_{i+1} = b_{i+1,k+1} + (k+1)m$ . Следовательно,

$$m_{min} = \max\{t_{i+1} - t_i\} , \tag{5.6}$$

$$m \geq \max\{t_{i+1} - t_i\} . \tag{5.7}$$

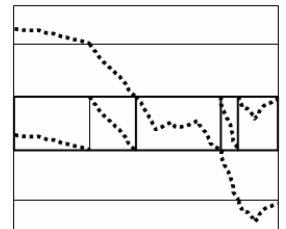


Рисунок 5.4 – Представление данных в виде остатков

Если для части измерений условие (5.7) не выполняется, но существует некоторое  $m_0$  (причем  $m_0 < m_{min}$  (5.6)), обеспечивающее уменьшение разрядности передаваемых  $b_i$  (5.4), то с точки зрения общего коэффициента сжатия ( $K_{сж}$ ) может быть целесообразным выбор для последующей передачи не только существенных, но и части несущественных телеизмерений при выполнении условия

$$m_0 \geq \max\{t_{i+1} - t_i\} . \quad (5.8)$$

Оценивание влияния значения модуля  $m$  на общий коэффициент сжатия  $K_{сж}$  осуществлено [61] экспериментально по эквивалентному числу каналов ОК  $N_{ОК}$  ( $N_{ОК}$  – количество каналов ОК для передачи сжатых данных телеизмерений с использованием четырёхпозиционного сигнала при условии, что для передачи соответствующей ТМИ аналоговым методом задействуют один канал ОК). Если, например,  $N_{ОК} = 0,5$ , то для передачи ТМИ вместо одного канала ОК требуется 0,5 канала. Коэффициент сжатия  $K_{сж}$  равен отношению количества исходных (несжатых) и существенных (экстремальных) телеизмерений (рисунок 5.5). Условие (5.7) выполняется при  $m = 16$ . На основе экспериментальных сведений получены значения  $K_{сж}$  для  $m = 16$ ,  $m_0 = 8$  и  $m_0 = 4$ . Соответственно  $K_{сж} = 3,28; 3,23; 2,81$ . Полученные сведения о  $N_{ОК}$  представлены в таблице 5.3: параметр  $K_n$  относится к формуле (4.1); в графе « $t_i$ » представлены сведения, полученные при условии, что шкала номеров текущих измерений  $t_i$  составляет 640 измерений, а значения, соответствующие  $t_i$ , не подлежат преобразованию.

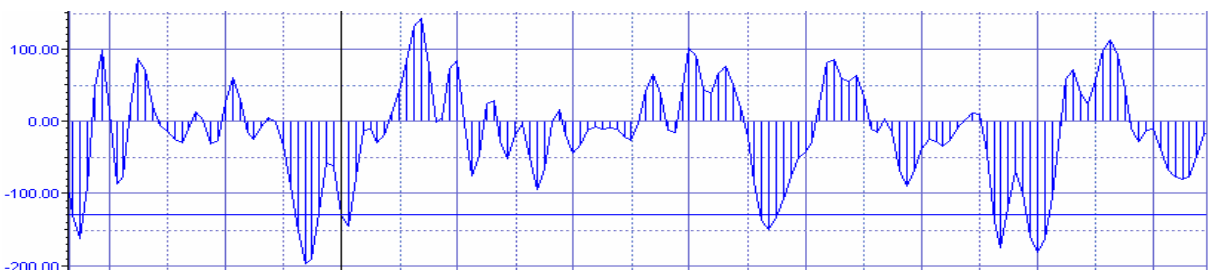


Рисунок 5.5 – График, поясняющий механизм экспериментального определения экстремальных значений параметра ВХ-ПО5 с помощью курсора (РН «Протон-М»,  $f_{опр} = 8$  кГц)

Таблица 5.3 – Полученные экспериментально значения  $N_{ОК}$

$t_i$			$m = 16$			$m_0 = 8$			$m_0 = 4$		
$K_n = 4$	$K_n = 8$	$K_n = 16$	$K_n = 4$	$K_n = 8$	$K_n = 16$	$K_n = 4$	$K_n = 8$	$K_n = 16$	$K_n = 4$	$K_n = 8$	$K_n = 16$
1,83	1,98	2,13	0,91	1,07	1,22	0,77	0,93	1,08	0,71	0,89	1,07

Из таблицы 5.3 следует, что без представления данных о номере измерения в виде остатков осуществлять сжатие данных телеизмерений традиционными способами нецелесообразно. С точки зрения обеспечиваемой точности измерений и компактности их представления наиболее подходят  $K_n = 8$  и  $m_0 = 4$ .

Возможна замена аналоговых методов передачи ТМИ цифровыми, причём без увеличения количества задействуемых каналов ОК, созданы условия для применения рациональных алгоритмов получения обобщённых данных (в частности, алгоритма  $A_4$  [29]).

Третья особенность БМП заключается в том, что обычно информация о телеметрируемых процессах сосредоточена не в отдельных телеизмерениях, а в их совокупности. Поэтому (в отличие от ММП) поведение контролируемых объектов по БМП оценивается через образы, создаваемые интегральными (обобщёнными) характеристиками – спектральными, корреляционными и т.д. Причём объём данных, содержащих информацию об интегральных характеристиках (ИХ), существенно меньше объёма исходных данных телеизмерений, полученных при применении традиционных БИТС с ВРК [25].

По мере расширения возможностей современных ПТС улучшаются условия для вычисления ИХ в БИТС, что создаёт некоторые преимущества. Во-первых, существенно уменьшится объём передаваемых с телеметрируемого объекта данных (по сравнению с обычным ВРК). Во-вторых, упростится технология обработки ТМИ с применением наземных средств. Формирование данных ИХ в БИТС целесообразно, но лишь их недостаточно для последующего полноценного анализа [60].

Суть предложенной [45] общей стратегии формирования ТМИ о БМП в БИТС заключается в одновременном формировании данных  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_3}}$  ИХ и  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_1}}$ , по которым возможно восстановление первичных сигналов с заданной точностью. Причём данные  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_3}}$  должны содержать наиболее часто используемые для анализа ИХ, а при формировании данных  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_1}}$  – применяться разработанный алгоритм (см. разд. 4.1), относящийся к методу  $Met_{Q_{\text{ТМИ\_преоб\_Л\_ТМП}}}$ .

Сокращением объёма данных  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_1}}$ ,  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_2}}$ ,  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_3}}$  и  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_4}}$ , (см. таблицу 5.2) создаются предпосылки для сокращения объёма данных  $Q_{\text{ТМИ\_ТС}}$  и  $Q_{\text{ТМИ\_БД}}$ .

Возможны случаи, когда сформированные в БИТС данные множеств  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_1}}$ ,  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_2}}$ ,  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_3}}$  и  $Q_{\text{ТМИ\_КП\_4}}$  содержат одинаковую (с точки зрения анализа) информацию. Тогда актуальны методы  $Met_{Q_{\text{ТМИ\_преоб\_КП\_1234\_j}}}$  выбора из них данных минимального объёма (с  $K_{\text{сж\_max}}$ ) для последующей передачи по каналам «борт-Земля» (подход аналогичен перебору [206] фактически нескольких алгоритмов сжатия данных с последующим выбором алгоритма, обеспечивающего  $K_{\text{сж\_max}}$ ).

Возможности компактного представления данных  $Q_{\text{ТМИ\_ТС}}$  и  $Q_{\text{ТМИ\_БД}}$  зависят от установленных (в соответствии с  $Met_{Q_{\text{ТМИ\_преоб\_КП\_ТС}}}$  и  $Met_{Q_{\text{ТМИ\_преоб\_ТС\_БД}}}$  [208]) форматов данных  $Q_{\text{ТМИ\_КП}}$ ,  $Q_{\text{ТМИ\_ТС}}$  и  $Q_{\text{ТМИ\_БД}}$  и от порядка размещения данных  $Q_{\text{ТМИ\_КП}}$  в телеметрических словах и слов  $Q_{\text{ТМИ\_ТС}}$  в блоках данных. Компактность представления слов  $Q_{\text{ТМИ\_ТС}}$  и блоков  $Q_{\text{ТМИ\_БД}}$  определяется долей «холостых» битов в этих словах и боках данных.

Таким образом, комплексный подход к компактному представлению ТМИ в БИТС (в частности, к ТМИ БМП), заключающийся в выборе наиболее рационально сочетаемых (с точки зрения общего коэффициента сжатия) методов и алгоритмов, позволяет существенно ограничить суммарную скорость данных, поступающих на выходы БРТС.

### 5.1.3 Подход к формированию компактных структур ТМИ виртуальных БИТС

Известна [203] условная классификация по способу формирования структур ТМИ в БРТС ( $Q_{\text{ТМИ\_БД}}$ ): кадровая и пакетная телеметрия. Для методов  $Met_{Q_{\text{ТМИ}}}$  (1.20) действий над ТМИ с  $Upr_2 = 1, 2, 3$  (см. разд. 3.1.4) больше подходит кадровая структура ТМИ, с  $Upr_2 = 4$  – пакетная. Особенность кадровой структуры связана с её жёсткостью, с цикличностью измерений [13, с. 231; 71 и др.].

Важное (и полезное) свойство циклического опроса датчиков (оно присуще кадровой структуре), заключающееся в отсутствии необходимости адресных данных (см. разд. 5.1.2), обозначающих местоположение слова датчика в общей структуре ТМИ, может быть использовано и в пакетной телеметрии [7]. Однако возможности формирования в БИТС структур ТМИ в виде кадров ограничены возможностями коммутации датчиков, зависящими от режимов запараллеливания,

учетверения и т.д. каналов основного (ОК) и локальных коммутаторов (ЛК), коммутаторов третьей ступени коммутации.

Если рассматривать (аналогично рисунку 6.2 в [203]) структуру ТМИ, формируемую в БИТС, в виде матрицы  $M_{str}$ , то пересечения её столбцов и строк соответствуют сигналам (данным) опрашиваемых поочерёдно датчиков  $k_{ij}$  [ $k$  – номер (имя) датчика,  $i$  – номер строки,  $j$  – номер столбца]. Все элементы матрицы  $M_{str}$  соответствуют большому кадру (в терминах [203]). Причём элементы каждой строки соответствуют малому кадру, или сигналам (данным) каналов ОК (в терминах отечественной телеметрии [71]), а номер строки – номеру малого кадра, размещаемого в большом кадре. Сигналы (данные) отдельного ( $k$ -го) датчика могут периодически повторяться в столбцах и в строках матрицы.

Положим (для простоты), размер слов (объём сигналов) для всех опрашиваемых датчиков одинаков. Тогда, если матрица  $M_{str}$  содержит  $N_{столб}$  столбцов и  $N_{строк}$  строк, то общее количество содержащихся в ней элементов ( $N_{столб} \times N_{строк}$ ) соответствует количеству слов большого кадра.

Качество информационного обслуживания [103, гл. 12] телеметрируемых объектов во многом определяется возможностью представить численные значения  $N_{столб}$  и  $N_{строк}$  в виде произведений простых чисел (причём большим количеством при неповторяемости их значений). Например, если а)  $N_{столб} = 40 = 1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 5$ , б)  $N_{столб} = 60 = 1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5$ , то возможное число каналов ОК, используемых для подключения к ним одного датчика или одного ЛК, таково: а) 1, 2, 4, 5, 8, 10, 20, 40 и б) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30, 60. Числа в приведенных последовательностях также означают, что, например, 1, 2, 4, 5, ..., 40 слов из 40 слов малого кадра относятся к одному датчику или одному ЛК.

Из приведенных примеров следует, что частоту опроса датчиков можно (и целесообразно) задавать не только путём запараллеливания, учетверения и т.д. (изменения в  $2^n$  раз,  $n = 0, 1, 2, \dots$ ) каналов соответствующих коммутаторов БИТС (как это делается в отечественной телеметрии), но и путём их утроения, упятерения и т.д. Чем разнообразнее значения возможной частоты опроса датчика, тем гибче система коммутации датчиков, тем разнооб-

разные структуры ТМИ, формируемые в БИТС, тем шире возможности адаптации ПТИ к телеметрируемым процессам.

В качестве примера рассмотрены [61] варианты коммутации  $k$ -го датчика для  $N_{\text{столб}} = 60$  ( $60 = 1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5$ ),  $N_{\text{строк}} = 42$  ( $42 = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 7$ ).

Если ЛК подключается к одному каналу ОК, то в кадре этого ЛК (в подкадре – в терминах [203]) содержатся слова до 42-х датчиков. При этом путём коммутации каналов ЛК количество слов  $k$ -го датчика может быть равно 1, 2, 3, 6, 7, 14, 21, 42. В случае удвоения каналов ОК в кадре ЛК может содержаться 1, 2, 3, 4, 6, 7, 12, 14, 21, 28, 42, 84 слова  $k$ -го датчика. В случае утроения каналов ОК в кадре ЛК может содержаться 1, 2, 3, 6, 7, 9, 14, 18, 21, 42, 63, 126 слов  $k$ -го датчика. И т.д. В итоге в большом кадре может содержаться 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 18, 20, 21, 24, 28, 30, 35, 36, 40, 42, 45, 56, 60, 63, 70, 72, 84, 90, 105, 120, 126, 140, 168, 180, 210, 252, 280, 315, 360, 420, 504, 630, 820, 840, 1260, 2520 слов  $k$ -го датчика (49 неповторяющихся вариантов коммутации датчика).

Предлагается [61] использовать широкие возможности накопления и обработки ТМИ в БИТС с учётом последующего размещения обработанных данных телеизмерений в структуре, соответствующей матрице типа вышеупомянутой  $M_{\text{str}}$ , которая по сути является структурой ТМИ виртуальной БИТС. Основное условие размещения – обеспечение необходимой периодической повторяемости слов некоего  $k$ -го датчика, которая может быть реализована некоторой приемлемой избыточностью этих слов. Например, показана (см. разд. 5.1.2) возможность уменьшения объёма адресных данных путём ввода данных несущественных измерений, дополняющих данные существенных измерений, с целью максимизации общего коэффициента сжатия.

Таким образом, при осуществлении в БИТС различных адаптивных методов действий над ТМИ существуют широкие возможности, связанные с формированием в ней структур ТМИ, позволяющие получить преимущества кадровой телеметрии, связанные с циклическим опросом датчиков, и в итоге обеспечить ограничение суммарной скорости данных, поступающих на выходы БИТС телеметри-

руемого объекта, что весьма важно в условиях жёстких ограничений пропускной способности каналов «борт-Земля».

## 5.2 Обоснование облика рационального ТК

Под обликом ТК понимается совокупность его характерных черт (внешних признаков), которые оказывают существенное влияние на показатели  $W_{эф\_У\_ус}$  (2.16), касающиеся осуществления стратегий усовершенствования  $U_{ус}$  и применения  $U_{прим}$  СИТО.

Обосновано [48], что на сегодняшний день и в ближайшей перспективе наиболее актуально решение задач ФОМДТ, последующей обработки ТМИ и анализа в ВЦ космодрома. Это объясняется тем, что целевые задачи, решаемые отдельными космодромами, достаточно автономны; зачастую требуется оперативное включение подразделений анализа в работу непосредственно на территории космодрома, а существующая чрезмерная избыточность ТМИ затрудняет решение задач, связанных с её передачей на большие расстояния. В отдалённой перспективе может оказаться целесообразным переход к стратегиям централизации (решение задач ФОМДТ, последующей обработки ТМИ и анализа в ЦСОАИ). Однако целесообразность такого перехода должна быть обусловлена уровнем развития ПТС и ИТ, подтверждена полученными показателями  $W_{эф\_У\_ус}$  (2.16). В этой связи, в качестве аналога полезен опыт анализа процесса развития АСУ [143, 144, 145].

Отклонены [48] (как ущербные) альтернативные стратегии распределения задач обработки ТМИ и анализа между космодромом и центром типа ЦСОАИ. Идея минимизации задач обработки ТМИ в ВЦ космодрома путём сужения их спектра до экспресс- и оперативной обработки для ведения репортажа и общей оценки качества полёта РКН не нова. Однако её практическая реализация не создаст ожидаемых преимуществ. Процесс обработки ТМИ (и, соответственно, анализа) подчинён единой цели и делится на этапы (экспресс-, оперативная, полная первичная, полная вторичная обработка) из-за того, что не представляется возможным обеспечить требуемое для проведения полного анализа качество данных результатов обработки в короткие сроки (например, в темпе полёта РКН), особенно при возникновении на телеметрируемом объекте нештатных ситуаций.

Актуальное и альтернативное решение задач анализа связано с независимой экспертизой (аналогичной осуществляемой подразделениями Министерства Обо-

роны). Её ликвидация неприемлема [48]. При этом необходимость подразделений анализа при генеральных конструкторах РКТ не вызывает сомнений.

Следовательно, ряд важных аспектов, касающихся облика ТК и существенно влияющих на показатели  $W_{эф\_У\_ус}$  (2.16), связан с решением организационно-технических вопросов, причём исходя из уровня развития ПТС и ИТ, возможностей ЛПР и сложившейся практики выполнения текущих задач ИТО и анализа. Суть сформулированных **рекомендаций по формированию облика рационального ТК** сводится к следующему:

- расширение возможностей использования **внешних** (не являющихся штатными элементами СИТО) ПТС и ИТ для решения задач ИТО (типа МКСП);
- актуальность **анализа текущих предложений**, касающихся облика ТК, (типа интеграции ИКК и НАКУ КА, выбора нетрадиционных для ТК телеметрируемых объектов – и т.д.) и **выработка** на основе его результатов **мер по развитию ПТС ТК**;
- целесообразность осуществления в настоящее время и в обозримой перспективе формирования обобщённого массива данных телеизмерений, целевой обработки ТМИ программно-техническими средствами **ВЦ космодрома**; решение задач анализа также целесообразно осуществлять силами и средствами космодрома, а не в едином для всех космодромов ЦСОАИ (децентрализация, а не централизация).

### 5.3 Проблемно-ориентированная концептуальная модель процесса ФОМДТ и связанные с его осуществлением рекомендации

Стратегии  $U_{\text{ФОМДТ}}$  связаны с выполнением задач  $Z_{\text{ИТО}_4}$  (1.11) ФОМДТ. Составляющими  $U_{\text{ФОМДТ}}$  являются (рисунок 5.6):

$$U_{\text{ФОМДТ}} = \{U_{\text{комп\_вр\_зад}}, U_{\text{кор\_вр\_шк}}, U_{\text{восст\_синхр}}, U_{\text{получ\_об\_тел}}, U_{\text{форм\_стр\_ТМИ}}, U_{\text{контр\_деф\_ТМИ}}\}, \quad (5.9)$$

где  $U_{\text{комп\_вр\_зад}}$  – компенсация временных задержек сигналов в каналах разнесения;

$U_{\text{кор\_вр\_шк}}$  – коррекция временной шкалы;

$U_{\text{восст\_синхр}}$  – восстановление синхронизации;

$U_{\text{получ\_об\_тел}}$  – получение обобщённых телеизмерений;

$U_{\text{форм\_стр\_ТМИ}}$  – формирование заданной структуры

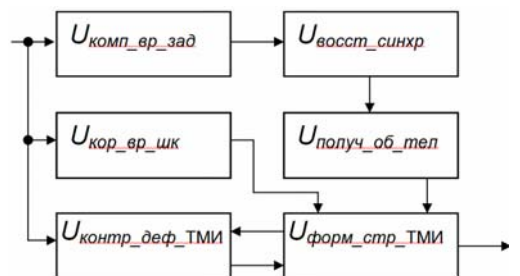


Рисунок 5.6 – Схема осуществления ФОМДТ



данных обобщённого массива;

$U_{\text{контр\_деф\_ТМИ}}$  – контроль качества ТМИ.

При создании технологии ФОМДТ целесообразен системный подход к её составляющим (5.9). Их сущности далее пояснены.

### **Коррекция временной шкалы**

Кроме данных телеизмерений, в ТМИ присутствуют временные данные, совокупность которых образует временную шкалу. Временные сигналы имеют очень низкую помехоустойчивость, что объясняется особенностью их структуры. Отсюда – частые сбои временных данных при передаче ТМИ по ШКС. Имеют место дефекты в виде нестабильности временной шкалы, неодновременного её обнуления задействованными ПРС и т.д.

Операции по поиску дефектов временной шкалы и их устранению ведутся на этапе ФОМДТ ( $U_{\text{кор\_врем\_шк}}$  (5.9)). Наличие дефектов является скорее правилом, чем исключением. Однако возможности существующей технологии ФОМДТ весьма ограничены и относительно часто приходится исключать ТМИ некоторых ПРС из-за дефектов их временной шкалы. Предложено следовать не по пути поиска дефектов временной шкалы и последующего устранения, а по пути их недопущения. Нужно осуществлять формирование временной шкалы каждой ПРС с использованием средств СЕВ, размещённых на ИПах. При этом она должна изменяться монотонно, а её обнуление осуществляться автоматически один или два раза в сутки (например, в 0 часов или в 0 и 12 часов). На период до внедрения новой технологии формирования временной шкалы предлагается осуществлять её контроль и коррекцию в соответствии с разработанной методикой, которая реализована программно и позволяет обеспечить требуемое качество временных данных.

### **Восстановление синхронизации**

Необходимое условие результативной работы алгоритмов  $A$  получения обобщённых данных (см. разд. 4.3.3) – правильное определение границ блоков данных, поступивших из каналов разнесения (т.е. восстановление синхронизации в случае искажения синхросигналов помехами, действующими в каналах «борт-Земля»). Для восстановления синхронизации осуществляют стратегии  $U_{\text{восст\_синхр}}$  (5.9). В этой связи разработан [59] метод улучшения качества синхронизации принятых блоков данных (см. разд. 4.4).

## Компенсация временных задержек сигналов в каналах разнесения

Необходимость компенсации временных задержек данных, поступающих из каналов разнесения, ( $U_{\text{комп\_вр\_зад}}$  (5.9)) вызвана пространственным разнесением принимаемых сигналов. Их априорное вычисление, основанное на прогнозах траектории движения РКН, не всегда результативно [55]. Ситуация осложняется тем, что данные каналов разнесения, по которым могут быть вычислены временные задержки, подвержены действию помех.

Известна компенсация временных задержек путём использования информации о номере блока данных, сформированной на передающей стороне и введенной в блок [78]. Основной недостаток такого подхода состоит в том, что при искажении помехами данных о номере блока из процесса ФОМДТ могут исключаться относительно достоверные данные.

Предложена [55] компенсация временных задержек сигналов с учетом не превышения их возможных значений длительности передаваемых блоков данных. Такой подход упрощает процесс идентификации переданного и принятых блоков данных, что обеспечивает повышение достоверности в условиях помех.

Для разнесения данных во времени используют БЗУ. Время задержки данных обычно априорно известно. Также возможно вычисление временной поправки для данных, передаваемых по спутниковому каналу связи [163], с учётом траектории движения СР.

Таким образом, при разнесённом приёме данных телеизмерений актуальна и возможна автоматическая компенсация временных задержек, обеспечивающая необходимые условия для применения алгоритмов получения обобщённых телеизмерений.

### Получение обобщённых телеизмерений

Наиболее эффективные стратегии  $U_{\text{получ\_об\_тел}}$  основаны на использовании алгоритмов  $A$  получения обобщённых данных, адаптирующихся к условиям помеховой обстановки [23, 29]. Разработан научно-методический аппарат [23, 25, 26, 29, 30, 32, 34, 35, 37, 40] для построения алгоритмов  $A$  (см. разд. 4.3), а также для их оценивания с целью выбора по результатам оценивания рациональных алгоритмов  $A_{\text{рац}}$  ( $A_{\text{рац}} \subset A$ ), обеспечивающих *существенное* улучшение достоверности телеизмерений (см. гл. 6). Разработанные рациональные алгоритмы  $A_{\text{рац}}$  хорошо

согласуются с предложенными стратегиями ФОМДТ (5.9). Особенности практического применения алгоритмов  $A_{рац}$  рассмотрены в разд. 5.4.

### **Формирование заданной структуры данных обобщённого массива**

Целесообразно формировать ( $U_{форм\_стр\_ТМИ}$  (5.9)) одинаковые структуры данных  $Q_{ТМИ\_ом}$  обобщённого массива, входных данных  $Q_{ТМИ\_ФОМДТ}$  ПТС ФОМДТ и структуры регистрируемой ТМИ  $Q_{ТМИ\_рег}$  (см. рисунок 1.13). Это исключает траты ресурсов на дополнительные кодопреобразования. Целесообразно также, чтобы эти структуры были унифицированными (для противодействия неопределённым факторам  $\Lambda_{униф}$ , см. разд. 1.2).

### **Контроль наличия дефектов ТМИ**

В процессе ФОМДТ необходим контроль качества ТМИ ( $U_{контр\_деф\_ТМИ}$  (5.9)). Он заключается в выявлении дефектов ТМИ с целью определения их природы и, соответственно, выбора наиболее эффективных мер противодействия им. Результаты контроля используют для устранения последствий выявленных дефектов или для выдачи соответствующих рекомендаций, касающихся особенностей последующей обработки данных обобщённого массива  $Q_{ТМИ\_ом}$  с целью получения данных  $Q_{ТМИ\_ан\_р}$  для анализа. Особенности разработки технологии контроля наличия дефектов ТМИ рассмотрены в разд. 5.5.

## **5.4 Рекомендации по практическому применению алгоритмов получения обобщённых данных**

Установлен [201] порядок действий при практической реализации алгоритмов  $A_4$  и  $A_{42}$  (см. разд. 4.3.3) для структур блоков данных, формируемых на передающей и на приёмной стороне, соответствующих рекомендациям CCSDS. Необходимо учесть следующие особенности:

- перед применением алгоритмов получения обобщённых данных должен использоваться метод улучшения качества синхронизации принятых блоков данных (см. разд. 4.4);
- выбор данных каналов разнесения для последующего получения обобщённых данных должен осуществляться в соответствии с  $N_{мест\_дост\_дон}$ . 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  $N_{мест\_дост\_j} \geq N_{мест\_дост\_дон}$ ,  $i \neq j$  (где  $N_{мест\_дост\_i}$  – количество достоверных тестовых

элементарных данных в принятом блоке данных  $i$ -го канала разнесения,  $N_{мест\_дост\_дон}$  – заданное допустимое количество достоверных тестовых элементарных данных в блоке данных);

- 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;

- 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.

- если  $N_{мест\_дост\_i} \geq N_{мест\_дост\_дон}$  для трёх, четырёх или пяти каналов разнесения, то данные должны выбираться из этих каналов;

- 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  $N_{мест\_дост\_i}$ .

Определён [201] порядок выбора ВХД (см. Приложение В) в зависимости от количества каналов разнесения с поступившими из них данными, выбранными для формирования обобщённых данных.

Желательно, если применялись методы помехоустойчивого кодирования (например, метод Рида-Соломона [46]), осуществлять сначала формирование обобщённых данных, а затем декодирование обобщённых данных [201] (см. разд. 4.5).

Представлены (рисунок Б.35) результаты применения алгоритма  $A_4$  при  $N_{мест\_дост\_дон} = 400$ ,  $N_{мест\_дост\_j\_max} = 640$ , наглядно показывающие его возможности. (где  $N_{мест\_дост\_j\_max}$  – максимальное количество достоверных элементарных тестовых 2-х битовых данных в блоке данных, или количество элементарных тестовых данных в блоке данных).

### **5.5 Рекомендации по разработке технологии контроля наличия дефектов ТМИ при осуществлении ФОМДТ**

В практике весьма часто встречаются дефекты, из-за которых недостоверные данные чередуются с достоверными (рисунок 5.7). При неправильном выборе контрольных параметров дефект окажется необнаруженным. Поиск и устранение последствий проявления таких дефектов основаны на знании технологии форми-

рования структур ТМИ в последовательно применяемых ПТС. Причём при выборе ПТС для формирования заданных структур ТМИ нужно стремиться к созданию благоприятных условий для контроля дефектов.

Фрагмент ТМИ структуры УК-64											Фрагмент ТМИ структуры «РТС-9»		
$N_{раз\_УК}$	X	1 сл.	2 сл.	3 сл.	4 сл.	5 сл.	6 сл.	7 сл.	8 сл.	9 сл.	$i$ -е сл.	$j$ -е сл.	$k$ -е сл.
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	$N_{ЛК} = 1$	$N_{ЛК} = 2$	$N_{ЛК} = 3$
3	$N_{ОК}$	1	7	11	17	21	27	31	37	1	$N_{раз\_дат}$	$N_{раз\_дат}$	$N_{раз\_дат}$
	$N_{ЛК}$	1	*	1	*	1	*	1	*	1	1	1**	1
	$N_{дат}$	1	*	1	*	1	*	1	*	1	2	2	2
	$N_{раз\_дат}$	10	*	8	*	6	*	4	*	2	3	3**	3
4	$N_{ОК}$	1	7	11	17	21	27	31	37	1	4	4	4
	$N_{ЛК}$	1	*	1	*	1	*	1	*	1	5	5**	5
	$N_{дат}$	1	*	1	*	1	*	1	*	1	6	6	6
	$N_{раз\_дат}$	9	*	7	*	5	*	3	*	1	7	7**	7
5	$N_{ОК}$	2	8	12	18	22	28	32	38	2	8	8	8
	$N_{ЛК}$	2	3	*	*	2	3	*	*	2	9	9**	9
	$N_{дат}$	1	1	*	*	1	1	*	*	1	10	10	10
	$N_{раз\_дат}$	10	10	*	*	8	9	*	*	6			
6***	$N_{ОК}$	2	8	12	18	22	28	32	38	2			
	$N_{ЛК}$	2	3	*	*	2	3	*	*	2			
	$N_{дат}$	1	1	*	*	1	1	*	*	1			
	$N_{раз\_дат}$	9**	*	*	*	7**	*	*	*	5**			
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...				

$f_{деф} : R(N_{раз\_УК}=6) \rightarrow 0$

Примечания:

1. Значения разрядов  $R(N_{раз\_УК}, N_{ОК}, N_{ЛК}, N_{дат}, N_{раз\_дат}) = \{0, 1\}$ ,  
 где  $N_{раз\_УК}$  – номер разряда в кадре структуры УК-64,

$N_{ОК}$  – номер канала ОК ( $N_{ОК} = \{1, 2, \dots, 40\}$ ),

$N_{ЛК}$  – номер (имя) ЛК ( $N_{ЛК} = \{1, 2, 3\}$  – для рассматриваемого примера),

$N_{дат}$  – номер датчика ( $N_{дат} = \{1, 2, \dots, 64\}$ ),

2. Сведения о задействованных каналах ОК и использованных кодах: ЛК<sub>1</sub> (1, 11, 21, 31 кан. ОК, 4-х п. к.), ЛК<sub>2</sub> (2, 22 кан. ОК, 4-х п. к.), ЛК<sub>3</sub> (8, 28 кан. ОК, 2-х п. к.).

3. Условные обозначения:

\* – значение разряда не важно для приведенного примера,

\*\* – значение разряда недостоверно,

\*\*\* – линия шины, привносящая дефект.

Рисунок 5.7 – Привнесение ошибок из кадра структуры УК-64 в кадр типа «РТС-9» в результате кодопреобразования

Задача контроля наличия дефектов ТМИ состоит в следующем:

- обнаружение (в случае наличия) в анализируемой ТМИ дефектов, проявляющихся в виде искажённых данных, которые либо ухудшают достоверность, либо создают предпосылки ухудшения достоверности при последующей обработке ТМИ;
- выявление причин появления дефектов и анализ возможностей их устранения;
- устранение дефектов или в случае их неустранимости формулирование рекомендаций по последующей обработке ТМИ.

Необходимо рационально использовать возможности выбора данных контрольных параметров при поиске дефектов в ТМИ. Недопустима выдача в обработку ТМИ, содержащей скрытые дефекты, наличие которых создаст предпосылки дезинформации при анализе функционирования бортовых систем телеметрируемого объекта.

В этой связи сформулированы следующие рекомендации по разработке технологии контроля наличия дефектов ТМИ.

1. Кроме недостоверных телеизмерений, в процессе ФОМДТ могут проявляться дефекты временной шкалы ПРС. Для выявления таких дефектов следует действовать в соответствии с методикой контроля и коррекции временной шкалы.

2. Технология контроля качества ТМИ индивидуальна. Однако для разных типов РКН часто применяются однотипные бортовые и наземные ПТС, одинаковая технология приёмо-регистрации ТМИ и т.д., что делает целесообразным разработку общих подходов к обнаружению дефектов в полученной ТМИ.

3. Из-за многообразия встречающихся в практике дефектов, из-за выявления всё новых дефектов не имеет смысла создание подробной и всеобъемлющей инструкции по их обнаружению. Поступающие новые сведения об обнаруженных дефектах целесообразно накапливать и систематизировать, дополнять методику новыми примерами обнаруженных дефектов.

4. Следует заметить, что 100%-ная гарантия обнаружения дефекта возможна лишь при работе с данными каждого датчика в отдельности (исходя из возможности аномальной работы датчика, см., например, рисунок Б.14). Поэтому некоторые дефекты могут быть обнаружены лишь в ходе последующей обработки.

Исследованы следующие структуры ТМИ, применяемые в отечественной практике: «РТС-9», С4, ЛС, УК.

В качестве контрольных выбирают параметры, поведение которых априори известно и которые наиболее «чувствительны» к различным возможным дефектам (т.е. искажаются при наличии этих дефектов). Необходимо стремиться к их оптимальному количеству (с одной стороны, их должно быть достаточно для обеспечения требуемого качества контроля, а с другой стороны, по возможности мало для упрощения технологии контроля).

Возможность устранения последствий обнаруженного дефекта ТМИ зависит от места его возникновения (рисунок 5.8). Так, при аномальной работе ПТС, размещённых на телеметрируемом объекте, возможность выбора соответствующих достоверных телеизмерений исключается, тогда как при аномальной работе наземных ПТС такой выбор возможен. Место привнесения дефекта (т.е. соответствующее ПТС) определяют:

- по характерному поведению контрольного параметра (например, на графике, представленном на рисунке Б.3, чётко просматривается процесс выхода значений ТМП за границы 0% и 100% шкалы измерений ЛК; на рисунке Б.14 – процесс изменения уровня 100% шкалы измерений; и т.д.);
- по стабильности проявления дефекта (путём повторного воспроизведения контролируемой ТМИ);
- по наличию (или отсутствию) дефекта в ТМИ другого канала разнесения, или другой дублирующей ПРС.



Рисунок 5.8 – Классификация причин возникновения и особенностей проявления недоверных данных телеизмерений

Следует заметить, что применение современных ПТС обработки ТМИ на базе ПЭВМ приносит и новые проблемные вопросы. Они обычно связаны с ПО, содержащем в себе

много скрытых дефектов из-за отсутствия необходимого методического обеспечения процесса его разработки (включая вопросы контроля качества ТМИ); из-за отсутствия всесторонних, методически корректно выполненных его испытаний [47].

### **5.6 Практические результаты осуществления рациональных стратегий применения усовершенствованных СИТО**

Осуществление рациональных стратегий применения усовершенствованных СИТО, в которых реализованы представленные теоретические положения (см. гл. 4) и прикладные результаты (см. гл. 5), позволит получить следующие преимущества:

- **сократить на 7,9% потери ТМИ** из-за неопределённого поведения ТМП; **представлять виброизмерение 3-хбитовым данным;**
- **обеспечить беззатратное накопление ТМИ** в БРТС (до единиц секунд);
- **получить достоверные телеизмерения ( $\Delta T_{\text{ПИ}_\Sigma \sim 0}$ )** применением **управляемого разнесённого приёма ТМИ;**
- **существенно улучшить достоверность применением разработанных алгоритмов получения обобщённых данных** (обеспечивают *существенно* лучшую достоверность, чем автовыбор и мажорирование);
- **предотвратить потери информации применением разработанного метода улучшения качества синхронизации** принятых блоков данных ( $\Delta T_{\text{ПИ}} \leq T_{5\_блоков\_данных}$ );
- **снизить риски необнаружения дефектов ТМИ** и (как следствие) дезинформации анализаторов путём реализации рекомендаций по разработке технологии контроля наличия дефектов ТМИ ( $\Delta T_{\text{деф\_ТМИ\_нов}} \ll \Delta T_{\text{деф\_ТМИ\_сущ}}$ ).

При этом возможны следующие **преимущества, связанные** (например) с пуском РКН с РН «Протон-М»:

- **уменьшение** количества задействуемых ПРС с 27 до 22 (**на ~19%**), количества ПТС ФОМДТ с 8 до 3 (**в ~2,7 раза**);
- **уменьшение объёма ТМИ**, принятой ПРС, с 87,2 Гбит до 13,92 Гбит (**в 6,3 раза**);
- **повышение оперативности получения обобщённых данных** с ~9 часов (с учётом затрат времени на сбор ТМИ) до темпа поступления ТМИ в случае ФОМДТ в темпе поступ-



ления ТМИ и до трёх часов в случае ФОМДТ в послеполётное время; при этом **общие затраты времени на ФОМДТ уменьшаются в 6,7 раза** – с 40 часов до 6 часов.

Если необходимое компактное представление ТМИ осуществлено в БРТС и она **установлена лишь на третьей ступени РН «Протон-М»**, то для приёмо-регистрации **потребуется 10 ПРС**, объём всей зарегистрированной ТМИ составит 8,40 Гбит, **формируется один обобщённый массив данных телеизмерений**. Тогда будут получены следующие **дополнительные преимущества**:

- **уменьшение** количества задействуемых ПРС с 27 до 10 (**в 2,7 раза**), количества ПТС ФОМДТ – с 8 до 1 (**в 8 раз**);

- **уменьшение объёма зарегистрированной ТМИ** с 87,2 Гбит до 8,40 Гбит (**в 10,4 раза**);

- **снижение общих затрат времени на ФОМДТ** с 40 до 2 часов (**в 20 раз**);

- **существенное уменьшение риска потерь ТМИ в случае полётной аварии**, обусловленное размещением БРТС на третьей ступени РН.

Таким образом, реализацией предложенных **теоретических положений и прикладных результатов** существенно улучшатся существующие СИТО и (соответственно) качество решения задач ИТО.

### **Выводы по главе 5**

1. Реализация наиболее перспективных стратегий усовершенствования БРТС должна быть направлена на улучшение общих показателей ИТО путём управления избыточностью данных телеизмерений, обеспечивающего уменьшение суммарной скорости поступления данных телеизмерений на выход БРТС и существенное сокращение потерь информации в обобщённых данных телеизмерений.

2. Признаком рационального ТК является минимизированное количество ПТС ТК и его инвариантность к изменяющимся задачам ИТО. Его облик (облик СИТО) определяется составом ПТС и их топологией и зависит от возможностей (интересов и полномочий) ЛПР, действующего в условиях установленных ограничений. Решения о целесообразности изменения облика ТК должны приниматься на основании общих показателей ИТО.

3. С использованием предложенной проблемно-ориентированной концептуальной модели осуществлена декомпозиция процесса ФОМДТ. Его составляющие (компенсация временных задержек сигналов в каналах разнесения, получение обобщённых телеизмерений и т.д.) относительно автономны, что позволяет разрабатывать научно-методический аппарат и формулировать рекомендации отдельно по каждой из них с целью улучшения процесса ФОМДТ в целом.

4. Необходима конкретизация разработанных алгоритмов получения обобщённых данных, связанная с их практическим применением, касающаяся, в частности, учёта характеристик применяемых блоков данных (их структура, местоположение тестовых данных – и т.д.), порядка игнорирования данных каналов разнесения, более допустимого искажённых помехами (чтобы исключить риск выбора в обобщённый массив недостоверных данных); установления заданного допустимого количества достоверных тестовых элементарных данных в блоке данных.

5. Существует риск необнаружения дефектов ТМИ в процессе ФОМДТ и предпосылки дезинформации анализаторов. Предложенные рекомендации позволяют создать результативную технологию поиска и устранения последствий проявления дефектов ТМИ в процессе ФОМДТ. Причём технология ориентирована также на выбор ПТС и структур ТМИ, относящихся к разнесённому приёму, создающих условия для результативного контроля качества ТМИ.

6. Реализация предложенных **теоретических положений и прикладных результатов** позволит существенно улучшить существующие СИТО, значительно улучшить качество решения задач ИТО.

## ГЛАВА 6. КРИТЕРИИ, МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ, ОБЕСПЕЧИВАЕМОЙ АЛГОРИТМАМИ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОБЩЁННЫХ ДАННЫХ, И РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

### 6.1 Подходы к выбору критериев достоверности при решении задач ИТО

Сущности связей выбранных характеристик потерь ТМИ (см. таблицу 1.5 и пояснения к ней) и обобщённых показателей  $\Delta W_{эф\_W\_ан\_Σ}$  (2.16) СИТО (стратегий  $U_{ус}$  и  $U_{прим}$ ), адекватно учитывающих влияние рассматриваемых неопределённых факторов  $\Lambda_{иссл}$  (1.31), ясны, за исключением касающихся потерь  $\Delta T_{ПИ\_Σ}$  вследствие действия помех в каналах «борт-Земля» (за исключением зависимости  $\Delta W_{Q\_ан}$  (1.13) от потерь  $\Delta T_{ПИ\_Σ}$ ).

Оценки потерь ТМИ  $\Delta T_{ПИ\_Σ}$  подходят для технологии ФОМДТ (см. разд. 5.3), заключающейся в выборе в обобщённый массив ТМИ отдельных ПРС на временных интервалах от единиц до десятков и сотен секунд. В соответствии с этой технологией при контроле качества данных обобщённого массива характеристиками потерь ТМИ является суммарная длительность временных интервалов с ЧПИ и ППИ («ЧПИ», «ППИ» – частичная и полная потеря информации, соответственно), на которых информация особенно ценна (интервалы отделения ступеней, сброса обтекателя). Возможны ситуации, когда при относительно слабых потерях ТМИ интервал характеризуется как «сл. ЧПИ», а при частом чередовании ППИ и ЧПИ в течение одной или нескольких секунд – «ППИ + ЧПИ».

Считают, что качество данных для анализа  $Q_{ТМИ\_ан\_р}$  (1.6), относящихся к ТМИ, существенно улучшится, если вместо временного интервала длительностью  $\Delta t_{don} \geq 0,1$ с с ППИ или с ЧПИ из-за помех, действующих в каналах «борт-Земля», выбрать интервал с достоверными (в них ошибки не обнаружены) телеизмерениями или вместо интервала с ППИ выбрать интервал с ЧПИ. Такая мера *существенного* улучшения достоверности касается наиболее важных участков циклограммы полёта (в частности, отделения ступеней, сброса головного обтекателя).

Она явно не соответствует исправляющим возможностям разработанных алгоритмов получения обобщённых данных (см. разд. 4.3.3 и 5.4).

Следует заметить, что при решении широкого круга задач, относящихся к радиолиниям, помехоустойчивость оценивают для условий аддитивного белого гауссова шума (АБГШ) с использованием отношения

$$h_0^2 = \frac{E_b}{N_0}, \quad (6.1)$$

где  $E_b$  – энергия, приходящаяся на один бит;

$N_0$  – спектральная плотность мощности шума, выраженная как мощность шума, делённая на ширину полосы  $W$ .

Считают [160], что оно является естественным критерием качества радиолиний, в которых используют цифровые сигналы. Показано [160], что т.к.  $E_b$  измеряют в Джоулях, а  $N_0$  – в Ватт/Герц, то единица измерения отношения  $E_b/N_0$  – безразмерная. Следовательно, его можно рассматривать, как метрику, позволяющую сравнивать качество различных систем (чем меньше требуемое отношение  $E_b/N_0$ , тем эффективнее процесс детектирования при заданной вероятности ошибки).

Установлена [11] функциональная зависимость  $Q(z)$  между  $h_0$  (6.1) и вероятностью  $p$  ошибки в канале, в частности, при когерентном приёме двухпозиционного сигнала фазовой модуляции:

$$p = Q(\sqrt{2R_{код}} h_0), \quad (6.2)$$

где  $R_{код}$  – кодовая скорость.

При определении вероятности ошибки в канале без кодирования ( $R_{код} = 1$ ) формула (6.2) приобретает такой вид:  $p = Q(\sqrt{2} h_0)$ .

Такой подход к использованию отношения  $E_b/N_0$  широко применяется в рекомендациях CCSDS [213].

Достоинства, связанные с применением модели АБГШ и отношения  $E_b/N_0$  (6.1), приумножены результатами использования дополнительного хорошо отработанного методического и программного обеспечения.

Однако для условий произвольных помех, обычных при пусках РКН, модель АБГШ и связанные с ней атрибуты не подходят (см. рисунок 3.2 и пояснения

к нему). Необходим новый научно-методический аппарат, обеспечивающий оценивание уровня достоверности в широком диапазоне состояний помеховой обстановки.

В этой связи мерой достоверности, обеспечиваемой испытуемыми (разработанными) алгоритмами получения обобщённых данных, является уровень достоверности, обеспечиваемый базовыми алгоритмами в тех же или лучших состояниях помеховой обстановки. Вводится [23, 26] мера *существенного* изменения достоверности типа: «лучше», «хуже», «примерно одинаково», по сравнению с базовым алгоритмом. Важно корректно установить эту меру. На основе опыта решения практических задач обработки ТМИ принято правило (постулат) [23, 26], согласно которому при *существенном* [23, 26] изменении оценок достоверности обобщённых данных телеизмерений существенно изменяется и качество данных результатов обработки ТМИ (*существенно* изменяются оценки  $\Delta W_{эф\_W\_ан\_Σ}$  (2.16)).

## 6.2 Показатели достоверности, обеспечиваемой алгоритмами получения обобщённых данных

Вышеупомянутой мерой достоверности (см. разд. 6.1) [61, 201, 222, 224], обеспечиваемой испытуемыми (разработанными) алгоритмами является уровень достоверности, обеспечиваемый базовыми алгоритмами в тех же состояниях помеховой обстановки:

$$\gamma(s) = \frac{(\min\{N_{j_1}(s), N_{j_2}(s), \dots, N_{i_r}(s)\} - N_i(s)) \cdot 100}{\min\{N_{j_1}(s), N_{j_2}(s), \dots, N_{i_r}(s), N_i(s)\} + \frac{1}{8} \min\{N_{j_1}(s_M), N_{j_2}(s_M), \dots, N_{i_r}(s_M)\}} \quad (6.3)$$

или в лучших состояниях помеховой обстановки:

$$\gamma(s_q, s_p) = \frac{(\min\{N_{j_1}(s_q), N_{j_2}(s_q), \dots, N_{i_r}(s_q)\} - N_i(s_p)) \cdot 100}{\min\{N_{j_1}(s_q), N_{j_2}(s_q), \dots, N_{i_r}(s_q), N_i(s_p)\} + \frac{1}{8} \min\{N_{j_1}(s_M), N_{j_2}(s_M), \dots, N_{i_r}(s_M)\}} \quad (6.4)$$

$$N_i(s_q) \leq N_i(s_p) \quad , \quad q < p \quad , \quad (6.5)$$

где  $\gamma$  – сравнительная характеристика количества ошибок в обобщённом блоке данных;

$N_i(s), N_{jh}(s)$  – количество ошибок в анализируемом обобщённом блоке данных, сформированном в результате применения испытуемого алгоритма  $A_i$  и базового  $A_{jh}$  ( $h = 1, 2, \dots, r$ ), 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  $N_1, N_2, \dots, N_m$ .

Обеспечение сопоставимости [68] значений характеристик  $\gamma(s)$ , вычисленных для различных состояний помеховой обстановки, осуществлено на основании теории измерений [126, 127], согласно которой сопоставимость результатов измерений обеспечивается при относительной длине рабочего диапазона устройств регистрации и отображения информации 7,5-11,6. Это, в частности, означает, что шкала измерений (знаменатель (6.3)) принимает минимальное значение при  $\min\{N_{j1}(s), N_{j2}(s), \dots, N_{jr}(s), N_i(s)\} \sim 0$  и максимальное значение при  $\min\{N_{j1}(s), N_{j2}(s), \dots, N_{jr}(s), N_i(s)\} = \min\{N_{j1}(s_M), N_{j2}(s_M), \dots, N_{jr}(s_M), N_i(s_M)\}$ . При этом (полагаем, что  $\min\{N_{j1}(s_M), N_{j2}(s_M), \dots, N_{jr}(s_M)\} \sim N_i(s_M)$ ) диапазон изменения шкалы равен 9 – т.е. обеспечивается сопоставимость значений характеристик  $\gamma(s)$ , вычисленных для различных состояний помеховой обстановки.

Балльные оценки достоверности  $E_i$  вычисляются [23] с использованием характеристик  $\gamma(s)$  (6.3) и  $\gamma(s_q, s_p)$  (6.4) (6.5):

$$\begin{aligned} E_i(s) = 1, \gamma(s) \geq \gamma_3 & \quad , & (6.6) & \quad E_i(s_q, s_p) = 1 \text{ при } \gamma(s_q, s_p) \geq \gamma_3 & \quad , & (6.7) \\ E_i(s) = 0, -\gamma_3 < \gamma(s) < \gamma_3 & \quad , & & \quad E_i(s_q, s_p) = 0 \text{ при } -\gamma_3 < \gamma(s_q, s_p) < \gamma_3 & \quad , & \\ E_i(s) = -1, \gamma(s) \leq -\gamma_3 & \quad , & & \quad E_i(s_q, s_p) = -1 \text{ при } \gamma(s_q, s_p) \leq -\gamma_3 & \quad , & \end{aligned}$$

где  $\gamma_3$  – заданное допустимое значение сравнительной характеристики количества ошибок в обобщённом массиве.

Работа испытуемого алгоритма  $A_i$  в состоянии  $s$  помеховой обстановки оценивается [23] одним из трёх возможных значений ( $E_i = \{-1, 0, 1\}$ ):  $E_i = 1$  («лучше базовых алгоритмов»),  $E_i = 0$  («примерно так же, как и базовые алгоритмы») и  $E_i = -1$  («хуже базовых алгоритмов»).

Если значение  $\gamma_3$  выбрать чрезмерно малым, то работа алгоритма  $A_i$  будет классифицирована как хорошая ( $E_i(s) = 1$ ) даже при незначительном (по сравне-

нию с работой в других условиях помеховой обстановки) повышении достоверности данных в обобщённом блоке или как плохая ( $E_i(s) = -1$ ) при незначительном снижении достоверности данных в обобщённом блоке.

Если же значение  $\gamma_3$  выбрать чрезмерно большим, то существенное ухудшение достоверности данных в обобщённом блоке не будет классифицировано как «плохая работа», а значительное повышение достоверности данных в обобщённом блоке не будет классифицировано как «хорошая работа».

Исходя из этих соображений, выбрано  $\gamma_3 = 15$  [201] (которое может изменяться в зависимости от предпочтений ЛПР).

В случае оценивания алгоритмов при переходе из одного состояния помеховой обстановки в другое (из  $s_q$  в  $s_p$  (6.5)) необходимое условие правомерности распространения результатов оценивания в этих состояниях на все промежуточные состояния (между  $s_q$  в  $s_p$ ) – прогнозируемость оценок при переходе из состояния  $s_q$  в  $s_p$ , вычисляемых по формулам (6.4) и 6.7). Это условие может быть выполнено при определённом моделировании и выборе состояний помеховой обстановки для анализа [23, 26].

Точность модели источника ошибок в каналах разнесения определяется количеством случаев неопределённости оценок при переходе из одного фиксированного состояния помеховой обстановки в другое. Чем таких случаев меньше, тем модель точнее [23, 26].

### **6.3 Модель источника ошибок в каналах разнесения и порядок её использования при исследовании алгоритмов получения обобщённых данных**

Для исследования алгоритмов разработана модель источника ошибок в каналах разнесения [23, 26]. Использован известный [173] подход, основанный на сопоставлении переданного и принятых блоков данных.

Для минимизации объёма имитируемых состояний помеховой обстановки устанавливается число помех, которыми поражены блоки данных каналов разнесения. Вводится (для краткости) понятие «интенсивность помех в  $i$ -м канале разнесения» ( $u_i$ ), всего 6 уровней ( $u_{i \max} = 6$ ). При  $u = 1$  исходный блок данных пора-

жен 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 [173] канала 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-ка) данных помехами. Каждому уровню интенсивности соответствует определённая вероятность ошибки:

$$\begin{aligned} P_{ош}(u = 1) &= 0,01875 , \\ P_{ош}(u = 2) &= 0,03750 , \\ P_{ош}(u = 3) &= 0,07500 , \\ P_{ош}(u = 4) &= 0,15000 , \\ P_{ош}(u = 5) &= 0,30000 , \\ P_{ош}(u = 6) &= 0,75000 . \end{aligned} \quad (6.8)$$

Размещение данных, пораженных помехами, в принятых блоках данных (рисунок 6.1) позволяет имитировать сильную зависимость помех в каналах разнесения. При этом характер зависимости помех не меняется, что важно для обеспечения сопоставимости оценок достоверности, полученных для различных состояний помеховой обстановки.

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



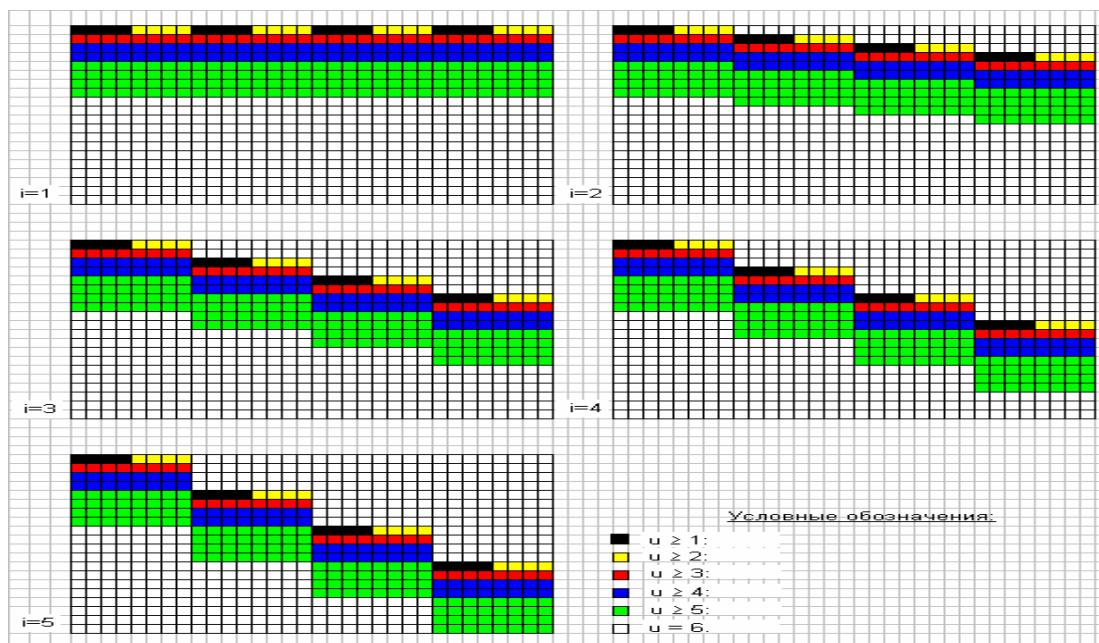


Рисунок 6.1 – Иллюстрация принятых блоков данных, подверженных действию помех, имитируемых моделью

Отличительной особенностью модели является комбинирование блоков данных (см. рисунок 6.1) и имитация состояний помеховой обстановки (таблица 6.1), позволяющие построить граф (рисунок 6.2) с учетом выполнения условия (6.5) 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 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. Вершины графа для удобства последующего анализа разбиты на 20 групп ( $g_{max} = 20$ ).

Таблица 6.1 – Характеристика состояний помеховой обстановки

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	
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

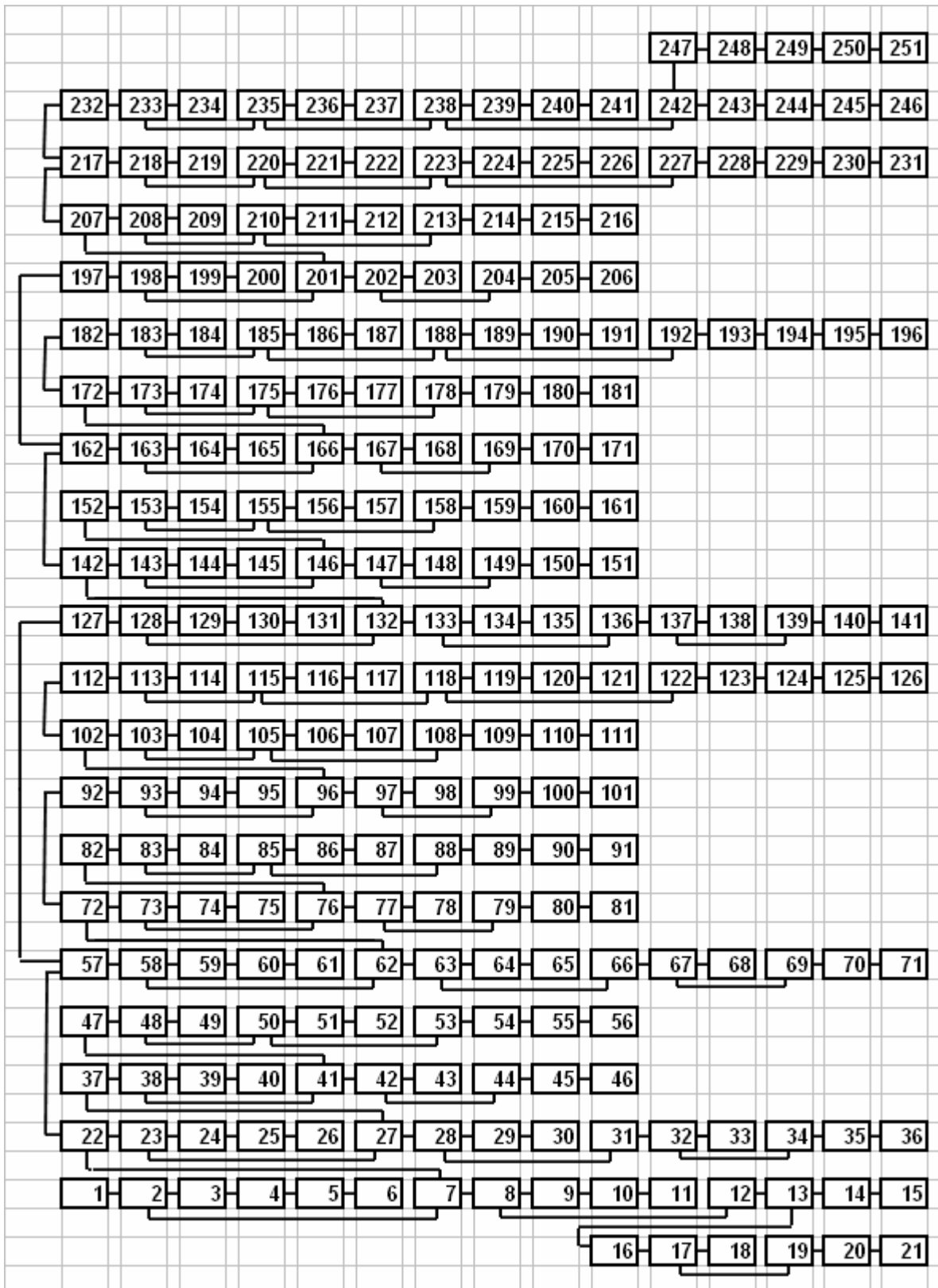


Рисунок 6.2 – Граф-схема моделируемых состояний помеховой обстановки

Таким образом, разработанная модель источника ошибок в каналах разнесения позволяет имитировать разнообразные состояния в широком диапазоне условий помеховой обстановки для получения сведений о количестве ошибок в обобщённом типовом блоке данных, сформированном в соответствии с испытуемым алгоритмом  $A_i$  и базовыми  $A_{jh}$  ( $h =$

1, 2, ..., r). Эти сведения используются для вычисления показателей достоверности, описанных в разд. 6.2.

#### **6.4 Оценивание разработанных алгоритмов с использованием модели источника ошибок в каналах разнесения и выбор рациональных алгоритмов**

С использованием модели (см. разд. 6.3) оценены алгоритмы  $A_1$ ,  $A_2$  [23, 26] и  $A_4$  [29]. При оценивании алгоритмов  $A_1$  и  $A_2$  задаваемые значения  $A_k$  (см. (4.14), (4.15) и (4.16), (4.17), соответственно) изменяются в пределах от 10 до 640 с шагом 10. В качестве базовых выбраны алгоритмы автовыбора  $A_a$  и мажорирования  $A_m$ . Из свойств модели следует, что  $\min\{N_a(s_m), N_m(s_m)\} = 192$ . Отсюда  $-1/8 \min\{N_a(s_m), N_m(s_m)\} = 24$  (это значение использовано в последующих расчетах по формулам (6.3), (6.4).

Результаты оценок алгоритма  $A_4$  представлены на рисунке 6.3.

Из них следует, что для примерно 35% состояний помеховой обстановки алгоритм  $A_4$  обеспечивает лучшую достоверность, чем совокупное применение автовыбора и мажорирования ( $E(s) = 1$ ), а для примерно 65% состояний – такую же ( $E(s) = 0$ ). Это означает, что применение алгоритма  $A_4$  *существенно* улучшает качество  $\Delta W_{Q_{ан}}$  данных для анализа (1.6).

С целью подтверждения актуальности выбора оптимального множества ВХД при осуществлении алгоритмов получения обобщённых данных, адаптирующихся к помеховой обстановке, получены (рисунок 6.4) сравнительные оценки алгоритмов  $A_2$  (базовый) и  $A_4$  (испытываемый). Для расчетов использована трансформированная формула (6.3):

$$\gamma_{2\_4}(s) = \frac{(N_2(s) - N_4(s)) \cdot 100}{\min\{N_2(s), N_4(s)\} + 24}, \quad (6.9)$$

где  $N_2$  ( $N_4$ ) – число недостоверных тестовых данных в типовом обобщённом блоке данных при применении алгоритма  $A_2$  ( $A_4$ ).

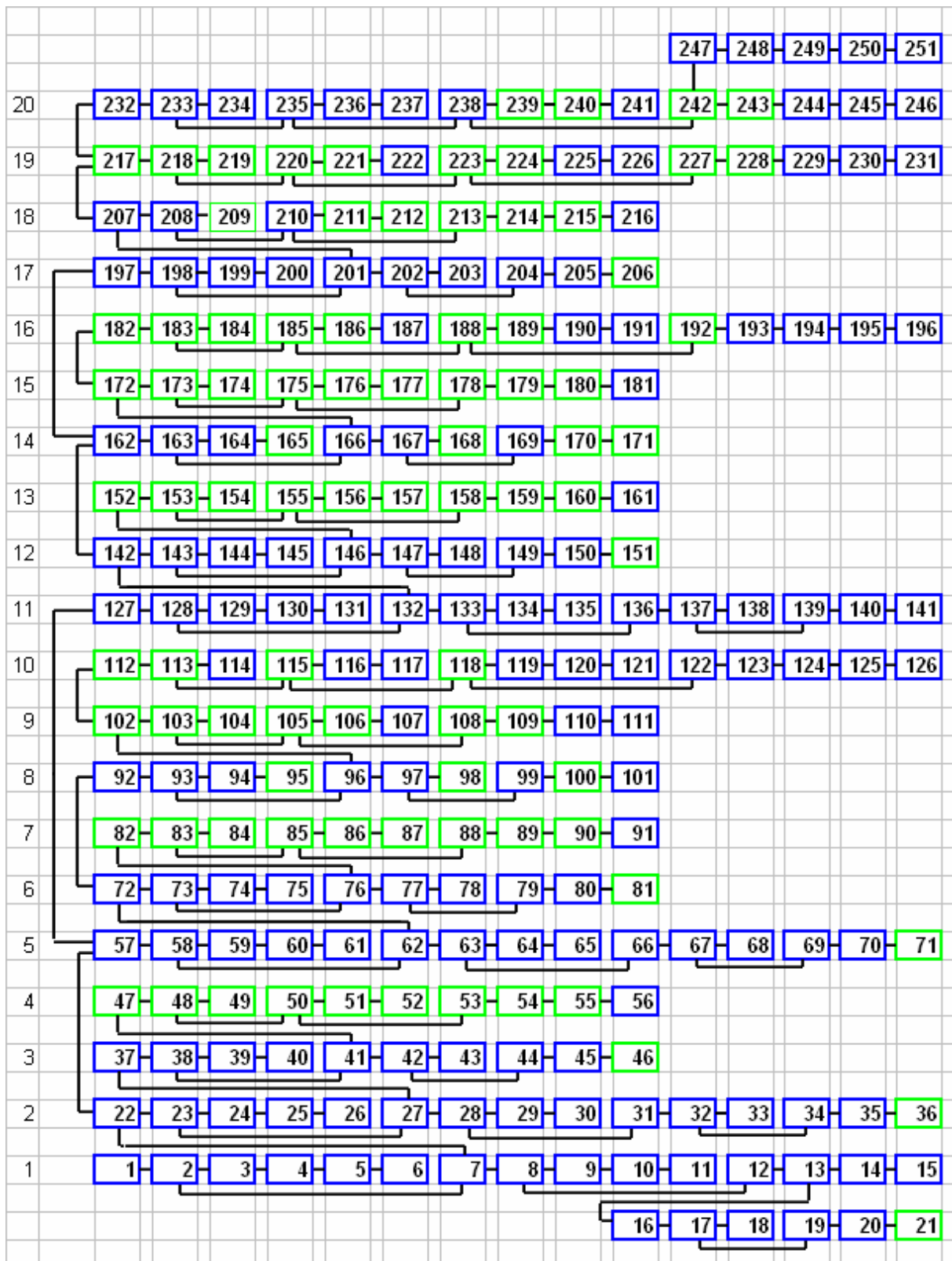


Рисунок 6.3 – Результаты оценивания алгоритма  $A_4$  с использованием модельных данных («синяя» вершина –  $E = 0$ , «зелёная» –  $E = 1$ )

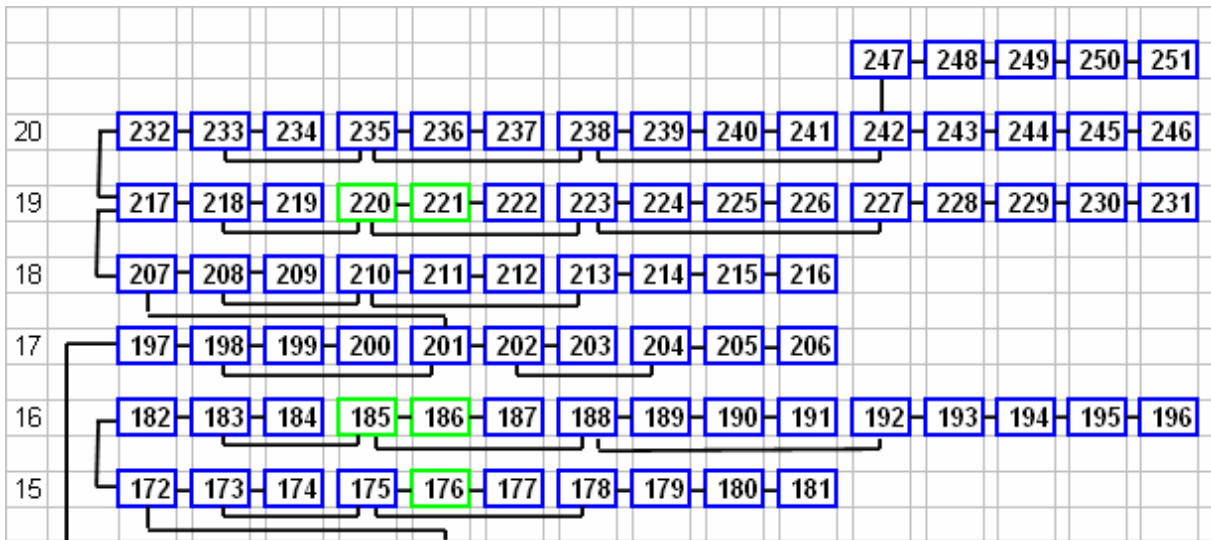


Рисунок 6.4 – Результаты оценивания алгоритма  $A_4$ , с использованием в качестве базового алгоритма  $A_2$  («синяя» вершина –  $E = 0$ , «зелёная» –  $E = 1$ )

Для доказательства правомерности распространения полученных оценок качества работы алгоритмов в фиксированных состояниях помеховой обстановки на весь диапазон изменяющихся помеховых условий использован подход, изложенный при решении задачи определения оптимального диапазона при измерениях динамических параметров [5, с.28-42]. Суть его состоит в том, что при исследовании процесса испытаний сложных систем вычисляют вероятность  $P_d$  получения достоверной измерительной информации (вероятность попадания значения измерения в ожидаемый диапазон) по формуле

$$P_d = N_{ожс}/N_{общ} \quad , \quad (6.10)$$

где  $N_{ожс}$  – количество измерений, значения которых попали в ожидаемый диапазон;

$N_{общ}$  – общее количество измерений.

Если этот подход (6.10) применить для оценивания точности модели, то:

$N_{ожс}$  - 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).

Считается [5], если  $P_d$  равно 0,73-0,80, то диапазон измерений выбран удачно (выбор  $u_{max}$ ,  $s_{max}$  и  $\gamma_z$  обеспечивает относительную достоверность полученных результатов – в нашем случае).

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

$$0,73 < P_\delta < 1 \quad (6.11)$$

обеспечивается высокая достоверность результатов оценивания эффективности алгоритмов и оптимальная точность модели.

Для алгоритмов  $A_1$  и  $A_2$  вычисленное значение  $P_\delta = 0,89$  – условие (6.11) выполняется. Это свидетельствует о высокой точности примененной модели источника ошибок в каналах разнесения и правильном выборе  $\gamma_3$ .

Таким образом, предложенная методика оценки качества работы алгоритмов с использованием модели источника ошибок в каналах разнесения позволяет исследовать разработанные алгоритмы в широком диапазоне условий помеховой обстановки (в условиях произвольных помех), обеспечивает высокую достоверность результатов.

Полученные результаты подтверждают преимущество разработанного алгоритма  $A_2$  перед  $A_a$  и  $A_m$ , а также большие возможности разработанной модели источника ошибок в каналах разнесения. С точки зрения обеспечиваемой достоверности алгоритм  $A_4$  [29] превосходит алгоритмы  $A_a$ ,  $A_m$  и  $A_2$ . Поэтому он представляет бóльший интерес, чем алгоритм  $A_2$  (и, тем более,  $A_1$ ).

Достоинством разработанной модели является:

- возможность её реализации с помощью компьютерной программы, позволяющей оперативно имитировать различные состояния помеховой обстановки, ускоряющей получение результатов моделирования;
- учёт особенностей практических каналов разнесения (в частности [23], каналов «борт-Земля», используемых для передачи ТМИ при обработке РКН);
- получение оценок работы испытываемых алгоритмов в широком диапазоне состояний помеховой обстановки;
- наглядность результатов испытаний.

Вместе с тем, использование предложенной модели позволяет сделать заключение о преимуществах (по обеспечиваемой достоверности) испытываемого ал-

горитма перед базовыми лишь для вполне определённых ограничений, касающихся зависимости ошибок в каналах разнесения.

### **6.5 Методика определения рационального состава каналов разнесения с использованием бутстреп-метода для искусственного размножения статистических выборок и результаты её применения**

Достоверность обобщённых телеизмерений, обеспечиваемая путём разнесения телеметрических сигналов, зависит от состояния каждой из взаимодублируемых ПРС и от состояния среды, в которой распространяется радиотелеметрический сигнал.

Состояние каждой ПРС (с точки зрения обеспечиваемой достоверности) зависит от её технических характеристик (которые могут изменяться – ухудшаться или, наоборот, улучшаться), от правильности действий обслуживающего персонала во время пуска РКН.

Существует связь между профессиональным уровнем обслуживающего персонала и техническими характеристиками ПРС, а также между профессиональным уровнем и грамотностью действий при применении её по назначению.

Состояния среды, в которой распространяется радиотелеметрический сигнал, зависят от геофизических условий и от радиофизических свойств среды [196, гл. 7], создаваемых движущейся ракетой (особенно при отделении ступеней, сбросе головного обтекателя, сходе ББ). На характеристики состояния среды влияет:

- положение ракеты относительно приёмной антенны;
- параметры атмосферы Земли во время пуска;
- тип РН (химический состав компонентов ракетного топлива; тип двигательных установок и их расположение на РН);
- режим функционирования двигательных установок.

Качество принимаемых телеметрических сигналов зависит также от технических характеристик бортовых антенн, их расположения на РН и положения (изменяющегося в процессе полёта) относительно наземных приёмных антенн.

Поэтому характеристики достоверности ТМИ какой-либо ПРС, осуществляющей приёмо-регистрацию одноимённой ТМИ при разных пусках однотипных



РКН, обычно значительно отличаются. Еще бóльшую неопределённость привносят новые задачи ЛИ (новый тип РН, новая траектория полета и т.д.), ротация обслуживающего персонала (как следствие – изменение профессионального уровня) и т.д.

«Вклад» отдельной ПРС в улучшение достоверности обобщённых телеизмерений проявляется на фоне других взаимодублируемых ПРС. Он неочевиден. Так, в одном случае (рисунок 6.5а) 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 6.5б) 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 6.5в) 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.

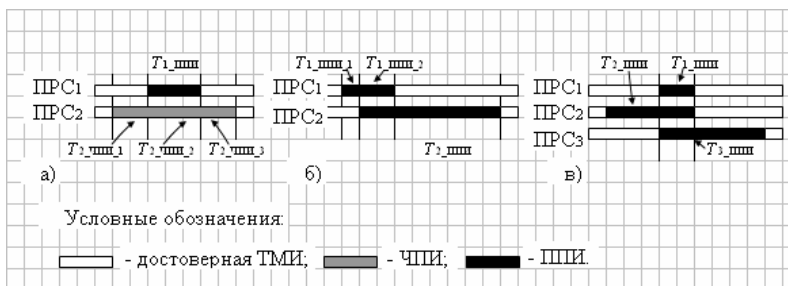


Рисунок 6.5 – Примеры взаимодополняемости ПРС

Достоверность обобщённых телеизмерений зависит от достоверности телеизмерений, поступивших из каналов разнесения, и исправляющих возможностей применяемых алгоритмов получения обобщённых телеизмерений (см., например, сравнительные характеристики достоверности обобщённых данных, обеспечиваемой алгоритмом А<sub>4</sub> и автовыбором и мажорированием, [29]).

Необходимым условием исключения каких-либо ПРС из состава ТК является устойчивое (т.е. повторяющееся от пуска к пуску) *несущественное* [23] (см. разд. 6.2) ухудшение достоверности обобщённых телеизмерений при игнорировании ТМИ этих ПРС в процессе ФОМДТ. Для определения возможностей сокращения количества задействуемых ПРС (каналов разнесения) разработана методика рационального выбора ПРС для взаимного дублирования [36].

Для её осуществления выполняют следующие действия.

1. Определяют варианты задействования ПРС для последующего их оценивания. Причём множество ПРС каждого определённого варианта разнесения ( $S_{ан\_1}, \dots, S_{ан\_m}$ ) является подмножеством базового ( $S_{\delta}$ ) варианта (т.е.  $S_{ан\_r} \subset S_{\delta}, r = 1, \dots, m$ ). Базовый вариант  $S_{\delta}$  включает в себя ПРС всех каналов разнесения.

2. Сопоставляют достоверность обобщённых данных, полученных с использованием ТМИ ПРС базового варианта ( $S_{\delta}$ ) и вариантов, определённых по п.1 ( $S_{ан\_1}, \dots, S_{ан\_m}$ ).

3. Выявляют варианты среди определённых по п.1 ( $S_{ан\_1}, \dots, S_{ан\_m}$ ), при осуществлении которых достоверность обобщённых данных ухудшилась *несущественно*. Выявленные варианты ( $S_{рац\_1}, \dots, S_{рац\_h}, h \leq m$ ) относят к рациональным.

4. Подсчитывают число рациональных вариантов ( $g_{рац}$ ) и соответствующее им число базовых вариантов ( $g_{\delta}$ ).

5. Вычисляют оценку значимости каждого определённого по п.1 ( $S_{ан\_1}, \dots, S_{ан\_m}$ ) варианта по формуле

$$Q_r = g_{рац\_r} / g_{\delta}, \quad r = 1, \dots, m. \quad (6.12)$$

6. На основании полученных (6.12) оценок делают выводы о рациональности определённых по п.1 ( $S_{ан\_1}, \dots, S_{ан\_m}$ ) вариантов.

Рассмотрены возможные варианты (комбинации) внутри выбранного базового варианта [42]. Такие комбинации представлены в таблицах 6.2, 6.3, 6.4 для базового варианта задействования ПРС 12, 13, 32, 34. Аналогичные таблицы составлены для ряда других базовых вариантов. Сильно отличающиеся оценки  $Q_{ан}$  (6.12) одинаковых анализируемых вариантов задействования ПРС, соответствующих разным базовым вариантам, а также соответствующих одинаковым базовым вариантам, но относящихся к разнотипным РН, свидетельствуют об имеющей место значительной неопределённости исходов разнесённого приема ТМИ. В таблицах 6.2, 6.3, 6.4 (и аналогичных им) представлены также отношения числа единиц в столбце к общему числу нулей и единиц в столбце (вероятности  $P_{уд\_выб}$  удачного выбора варианта задействования ПРС наугад для конкретного пуска), свидетельствующие о весьма ограниченных возможностях выбора наугад.

Таблица 6.2 – Оценки качества разнесённого приёма при задействовании трёх ПРС (РН «Союз»,  $f_{154}$ , базовый вариант задействования ПРС: 12, 13, 32, 34)

№ п/п	Анализируемый вариант задействования ПРС	Номер пуска РН										Оценка вариантов
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	13, 32, 34	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	6/10 = 0,60
2	12, 32, 34	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	4/10 = 0,40
3	12, 13, 34	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	4/10 = 0,40
4	12, 13, 32	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	7/10 = 0,70
Вероятность удачного выбора варианта задействования ПРС наугад		0,50	0,75	0,50	0,75	0,50	0,75	0,75	0,25	0,25	0,25	

Таблица 6.3 – Оценки качества разнесённого приёма при задействовании двух ПРС (РН «Союз»,  $f_{154}$ , базовый вариант задействования ПРС: 12, 13, 32, 34)

№ п/п	Анализируемый вариант задействования ПРС	Номер пуска РН										Оценка вариантов
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	32, 34	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1/10 = 0,10
2	13, 34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0/10 = 0,00
3	13, 32	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3/10 = 0,30
4	12, 34	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2/10 = 0,20
5	12, 32	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	4/10 = 0,40
6	12, 13	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	3/10 = 0,30
Вероятность удачного выбора варианта задействования ПРС наугад		0,17	0,33	0,17	0,33	0,17	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	

Таблица 6.4 – Оценки качества разнесённого приёма при задействовании одной ПРС (РН «Союз»,  $f_{154}$ , базовый вариант задействования ПРС: 12, 13, 32, 34)

№ п/п	Анализируемый вариант задействования ПРС	Номер пуска РН										Оценка вариантов
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0/10 = 0,00
2	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0/10 = 0,00
3	32	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1/10 = 0,10
4	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0/10 = 0,00
Вероятность удачного выбора варианта задействования ПРС наугад		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	

На основе сведений, представленных в таблицах 6.2, 6.3, 6.4 (и аналогичных им), вычислены (рисунок 6.6) средние значения оценок  $Q_{ан\_ср}$  и их среднеквадратические отклонения  $Q_{ан\_СКО}$ :

$$Q_{ан\_ср}(n_{ан\_ПРС}) = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{ан\_i}(n_{ан\_ПРС})}{n_{вар}}, \quad (6.13)$$

$$Q_{ан\_СКО}(n_{ан\_ПРС}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ан\_i}(n_{ан\_ПРС}) - Q_{ан\_ср}(n_{ан\_ПРС}))^2}{n_{вар}}}, \quad i = 1, 2, \dots, n_{вар},$$

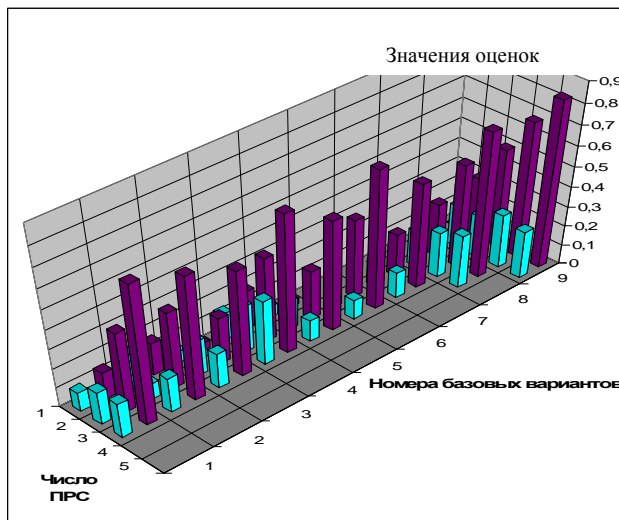
где  $Q_{ан\_ср}$  – средние значения оценок вариантов задействования ПРС для взаимного дублирования;

$Q_{ан\_ско}$  – среднеквадратические отклонения значений оценок вариантов задействования ПРС;

$n_{ан\_ПРС}$  – количество ПРС в соответствии с анализируемым вариантом их задействования;

$n_{вар}$  – количество возможных вариантов (комбинаций) задействования ПРС внутри базового варианта.

С ростом  $n$  увеличиваются средние значения оценок вариантов, проявляется тенденция *существенного* улучшения достоверности с увеличением количества задействуемых ПРС. При этом относительно большие значения вычисленных среднеквадратических отклонений свидетельствуют о неравноценности рассмотренных вариантов задействования ПРС.



**Примечания:**

1. Тёмные столбики диаграммы относятся к  $Q_{ан\_ср}$ , а светлые – к  $Q_{ан\_ско}$ .

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 6.6 – Диаграмма, характеризующая улучшение достоверности обобщённых телеизмерений в зависимости от числа задействуемых для взаимного дублирования ПРС

С учётом ограниченных возможностей выбора базовых вариантов (особенно в условиях часто меняющегося порядка задействования ПРС) применен бутстреп-метод [131] для искусственного размножения статистических выборок. Его суть пояснена примером: 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:  $S_{\bar{o}} = S_{зад\_i} \cap S_{зад\_i+1} \cap S_{зад\_i+2}$ , а  $S_{\bar{o}} = \{12, 13, 32, 34\}$ .

Применена также модифицированная методика [36] и получены оценки вариантов задействования ИП 1, 2, 3, 5. Суть модификации состоит в том, что при определении базового и анализируемого вариантов учитывается лишь факт размещения (или неразмещения) ПРС на ИПе. При этом численность ПРС не имеет значения. Такой (упрощённый) подход позволяет значительно расширить возможности выбора базовых и анализируемых вариантов задействования ИПов в условиях часто меняющегося порядка задействования ПРС, добиться приемлемого результата путём перехода из количества в качество. Наблюдаемый большой разброс полученных оценок [36] подтверждает наличие значительной неопределённости исходов разнесённого приема ТМИ.

В ходе исследований выявлены специфические особенности, присущие тому или иному ИПу. Так, относительно часто временные интервалы с искаженными из-за помех в каналах «борт-Земля» телеизмерениями, принятыми ПРС пристартовых и трассовых ИПов, сдвинуты относительно друг друга [36]. Поэтому сокращение ИПов при одновременном увеличении количества ПРС не улучшит достоверность данных телеизмерений.

Разработанная методика определения рационального состава каналов разнесения может быть использована для решения других задач, связанных с разнесённым приёмом ТМИ, в частности, выявления допустимого (*несущественного*) ухудшения качества передаваемой по ШКС ТМИ в обмен на повышение оперативности сбора ТМИ или на уменьшение требуемой пропускной способности ШКС [39].

Таким образом, исключение из состава ТК каких-либо ПРС, задействуемых в настоящее время для взаимного дублирования, приведет к увеличению вероятности *существенного* ухудшения достоверности обобщённых телеизмерений. Их должно быть не менее 4÷6. Судя по полученным результатам (см. рисунок 6.6), тенденция улучшения достоверности с дальнейшим ростом количества взаимодублируемых ПРС сохранится. Однако при этом следует учесть, по крайней мере, два ограничивающих фактора. Во-первых, значительно возрастет суммарная скорость поступления данных на входы наземных

средств ТК (обострится проблема обеспечения необходимой оперативности решения задач ИТО, возрастут затраты на поддержание и развитие ТК). Во-вторых, лишь путём использования дополнительных ПРС не могут быть созданы благоприятные условия для обеспечения требуемой достоверности (это же подтверждается сведениями, представленными в таблицах 1.3 и 1.4), нужны радикальные меры.

### **6.6 Математические модели для определения «реакции» исследуемых алгоритмов на изменения условий помеховой обстановки и возможности их использования**

С целью учёта бóльшего числа факторов, относящихся к помеховой обстановке, исследованы [30] «реакции» алгоритмов получения обобщённых данных на различные состояния помеховой обстановки. Для этого использован научно-методический аппарат [29], разработанный для построения алгоритмов типа  $A_4$ , определены сущности влияния свойств алгоритмов и состояний помеховой обстановки на обеспечиваемую достоверность обобщённых данных. Предпочтение отдано [32] алгоритму  $A_4$  [29], т.к.:

- алгоритм  $A_4$ , является рациональным;
- математический аппарат, созданный для разработки алгоритма  $A_4$ , может быть использован и при анализе условий его функционирования;
- частные результаты применения алгоритма  $A_4$  ( $k = 1$  и  $k = 166$  [29]) и базовых алгоритмов автовыбора и мажорирования совпадают, что позволяет использовать простое и удобное правило Парето (2.4) для оценивания результативности применения  $A_4$  в широком диапазоне состояний помеховой обстановки.

Механизм выбора данных в обобщённый массив с использованием алгоритма  $A_4$  рассмотрен [30] на примерах. Пусть  $S(00011|0)$ ,  $S(00011|1)$ ,  $S(00011|2)$  – анализируемые состояния помеховой обстановки. Каждому из этих состояний соответствуют два варианта выбора данного в обобщённый массив: 1)  $Rez = 0$ , 2)  $Rez = 1$ . Для  $S(00011|0)$ : 1)  $Rez = 0$ ,  $d = 0$  при  $R_7 = 1$ ; 2)  $Rez = 1$ ,  $d = 1$  при  $R_7 = 0$ . Для  $S(00011|1)$ : 1)  $Rez = 0$ ,  $d = 1$  при  $R_7 = 1$ ; 2)  $Rez = 1$ ,  $d = 0$  при  $R_7 = 0$ . Для  $S(00011|2)$ : 1)  $Rez = 0$ ,  $d = 1$  при  $R_7 = 1$ ; 2)  $Rez = 1$ ,  $d = 1$  при  $R_7 = 0$ . ( $Rez$  – значение данного, выбранного в обобщённый массив;  $d$  – признак его достоверности; если  $d = 0$

– достоверно, если  $d = 1$  – недостоверно.  $R_{ki}$  – параметр, отражающий результат выбора данного в обобщённый массив;  $R_{ki} = \{0,1\}$ , см. (4.19)).

Для состояний помеховой обстановки  $S(01010|0)$ ,  $S(01010|1)$ ,  $S(01010|2)$ ,  $S(01010|3)$  результат выбора данного в обобщённый массив одинаков при любых заданных ВХД из множества  $W$  при применении алгоритма  $A_4$ :  $Rez = 0$ .

Вероятность  $P_{\partial i}$  поступления достоверного данного из  $i$ -го канала разнесения представим в виде суммы условных вероятностей. Запишем некоторые фрагменты сумм условных вероятностей и подчеркнем в них условные вероятности, относящиеся, например, к автовыбору:

$$\begin{aligned} P_{\partial 1} &= \dots + P(00011|0) + P(00101|0) + P(01010|0) + P(00102|0) + \dots \\ P_{\partial 2} &= \dots + P(00011|0) + P(00101|0) + P(01010|1) + P(00102|0) + \dots \\ P_{\partial 3} &= \dots + P(00011|0) + P(00101|1) + P(01010|0) + P(00102|1) + \dots \\ P_{\partial 4} &= \dots + P(00011|1) + P(00101|0) + P(01010|1) + P(00102|0) + \dots \\ P_{\partial 5} &= \dots + \underline{P(00011|1)} + \underline{P(00101|1)} + \underline{P(01010|0)} + \underline{P(00102|2)} + \dots \end{aligned}$$

При автовыборе  $P_{\partial об} = P_{\partial 5}$  ( $P_{\partial об}$  – вероятность поступления достоверного данного в обобщённый массив).

Если же, например,  $P(00011|0) > P(00011|1)$ ,  $P(00101|0) > P(00101|1)$ ,  $P(01010|0) > P(01010|1)$ ,  $P(00102|2) > P(00102|0)$ ,  $P(00102|2) > P(00102|1)$ , то целесообразно задать ВХД, обеспечивающие следующий порядок выбора данных в обобщённый массив (компоненты вероятности  $P_{\partial об}$  подчеркнуты):

$$\begin{aligned} P_{\partial 1} &= \dots + P(00011|0) + P(00101|0) + P(01010|0) + P(00102|0) + \dots \\ P_{\partial 2} &= \dots + P(00011|0) + P(00101|0) + P(01010|1) + P(00102|0) + \dots \\ P_{\partial 3} &= \dots + \underline{P(00011|0)} + P(00101|1) + P(01010|0) + P(00102|1) + \dots \\ P_{\partial 4} &= \dots + P(00011|1) + \underline{P(00101|0)} + P(01010|1) + P(00102|0) + \dots \\ P_{\partial 5} &= \dots + P(00011|1) + P(00101|1) + \underline{P(01010|0)} + \underline{P(00102|2)} + \dots \end{aligned}$$

Для  $S(00011|0) - R_7 = 1$ , для  $S(00101|0) - R_8 = 1$ , для  $S(00102|2) - R_{17} = 0$ . Выполненные [29] исследования подтверждают возможность задания ВХД, обеспечивающих  $R_7 = 1$ ,  $R_8 = 1$ ,  $R_{17} = 0$ .

Из приведенного примера следует, что в процессе перебора ВХД при применении алгоритма  $A_4$  некоторые условные вероятности, из которых складывается вероятность  $P_{\partial 5}$ , заменяются на другие условные вероятности – компоненты вероятностей  $P_{\partial 1}$ ,  $P_{\partial 2}$ ,  $P_{\partial 3}$ ,  $P_{\partial 4}$ . Причём при благоприятных состояниях помеховой

обстановки возможен выбор таких ВХД, при которых  $P_{\partial \text{ об}} > P_{\partial 5}$ . Если же замена условных вероятностей, из которых складывается вероятность  $P_{\partial 5}$ , не обеспечивает выполнение  $P_{\partial \text{ об}} > P_{\partial 5}$ , то остается худший вариант – выбор в качестве составляющих вероятности  $P_{\partial \text{ об}}$  лишь компонент вероятности  $P_{\partial 5}$  (т.е. осуществление автовыбора).

При выполнении условия

$$P_{\partial 5} \geq P_{\partial 4} \geq P_{\partial 3} \geq P_{\partial 2} \geq P_{\partial 1}, \quad (6.14)$$

где  $P_{\partial i}$  – достоверность данных  $i$ -го канала разнесения,

соответствующего условиям (4.18), значение выбранного в обобщённый массив данного будет зависеть от результатов поступления данных из каналов разнесения, описанных [29] (см. разд. 4.3.3) матрицами  $M_{\text{зав}} = \{M_2, M_7, M_8, M_9, M_{10}, M_{11}, M_{16}, M_{17}, M_{18}, M_{19}, M_{25}, M_{28}, M_{42}, M_{43}, M_{31}, M_{32}, M_{36}, M_{38}, M_{39}, M_{40}, M_{41}, M_{44}, M_{45}\}$ , причём условная вероятность  $P_{i,j}$ , соответствующая матрице  $M_i$  ( $M_i \in M_{\text{зав}}$ ), может принимать два значения, в зависимости от параметра  $R_i = 0$  или  $R_i = 1$ , а выбор данного в обобщённый массив для матриц  $M_{\text{незав}} = \{M_1, M_3, M_4, M_5, M_6, M_{12}, M_{13}, M_{14}, M_{15}, M_{20}, M_{21}, M_{22}, M_{23}, M_{24}, M_{26}, M_{27}, M_{29}, M_{30}, M_{33}, M_{34}, M_{35}, M_{37}, M_{46}, M_{47}, M_{48}, M_{49}, M_{50}, M_{51}\}$  всегда одинаков для каждой из 166-ти комбинации ВХД. Каждой матрице  $M_i$  ( $M_i \in M_{\text{зав}}$ ) соответствуют укрупненные состояния помеховой обстановки  $S$  (для  $R_i = 0$  и  $R_i = 1$ ) и условные вероятности  $P_{i,0}$  и  $P_{i,1}$  ( $i \in \Omega$ ,  $\Omega = \{2, 7, 8, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 19, 25, 28, 42, 43, 31, 32, 36, 38, 39, 40, 41, 44, 45\}$ ):

$$\begin{aligned} M_2 &\rightarrow S(e_1 e_1 e_1 e_1 e_2 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{2,0} = P(e_1 e_1 e_1 e_1 e_2 | e_2), & P_{2,1} &= P(e_1 e_1 e_1 e_1 e_2 | e_1), & (6.15) \\ M_7 &\rightarrow S(e_1 e_1 e_1 e_2 e_2 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{7,0} = P(e_1 e_1 e_1 e_2 e_2 | e_2), & P_{7,1} &= P(e_1 e_1 e_1 e_2 e_2 | e_1), \\ M_8 &\rightarrow S(e_1 e_1 e_2 e_1 e_2 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{8,0} = P(e_1 e_1 e_2 e_1 e_2 | e_2), & P_{8,1} &= P(e_1 e_1 e_2 e_1 e_2 | e_1), \\ M_9 &\rightarrow S(e_1 e_2 e_1 e_1 e_2 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{9,0} = P(e_1 e_2 e_1 e_1 e_2 | e_2), & P_{9,1} &= P(e_1 e_1 e_1 e_1 e_2 | e_1), \\ M_{10} &\rightarrow S(e_2 e_1 e_1 e_1 e_2 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{10,0} = P(e_2 e_1 e_1 e_1 e_2 | e_2), & P_{10,1} &= P(e_2 e_1 e_1 e_1 e_2 | e_1), \\ M_{11} &\rightarrow S(e_1 e_1 e_2 e_2 e_1 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{11,0} = P(e_1 e_1 e_2 e_2 e_1 | e_2), & P_{11,1} &= P(e_1 e_1 e_2 e_2 e_1 | e_1), \\ M_{16} &\rightarrow S(e_1 e_1 e_1 e_2 e_3 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{16,0} = P(e_1 e_1 e_1 e_2 e_3 | e_3), & P_{16,1} &= P(e_1 e_1 e_1 e_2 e_3 | e_1), \\ M_{17} &\rightarrow S(e_1 e_1 e_2 e_1 e_3 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{17,0} = P(e_1 e_1 e_2 e_1 e_3 | e_3), & P_{17,1} &= P(e_1 e_1 e_2 e_1 e_3 | e_1), \\ M_{18} &\rightarrow S(e_1 e_2 e_1 e_1 e_3 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{18,0} = P(e_1 e_2 e_1 e_1 e_3 | e_3), & P_{18,1} &= P(e_1 e_2 e_1 e_1 e_3 | e_1), \\ M_{19} &\rightarrow S(e_2 e_1 e_1 e_1 e_3 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{19,0} = P(e_2 e_1 e_1 e_1 e_3 | e_3), & P_{19,1} &= P(e_2 e_1 e_1 e_1 e_3 | e_1), \\ M_{25} &\rightarrow S(e_1 e_1 e_2 e_2 e_3 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{25,0} = P(e_1 e_1 e_2 e_2 e_3 | e_3), & P_{25,1} &= P(e_1 e_1 e_2 e_2 e_3 | e_2), \\ M_{28} &\rightarrow S(e_1 e_2 e_1 e_2 e_3 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{28,0} = P(e_1 e_2 e_1 e_2 e_3 | e_3), & P_{28,1} &= P(e_1 e_2 e_1 e_2 e_3 | e_2), \\ M_{42} &\rightarrow S(e_2 e_1 e_1 e_3 e_4 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{42,0} = P(e_2 e_1 e_1 e_3 e_4 | e_4), & P_{42,1} &= P(e_2 e_1 e_1 e_3 e_4 | e_1), \\ M_{43} &\rightarrow S(e_1 e_2 e_3 e_1 e_4 | e_{\text{нр}\partial}) \rightarrow P_{43,0} = P(e_1 e_2 e_3 e_1 e_4 | e_4), & P_{43,1} &= P(e_1 e_2 e_3 e_1 e_4 | e_1), \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
M_{31} &\rightarrow S(e_2e_1e_1e_2e_3|e_{npd}) \rightarrow P_{31,0} = P(e_2e_1e_1e_2e_3|e_3), & P_{31,1} &= P(e_2e_1e_1e_2e_3|e_1), \\
M_{32} &\rightarrow S(e_2e_1e_1e_3e_2|e_{npd}) \rightarrow P_{32,0} = P(e_2e_1e_1e_3e_2|e_2), & P_{32,1} &= P(e_2e_1e_1e_3e_2|e_1), \\
M_{36} &\rightarrow S(e_2e_1e_3e_1e_2|e_{npd}) \rightarrow P_{36,0} = P(e_2e_1e_3e_1e_2|e_2), & P_{36,1} &= P(e_2e_1e_3e_1e_2|e_1), \\
M_{38} &\rightarrow S(e_2e_3e_1e_1e_2|e_{npd}) \rightarrow P_{38,0} = P(e_2e_3e_1e_1e_2|e_2), & P_{38,1} &= P(e_2e_3e_1e_1e_2|e_1), \\
M_{39} &\rightarrow S(e_3e_2e_1e_1e_2|e_{npd}) \rightarrow P_{39,0} = P(e_3e_2e_1e_1e_2|e_2), & P_{39,1} &= P(e_3e_2e_1e_1e_2|e_1), \\
M_{40} &\rightarrow S(e_1e_1e_2e_3e_4|e_{npd}) \rightarrow P_{40,0} = P(e_1e_1e_2e_3e_4|e_4), & P_{40,1} &= P(e_1e_1e_2e_3e_4|e_1), \\
M_{41} &\rightarrow S(e_1e_2e_1e_3e_4|e_{npd}) \rightarrow P_{41,0} = P(e_1e_2e_1e_3e_4|e_4), & P_{41,1} &= P(e_1e_2e_1e_3e_4|e_1), \\
M_{44} &\rightarrow S(e_2e_1e_3e_1e_4|e_{npd}) \rightarrow P_{44,0} = P(e_2e_1e_3e_1e_4|e_4), & P_{44,1} &= P(e_2e_1e_3e_1e_4|e_1), \\
M_{45} &\rightarrow S(e_2e_3e_1e_1e_4|e_{npd}) \rightarrow P_{45,0} = P(e_2e_3e_1e_1e_4|e_4), & P_{45,1} &= P(e_2e_3e_1e_1e_4|e_1),
\end{aligned}$$

где  $e_{npd}$  – переданное данное;  $e_i, e_j = \{0, 1, 2, 3\}$ ;  $e_i = e_j$  при  $i = j$ ,  $e_i \neq e_j$  при  $i \neq j$ .

Каждой матрице  $M_i$  ( $M_i \in M_{незав}$ ) соответствуют укрупненные состояния помеховой обстановки, при которых выбор значения данного в обобщённый массив не зависит от значений ВХД при переборе их комбинаций:

$$\begin{aligned}
M_1 &\rightarrow S(e_1e_1e_1e_1e_1|e_{npd}) \rightarrow P_1 = P(e_1e_1e_1e_1e_1|e_1), & (6.16) \\
M_3 &\rightarrow S(e_1e_1e_1e_2e_1|e_{npd}) \rightarrow P_3 = P(e_1e_1e_1e_2e_1|e_1), \\
M_4 &\rightarrow S(e_1e_1e_2e_1e_1|e_{npd}) \rightarrow P_4 = P(e_1e_1e_2e_1e_1|e_1), \\
M_5 &\rightarrow S(e_1e_2e_1e_1e_1|e_{npd}) \rightarrow P_5 = P(e_1e_2e_1e_1e_1|e_1), \\
M_6 &\rightarrow S(e_2e_1e_1e_1e_1|e_{npd}) \rightarrow P_6 = P(e_2e_1e_1e_1e_1|e_1), \\
M_{12} &\rightarrow S(e_1e_2e_1e_2e_1|e_{npd}) \rightarrow P_{12} = P(e_1e_2e_1e_2e_1|e_1), \\
M_{13} &\rightarrow S(e_2e_1e_1e_2e_1|e_{npd}) \rightarrow P_{13} = P(e_2e_1e_1e_2e_1|e_1), \\
M_{14} &\rightarrow S(e_1e_2e_2e_1e_1|e_{npd}) \rightarrow P_{14} = P(e_1e_2e_2e_1e_1|e_1), \\
M_{15} &\rightarrow S(e_2e_2e_1e_1e_1|e_{npd}) \rightarrow P_{15} = P(e_2e_2e_1e_1e_1|e_1), \\
M_{20} &\rightarrow S(e_1e_1e_2e_3e_1|e_{npd}) \rightarrow P_{20} = P(e_1e_1e_2e_3e_1|e_1), \\
M_{21} &\rightarrow S(e_1e_2e_1e_3e_1|e_{npd}) \rightarrow P_{21} = P(e_1e_2e_1e_3e_1|e_1), \\
M_{22} &\rightarrow S(e_2e_1e_1e_3e_1|e_{npd}) \rightarrow P_{22} = P(e_2e_1e_1e_3e_1|e_1), \\
M_{23} &\rightarrow S(e_1e_2e_3e_1e_1|e_{npd}) \rightarrow P_{23} = P(e_1e_2e_3e_1e_1|e_1), \\
M_{24} &\rightarrow S(e_2e_3e_1e_1e_1|e_{npd}) \rightarrow P_{24} = P(e_2e_3e_1e_1e_1|e_1), \\
M_{26} &\rightarrow S(e_1e_1e_2e_3e_2|e_{npd}) \rightarrow P_{26} = P(e_1e_1e_2e_3e_2|e_2), \\
M_{27} &\rightarrow S(e_1e_1e_3e_2e_2|e_{npd}) \rightarrow P_{27} = P(e_1e_1e_3e_2e_2|e_2), \\
M_{29} &\rightarrow S(e_1e_2e_1e_3e_2|e_{npd}) \rightarrow P_{29} = P(e_1e_2e_1e_3e_2|e_2), \\
M_{30} &\rightarrow S(e_1e_3e_1e_2e_2|e_{npd}) \rightarrow P_{30} = P(e_1e_3e_1e_2e_2|e_2), \\
M_{33} &\rightarrow S(e_3e_1e_1e_2e_2|e_{npd}) \rightarrow P_{33} = P(e_3e_1e_1e_2e_2|e_2), \\
M_{34} &\rightarrow S(e_1e_2e_3e_1e_2|e_{npd}) \rightarrow P_{34} = P(e_1e_2e_3e_1e_2|e_2), \\
M_{35} &\rightarrow S(e_1e_3e_2e_1e_2|e_{npd}) \rightarrow P_{35} = P(e_1e_3e_2e_1e_2|e_2), \\
M_{37} &\rightarrow S(e_3e_1e_2e_1e_2|e_{npd}) \rightarrow P_{37} = P(e_3e_1e_2e_1e_2|e_2), \\
M_{46} &\rightarrow S(e_1e_2e_3e_4e_1|e_{npd}) \rightarrow P_{46} = P(e_1e_2e_3e_4e_1|e_1), \\
M_{47} &\rightarrow S(e_2e_1e_3e_4e_1|e_{npd}) \rightarrow P_{47} = P(e_2e_1e_3e_4e_1|e_1), \\
M_{48} &\rightarrow S(e_2e_3e_1e_4e_1|e_{npd}) \rightarrow P_{48} = P(e_2e_3e_1e_4e_1|e_1), \\
M_{49} &\rightarrow S(e_2e_3e_4e_1e_1|e_{npd}) \rightarrow P_{49} = P(e_2e_3e_4e_1e_1|e_1),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{50} &\rightarrow S(e_2 e_1 e_2 e_1 e_1 | e_{npd}) \rightarrow P_{50} = P(e_2 e_1 e_2 e_1 e_1 | e_1), \\ M_{51} &\rightarrow S(e_2 e_1 e_3 e_1 e_1 | e_{npd}) \rightarrow P_{51} = P(e_2 e_1 e_3 e_1 e_1 | e_1). \end{aligned}$$

Вероятность выбора достоверного данного для  $k$ -й комбинации ВХД имеет две составляющие:

$$P_{\Sigma k} = P_{\Sigma_{зав\_k}} + P_{\Sigma_{незав\_k}}, \quad (6.17)$$

причём условные вероятности, соответствующие множеству матриц  $M_{зав}$ , можно представить в виде произведения матриц  $\mathbf{R}_{зав}$  и  $\mathbf{P}_{зав}$ :

$$P_{\Sigma_{зав\_k}} = \mathbf{R}_{зав\_k} \cdot \mathbf{P}_{зав}, \quad k = 1, 2, \dots, 166, \quad (6.18)$$

где  $\mathbf{R}_{зав\_k} = [R_{k,2} \ (1 - R_{k,2}) \ R_{k,7} \ (1 - R_{k,7}) \ R_{k,8} \ (1 - R_{k,8}) \ \dots \ R_{k,41} \ (1 - R_{k,41})]$ ,

$$\mathbf{P}_{зав} = [P_{2,1} \ P_{2,0} \ P_{7,1} \ P_{7,0} \ P_{8,1} \ P_{8,0} \ \dots \ P_{41,1} \ P_{41,0}]^T,$$

а [29]  $R_{44} = R_{28}$ ,  $R_{45} = R_{25}$ .

Максимальное значение  $P_{\Sigma k}$ ,  $k = 1, 2, \dots, 166$ ,

$$P_{\Sigma max} = \max\{P_{\Sigma 1}, P_{\Sigma 2}, \dots, P_{\Sigma k}, \dots, P_{\Sigma 166}\}, \quad (6.19)$$

характеризует достоверность данных, выбранных в обобщённый массив в результате применения алгоритма  $A_4$ , а суммарные вероятности  $P_{\Sigma 1}$  и  $P_{\Sigma 166}$  относятся к автовыбору и мажорированию соответственно.

Следовательно, условие обеспечения алгоритмом  $A_4$  бóльшей достоверности, чем автовыбором и мажорированием, –

$$P_{\Sigma_{зав\_k}} > \max\{P_{\Sigma_{зав\_1}}, P_{\Sigma_{зав\_166}}\}, \quad k = 2, 3, \dots, 165. \quad (6.20)$$

С помощью предложенных математических моделей осуществлена формализация, позволяющая решить ряд полезных задач, касающихся условий помеховой обстановки и функционирования в этих условиях испытуемого алгоритма получения обобщённых данных, [61].

Одна из таких задач – анализ возможности уменьшения количества ВХД при наличии каких-либо ограничений [61]. Например, при условии симметричности [173] каналов разнесения, когда значения некоторых условных вероятностей (6.15) одинаковы или жестко взаимосвязаны. Задача формализована и решена с помощью компьютерной программы. Из полученных результатов [32] следует,

что в условиях симметричности каналов разнесения 34 (из 166-ти) комбинации ВХД алгоритма  $A_4$  избыточны.

Другая задача касается ситуации, когда использованием не одной, а нескольких комбинаций ВХД в процессе функционирования алгоритма  $A_4$  обеспечивается одинаковая (максимальная) достоверность обобщённых тестовых данных. Это объясняется тем, что число возможных комбинаций тестовых данных для обучения алгоритма  $A_4$  больше числа реальных комбинаций тестовых данных, поступивших из каналов разнесения (т.е. для некоторых комбинаций тестовых данных возможны оценки  $P_{i,0} = 0$  и  $P_{i,1} = 0$  (6.15)). При малых значениях  $P_{i,0}$  и  $P_{i,1}$  ( $P_{i,0} \approx 0$  и  $P_{i,1} \approx 0$ ) возможно, что  $P_{i,0} > 0$  и  $P_{i,1} > 0$  для некоторых информационных данных. Возникает необходимость выбора наиболее предпочтительных ВХД. Обосновано [61], что в этом случае предпочтение нужно отдавать комбинациям ВХД, для которых сумма значений параметров  $R_{kj}$  (4.19) максимальна.

Один из частных случаев описанной ситуации – тестовые данные всех каналов разнесения достоверны, а среди информационных есть малочисленные недостоверные данные. Следуя описанной выше логике, чтобы сократить при этом долю пусть и небольшого количества ошибок, нужно применить мажорирование (комбинация ВХД, для которой все значения  $R_{kj}$  (4.19) равны 1). При этом есть еще один нюанс в пользу мажорирования (а не автовыбора!), связанный с невозможностью без дополнительных сведений определить лучший (в смысле достоверности поступающих из него данных) канал разнесения (для выполнения условия (6.14)). При определении лучшего канала наугад, вероятность правильного выбора составит всего  $1/n$  ( $n$  – число каналов разнесения), что вряд ли приемлемо.

С помощью вышеупомянутых математических моделей выполнен сравнительный анализ двух способов исключения данных, поступивших из каналов разнесения, из процесса получения обобщённых данных (путём присвоения данным некоторых каналов нулевых значений [34] и путём их игнорирования [35]). Выявлены следующие особенности:

- способ исключения данных может влиять на результаты выбора данных в обобщенный массив;

- при применении обоих способов возможности выбора данных в обобщенный массив расширяются.

Получение обобщенных данных с использованием сначала данных всех каналов разнесения, а затем с исключением (обоими способами) данных некоторых каналов, можно интерпретировать как дополнительные варианты установления функциональной зависимости между данными, поступившими из каналов разнесения, и обобщенными данными. Следует при этом заметить, что дополнительные варианты установления функциональной зависимости можно получить и путём использования других алгоритмов получения обобщенных данных в качестве дополнительных. Появляется дополнительная возможность *существенно* улучшить достоверность обобщенных данных, которая, впрочем, не всегда может быть реализована практически из-за неблагоприятных для испытуемого алгоритма условий помеховой обстановки и/или неприемлемого увеличения объёма вычислений.

Таким образом, использование предложенных математических моделей для исследования сущностей разработанных алгоритмов получения обобщенных данных позволяет значительно расширить возможности улучшения достоверности на основе установления связи между возможными состояниями этих алгоритмов и состояниями помеховой обстановки, в которых они применяются.

### **6.7 Результаты экспериментальных оценок, подтверждающие правомерность применения разработанных моделей**

Научно-методический аппарат, касающийся разработанных моделей, корректен. Полученные результаты хорошо согласуются с известными ранее, что свидетельствует о правомерности применения разработанных моделей. Подтверждена также правомерность их применения и при решении некоторых практических задач, а именно:

- оценивание алгоритмов установки порогов;
- сравнительная оценка достоверности, обеспечиваемой ПРС;
- представление результатов применения алгоритма  $A_4$  при осуществлении ФОМДТ с использованием реальной ТМИ.

### *Результаты оценивания алгоритмов установки порогов*

Для оценивания алгоритмов установки порогов при выделении двухразрядных элементарных данных из аналоговых реализаций четырёхпозиционного сигнала (см. рисунок 3.1) использована реальная телеметрическая информация ракеты-носителя «Протон-М». В качестве базового выбран алгоритм автоматической установки порогов в блоках порогового разделения применяемой штатно аппаратуры. В таблице 6.5 показаны соответствия между балльными оценками  $E$  (6.6) и количеством субкадров (блоков данных) в процентах от общего количества проанализированных субкадров, причём для каждого из испытанных алгоритмов [51].

Таблица 6.5 – Результаты испытания алгоритмов установки порогов

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

Показаны [51] возможности практического использования разработанного научно-методического аппарата для сравнительной оценки достоверности, обеспечиваемой не только алгоритмами получения обобщённых данных (типа разработанных  $A_4$  и  $A_{42}$ ), но и другими алгоритмами (методами, стратегиями) повышения достоверности данных радиолиний в условиях произвольных помех.

### *Результаты сравнительной оценки достоверности, обеспечиваемой приёмно-регистрирующими станциями*

Для сравнительной оценки использована ТМИ первой ступени ракеты-носителя «Протон-М» на временном интервале отделения первой ступени. Во время пуска испытываемая приёмно-регистрирующая станция ПРС<sub>И</sub> и базовая ПРС<sub>Б</sub> подключались к выходам одной и той же антенны.

Для получения оценок подсчитывалось количество недостоверных тестовых данных в субкадрах (в блоках данных), принятых ПРС<sub>И</sub> и ПРС<sub>Б</sub>. Тестовые данные выделялись из аналоговых реализаций четырёхпозиционного сигнала (см. рисунок 3.1) бортовой калибровки, их эталонные значения априори известны. Каждое такое данное представляет собой двухбитовое слово (алфавит тестовых данных: 0,1,2,3). В

субкадре содержится 640 тестовых данных, значения передаваемых тестовых данных равновероятны.

Получены следующие результаты сопоставления субкадров, принятых ПРС<sub>И</sub> и ПРС<sub>Б</sub>, соответствующих одному и тому же переданному субкадру.

Всего субкадров на анализируемом временном интервале – 102. Из них:

- принято ПРС<sub>И</sub> и ПРС<sub>Б</sub> без искажений (в субкадрах, принятых ПРС<sub>И</sub> и ПРС<sub>Б</sub>, содержится по 640 достоверных тестовых данных) – 29;

- полностью потеряно ПРС<sub>И</sub> и ПРС<sub>Б</sub> (в субкадрах, принятых ПРС<sub>И</sub> и ПРС<sub>Б</sub>, содержится менее 448 достоверных тестовых данных) – 50;

- принято с искажениями (недостоверные тестовые данные присутствуют в субкадре ПРС<sub>И</sub> и/или в субкадре ПРС<sub>Б</sub>) – 23 субкадра, причём при  $\gamma_3 = 15$  (6.6):

1)  $E = -1$  для 7 субкадров; 2)  $E = 0$  для 9 субкадров; 3)  $E = 1$  для 7 субкадров.

Из полученных оценок следует, что достоверность, обеспечиваемая ПРС<sub>И</sub> и ПРС<sub>Б</sub>, примерно одинаковая. (Показана принципиальная возможность применения разработанного научно-методического аппарата для решения практических задач, без анализа достаточности полученных результатов для окончательных выводов по испытаниям ПРС<sub>И</sub> и ПРС<sub>Б</sub>).

*Результаты применения алгоритма  $A_4$   
при осуществлении ФОМДТ с использованием реальной ТМИ*

Для ЛПР-практика обычно важны не сущности научно-методического аппарата (т.е. не как получен результат), а возможности разработанных с его использованием ПТС, касающиеся решения практических задач. В этой связи актуальна задача обеспечения наглядности возможностей этих ПТС. Пример наиболее удачной демонстрации возможностей алгоритма  $A_4$  – представление результатов его применения в виде графиков контрольных параметров, свидетельствующих о значительном улучшении достоверности обобщённых данных, по сравнению с исходными для ФОМДТ данными телеизмерений отдельных ПРС (рисунок Б.35) [61].

Таким образом, результаты экспериментов подтверждают правомерность применения разработанных моделей.

## Выводы по главе 6

1. Достоверность данных радиоканалов в значительной мере зависит от сущностей применённых методов повышения помехоустойчивости и от условий помеховой обстановки. Реальные условия помеховой обстановки при пусках РКН далеки от традиционно используемой модели АБГШ. Применяемые в настоящее время оценки временных интервалов с ППИ и с ЧПИ слишком грубы, чтобы оценить исправляющие возможности разработанных алгоритмов получения обобщённых данных. Для определения ценности методов (стратегий) повышения достоверности данных таких каналов нужны модели, критерии и методики в большей мере соответствующие реальным условиям (т.е. ориентированные на произвольные помехи).

2. Особенность предложенных показателей достоверности, обеспечиваемой алгоритмами получения обобщённых данных, заключается в том, что мерой достоверности, обеспечиваемой испытываемыми алгоритмами (методами, стратегиями) в изменяющихся состояниях помеховой обстановки, является уровень достоверности, обеспечиваемый базовыми алгоритмами (методами, стратегиями) в тех же или лучших состояниях помеховой обстановки. Они ориентированы на произвольные помехи и согласованы с разработанным комплексом показателей ИТО.

3. Разработанная модель источника ошибок в каналах разнесения позволяет имитировать разнообразные состояния помеховой обстановки путём комбинирования блоков данных, в различной степени искажённых помехами. Особенности выбора комбинируемых блоков позволяют значительно сократить количество имитируемых состояний и при этом обеспечить приемлемую точность модели. Модель хорошо согласуется с предложенной методикой вычисления показателей достоверности. Она в полной мере подходит для условий произвольных помех.

4. Особенность разработанной методики определения рационального состава каналов разнесения (задействуемых ПРС) заключается в использовании бутстреп-метода для искусственного размножения статистических выборок, что актуально для существующих условий решения задач ИТО (в частности, условий значительной неопределённости помеховой обстановки при пусках РКН и часто меняющегося порядка задействования ПРС). С использованием методики определено,

что обычно задействуемых для взаимного дублирования 4÷6 ПРС явно недостаточно для обеспечения требуемой достоверности обобщённых данных телеизмерений. Поэтому необходимые меры по ограничению количества задействуемых ПРС (каналов разнесения) должны быть связаны с усовершенствованием ПТС ИТО, в частности, с разработанными технологиями управляемого разнесённого приёма ТМИ и с алгоритмами получения обобщённых данных, адаптирующимися к изменяющимся условиям помеховой обстановки.

5. Дополнительные возможности исследования сущностей разработанных алгоритмов получения обобщённых данных связаны с разработанными математическими моделями для определения «реакции» исследуемых алгоритмов на изменения условий помеховой обстановки. Их использование позволяет значительно расширить возможности улучшения достоверности на основе установления связи между возможными состояниями этих алгоритмов и состояниями помеховой обстановки, в которых они применяются.

6. При сопоставлении результатов, полученных теоретически и экспериментальным путём, противоречий не выявлено. Получено доказательство пригодности разработанного научно-методического аппарата для оценивания достоверности, обеспечиваемой разнесённым приёмом ТМИ.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований решена крупная научно-техническая проблема, состоящая в обеспечении требуемой достоверности данных результатов отработки средств выведения путём сокращения потерь ТМИ на основе рационального управления избыточностью данных телеизмерений. Её решение позволяет существенно улучшить информационно-телеметрическое обеспечение.

Полученные результаты отвечают цели работы, имеют важное научное и практическое значение и сводятся к следующему.

1. На основе анализа существующей практики решения задач ИТО отработки РКН, экспериментальных оценок качества полученной при этом телеметрической информации и свойств программно-технических средств ИТО определены основные направления повышения результативности ИТО. В этой связи обоснованы способы минимизации количества программно-технических средств, применяемых для решения задач ИТО, (прежде всего программно-технических средств телеметрического комплекса космодрома) и обеспечения их инвариантности к изменяющимся во времени задачам ИТО при существенном сокращении потерь телеметрической информации и повышении оперативности решения задач ИТО (в частности, сбор телеметрической информации в интересах формирования обобщённого массива данных телеизмерений и формирование обобщённого массива данных телеизмерений могут осуществляться в течение, соответственно, часа и трёх часов после пуска, а достоверность обобщённых данных телеизмерений может быть выше, обеспечиваемой автовыбором и мажорированием). Для этого необходимы стратегии противодействия влиянию неопределённых факторов различной природы на основе управления избыточностью телеизмерений.

2. Полученный комплекс показателей, характеризующих существенные аспекты ИТО отработки средств выведения, позволяет сравнивать результаты внедрения разных методов и алгоритмов, влияющих на общие показатели эффективности ИТО. В частности, показана связь между оценками достоверности, обеспе-

чиваемой испытываемыми алгоритмами получения обобщённых данных, и показателями качества данных для анализа.

3. С использованием модели показаны ситуации, когда при оптимальной модернизации по экономическим показателям (когда суммарные материальные затраты на усовершенствование и содержание усовершенствованной технической системы минимальны) возможно технологическое отставание. Возможен поиск наилучших стратегий усовершенствования среди очень нерациональных (в экономическом смысле) вариантов.

4. Для осуществления целенаправленного выбора стратегий усовершенствования СИТО, позволяющего уже на начальном этапе исключить нерациональные стратегии, развит подход к интеграции ПТС ИТО в единый комплекс, а также сформулированы с его использованием ограничения (требования) к комплексированию элементов СИТО. Развитый подход основан на формальной процедуре морфологического анализа. На основе анализа полученных ограничений (требований) определены направления работы по формулированию теоретических положений, обеспечивающих рациональное управление избыточностью данных телеизмерений.

5. Найдены способы минимизации количества программно-технических средств телеметрического комплекса космодрома и обеспечения его инвариантности к изменяющимся задачам ИТО, устраняющие противоречие, заключающееся в ограничении суммарной скорости поступления ТМИ на входы программно-технических средств телеметрического комплекса космодрома при возрастании количества телеметрируемых параметров и при значительном сокращении потерь телеметрической информации. Для их осуществления, в частности, разработан алгоритм преобразования первичных сигналов, уменьшающий потери телеметрической информации из-за неопределённости поведения телеметрируемых параметров, обеспечивающий компактное представление данных в бортовой информационно-телеметрической системе в условиях жёстких ограничений пропускной способности каналов «борт-Земля». Показано, что при представлении отдельных телеизмерений в виде трёхразрядных двоичных слов (при осуществлении метода преобразования) потери информации из-за ошибок в выборе ожидаемого диапазона сокращаются на

7,9%, а точность 73,8% измерений выше и 11% измерений ниже (причём ниже на 0,5%), по сравнению потерями и точностью, обеспечиваемыми существующей радиотелеметрической системой типа БРС-4, в которой используется аналоговый метод передачи сигналов.

6. Разработаны технологии управляемого разнесённого приёма ТМИ, позволяющие существенно сократить потери телеметрической информации из-за помех в каналах «борт-Земля» (с единиц секунд полной потери информации до единичных сбоев на временных интервалах отделения ступеней, сброса головного обтекателя). Созданы благоприятные условия для уменьшения количества задействуемых ПРС.

7. Разработан метод построения алгоритмов получения обобщённых данных, позволяющий на основании сведений о количестве каналов разнесения и об объёме алфавита передаваемых данных вычислять оптимальный набор весовых характеристик достоверности и конструировать рациональные алгоритмы, обеспечивающие *существенное* улучшение достоверности в широком диапазоне состояний помеховой обстановки, по сравнению с известными автовыбором и мажорированием. В частности, разработаны алгоритмы получения обобщённых данных  $A_4$  и  $A_{42}$ . Они способны улучшать достоверность при вероятности символической ошибки в каналах разнесения больше  $10^{-2}$ .

8. Разработан метод улучшения качества синхронизации принятых блоков данных. Его актуальность связана с недостаточной помехоустойчивостью содержащихся в телеметрическом сигнале синхромаркеров. Из-за действия помех в каналах разнесения сформированные синхросигналы (синхроимпульсы) могут быть недостоверными. В этих случаях применение алгоритмов получения обобщённых данных обесмысливается. Сущности метода заключаются в регенерировании принятых синхросигналов (синхроимпульсов). Метод позволяет восстанавливать синхросигналы (синхроимпульсы) на временных интервалах длительностью до пяти блоков данных и значительно улучшает условия применения алгоритмов получения обобщённых данных (а в итоге улучшает достоверность обобщённых данных).

9. Представлены рекомендации по комплексированию разработанных и существующих методов и алгоритмов, улучшающих достоверность данных (в частности, методов модуляции и помехоустойчивого кодирования/декодирования).

Обосновано, что комплексирование не должно сводиться лишь к выбору группы независимых методов. Большие резервы связаны с определением очередности применения выбранных методов, с поиском рациональных способов их взаимодополнения. В частности, из двух методов улучшения достоверности данных первым целесообразно применить тот, исправляющие способности которого с ухудшением помеховой обстановки ухудшаются в меньшей мере.

10. По результатам анализа телеметрической информации аварийных пусков РКН «Протон» и «Зенит» и с использованием разработанной концептуальной модели перехода бортовой радиотелеметрической системы в состояние полной метрологической непригодности сформулированы рекомендации по накоплению телеметрической информации в бортовых информационно-телеметрических системах, применяемых в условиях риска полётных аварий РКН. Накопление телеметрической информации связано с необходимостью её обработки на телеметрируемом объекте. Сущности рекомендаций заключаются в рациональном размещении элементов бортовой радиотелеметрической системы на РКН и в особенностях построения самих бортовых радиотелеметрических систем. Их выполнение позволяет существенно уменьшить потери телеметрической информации в случае полётных аварий. В частности, показано, что при аварии первой ступени РН «Зенит» при её старте (с разрушением стартового комплекса) время от начала разрушения двигательной установки первой ступени до момента полной утраты метрологической пригодности бортовой радиотелеметрической системы, установленной на второй ступени, составило  $5,7 \div 5,9$  секунд (т.е. существуют широкие возможности спасения накопленной телеметрической информации при её обработке в бортовой информационно-телеметрической системе).

11. Сформулированы рекомендации по обеспечению облика рационального телеметрического комплекса космодрома, связанные с альтернативными вариантами его построения, имеющими принципиальное отличие друг от друга, в том числе по топологии размещения программно-технических средств телеметрического комплекса космодрома и по использованию внешних (не являющихся штатными ПТС СИТО) программно-технических средств и информационных технологий. При этом принятие решения о ценности анализируемого варианта осуществляется на основе разработанного ранее комплекса показателей ИТО.

12. Разработана проблемно-ориентированная концептуальная модель процесса формирования обобщённого массива данных телеизмерений, базирующаяся на системном подходе к его составляющим, которые относительно автономны, что позволяет разрабатывать научно-методический аппарат и формулировать рекомендации отдельно по каждой из них с целью улучшения процесса ФОМДТ в целом.

13. Сформулированы рекомендации по разработке технологии контроля наличия дефектов телеметрической информации при осуществлении формирования обобщённого массива данных телеизмерений. Их актуальность связана с существующей опасностью необнаружения ошибок в процессе формирования обобщённого массива данных телеизмерений. Такие ошибки создают угрозу дезинформации анализаторов. Причины недостоверных телеизмерений связаны с ошибками из-за неопределённости поведения телеметрируемых параметров, с помехами в каналах «борт-Земля», а также с аномальной работой бортовых и наземных средств. В практике встречаются дефекты в принятой телеметрической информации, при которых недостоверные и достоверные телеизмерения чередуются, что существенно затрудняет их обнаружение. Вышеупомянутые рекомендации базируются на подходах к поиску и устранению последствий проявления дефектов, основанных на знании процесса формирования структур телеметрической информации в последовательно применяемых программно-технических средствах; при этом показаны возможности создания благоприятных условий для контроля качества телеметрической информации, связанные с выбором (разработкой) соответствующих программно-технических средств для формирования заданных структур телеметрической информации.

14. Предложены показатели достоверности, обеспечиваемой алгоритмами получения обобщённых данных. Их особенность заключается в том, что мерой достоверности, обеспечиваемой испытываемыми алгоритмами (методами, стратегиями) в изменяющихся состояниях помеховой обстановки, является уровень достоверности, обеспечиваемый базовыми алгоритмами (методами, стратегиями) в тех же или лучших состояниях помеховой обстановки.

Они ориентированы на произвольные помехи и согласованы с разработанным комплексом показателей ИТО.

15. Разработана модель источника ошибок в каналах разнесения, позволяющая имитировать разнообразные состояния помеховой обстановки путём комбинирования блоков данных, в различной степени искажённых помехами. Особенности выбора комбинируемых блоков позволяют значительно сократить количество имитируемых состояний и при этом обеспечить приемлемую точность модели. Модель хорошо согласуется с предложенной методикой вычисления показателей достоверности. Она в полной мере подходит для условий произвольных помех. По результатам выполненного сравнительного анализа, для 35% состояний помеховой обстановки разработанный алгоритм  $A_4$  обеспечивает *существенно* лучшую достоверность, чем совокупное применение автовыбора и мажорирования, а для 65% состояний – примерно такую же.

16. С целью определения рационального количества каналов разнесения «борт-Земля» (взаимодублируемых приёмно-регистрирующих станций) разработана методика с использованием бутстреп-метода для искусственного размножения статистических выборок. С её использованием определено, что обычно задействуемых для взаимного дублирования 4÷6 ПРС явно недостаточно для обеспечения требуемой достоверности обобщённых данных телеизмерений. Поэтому необходимые меры по ограничению количества задействуемых ПРС (каналов разнесения) должны быть связаны с усовершенствованием ПТС ИТО, в частности, с разработанными технологиями управляемого разнесённого приёма ТМИ и с алгоритмами получения обобщённых данных, адаптирующимися к изменяющимся условиям помеховой обстановки.

17. Разработаны математические модели для определения «реакции» исследуемых алгоритмов получения обобщённых данных на изменения состояний помеховой обстановки. Их использование позволяет значительно расширить возможности улучшения достоверности на основе установления связи между возможными состояниями этих алгоритмов и состояниями помеховой обстановки, в которых они применяются. Они позволяют значительно расширить круг исследовательских задач (в частности, касающихся возможностей повышения достоверности при уси-

лении помех в отдельных каналах разнесения, при исключении данных некоторых каналов разнесения из процесса получения обобщённых данных).

Диссертационная работа является итогом исследований, проведенных самостоятельно автором за период с 1996 по 2021 год, по улучшению ИТО путём развития ПТС и информационных технологий, касающихся, прежде всего, разнесённого приема ТМИ.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АБГШ	– аддитивный белый гауссов шум
БЗУ	– бортовое запоминающее устройство
БИТС	– бортовая информационно-телеметрическая система
БМП	– быстроменяющиеся параметры
БРТС	– бортовая радиотелеметрическая система
ВРК	– временное разделение каналов
ВХД	– весовые характеристики достоверности
ВЦ	– вычислительный центр
ГТС	– групповой телеметрический сигнал
ДУ	– двигательная установка
ИКК	– измерительный комплекс космодрома
ИП	– измерительный пункт
ИС	– информационная сеть
ИТ	– информационные технологии
ИТО	– информационно-телеметрическое обеспечение
ИХ	– интегральные характеристики
КА	– космический аппарат
КСИСО	– комплекс средств измерений, сбора и обработки
ЛК	– локальный коммутатор
ЛИ	– лётные испытания
ЛПР	– лицо, принимающее решение
МКСР	– многофункциональная космическая система ретрансляции
ММП	– медленноменяющиеся параметры
НИП	– наземный измерительный пункт
НП	– непосредственная передача
ОК	– основной коммутатор
ПО	– программное обеспечение
ПП	– первичные преобразователи
ППИ	– полная потеря информации
ПРД	– передатчик
ПРМ	– приёмник
ПРС	– приёмно-регистрирующая станция
ПТИ	– программа телеметрических измерений
ПТС	– программно-технические средства
ПЭВМ	– персональная электронно-вычислительная машина
РБ	– разгонный блок
РКН	– ракета космического назначения
РКТ	– ракетно-космическая техника
РН	– ракета-носитель
РТС	– радиотелеметрическая система
СЕВ	– система единого времени
СК	– стартовый комплекс
СР	– спутник-ретранслятор



ТЗ	– техническое задание
ТК	– телеметрический комплекс
ТМИ	– телеметрическая информация
ТМП	– телеметрируемый параметр
УРП	– управляемый разнесённый приём
ТС	– техническая система
ФОМДТ	– формирование обобщённого массива данных телеизмерений
ЧПИ	– частичная потеря информации
ШКС	– широкополосный канал связи
ШЭ	– штатная эксплуатация
ЭМВОС	– эталонная модель взаимосвязи открытых систем

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Адаптивные телеизмерительные системы / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, С.Н. Долинов, Л.Г. Журавин, Е.И. Семенов, А.В. Фремке; Под ред. А.В. Фремке. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – 248с.
- 2 Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения. – М.: Московский рабочий, 1969. – 270с.
- 3 Андронов И. С., Финк Л.М. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам. – М.: Сов. радио, 1971. – 408с.
- 4 Антонов А.В. Информация: восприятие и понимание. – Киев: Наук. думка, 1988. – 184с.
- 5 Антонова Г.М., Удалов А.И., Шишкевич Е.В. Автоматизация эксперимента при испытаниях ЛА: Учебное пособие. – М.: МАИ, 1989. – 73с.
- 6 Аппаратура бортовая «Орбита-IVМО». Руководство по эксплуатации ЯГАИ.460800. 001 РЭ, Ч. 1 и Ч. 2, 2001г.
- 7 Артемьев В.Ю., Воронцов В.Л. О подходах к разработке отечественного стандарта по телеметрии в ракетно-космической и ракетной технике // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. № 1. – С. 32-38.
- 8 Артемьев В.Ю., Воронцов В.Л. О стандартизации, эффективности, целях и стимулах, касающихся развития отечественной телеметрии, относящейся к ракетно-космической и ракетной технике // Электронный журнал «Труды МАИ». 2011. № 44. – С. 1-15.
- 9 Артемьев В.Ю., Воронцов В.Л. Анализ точностных возможностей алгоритма преобразования первичных сигналов в бортовой информационно-телеметрической системе // Измерительная техника. 2012. № 1. – С. 20-23.
- 10 Артемьев В.Ю., Воронцов В.Л. Анализ возможностей использования сведений, содержащихся в документах CCSDS, для создания научно-методического обеспечения процесса стандартизации отечественной телеметрии, относящейся к ракетно-космической и ракетной технике. Тезисы доклада в Открытом акционерном обществе «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем»: Тезисы докладов IV Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий» 15-17 июня 2011 года, М.: «Радиотехника», 2011. – С. 153-154;

11 Банкет В.Л. Помехоустойчивое кодирование в телекоммуникационных системах: учеб. пособие по изучению модуля 4 дисциплины ТЭС / В.Л. Банкет, П.В. Иващенко, Н.А. Ищенко. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2011. – 104с.

12 Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 576с.

13 Блэк Ю. Сети ЭВМ: Протоколы, стандарты, интерфейсы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 506с.

14 Богомолов О.С., Стёпкин В.С. Автоматизированная обработка телеметрической информации: Учебное пособие. – МО СССР, 1977. – 166с.

15 Бородин Л.Ф. Приёмник с плавающим (случайным) порогом // Электро-связь. 1960. № 12. – С. 61-68.

16 Бородин Л.Ф. Введение в теорию помехоустойчивого кодирования. – М.: Сов. радио, 1968. – 408с.

17 Варакин Л.Е. Теория систем сигналов. – М.: Сов. радио, 1978. – 304с.

18 Васильев В.В., Мороз В.И., Рогатовский И.П. Управление метрологическим состоянием телеметрических радиотехнических средств. – В сб.: Информационные сети, системы и методы / Под общ. ред. О.П. Новикова. – М.: Военная академия имени Ф.Э. Дзержинского, 1996. – С. 213-215.

19 Васильев В.В., Потюпкин А.Ю. Особенности оценивания состояния сложных систем, МО РФ, 2004.

20 Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1980. – 208с.

21 Войцеховский А.И., Малинин А.А. Вибропрочностная обработка изделий ракетно-космической техники // Космонавтика и ракетостроение. 2012. № 2. – С. 172-178.

22 Волков И.К., Загоруйко Е.А. Исследование операций: Учеб. для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 436с.

23 Воронцов В.Л. Алгоритмы получения обобщённых данных телеизмерений при лётных испытаниях ракетно-космической техники // Приборы и системы управления. 1998. № 6. – С. 21-24.

24 Воронцов В.Л. Возможности алгоритма преобразования первичных сигналов в бортовой информационно-телеметрической системе // Приборы и системы управления. 1998. № 8. – С. 68-71.

25 Воронцов В.Л. Анализ возможностей повышения точности телеизмерений при разнесённом приёме аналоговых реализаций аналоговых сигналов // Приборы и системы управления. 1999. № 2. – С. 19-23.

26 Воронцов В.Л. Разработка модели источника ошибок в каналах разнесения. – В сб.: Исследование и моделирование ракетно-космических комплексов и их элементов, М.: Изд-во МАИ, 1999. – С. 34-42.

27 Воронцов В.Л. Целесообразность использования опыта построения современных АСУ ТП в условиях полигонных испытаний ракетно-космической техники // Промышленные АСУ и контроллеры. 2000. № 4. – С. 21-25.

28 Воронцов В.Л. Подход к планированию процесса усовершенствования технической системы по экономическим показателям // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2000. № 5. – С. 76-80.

29 Воронцов В.Л. Алгоритм получения обобщённых данных, основанный на подборе весовых характеристик достоверности // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2000. № 10. – С. 48-51.

30 Воронцов В.Л. Анализ факторов, влияющих на достоверность, обеспечиваемую алгоритмами получения обобщённых данных // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2000. № 12. – С. 70-73.

31 Воронцов В.Л. Об оценивании эффективности технических систем в условиях неопределённости // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2001. № 12. – С. 73-80.

32 Воронцов В.Л. Анализ условий и возможностей обеспечения достоверности алгоритмами получения обобщённых данных // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. № 6. – С. 53-57.

33 Воронцов В.Л. Анализ результатов тестирования по вопросам усовершенствования технических систем. – В сб.: Исследование и моделирование ракетно-космических комплексов и их элементов, М.: Изд-во МАИ, 2004. – С. 91-97.

34 Воронцов В.Л. Анализ условий улучшения достоверности обобщённых данных при усилении помех в одном канале разнесения // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. № 8. – С. 48-52.

35 Воронцов В.Л. Анализ возможностей повышения достоверности при исключении данных некоторых каналов разнесения из процесса получения обобщённых данных // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. № 9. – С. 55-59.

36 Воронцов В.Л. Об оценке эффективности разнесённого приёма телеметрической информации при лётных испытаниях ракетно-космической техники // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2003. № 7. – С. 50-53.

37 Воронцов В.Л. Об устранении несимметричности каналов разнесения при выделении данных из аналоговых реализаций четырёхпозиционных сигналов. – В сб.: Исследование и моделирование ракетно-космических комплексов и их элементов, М.: Изд-во МАИ, 2004. – С. 26-31.

38 Воронцов В.Л. Анализ возможностей использования корректирующих кодов для повышения помехоустойчивости разнесённого приёма данных // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2003. № 9. – С. 44-50.

39 Воронцов В.Л. Анализ целесообразности и возможностей повышения оперативности получения обобщённого массива данных телеизмерений при лётных испытаниях ракетно-космической техники // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2003. №12. – С. 44-50.

40 Воронцов В.Л. О контроле верности телеизмерений быстроменяющихся параметров при лётных испытаниях ракетно-космической техники // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2004. № 3. – С. 49-55.

41 Воронцов В.Л., Самойлов П.А. О некоторых проблемных вопросах внедрения в телеметрический комплекс космодрома современных программно-технических средств. – В сб.: Научно-технический сборник трудов испытателей космодрома. – Государственный испытательный космодром Байконур, 2005. – С. 118-125.

42 Воронцов В.Л. О сокращении численности приёмно-регистрирующих станций, используемых для приёма телеметрической информации при запусках

изделий ракетно-космической техники // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2005. № 10. – С. 51-57.

43 Воронцов В.Л., Лукин Р.П. Повышение эффективности информационно-телеметрического обеспечения в условиях риска потерь информации из-за аварий запускаемых ракетно-космических изделий // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2006. № 3. – С. 46-51.

44 Воронцов В.Л. Пути улучшения технологии сбора телеметрической информации по широкополосным каналам связи. – В сб.: Исследование и моделирование ракетно-космических комплексов и их элементов, М.: Изд-во МАИ, 2007. – С. 16-22.

45 Воронцов В.Л. Общая стратегия формирования данных о быстроменяющихся параметрах в бортовой информационно-телеметрической системе // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. № 5. – С. 47-50; № 7. – С. 29.

46 Воронцов В.Л. Методические аспекты разработки отечественных стандартов по телеметрии, относящейся к ракетно-космической и ракетной технике. – В сб.: Исследование и моделирование ракетно-космических комплексов и их элементов. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2009. – С. 3-9.

47 Воронцов В.Л. Об улучшении качества программного обеспечения для телеметрического комплекса космодрома. – В сб.: Исследование и моделирование ракетно-космических комплексов и их элементов. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2009. – С. 9-15.

48 Воронцов В.Л., Самойлов П.А. Основы концепции построения и развития бортовых радиотелеметрических систем и программно-технических средств телеметрического комплекса космодрома // Измерительная техника. 2012. № 4. – С. 9-13.

49 Воронцов В.Л. Анализ возможностей использования рекомендаций CCSDS с целью улучшения технических характеристик отечественных космических радиолиний, предназначенных для передачи телеметрической информации с объектов различного назначения // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2016. Т. 3. Вып. 2. – С. 66-72.

50 Воронцов В.Л. Улучшение достоверности данных путём использования возможностей разнесённого приёма // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2017. Т. 4. Вып. 1. – С. 61-70.

51 Воронцов В.Л. Модернизация алгоритмов получения обобщённых данных при комплексировании методов разнесённого приёма и декодирования данных // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2018. Т. 5. Вып. 1. – С. 86-92.

52 Воронцов В.Л. Проблемно-ориентированный метод установления ограничений (требований) к комплексированию средств информационно-телеметрического обеспечения // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2019. Т. 6. Вып. 1. – С. 83-93.

53 Воронцов В.Л. Методы управляемого разнесённого приёма данных телеизмерений // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2019. Т. 6. Вып. 4. – С. 66-74.

54 Воронцов В.Л. Способ сжатия данных телеизмерений и устройство для его осуществления. Пат. № 2071123, БИ № 36 от 27.12.1996.

55 Воронцов В.Л., Капинос Е.Ф. Накопитель. Пат. № 2070772, БИ № 35 от 20.12.1996.

56 Воронцов В.Л. Способ разнесённого приёма данных. Пат. № 2052898, БИ № 2 от 20.01.1996.

57 Воронцов В.Л. Устройство преобразования данных измерений. Пат. № 2079892, БИ № 14 от 20.05.1997.

58 Воронцов В.Л. Способ определения весовых характеристик достоверности для обработки принятых многопозиционных сигналов. Пат. № 2339164, БИ № 32 от 20.11.2008.

59 Воронцов В.Л. Способ формирования синхроимпульсов при приёме цифровых сигналов. Пат. № 2446438, БИ № 9 от 27.03.2012.

60 Воронцов В.Л. Методы разнесённого приёма телеметрической информации и условия их применения в процессе развития телеметрического комплекса космодрома. – Набережные Челны: Изд-во Камской госуд. инж.-экон. акад., 2008. – 306с.

61 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.

62 Воронцов В.Л. О направлениях работы по выполнению требований, предъявляемых к эффективности информационно-телеметрического обеспечения, касающегося ракет-

но-космической и ракетной техники. Доклад на НТК в ФГУП НПО ИТ 6-7 ноября 2008 года. Тезисы доклада в материалах отраслевой НТК приборостроительных организаций Роскосмоса «Информационно-управляющие и измерительные системы-2008», Королёв, 2008.

63 Воронцов В.Л. Повышение эффективности процесса развития отечественных бортовых радиотелеметрических систем, программно-технических средств телеметрических комплексов космодромов и соответствующих информационных технологий путём стандартизации. Доклад на НТК в ОАО «НПО ИТ» 11 ноября 2010 года. Тезисы доклада в материалах отраслевой НТК приборостроительных организаций Роскосмоса «Информационно-управляющие и измерительные системы-2010», Королёв, 2010. – С. 59-63.

64 Воронцов В.Л. Предложения по формулированию для CCSDS рекомендаций, касающихся методов, относящихся к формированию обобщённых данных. Доклад на НТК в ОАО «НПО измерительной техники» 23 сентября 2011 года. Тезисы доклада в материалах отраслевой НТК приборостроительных организаций Роскосмоса «Информационно-управляющие и измерительные системы-2011», Королёв, 2011. – С. 99-101.

65 Воронцов В.Л. Улучшение результативности разнесённого приёма данных путём применения помехоустойчивых методов модуляции и предшествующих ему преобразований принятых сигналов. Доклад на НТК в ОАО «НПО измерительной техники» 20 сентября 2012 года. Тезисы доклада в материалах отраслевой НТК приборостроительных организаций Роскосмоса «Информационно-управляющие и измерительные системы-2012», Королёв, 2012. – С. 44-46.

66 Воронцов В.Л. Сущности технологии повышения достоверности данных, описанной в Оранжевой Книге CCSDS 551.1-O-1 «Correlated Data Generation», и возможности её применения в практике. Доклад на XXIII Международной научной конференции «Системный анализ, управление и навигация». Тезисы доклада в материалах конференции, Евпатория, 2018. – С. 73-75.

67 Воронцов В.Л. Результаты усовершенствования технологии повышения достоверности данных, описанной в Оранжевой Книге CCSDS 551.1-O-1 «Correlated Data Generation». Доклад на XXIV Международной научной конференции «Системный анализ, управление и навигация». Тезисы доклада в материалах конференции, Евпатория, 2019. – С. 84-88.



- 68 Гафт М.Г. Принятие решений при многих критериях. – М.: Знание, 1979. – 64с.
- 69 Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. – М.: Наука, 1987. – 552с.
- 70 Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надёжности. – М.: Наука, 1965. – 524с.
- 71 ГОСТ 19619-74. Оборудование радиотелеметрическое. Термины и определения. – М.: Изд-во официальное, 1988.-26с.
- 72 Государственная комиссия по радиочастотам (ГКРЧ). Нормы 18-13. Радиопередающие устройства гражданского назначения. Требования на допустимые уровни побочных излучений. Утверждена решением Государственной комиссии по радиочастотам от 24 мая 2013 г. № 13-18-03.
- 73 Грибков Н.В., Бобылев А.В., Юрков Ю.А., Жуковский С.Ю., Грибков В.Н. Радио-передающее устройство с частотной модуляцией и временным разделением каналов для высокоинформативных телеметрических систем // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2017. Т. 4. Вып. 2. – С. 61-67.
- 74 Гуткин Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1986. – 288с.
- 75 Давыдов И.А., Сухарев Д.А. Бортовая объектовая интеллектуальная система мониторинга и контроля РКТ. Принципы построения и концепция функционирования. Доклад на НТК в ОАО «НПО измерительной техники» 20 сентября 2012 года. Тезисы доклада в материалах отраслевой НТК приборостроительных организаций Роскосмоса «Информационно-управляющие и измерительные системы-2012», Королёв, 2012. – С. 20-24.
- 76 Ерёменко В.А., Жданов С.Г. Методы описания метрологических свойств измерительных каналов информационных измерительных систем. – М.: Ракетные войска стратегического назначения, 1997. – 95с.
- 77 Зайцев Ю.А., Коновалов В.П., Ковылин П.Н., Максимов А.М., Старостин В.Н. Проблемы глобального информационно-телеметрического обеспечения запусков РКН по необорудованным трассам. – В Трудах научно-технической конференции МНТОРЭС имени А.С. Попова: В 2 т.: Проблемы эффективности управления и связи РВСН и применения космических систем военного назначения / Под общ. ред. В.В. Василенко. – М.: Военная академия РВСН им. Петра Великого. Т2, 2003. – С. 208-212.

78 Зайцев Ю.А., Парисенков Е.Е. Способ автовыбора пакетной цифровой информации: А.С. СССР № 1262737. – Бюл. № 37, 1986.

79 Зайцев Ю.А., Победоносцев В.А. Тенденции и перспективы развития бортовых информационных систем для испытаний авиационной техники гражданского назначения // Приборы и системы управления. 1993. № 8. – С. 22-24.

80 Землянский Д.В. Подсистема управления и контроля системы разнесённого приёма телеметрической информации. – В сб.: Исследование и моделирование ракетно-космических комплексов и их элементов, М.: Изд-во МАИ, 2004. – С. 39-42.

81 Зюбин В.Е. К пятилетию стандарта ИЕС 1131-3. Итоги и прогнозы // Приборы и системы управления. 1999. № 1. – С. 64-71.

82 Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи. – М.: Связь, 1972. – 360с.

83 Ицкович Э.Л. Мировые тенденции развития микропроцессорных ПТК // Промышленные АСУ и контроллеры. 2000. № 2. – С. 1-5.

84 Калашников И.Д., Курмаев А.Ж., Одинцов Л.Н., Сухарев Д.А., Победоносцев В.А. Комплекс средств «Пирит» для построения информационно-измерительных систем процессов // Приборы и системы управления. 1993. № 9. – С.1-4.

85 Кантор А.В. Аппаратура и методы измерений при испытаниях ракет. – Воениздат, 1963. – 520с.

86 Капинос Е.Ф., Грек О.И., Гумённый Ю.В., Гужевников Н.Н. Устройство для передачи и приёма телеметрической информации. А.с. № 1681319, БИ № 36 от 30.09.1991.

87 Кларк Дж. мл., Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи. – М.: Радио и связь, 1987. – 391с.

88 Козырев Г.И. Методы идентификации средств телеизмерений в условиях воздействия неопределённых дестабилизирующих факторов. – СПб.: ВИККА имени А.Ф. Можайского, 1996. – 90с.

89 Компьютер обретает разум: Пер. с англ. / Под ред. и с предисловием В.Л. Стефанюка. – М.: Мир, 1990. – 240с.

90 Космические радиотехнические комплексы / Под общ. ред. Г.В. Стогова. – МО СССР, 1986. – 626с.

91 Кочетков Г.Б. Эффективна ли информатизация? – В сб.: Компьютеры и экономика: экономические проблемы компьютеризации общества. – М.: Наука, 1991. – 190с. (Серия «Кибернетика – неограниченные возможности и возможные ограничения»). – С. 78-90.

92 Кузина С. Всюду жизнь... Даже на Венере // Российский космос. 2012. № 4. – С. 58-61.

93 Кузьмин А.М. Диаграмма Парето // Методы менеджмента качества. 2005. № 12. – С. 29.

94 Кузьмин А.М. ТРИЗ. Приёмы устранения технических противоречий // Методы менеджмента качества. 2005. № 5

95 Кукушкин С.С. Конечные поля и информатика: В 2 т. – т. 1: Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках. – М.: МО РФ, 2003. – 284с.

96 Кулик Б.А. Логические основы здравого смысла / Под ред. Д.А. Поспелова. – СПб.: Политехника, 1997. – 131с.

97 Ланге Ф.Г. Статистические аспекты построения измерительных систем: Пер. с нем. под. ред. Б.Р. Левина и Г.Я. Мирского. – М.: Радио и связь, 1981.

98 Лантратов К. Пресс-конференция перед стартом «Марса-96» // Новости космонавтики (Компания «Видеокосмос»). 1996. № 22/23.

99 Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а Также Хроника событий в Волшебных Странах: Учебник. – М.: Логос, 2000. – 296с.

100 Лурье С. Вторая волна // СНИР. 2004. № 3. – С. 102-104.

101 Макаров В.Л. Информатизация и экономика интеллектуальных продуктов.- В сб.: Компьютеры и экономика: экономические проблемы компьютеризации общества.-М.: Наука, 1991.-190с.

102 Маккей Х. Как уцелеть среди акул: (Опередить конкурентов в умении продавать, руководить, стимулировать, заключать сделки): Пер. с англ. / Пер.: Ю.В. Семенов; Предисл.: И.В. Липсиц, Л.Б. Невзлин; Под общ. ред. И.В. Липсица. – М.: Экономика, 1992. – 172с.

103 Мановцев А.П. Основы теории радиотелеметрии. – М.: Энергия, 1973. – 592с.

104 Медейрос Д. CompactPCI на волне Мура // Мир компьютерной автоматизации. 1999. № 2. – С. 46-48.

105 Методика определения экономической эффективности АСУ предприятиями и производственными объединениями. – М.: Статистика, 1979.-62с.

106 Методы и алгоритмы первичной обработки результатов измерений / В.И. Мороз, В.Ф. Пастухов, Е.К. Ромашенко / под ред. В.И. Мороза. - М.: МО СССР, 1991. - 131с.

107 Мидлтон Д. Введение в статистическую теорию связи. Т.1. – М.: Сов. радио, 1961. – 782с.

108 Мидлтон Д. Введение в статистическую теорию связи. Т.2. – М.: Сов. радио, 1962. – 831с.

109 Мидлтон Д. Очерки связи. – М.: Сов. радио, 1966. – 160с.

110 Мирский Г.Я. Микропроцессоры в измерительных приборах. – М.: Радио и связь, 1984. – 160с.

111 Мирский Г.Я. Характеристики стохастической взаимосвязи и их измерения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320с.

112 Модуль цифрового ввода М2081. Техническое описание БЛИЖ.404250.004-01 ТО, 2001 г.

113 Модуль М1181Е1. Техническое описание БЛИЖ.404210.001-01 ТО, 1999 г.

114 Модуль М2181Е1. Техническое описание БЛИЖ.404210.002-01 ТО, 2001 г.

115 Моисеев Н.Н. Люди и кибернетика. – М.: Мол. гвардия, 1984. – 224с.

116 Моисеев Н.Н. Социализм и информатика.-М.: Политиздат, 1988.-285с.

117 Мороз А.П. К вопросу использования сигналов акустической эмиссии в бортовых радиотелеметрических системах. Доклад на НТК в ОАО «НПО измерительной техники» 23 сентября 2011 года. Тезисы доклада в материалах отраслевой НТК приборостроительных организаций Роскосмоса «Информационно-управляющие и измерительные системы-2011», Королёв, 2011. – С. 53-55.

118 Мороз В.И. Адаптация к метрологическому состоянию измерительных систем при оперативном контроле объектов: Межотраслевой научно-технический сборник, серия «Контроль и диагностика», 1991, выпуск № 2, С.44-50.

119 Морозов В.К., Долганов А.В. Основы теории информационных сетей: Учебн. для студентов вузов спец. «Автоматизация и механизация процессов обработки и выдачи информации». – М.: Высш. шк., 1987. – 271с.

120 Муттер В.М. Основы помехоустойчивой телепередачи информации. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 288с.

121 Мухина М.К. Изучение стиля жизни потребителей и сегментирование рынка на основе психографических типов // Маркетинг в России и за рубежом. 2000. № 3. – С. 3-20.

122 Надёжность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдудевский (предс.) и др. – М.: Машиностроение. Т.1: Методология. Организация. Терминология. / Под ред. А.И. Рембезы. – М.: Машиностроение, 1986. – 224с.

123 Надёжность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдудевский (предс.) и др. – М.: Машиностроение. Т.2: Математические методы в теории надёжности и эффективности / Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Машиностроение, 1987. – 280с.

124 Надёжность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдудевский (предс.) и др. – М.: Машиностроение. Т.3: Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328с.

125 Назаров А.В., Козырев Г.И., Шитов И.В. и др. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс. – СПб.: Наука и Техника, 2007. – 672с.

126 Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. – Л.: Энергия, 1968. – 248с.

127 Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248с.

128 Норенков И.П., Трудоношин В.А. Телекоммуникационные технологии и сети. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 232с.

129 Ольховский Ю.Б., Новосёлов О.Н., Мановцев А.П. Сжатие данных при телеизмерениях / Под ред. В.В. Чернова. – М.: Сов. радио, 1971. – 304с.

130 Орищенко В.И., Санников В.Г., Свириденко В.А. Сжатие данных в системах сбора и передачи информации / Под ред. В.А. Свириденко. – М.: Радио и связь, 1985.

131 Орлов А.И. Эконометрика: Методы размножения выборок (бутстреп-методы). – [http://www.aup.ru/books/m153/11\\_4.htm](http://www.aup.ru/books/m153/11_4.htm), 2002.

132 Основы испытаний летательных аппаратов: Учебник для вузов / Е.И. Кринецкий, Л.Н. Александровская, В.С. Мельников, Н.А. Максимов; Под общ. ред. Е.И. Кринецкого.- М.: Машиностроение, 1989.-312с.

133 ОСТ 134-1020-2008. Нормативный документ по стандартизации РКТ. Системы и комплексы космические. Термины и определения. – М.: Федеральное космическое агентство, 2008.-56с.

134 Петров А.В., Яковлев А.А. Анализ и синтез радиотехнических комплексов / Под ред. В.Е. Дулевича. – М.: Радио и связь, 1984. – 248с.

135 Питер Л. Дж. Принцип Питера, или Почему дела идут вкривь и вкось: Пер. с англ. / Сост. предисл. и пер. Л.В. Степакова.- М.: Прогресс, 1990.-320с.

136 Победоносцев В.А. 50 лет постановке проблемы сжатия данных (1948-1998) // Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 1998. № 4. – С.114-122.

137 Победоносцев В.А. Очерки истории развития отечественной ракетной радиотелеметрии (1946-2006гг.) и место системы БРС-4 в этой истории. – М.: Тривант, 2007. – 160с.

138 Победоносцев В.А. Предложения по созданию первого варианта российского стандарта по телеметрии, обеспечивающего совместимость модифицированных средств систем РТСЦ-БИТС, БРС-4 и ОРБИТА и преемственность этих модификаций с развёрнутыми средствами. – В Трудах научно-технической конференции МНТОРЭС имени А.С. Попова: В 2 т.: Проблемы эффективности управления и связи РВСН и применения космических систем военного назначения / Под общ. ред. В.В. Василенко. – М.: Военная академия РВСН им. Петра Великого. Т2, 2003. – С. 173-179.

139 Победоносцев К.А. Агрегатирование – эффективный путь создания радиотелеметрических систем // Аэрокосмический курьер. 2004. № 4. – С.58-61.

140 Подиновский В.В. Математическая теория выработки решений в сложных ситуациях. – М.: МО СССР, 1981. – 211с.

141 Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / Под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272с.

142 Порошков В.В. Создание ПИК для РКК «Энергия-Буран». – В сб. материалов, документов, воспоминаний ветеранов измерительного комплекса космодрома «Байконур»: Измерительный комплекс космодрома Байконур / под общ. ред. К.Х. Осканяна. – Байконур: Войсковая часть 68526, 1999. – С. 124-181.

143 Потапова Т.Б. Структурный анализ системы управления непрерывным замкнутым производством // Приборы и системы управления. 1999. № 12.

144 Потапова Т.Б. Методология анализа рациональных путей модернизации автоматизированных систем на предприятиях непрерывной технологией // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2000. № 7. – С. 1-11.

145 Потапова Т.Б. Синергетика управления непрерывным производством. Проблемы автоматизации // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2000. № 9. – С. 1-12.

146 Призваны временем. Ракеты и космические аппараты конструкторского бюро «Южное» / под общ. ред. С.Н. Колюхова. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2004.

147 Прокис Д. Цифровая связь. Пер. с англ./Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800с.

148 Пронин Е.Г., Могуева О.В. Проектирование бортовых систем обмена информации. – М.: Радио и связь, 1989. – 240с.

149 Пушкин Н.М., Картушин С.М., Кукушкин Д.Ю. Переменное магнитное поле ионизированного газового потока – новый параметр контроля и диагностики ракетных двигателей. Доклад на НТК в ОАО «НПО измерительной техники» 20 сентября 2012 года. Тезисы доклада в материалах отраслевой НТК приборостроительных организаций Роскосмоса «Информационно-управляющие и измерительные системы-2012», Королёв, 2012. – С. 49-51.

150 Разорёнов Г.Н. Введение в теорию оценивания состояния динамических систем по результатам измерений: Учебное пособие. – М.: МО СССР, 1981. – 272с.

151 Росс Л., Нисбетт Р. Человек и ситуация. Перспективы социальной психологии / Пер. с англ. В.В. Румынского под ред. Е.Н. Емельянова, В.С. Магуна – М.: Аспект Пресс, 1999. – 429с.

152 Рубцов В.А., Закидкин М.Н., Андрейко А.Н. Аппаратные средства комплекса «Родник» передачи телеметрической информации по широкополосным каналам связи // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2001. №10. – С. 35-37.

153 Саати Т. Принятие решений: Пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 278с.

154 Самойлов П.А. Анализ перспектив развития программно-технических средств для приёма и регистрации телеметрической информации. – В сб.: Исследование и моделирование ракетно-космических комплексов и их элементов, М.: Изд-во МАИ, 2004. – С. 32-38.

155 Сафаров Р.Т., Буга Н.Н., Зверев Р.И., Шитов И.В. Радиотелеметрия. Ч I. – М.: МО СССР, 1973. – 422с.

156 Сафаров Р.Т., Зверев Р.И., Шитов И.В. Радиотелеметрия. Ч II. – М.: МО СССР, 1973. – 308с.

157 Сидорук В. Украинские ВИП убедили американцев отказаться от услуг NASA // Держава. 18-24 мая 2007. № 20 (366).

158 Сикарев А.А., Фалько А.И. Оптимальный прием дискретных сообщений. – М.: Связь, 1978. – 328с.

159 Системы связи: Уч. пособие для втузов / В.И. Васильев, А.П. Буркин, В.А. Свириденко – М.: Высш. шк., 1987. – 280с.

160 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104с.

161 Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Сов. энциклопедия, 1984. – 1600с.

162 Соломонов Ю.С., Васильев Ю.С., Зинченко С.М. и др. Методические основы создания космических ракетных комплексов лёгкого класса. – М.: Универсум, 2003. – 256с.

163 Справочник по спутниковой связи и вещанию / Под ред. А.В. Кантора. – М.: Радио и связь, 1983. – 288с.

164 Справочник по телеметрии / Под ред. Э. Грюнберга. – М.: Машиностроение, 1979. – 484с.



165 Станция «Приморец НП-01». Руководство по эксплуатации КДШЮ. 464522.003 РЭ, 2005г.

166 Стратонович Р.Л. Принцип адапционного приёма. – М.: Сов. радио, 1973. – 144с.

167 Сухина В.Ф. Человек в мире информатики. – М.: Радио и связь, 1992. – 112с.

168 Тараканов В.Е. Комбинаторные задачи и  $(0,1)$ -матрицы. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 192с.

169 Тараненко В.П. Проблема управления процессом сжатия данных телеизмерений при сборе телеметрической информации. – В сб.: Информационные сети, системы и методы / Под общ. ред. О.П. Новикова. – М.: Военная академия имени Ф.Э. Дзержинского, 1996. – 284с.

170 Тараненко В.П. Оценка верхней границы временной целесообразности сжатия данных телеизмерений. – В сб.: Информационные сети, системы и методы / Под общ. ред. О.П. Новикова. – М.: Военная академия имени Ф.Э. Дзержинского, 1996. – 284с.

171 Тест: мобильные телефоны. Меньше, легче, лучше // Спрос. 1998. № 11/12.-С.18-24.

172 Торчилин В.П. Там, где кончается наука. – М.: Политиздат, 1991. – 126с.

173 Турин В.Я. Передача информации по каналам с памятью. – М.: Связь, 1977. – 248с.

174 Ушкар М.Н. Микропроцессорные устройства в радиоэлектронной аппаратуре / Под ред. Б.Ф. Высоцкого. – М.: Радио и связь, 1988.

175 Фалько А.И. Адаптивный разнесённый приём в каналах с сосредоточенными помехами // Радиотехника и электроника, 1977, т.22, № 4. – С.727-735.

176 Фалько А.И. Помехоустойчивость адаптивных систем разнесённого приёма с обучением в каналах с сосредоточенными и флуктуационными помехами // Радиотехника и электроника, 1975, т.20, № 11. – С. 2280-2285.

177 Фалько А.И. Помехоустойчивость некогерентного разнесённого приёма с когерентным сложением сигналов в каналах с сосредоточенными помехами // Радиотехника и электроника, 1982, т.27, № 4. – С. 746-751.

178 Фалько А.И. Адаптивный разнесённый приём при наличии стохастических сосредоточенных по спектру помех // Радиотехника и электроника, 1976, т.21, № 4. – С. 752-761.

179 Фалько А.И. К теории адаптивного приёма по параллельным каналам в условиях действия сосредоточенных помех // Радиотехника и электроника, 1978, т.23, № 5. – С. 993-1000.

180 Фалько А.И. Разнесённый приём с обучением в каналах с сосредоточенными и флуктуационными помехами // Радиотехника и электроника, 1975, т.20, № 10. – С. 2070-2079.

181 Финк Л.М. Сигналы, помехи, ошибки... Заметки о некоторых неожиданных, парадоксах и заблуждениях в теории связи. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984. – 256с.

182 Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. – М.: Сов. радио, 1963. – 576с.

183 Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. – М.: Радио и связь, 1986. – 264с.

184 Хетагуров Я.А., Древис Ю.Г. Проектирование информационно-вычислительных комплексов: Учеб. для вузов по спец. "АСУ".-М.: Высш. шк., 1987.-280с.

185 Холстед М.Х. Начала науки о программах / Пер. с англ. В.М. Юфы. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 128с.

186 Чуев Ю.В., Михайлов Ю.Б., Кузьмин В.И. Прогнозирование количественных характеристик процессов. – М.: Сов. радио, 1975. – 400с.

187 Шаров С. Тест: видеокамеры. Съёмка на память // Спрос. 1998. № 7.-С.21-27.

188 Щербо В.К. Стандарты вычислительных сетей. Взаимосвязи сетей. Справочник. – М.: КУДИЦ – ОБРАЗ, 2000. – 272с.

189 Шахгильдян В.В., Лохвицкий М.С. Об одном способе приёма сигналов при неизвестной априорной статистике // Радиотехника и электроника, 1969, т.14, № 7. – С. 1225-1228.

190 Шахгильдян В.В., Лохвицкий М.С. Об алгоритме работы приёмного устройства в режиме самообучения // Радиотехника и электроника, 1970, т.15, № 3. – С. 608-610.

191 Шахгильдян В.В., Лохвицкий М.С. Методы адаптивного приёма сигналов. – М.: Связь, 1974. – 160с.

192 Шестопалова О.Л. Основы построения систем сбора и обработки информации о техническом состоянии космических средств. – Набережные Челны: Изд-во Камской госуд. инж.-экон. акад., 2007. – 92с.

193 Шлегель М. Сколько стоит рекламная пауза // Аргументы и факты. 2001. № 40.

194 Шляпоберский В.И. Элементы дискретных систем связи. – М.: МО СССР, 1962. – 236с.

195 Экономика вычислительных центров и правовое обеспечение их деятельности / Л.Ш. Гафт, И.И. Зарубин, Г.Л. Знаменский и др.; Под общ. ред. Л.Ш. Гафта.-Киев: Наукова думка, 1987.-108с.

196 Энергетические характеристики космических радиолиний / Под ред. О.А. Зенкевича. – М.: Сов. радио, 1972. – 436с.

197 Эрлих А.А. Технический анализ товарных и финансовых рынков: Прикладное пособие.- 2-е изд.- М.: ИНФРА-М, 1996.-176с.

198 Якубайтис Э.А. Информатика – Электроника – Сети. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 200с.

199 Bandwidth-Efficient Modulations: Summary of Definition, Implementation, and Performance, Informational Report CCSDS 413.0-G-2, Issue 2, Green Book, Consultative Committee for Space Data Systems, October 2009.

200 CCSDS Space Link Protocols over ETSI DVB-S2 Standard, Recommendation for Space Data System Standards CCSDS 131.3-B-1, Issue 1, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, March 2013.

201 Correlated Data Generation, Research and Development for Space Data System Standards CCSDS 551.1-O-2, Issue 2, Orange Book, Consultative Committee for Space Data Systems, August 2020.

202 Data Transmission and PN Ranging for 2 GHz CDMA Link via Data Relay Satellite, Recommended Standard CCSDS 415.1-B-1, Issue 1, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, September 2011.

203 Horan S. Introduction to PCM Telemetry Systems, CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, 1993. – 301p.

204 Larry M. Singer. New technology isn't always the best answer // Computer world USSR. 1991. № 11-12. – P. 14, 25.

205 Lossless Data Compression, Recommendation for Space Data System Standards CCSDS 121.0-B-1, Issue 1, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, May 1997.

206 Lossless Data Compression, Report Concerning Space Data System Standards CCSDS 120.0-G-1, Issue 1, Green Book, Consultative Committee for Space Data Systems, May 1997.

207 Mitola J. Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio. Ph. D. Dissertation. 2000.

208 Packet Telemetry, Recommendation for Space Data System Standards CCSDS 102.0-B-5, Issue 5, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, November 2000.

209 Panossian H.V., Ewing W.D. Real-Time Failure Detection Algorithm for the Space Shuttle Main Engine. <http://www.ieeecss.org/CSM/library/1997/aug1997/01-FailureAlgorithm.pdf>, 1997.

210 Procedures Manual for the Consultative Committee for Space Data Systems CCSDS A00.0-Y-9, Issue 9, Yellow Book, Consultative Committee for Space Data Systems, November 2003.

211 Pseudo-Noise (PN) Ranging Systems, Recommended Standard CCSDS 414.1-B-1, Issue 1, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, March 2009.

212 Pseudo-Noise (PN) Ranging Systems, Informational Report CCSDS 414.0-G-1, Issue 1, Green Book, Consultative Committee for Space Data Systems, March 2010.

213 Radio Frequency and Modulation Systems—Part 1: Earth Stations and Spacecraft, Recommendation for Space Data System Standards CCSDS 401.0-B-23, Issue 23, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, December 2013.

214 Rationale, Scenarios, and Requirements for DTN in Space, Informational Report CCSDS 734.0-G-1, Issue 1, August 2010.

215 Reference Architecture for Space Data Systems, Recommended Practice CCSDS 311.0-M-1, Issue 1, Magenta Book, Consultative Committee for Space Data Systems, September 2008.

216 Restructured Organization and Processes for the Consultative Committee for Space Data Systems CCSDS A02.1-Y-2, Issue 2, Yellow Book, Consultative Committee for Space Data Systems, April 2004.

217 Telemetry Group, Range Commanders Council, *Telemetry Standards (Part 1)*, IRIG Standard 106-07, Range Commanders Council, U.S. Army White Sands Missile Range, New Mexico, September 2007.

218 Telemetry Summary of Concept and Rationale, Report Concerning Telemetry CCSDS 100.0-G-1, Issue 1, Green Book, Consultative Committee for Space Data Systems, December 1987.

219 TM Space Data Link Protocol, Recommended Standard CCSDS 132.0-B-1, Issue 1, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, September 2003.

220 TM Synchronization and Channel Coding, Recommended Standard CCSDS 131.0-B-2, Issue 2, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, August 2011.

221 Vorontsov V. Application and Advancing of Technology for Data Reliability Improvement Presented in the Orange Book CCSDS 551.1-O-1 «Correlated Data Generation». Materials AIAA-2018-2314 international conference SpaceOps2018, Marseille, 2018.

222 Воронцов В.Л. Система информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения. Стратегии усовершенствования и применения. – М.: Горячая линия – Телеком, 2021. – 236с.

223 Воронцов В.Л., Давыдов И.А. Регламентирование процесса развития систем информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2021. Т. 8. Вып. 2. – С. 43-50.

224 Vorontsov V. Results of Simulating Algorithms for Correlated Data Generation described in CCSDS 551.1-O-2 Orange Book «Correlated Data Generation». Materials IAF-2021-1258 international conference SpaceOps2021, Cape Town, 2021.

225 Воронцов В.Л. Стратегии усовершенствования информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения использованием методов улучшения достоверности данных телеизмерений, описанных в Оранжевой Книге CCSDS 551.1-O-2 «Correlated Data Generation». – В сб.: Системный анализ, управление и навигация: Тезисы докладов. Сборник. М.: Изд-во МАИ, 2021. – С. 116-122.

### Некоторые пояснения сущностей применённых терминов

*Средства выведения орбитальных средств* [133] (далее – *средства выведения*) – это космические средства, предназначенные для доставки орбитальных средств с поверхности планеты в заданные области космического пространства с заданными параметрами движения. В рассматриваемых случаях планетой является Земля, а *средствами выведения*, в основном, – ракеты-носители (РН) и разгонные блоки (РБ) ракет космического назначения (РКН).

Телеметрируемые *средства выведения* являются *телеметрируемыми объектами* [71]. Типичными для космодрома *телеметрируемыми объектами* являются РКН и их составляющие. Кроме них, – стартовые комплексы (СК). К *телеметрируемым объектам* могут быть отнесены ПРС, параметры функционирования которых (соотношение сигнал/шум, уровень сигнала АРУ и т.д.) телеметрируются. *Телеметрируемыми объектами* могут быть и нетипичные для космодрома объекты. В зависимости от контекста, встречающийся в тексте данной работы термин «*телеметрируемые объекты*» может быть синонимом термина «*средства выведения*».

Полагаем, независимо от того, осуществляется ли пуск по программе ЛИ или ШЭ, результаты обработки полученной ТМИ и её анализа используют для усовершенствования *средств выведения (телеметрируемых объектов)*, т.е. осуществляется их *отработка*.

Осуществляют информационно-телеметрическое обеспечение *отработки средств выведения* (далее – ИТО), используя *систему ИТО*.

*Система ИТО* (СИТО) – располагаемые материально-технические, стоимостные, временные, людские и другие ресурсы, которыми может воспользоваться оперирующая сторона (в том числе исследователь операции) для достижения цели операции, относящейся к решению задач ИТО отработки средств выведения (см. «*Активные средства*» в гл. 4 [122]).

*Измерительный комплекс космодрома* (ИКК) – совокупность программно-технических средств и сооружений измерительных пунктов и вычислительного центра, в которых они размещены, предназначенных для получения и обработки информации о функ-

ционировании систем *средств выведения* и контроля их движения на участке выведения (см. «Измерительный комплекс космодрома» [133]).

*Телеметрический комплекс* (ТК) является частью ИКК и предназначен для решения задач ИТО отработки, прежде всего, РКН. ПТС, являющиеся элементами СИТО, входящие в его состав, размещены на измерительных пунктах (ИПах) и в вычислительном центре (ВЦ) космодрома, причём наиболее сложные задачи обработки ТМИ решаются в ВЦ.

При проведении пуска РКН определяют *комплекс средств измерений, сбора и обработки информации ракетно-космического комплекса* (КСИСО) [133], являющихся частью ИКК (и, соответственно, ТК). Определяют также элементы СИТО для решения отдельных задач ИТО – КСИСО ТМИ.

*Управление избыточностью* телеизмерений обеспечивается осуществлением стратегий усовершенствования и применения СИТО. Исходя из сущностей решаемой проблемы и существующей [122] терминологии, *стратегия операции усовершенствования (применения)* СИТО – это правила, предписывающие целенаправленные действия над множеством определённых объектов (над множеством телеметрируемых объектов, задач ИТО, ПТС – и т.д.) для усовершенствования (для применения по целевому назначению) *системы ИТО*.

*Операция* – совокупность действий, мероприятий, направленных на достижение некоторой цели, т.е. совокупность целенаправленных действий [122]. Применительно к технике – взаимодействие технических средств и людей.

*Эффективность операции* – степень соответствия реального результата операции желаемому [122].

**Практические примеры  
для пояснения сущностей решаемой проблемы**

**Проявление дефектов ТМИ в практике**

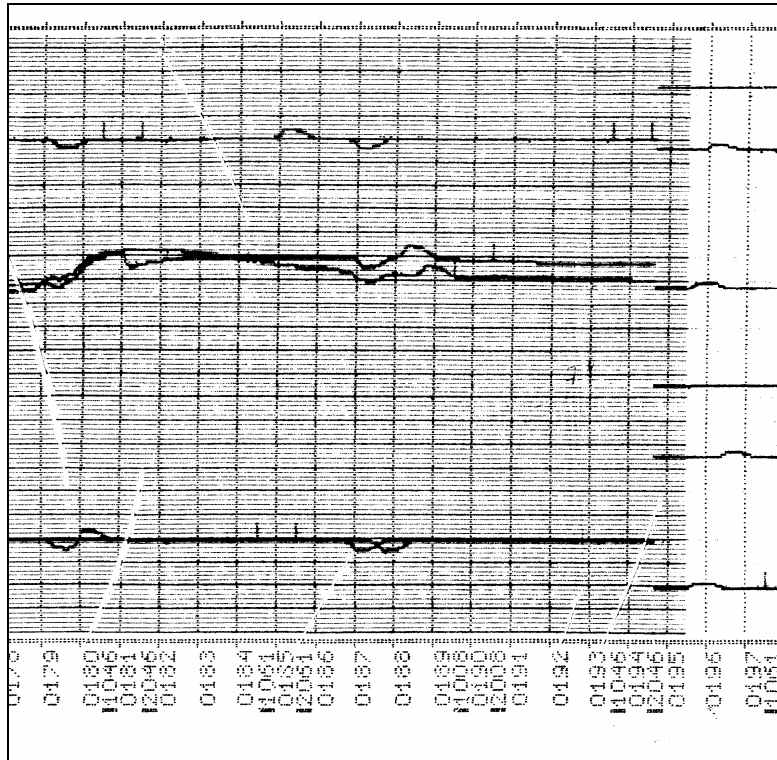


Рисунок Б.1 – График, иллюстрирующий искажения телеизмерений типа «наводка», возникающие из-за особенностей приёма ПРС. Из-за аналогичных искажений в процессе оперативного анализа было сделано ошибочное заключение о недопустимом угле поворота рулевого двигателя первой ступени РН «Союз»





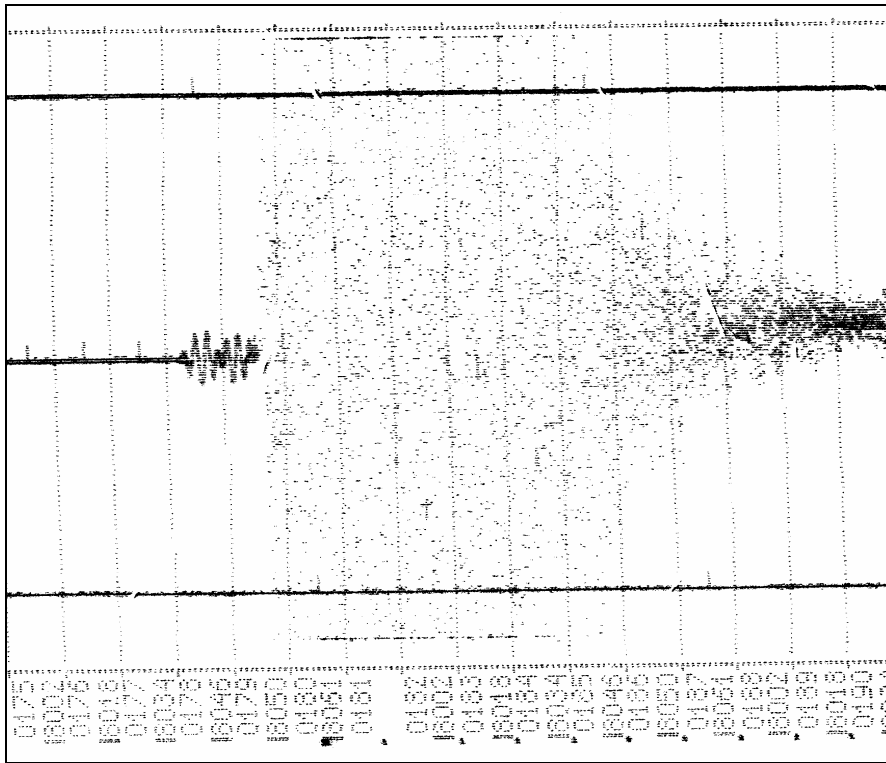


Рисунок Б.4 – График, иллюстрирующий процесс адаптации системы телеизмерений к телеметрируемым параметрам (РН «Протон-М» от 7.04.2001, параметр осевых перегрузок ОП32)

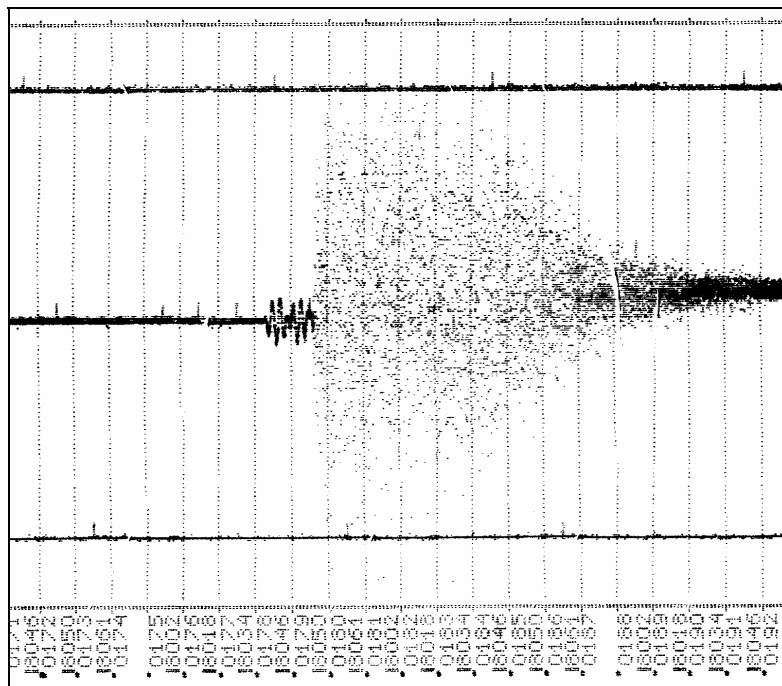


Рисунок Б.5 – График, иллюстрирующий процесс адаптации системы телеизмерений к телеметрируемым параметрам (РН «Протон-М» от 17.06.2004, параметр осевых перегрузок ОП32)

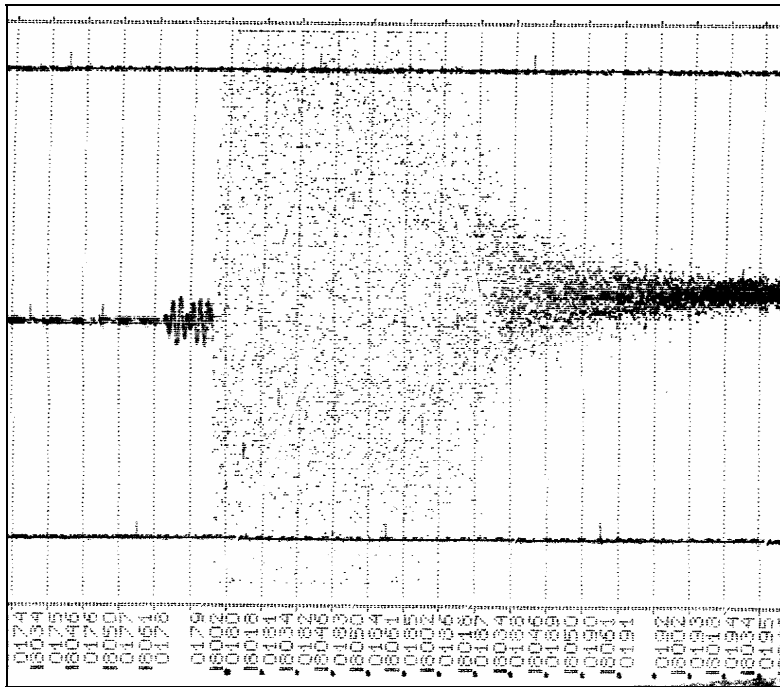


Рисунок Б.6 – График, иллюстрирующий процесс адаптации системы телеизмерений к телеметрируемым параметрам (РН «Протон-М» от 5.08.2004, параметр осевых перегрузок ОП32)

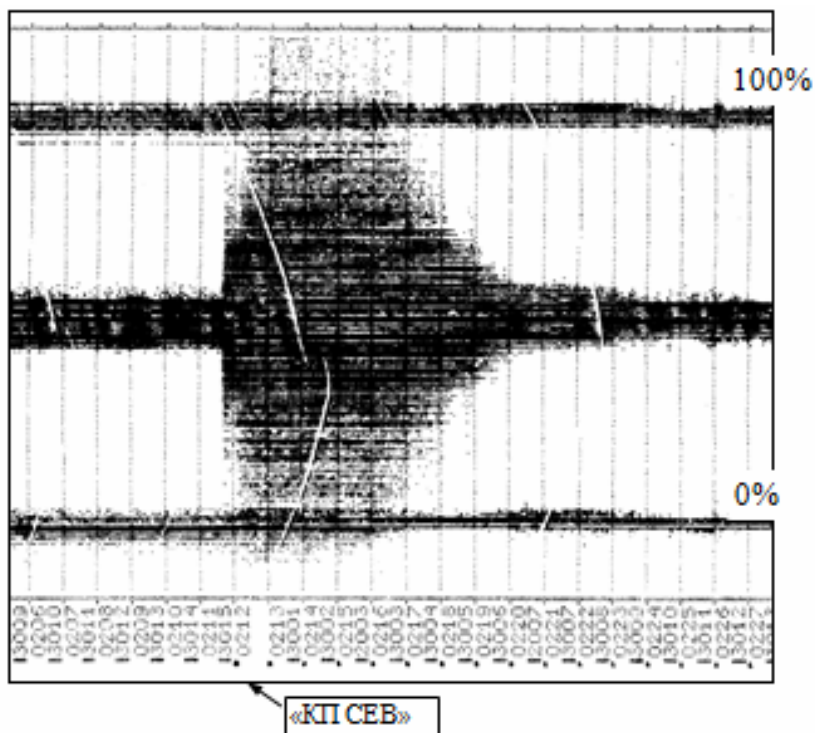
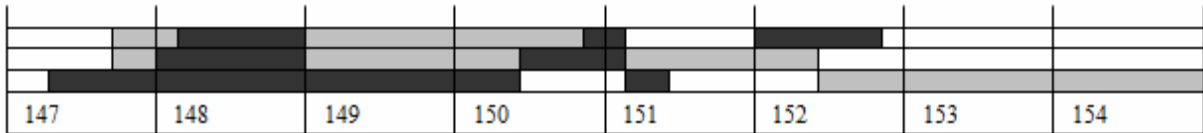
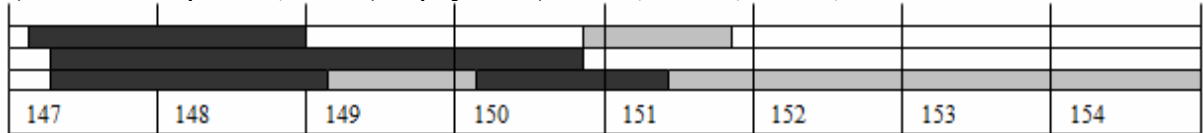


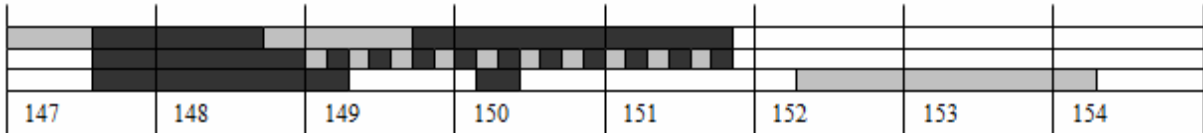
Рисунок Б.7 – График, иллюстрирующий выход значений телеметрируемого вибропараметра за границы ожидаемого диапазона при аналоговом методе передачи ТМИ. Особенно хорошо присутствие помеховой составляющей просматривается по «размытости» уровней 0% и 100% шкалы измерений, уровня телеметрируемого вибропараметра до появления сигнала «КП СЕВ» (до начала полёта)



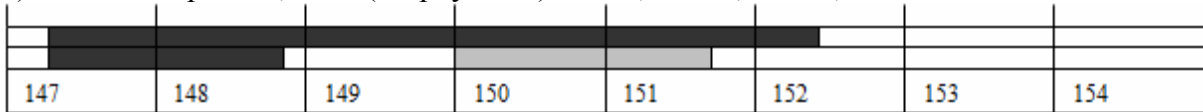
а) БРТС «Кварц-01», ПРС (сверху вниз) МК25, МК11, МК71;



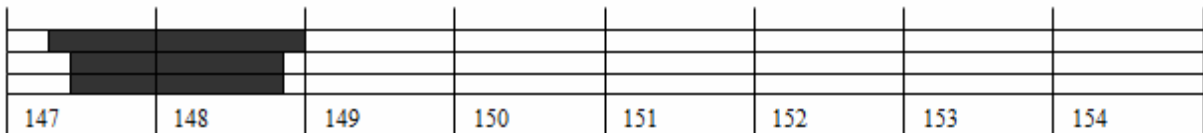
б) БРТС «Кварц-02», ПРС (сверху вниз) МК26, МК72, МК81;



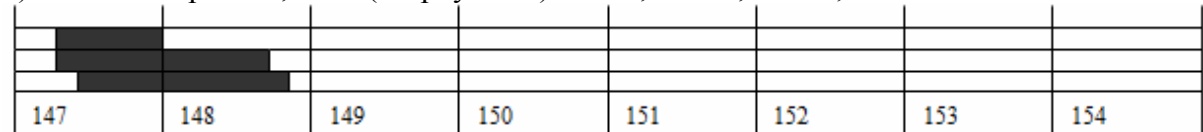
в) БРТС «Кварц-03», ПРС (сверху вниз) МК15, МК24, МК73;



г) БРТС «Кварц-04», ПРС (сверху вниз) МК17, МК74;



д) БРТС «Кварц-05», ПРС (сверху вниз) МК16, МК78, МК79;



е) БРТС «Кварц-06», ПРС (сверху вниз) МК18, МК76, МК77;

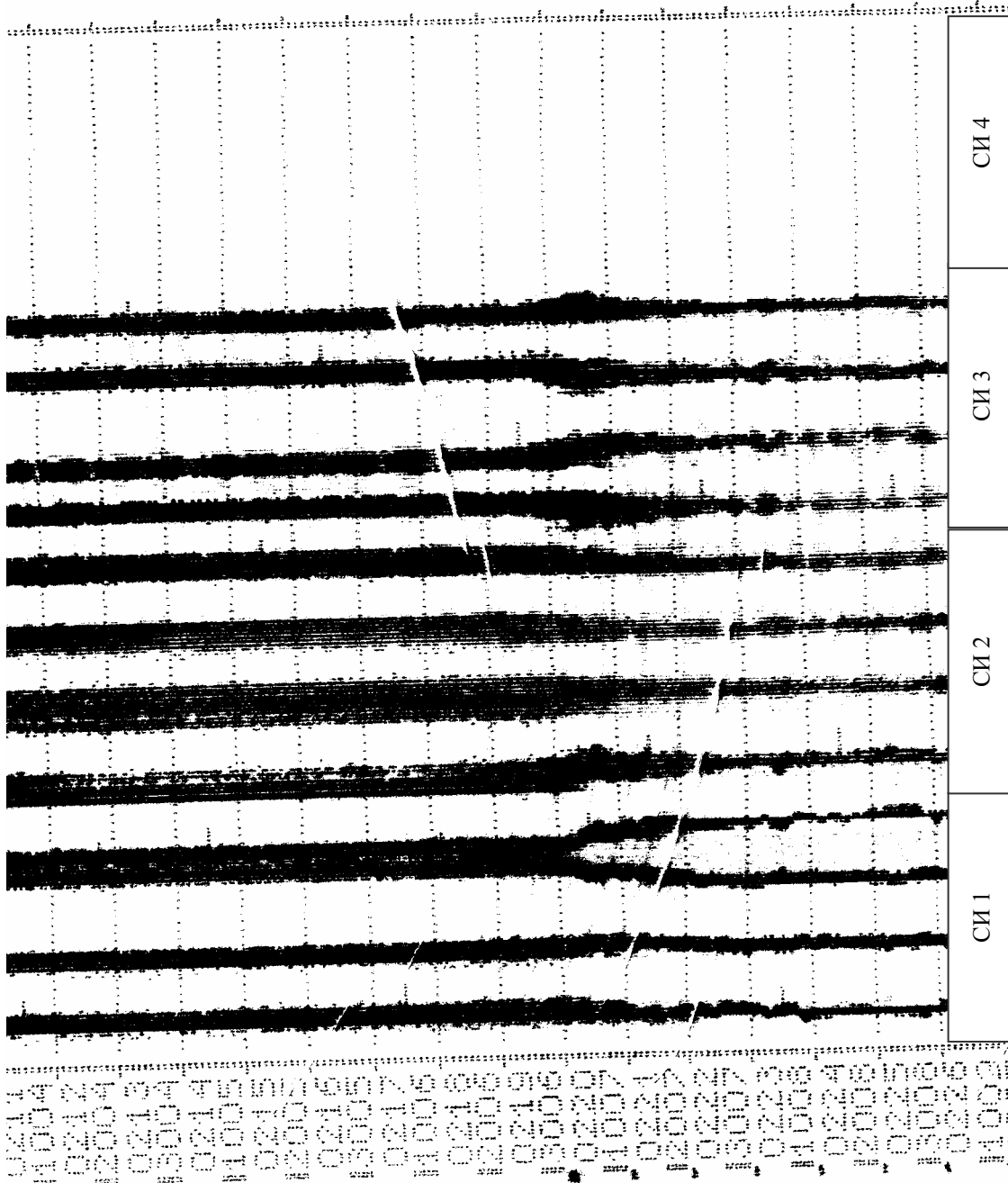
Условные обозначения:  
 □ - достоверные телензмерения;  
 ■ (grey) - частичная потеря ТМИ;  
 ■ (black) - полная потеря ТМИ.

Примечание:  
 На рисунках представлено полетное время.

Рисунок Б.8 – Сведения о качестве приёма ТМИ РН «Энергия»  
 (пуск осуществлён 15.05.1987)



Рисунок Б.9 – Графики, иллюстрирующие результат действия помех в пяти каналах разнесения (ТМИ первой ступени РН «Протон-М» от 05.11.2008,  $f_{044, 090}$ ). Графики на рисунке (сверху вниз) ТМИ ПРС МК-11А, 15А, 26А, 28А, 32А



Примечание: на поле графика СИ 1 представлены позиции четырёхпозиционного сигнала 1-го канала ОК, на СИ 2 – 2-го канала, на СИ 3 – 30-го канала.

Рисунок Б.10 – График, иллюстрирующий искажения позиций четырёхпозиционного сигнала из-за интерференции радиоволн при приеме ТМИ (РН «Протон-М» от 30.12.2002, вторая ступень, условная частота бортового передатчика  $f_{080}$ , ПРС МК13А). После отрыва РН от Земли (изменения условий приёма ТМИ) в момент поступления сигнала «КП СЕВ» постепенно позиции четырёхпозиционного сигнала приобретают нормальный вид

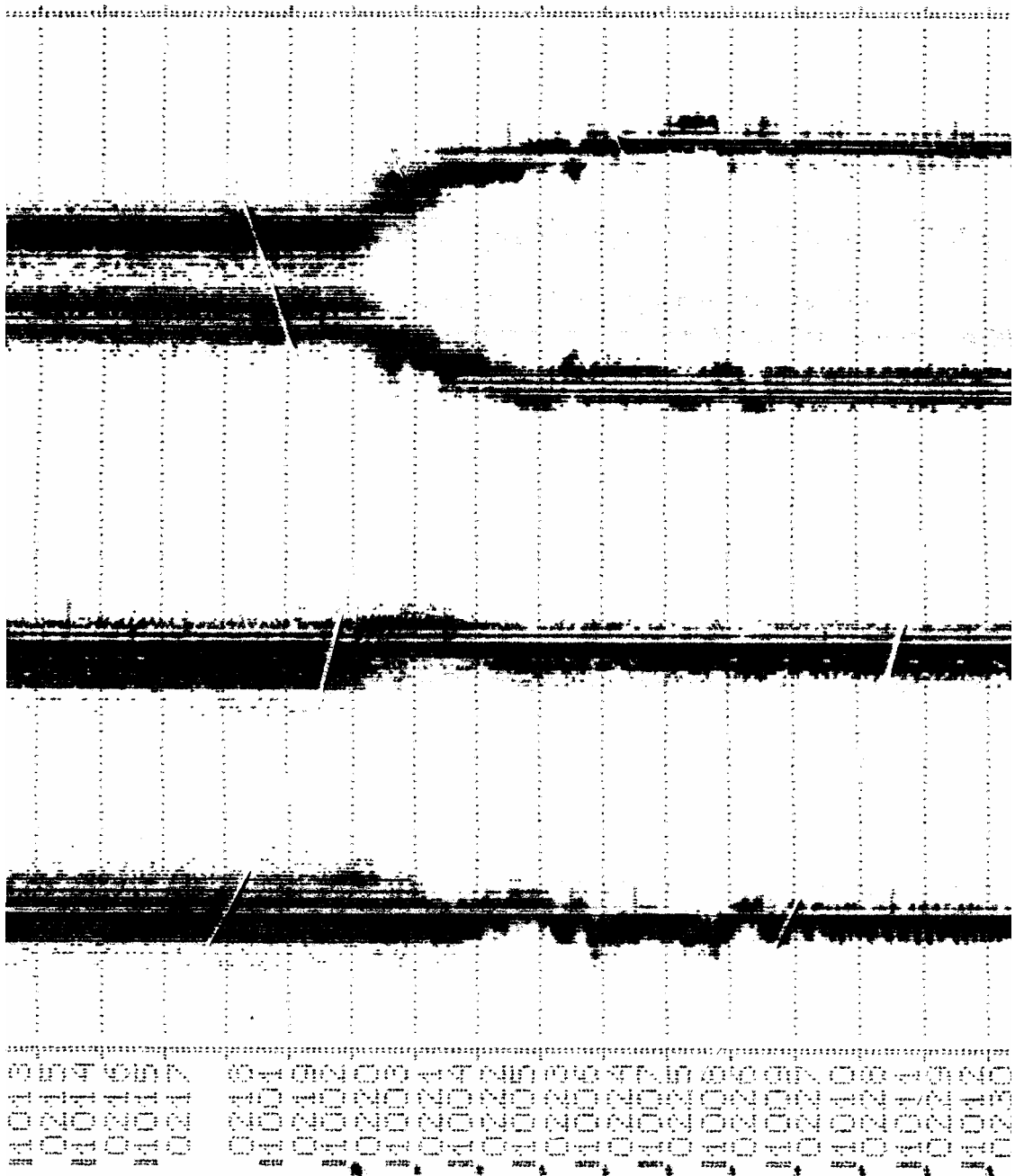


Рисунок Б.11 – График, иллюстрирующий искажения позиций четырёхпозиционного сигнала первого канала основного коммутатора из-за интерференции радиоволн при приёме ТМИ (РН «Протон-М» от 30.12.2002, вторая ступень, условная частота бортового передатчика  $f_{080}$ , ПРС МК-13А)

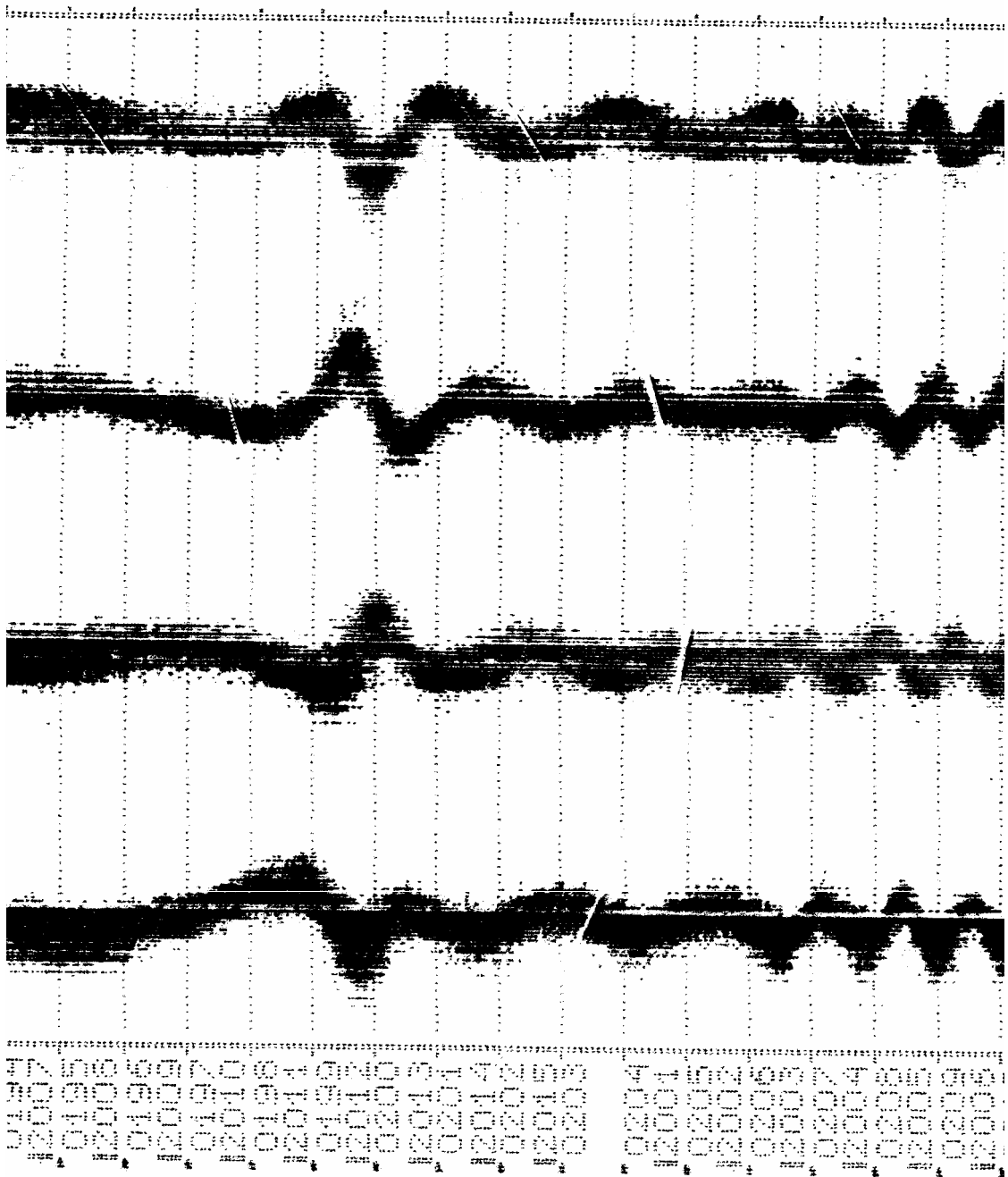
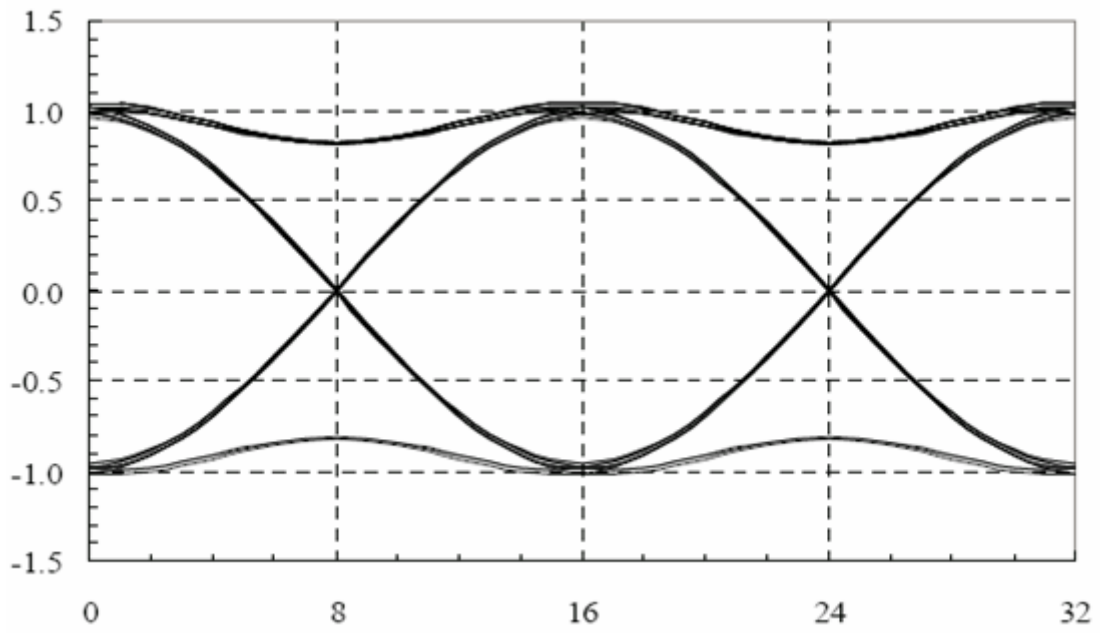
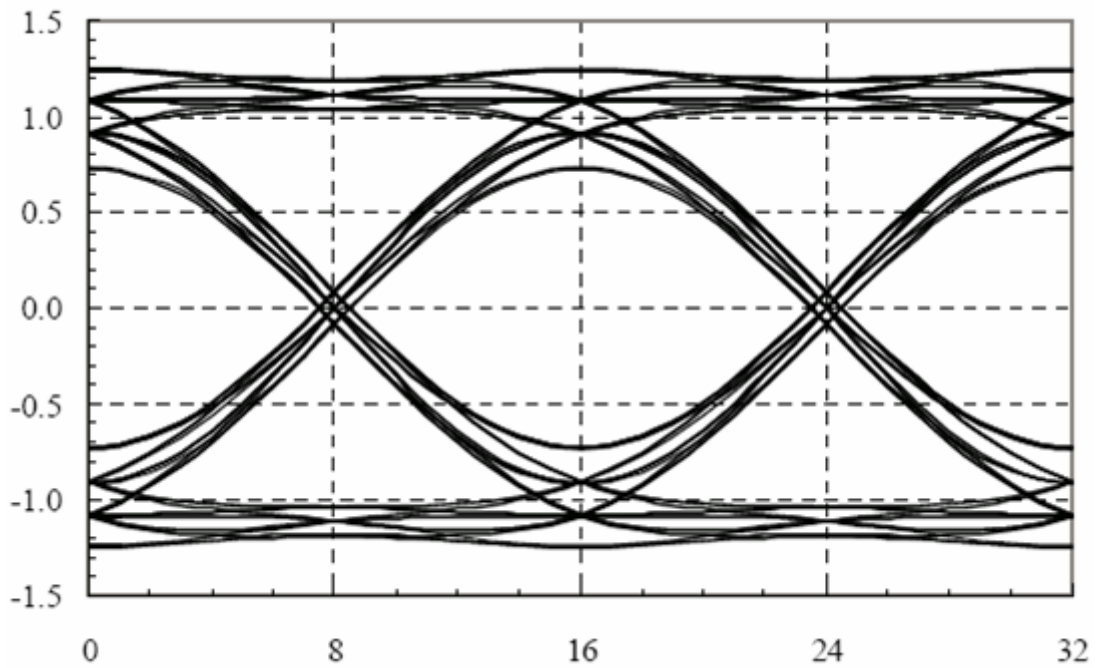


Рисунок Б.12 – График, иллюстрирующий искажения позиций четырёхпозиционного сигнала одиннадцатого канала основного коммутатора из-за интерференции радиоволн при приёме ТМИ (РН «Протон-М» от 16.03.2004, вторая ступень, условная частота бортового передатчика  $f_{080}$ , ПРС МК-13А, активный участок траектории полета)





а) GMSK с  $BT_S=0.5$  (копия рис. 3-14 [199]);



б) GMSK с  $BT_S=0.25$  (копия рис. 3-15 [199]);

Рисунок Б.13 – График сигнала с межсимвольной интерференцией вследствие применения ФНЧ Гаусса

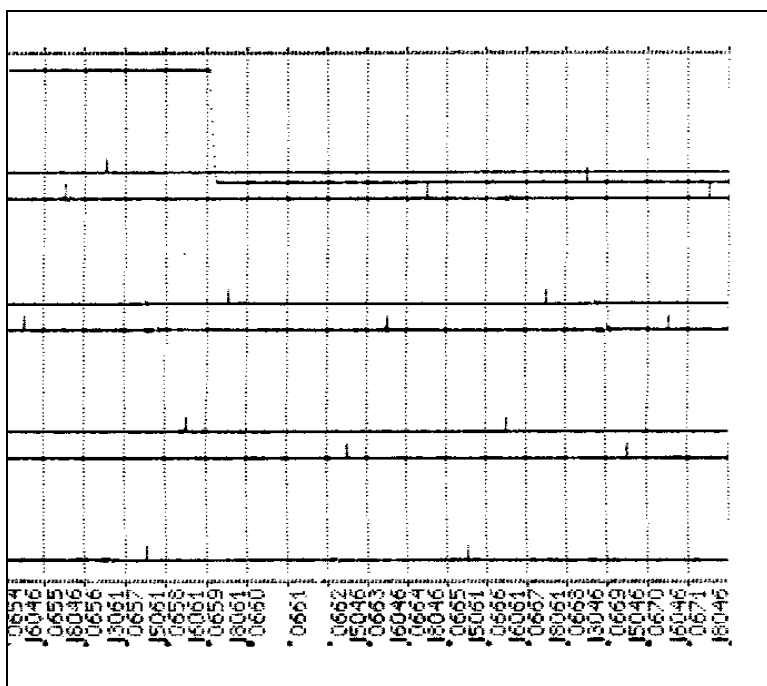


Рисунок Б.14 – График, иллюстрирующий отказ датчика уровня 100% шкалы измерения локального коммутатора

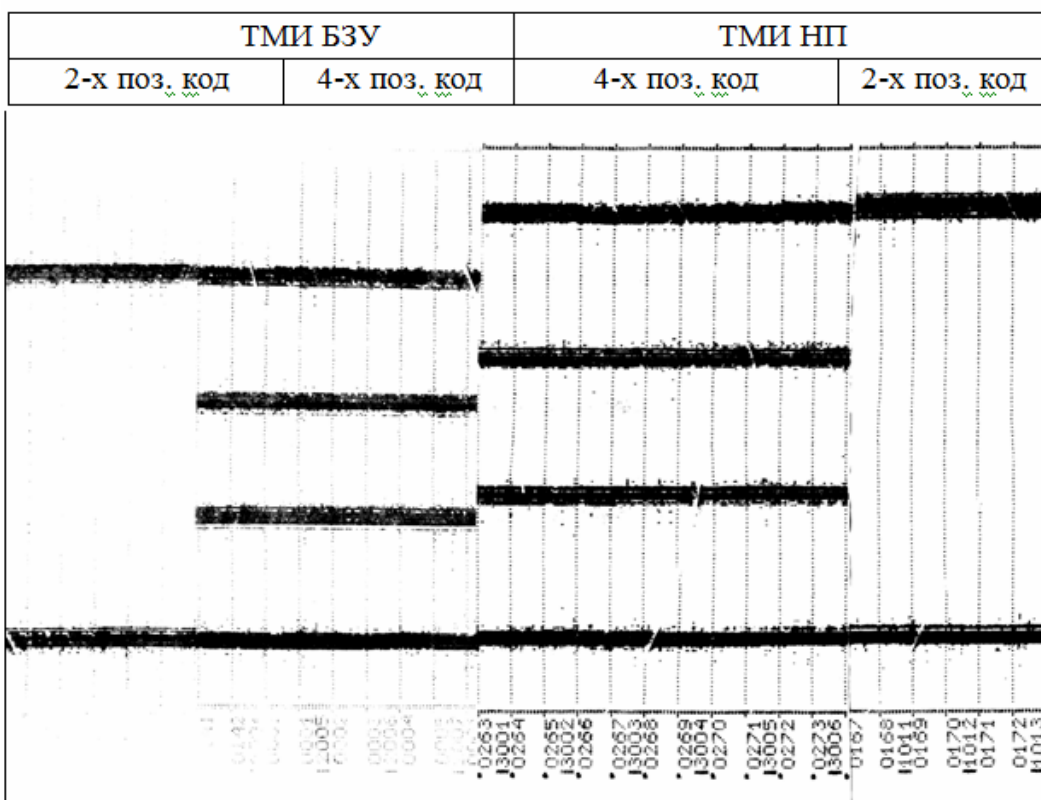


Рисунок Б.15 – График, иллюстрирующий смещение позиций двухпозиционного и четырехпозиционного сигналов на выходе БЗУ (ТМИ РН «Протон-М» от 15.10.2004,  $f_{080}$ ). Из-за смещения позиций весьма проблематично установить пороги при преобразовании ТМИ структуры С4 в структуру УК-64, подходящие как для каналов НП, так и БЗУ

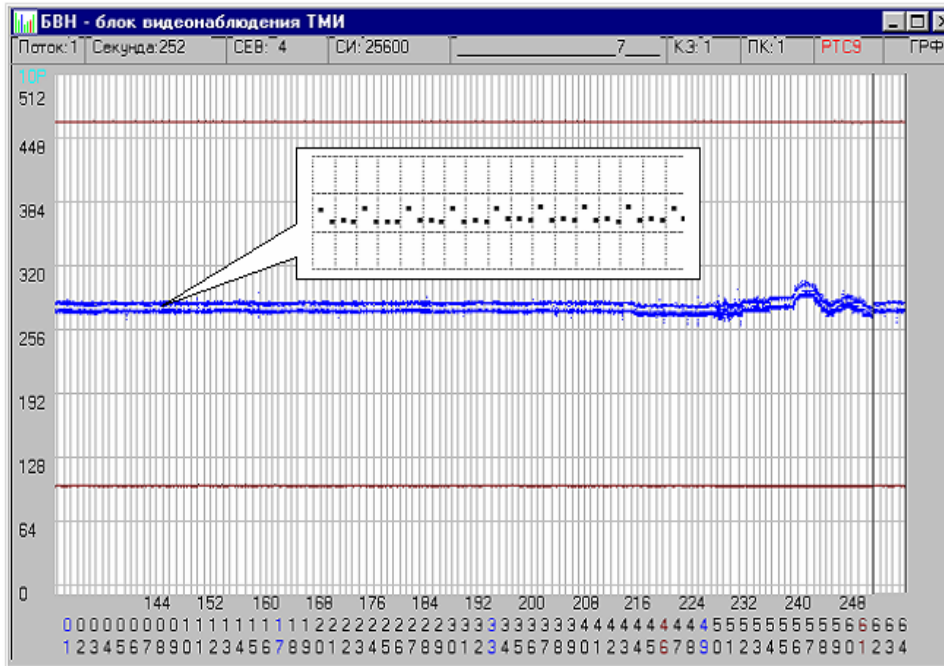


Рисунок Б.16 – График значений параметра Т1 (тангаж) в виде двойной линии, отображающий результат аномального функционирования устройства согласования 17-го канала ЛК<sub>7</sub> (РН «Союз» от 01.10.2005,  $f_{154}$ , ЛК<sub>7</sub>, каналы ЛК<sub>7</sub> 1, 17, 33, 49). При увеличении масштаба обнаруживается отклонение от нормы каждой четвёртой точки графика (измерения 17-го канала)

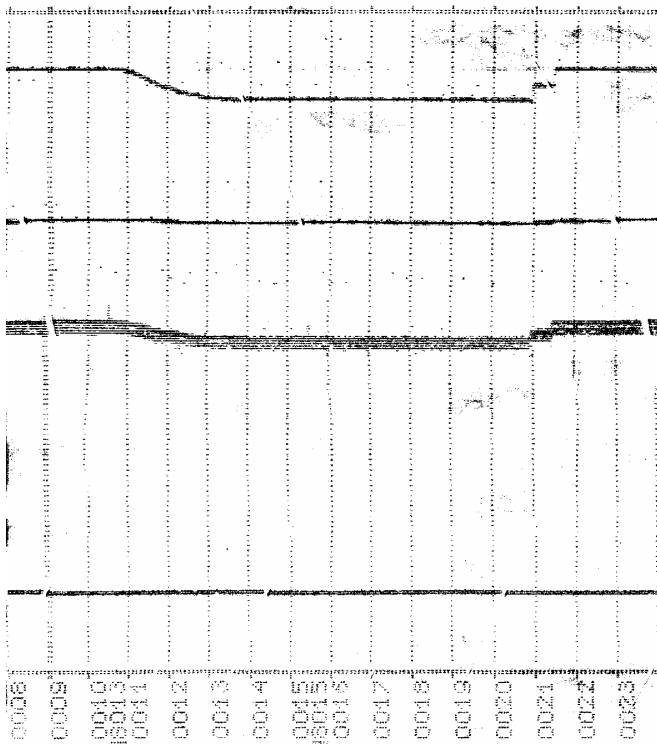


Рисунок Б.17 – Наземные испытания (подготовка к пуску) РН. Наблюдается падение уровня 100% шкалы измерений ЛК<sub>4</sub>, а также значений параметров 13-го и 15-го каналов; уровень 0% и уровень параметра 9-го канала остаются неизменными.

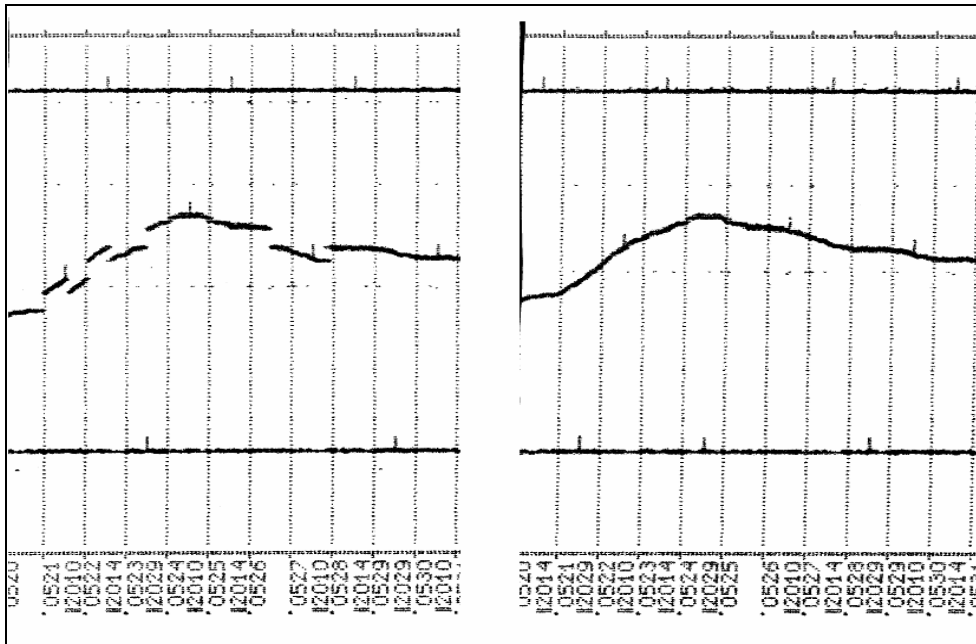


Рисунок Б.18 – График до и после устранения дефекта (недостоверность пятого разряда кодов параметров). Если использовать в качестве контрольных уровни 0% и 100%, то дефект окажется необнаруженным

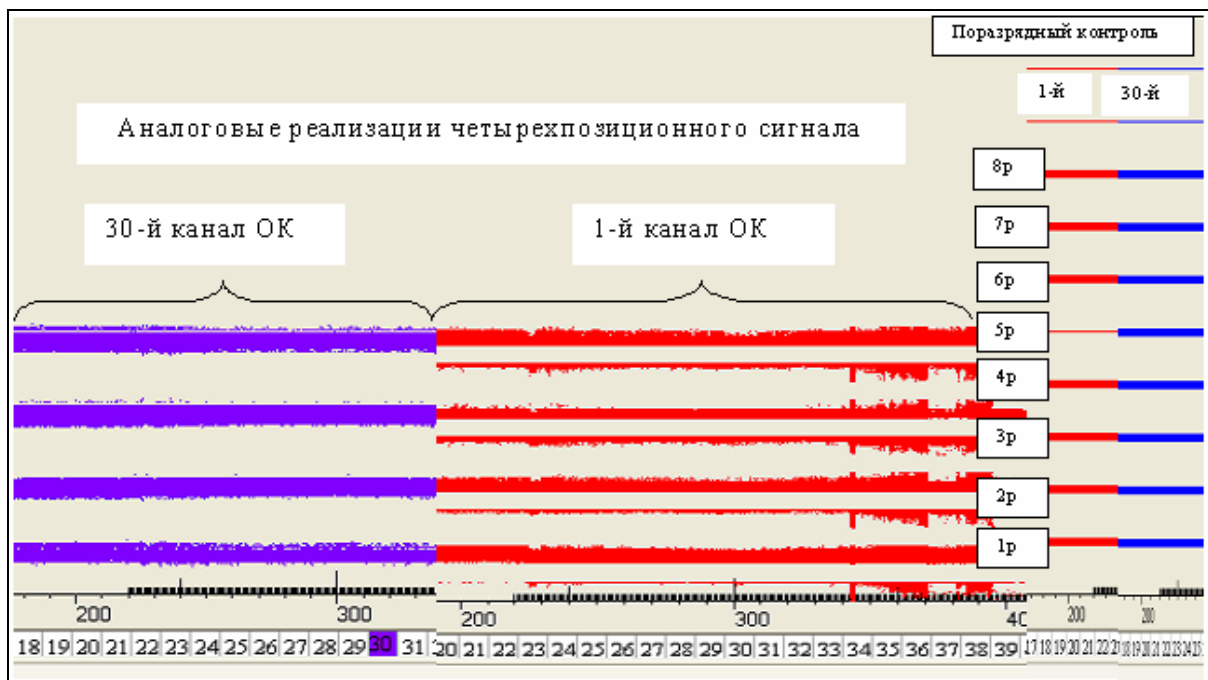


Рисунок Б.19 – Из-за отсутствия контакта в линии шины данных 5-й разряд телеизмерений нечётных каналов ОК недостоверен (РН «Протон-М» от 29.12.2005, ПРС МК-16а, ТМИ 3-ей ступени, структура ТМИ С4)

Таблица Б.1 – Результаты обработки ТМИ ПРС МК-16а при наличии и при отсутствии дефекта

№ кан. ОК	Индекс параметра	Временной интервал, С	$D, (м/С^2)^2$	Наличие дефекта
10	16BR-СТ	50 ÷ 60	18,3	отсутствует
			18,3	есть
		135 ÷ 145	53,2	отсутствует
			53,2	есть
33	3BZ-СШ	50 ÷ 100	170,1	отсутствует
			182,1	есть
		135 ÷ 145	6,4	отсутствует
			14,1	есть

Примечание: Результаты обработки являются значения дисперсии ( $D$ ) телеметрируемых БМП на выбранных временных интервалах. Обработана ТМИ ПРС МК-16а, зарегистрированная на магнитную ленту (дефект отсутствует) и на НЖМД ПЭВМ (дефект присутствует). Сведения о дефекте представлены на рисунке Б.19.

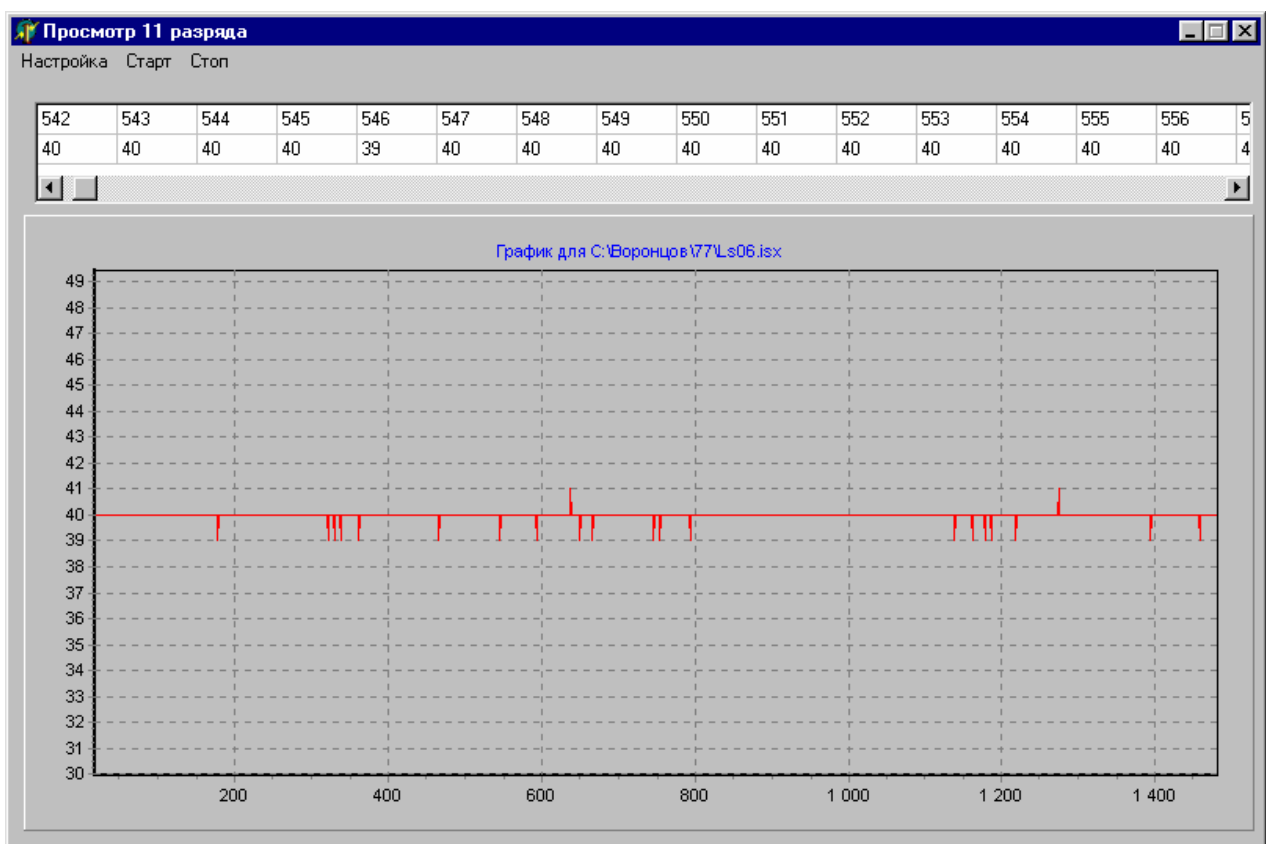


Рисунок Б.20 – Результаты неверного контроля численности слов в кадре основного коммутатора (ОК) ТМИ структуры ЛС из-за ошибки в программе отображения данных (по оси абсцисс – текущий номер признака КОК, а по оси ординат – количество информационных слов на интервале от КОК до КОК; при отсутствии искажений их 40). На самом деле между всеми соседними маркерами М 8 кГц (между КОК) – 40 слов (значения 39 и 41 – из-за неправильного отображения)

### Зоны радиовидимости (рисунки и пояснения к ним)

На рисунках Б.21 ÷ Б.27 представлены схемы обобщённых зон радиовидимости при пусках РКН с космодрома Байконур. Сплошными горизонтальными линиями обозначены временные интервалы уверенного приёма для любой из существующих траекторий полёта данного изделия, пунктирными – интервалы неуверенного приёма (приём возможен лишь для некоторых из существующих траекторий или задействуемых ПРС). Пунктирными вертикальными линиями обозначен временной интервал, которым ограничивается необходимая приёмо-регистрация ТМИ. Измерительные пункты 1, 2, 3, 5 – пристартовые, НИП 4 (Енисейск) и НИП 7 (Барнаул) – трассовые.

Из рисунка Б.21 следует, что для обеспечения достаточности ТМИ РН «Союз» информацию пристартовых ИПов 1,2,3,5 необходимо дополнять информацией трассовых НИПов (например, НИП 7; как это и делается в настоящее время). Границы временного интервала, в пределах которого отделяются КА, и, значит, до отделения включительно необходимо осуществлять приёмо-регистрацию ТМИ, составляют 527 ÷ 530 секунд, а границы неуверенного приёма ТМИ пристартовыми ИПами 1,2,3,5 – 495 ÷ 554 секунд. Это означает, что отделение части запускаемых типов КА находится в зоне радиовидимости ИПов 1, 2, 3, 5, а другие типы КА отделяются вне этой зоны.

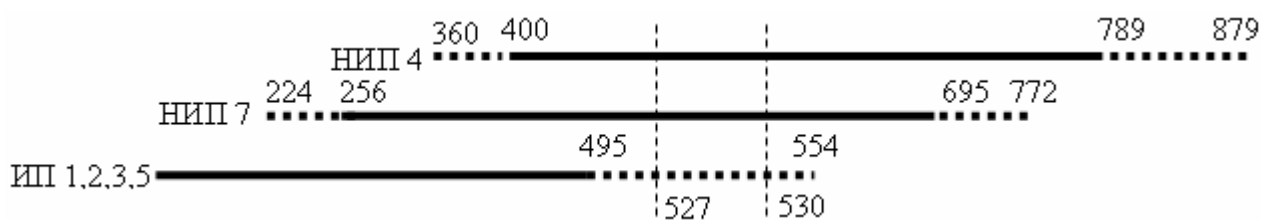


Рисунок Б.21 – Схема зон радиовидимости РН «Союз»

При пусках РН «Протон», «Протон-М» ТМИ пристартовых ИПов недостаточно (рисунок Б.22. Необходимо задействование НИП 7 (НИП 4). В настоящее время наиболее отработанная технология сбора ТМИ РН типа «Протон» с использованием ШКС «НИПы-ВЦ» связана с задействованием НИП 7.

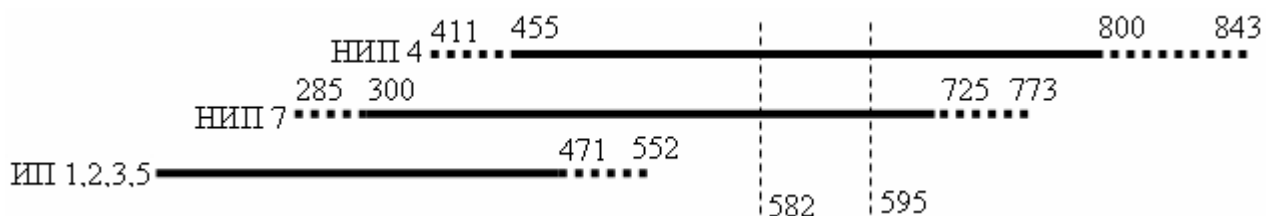


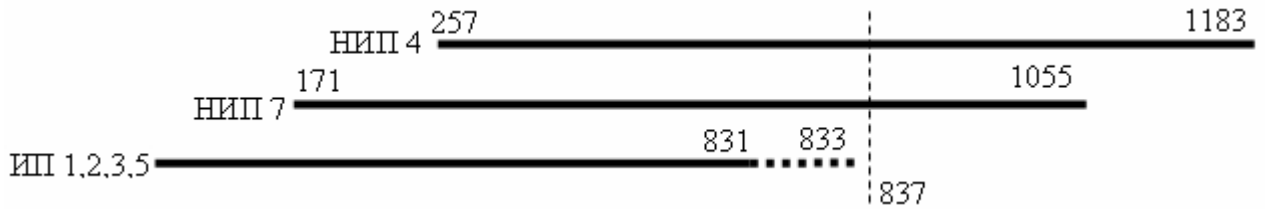
Рисунок Б.22 – Схема зон радиовидимости РН «Протон» и «Протон-М»

Для РН «Зенит» характерен значительный разброс значений параметров, характеризующих зоны радиовидимости и интервалы приёмо-регистрации ТМИ (рисунок Б.23). В некоторых случаях необходимо задействование НИП 7 (НИП 4) (см. рисунок Б.23 а, б). В других случаях достаточно пристартовых ИПов 1, 2, 3, 5 (рисунок Б.23 в). При пуске РН «Зенит» по южной трассе (рисунок Б.23 г) ТМИ пристартовых ИПов 1, 2, 3, 5 необходимо дополнить информацией передвижного ИПа (ПИП) или (в настоящее время этот вариант используется в практике) ТМИ, принимаемой наземными средствами, размещаемыми на территории Омана.

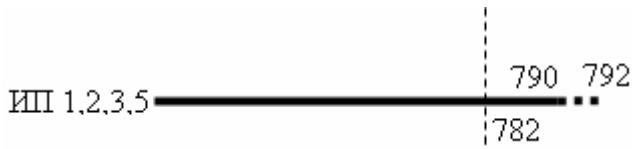
Кроме активного участка траектории (АУТ) полёта (см. рисунок Б.23), приёмо-регистрация осуществляется во время второго витка (см. рисунок Б.24). В это время воспроизводится накопленная ранее в БРТС ТМИ (запись осуществляется на интервалах отделения ступеней РН и КА). ТМИ второго витка позволяет повысить достоверность информации, принятой на АУТ полёта. При применении засекречивающей аппаратуры в составе БРТС принятая ТМИ использовалась также для подтверждения факта уничтожения средств засекречивания (в настоящее время такая аппаратура не используется). Циклограмма работы БРТС задана таким образом, что нужная ТМИ воспроизводится в зоне радиовидимости пристартовых ИПов 1, 2, 3, 5.



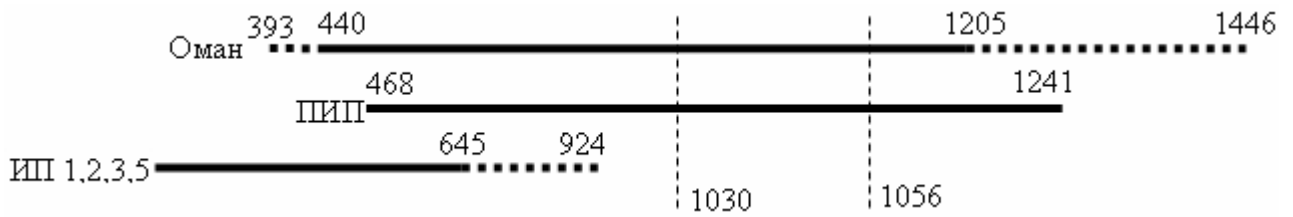
а) северо-восточные трассы (вариант 1)



б) северо-восточные трассы (вариант 2)

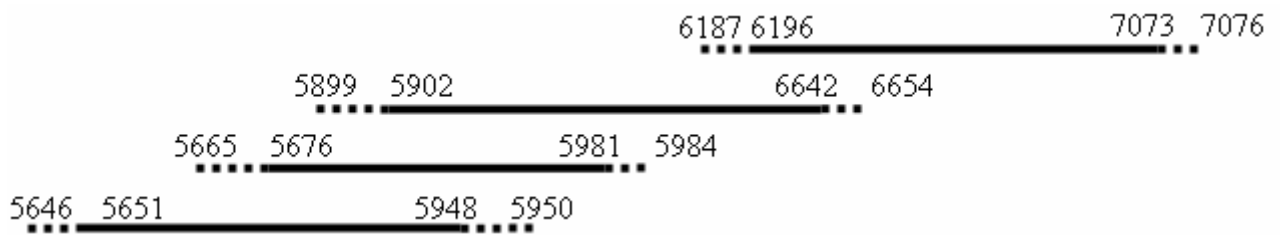


в) северо-восточные трассы (вариант 3)

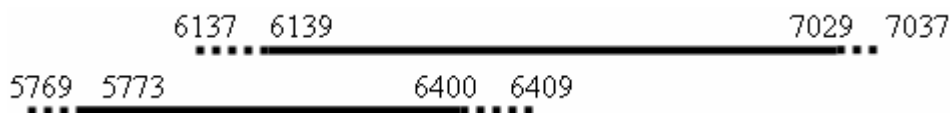


г) южные трассы

Рисунок Б.23 – Схемы зон радиовидимости РН «Зенит» (АУТ)



а) северо-восточные трассы



б) южные трассы

Рисунок Б.24 – Схемы зон радиовидимости ИП 1, 2, 3, 5 при различных траекториях полета РН «Зенит» (второй виток)

При пусках РН «Циклон» достаточно ТМИ пристартовых ИПов 1, 2, 3, 5 (рисунок Б.25).

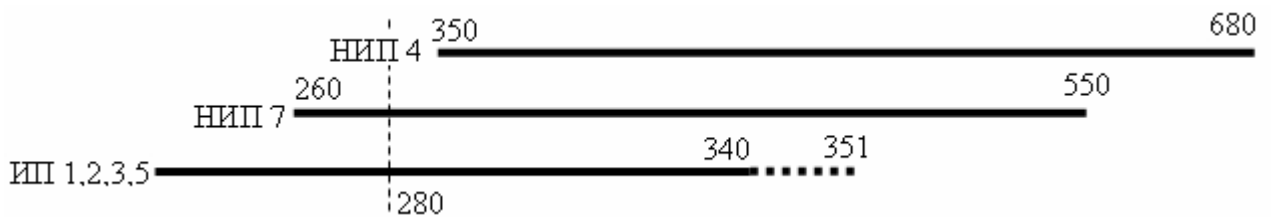


Рисунок Б.25 – Схема зон радиовидимости РН «Циклон»



При пусках РН «Днепр» ТМИ пристартовых ИПов недостаточно ни в случае северо-восточной трассы (нужна дополнительная ТМИ с НИП 4, см. рисунок Б.26 а), ни в случае южной трассы (нужна дополнительная ТМИ, принятая наземными средствами, размещаемыми на территории Омана, см. рисунок Б.26 б).

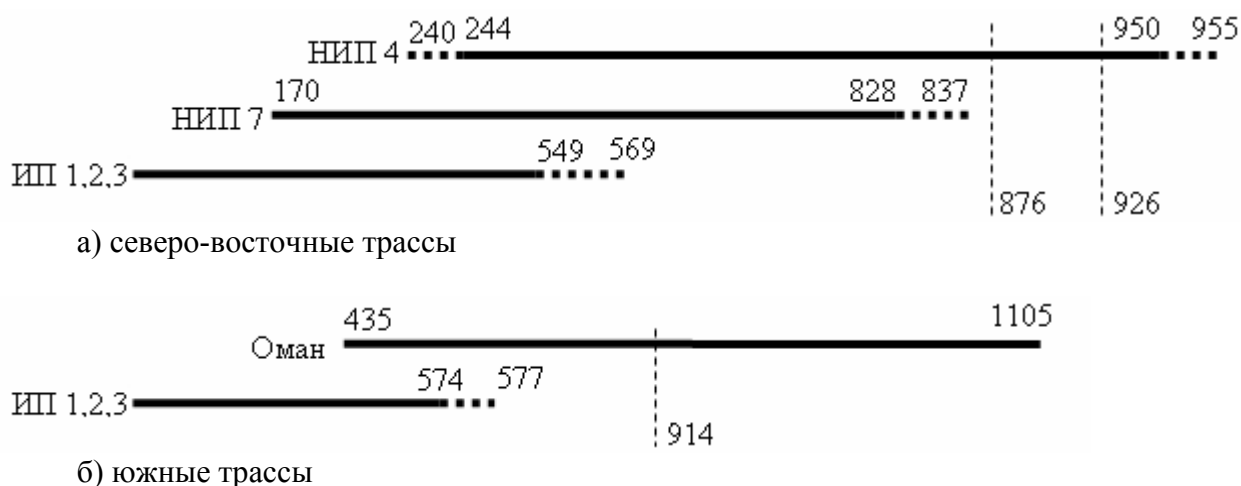


Рисунок Б.26 – Схема зон радиовидимости РН «Днепр»

В БРТС, установленной на РБ (в частности, ДМ), предусмотрены режимы записи и ускоренного воспроизведения накопленной ТМИ, что позволяет выполнить задачу приёмо-регистрации ТМИ с использованием средств, размещенных лишь на ИП 5 и НИП 7. Во время сеанса-1 с 639-й секунды полётного времени в БРТС начинает накапливаться ТМИ (режим записи БЗУ), которая воспроизводится при осуществлении последующих сеансов приёмо-регистрации (после сеанса-1). Поэтому выход объекта контроля из зоны радиовидимости пристартовых ИПов (ИП 1, 2, 3, 5) на 528-й и НИП 7 на 750-й секунде до окончания сеанса-1 (1200-я секунда, см. рисунок Б.27) не приводит к полной потере ТМИ. Во время всех последующих сеансов, осуществляемых в течение до ~ 6,5 часов, объект контроля находится в зоне радиовидимости ИП 5, НИП 13, 14 и (за исключением начальных ~ 3 мин. 12 сек.) НИП 15. При этом более 1 часа между сеансом-1 и последующим сеансом – с 1250-й (окончание зоны радиовидимости НИП 15, см. рисунок Б.27) по 5140-ю секунду (начало зоны радиовидимости НИП 14 для последующих сеансов) – прием ТМИ не осуществляется. Такая длительная задержка получения ТМИ является одним из значительных недостатков применяемой стратегии формирования информационных потоков в БРТС и приёмо-регистрации в условиях риска потери информации из-за аварии на РБ.

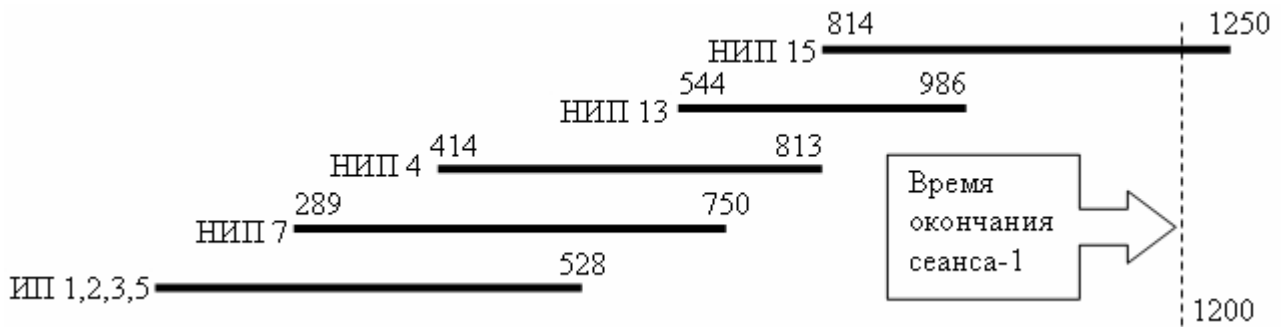


Рисунок Б.27 – Схема зон радиовидимости РН «Протон» с РБ ДМ (вывод на орбиту КА «Экспресс»); наиболее характерная траектория полёта

### Результаты применения спутников-ретрансляторов (графики, иллюстрирующие потери ТМИ, и пояснения к ним)

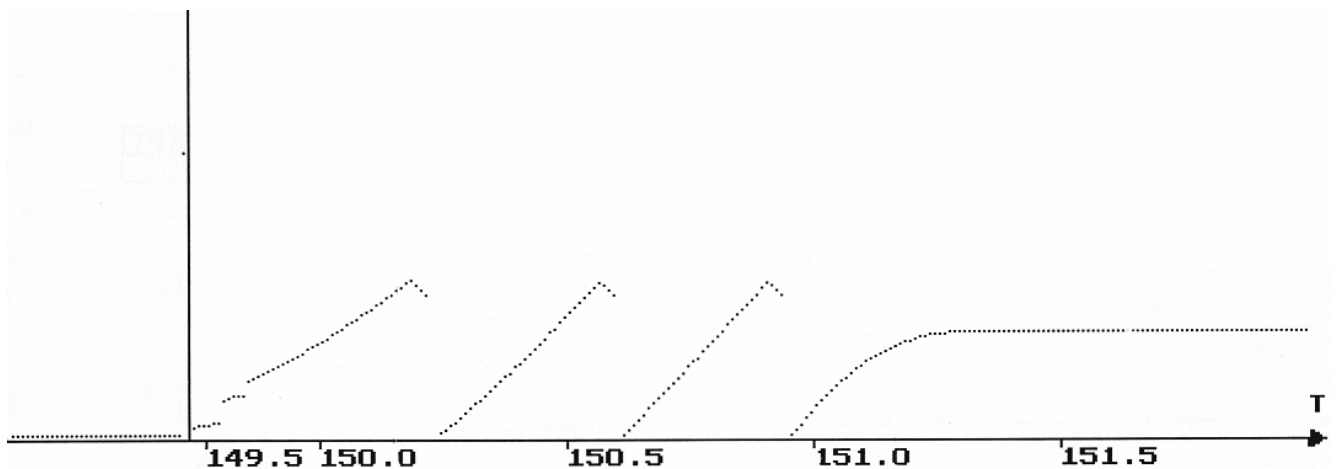


Рисунок Б.28 – График контрольного параметра ТМИ РН «Зенит» («Морской старт») на временном интервале отделения первой ступени в случае использования спутников-ретрансляторов системы TDRSS для непосредственной ретрансляции телеметрической информации (наблюдается отсутствие потерь ТМИ)

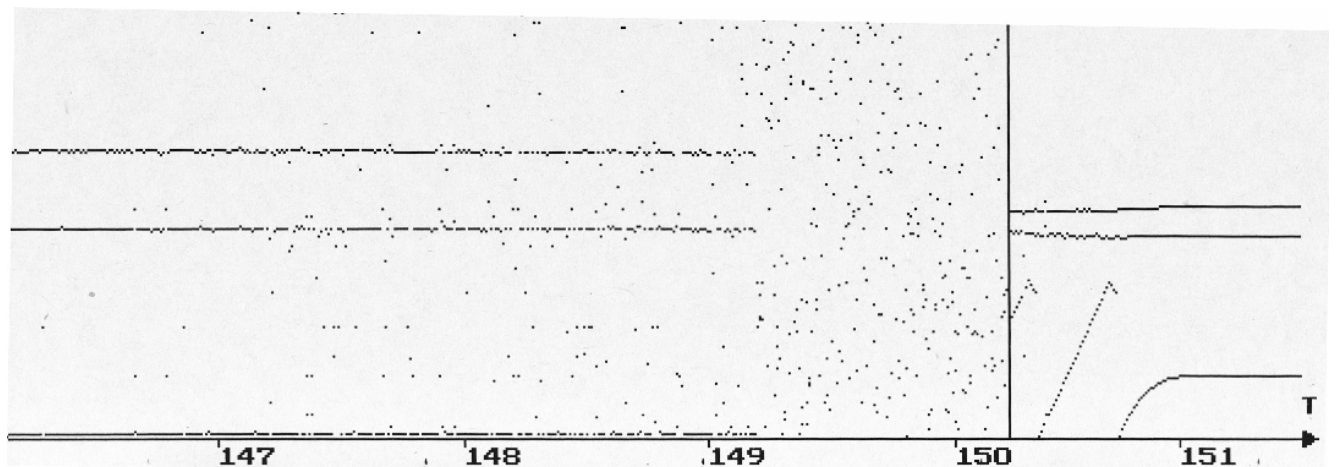


Рисунок Б.29 – Графики контрольных параметров ТМИ РН «Зенит» («Морской старт») на временном интервале отделения первой ступени при использовании телеметрических средств ВИП после отказа от применения системы TDRSS (наблюдаются потери ТМИ)

## Экспериментальное подтверждение влияния помех, действующих в каналах «борт-Земля», на аналоговые телеметрические сигналы

Имеет место весьма неравномерное и неодинаковое распределение мощности помех различных каналов разнесения по спектру частот. Из рисунков Б.30 ÷ Б.34 следует, что интенсивность помех может зависеть даже от уровня первичного сигнала (см. уровни «0 В» и «6 В» на рисунке Б.30).

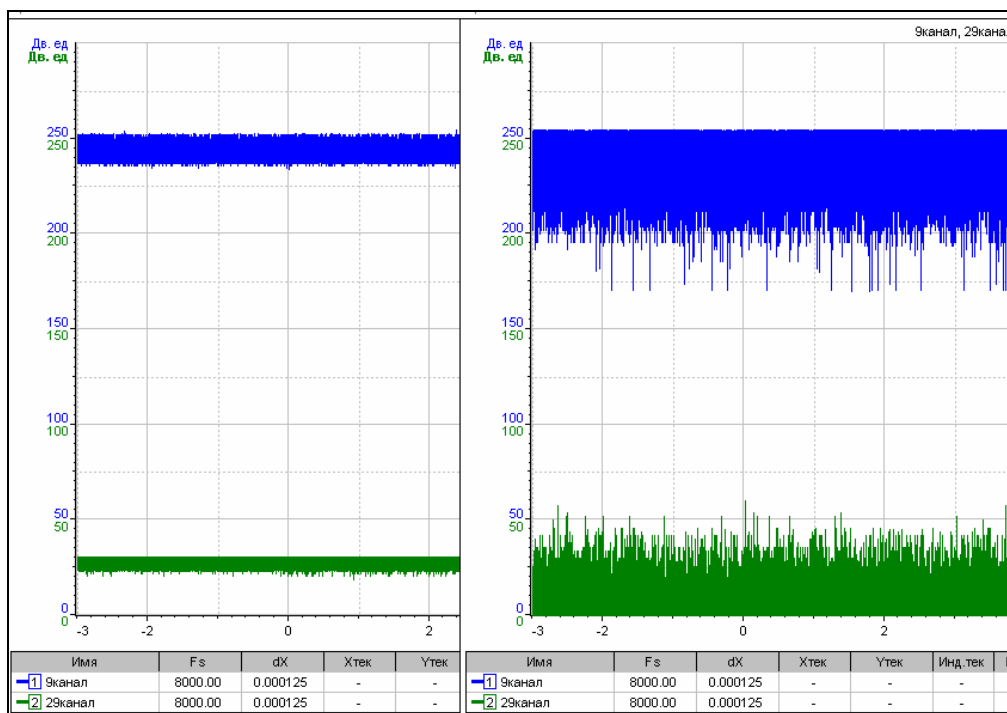


Рисунок Б.30 – Уровни сигналов «0 В» и «6 В», «размытые» помехами,  
действующими в канале «борт-Земля»  
(29-й и 9-й каналы ОК, ПРС МК-14 слева, МК-32б справа)

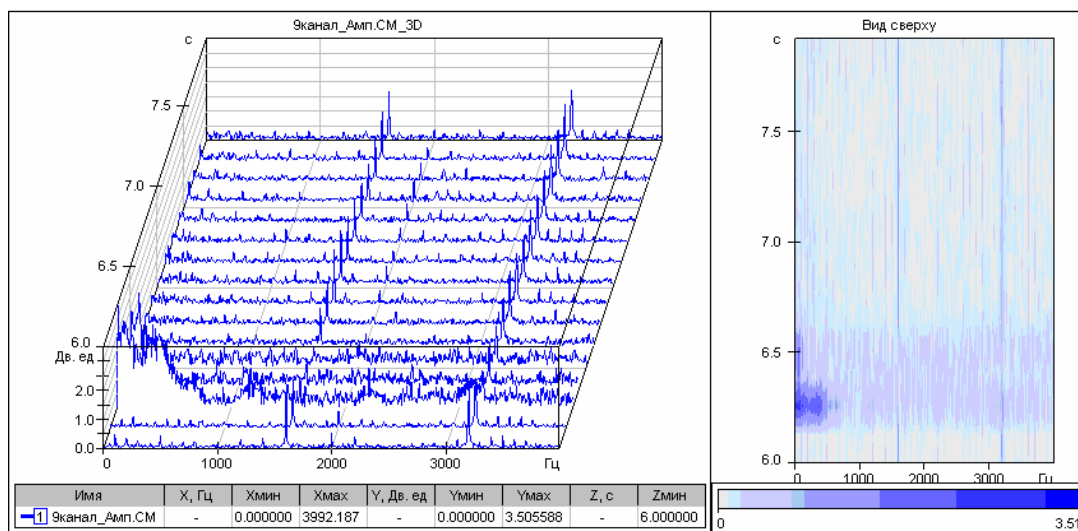


Рисунок Б.31 – Спектральные характеристики помех (9-й канал ОК, ПРС МК-14)

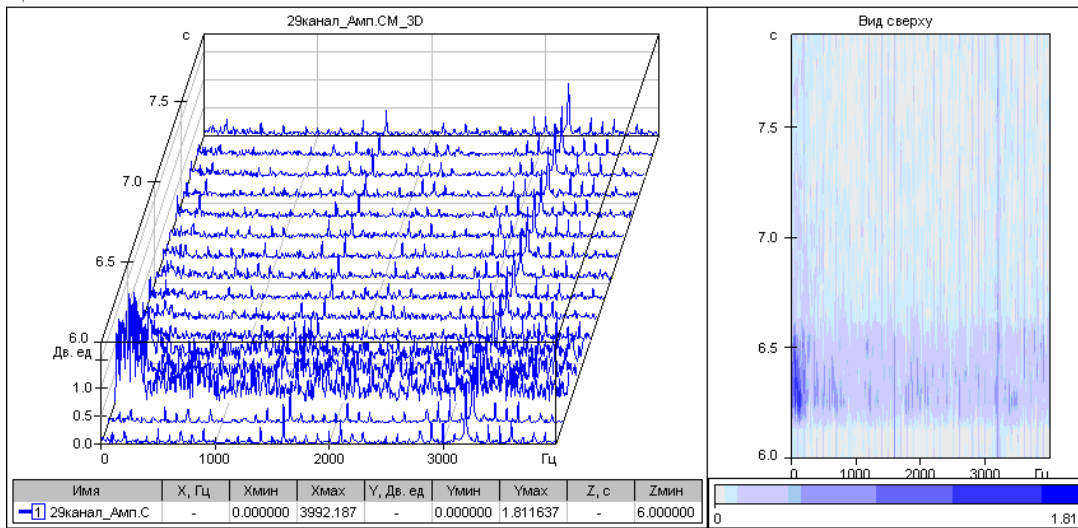


Рисунок Б.32 – Спектральные характеристики помех (29-й канал ОК, ПРС МК-14)

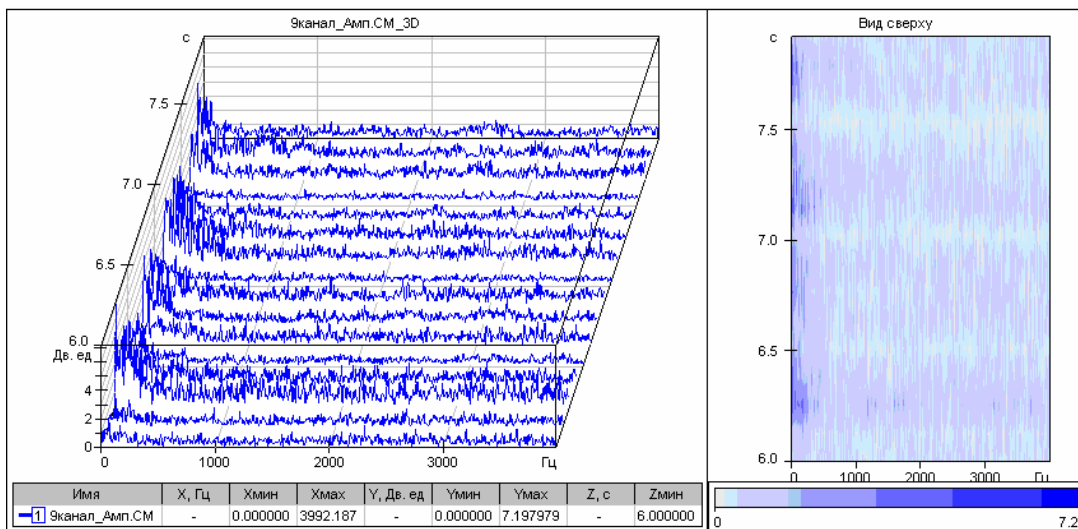


Рисунок Б.33 – Спектральные характеристики помех (9-й канал ОК, ПРС МК-326)

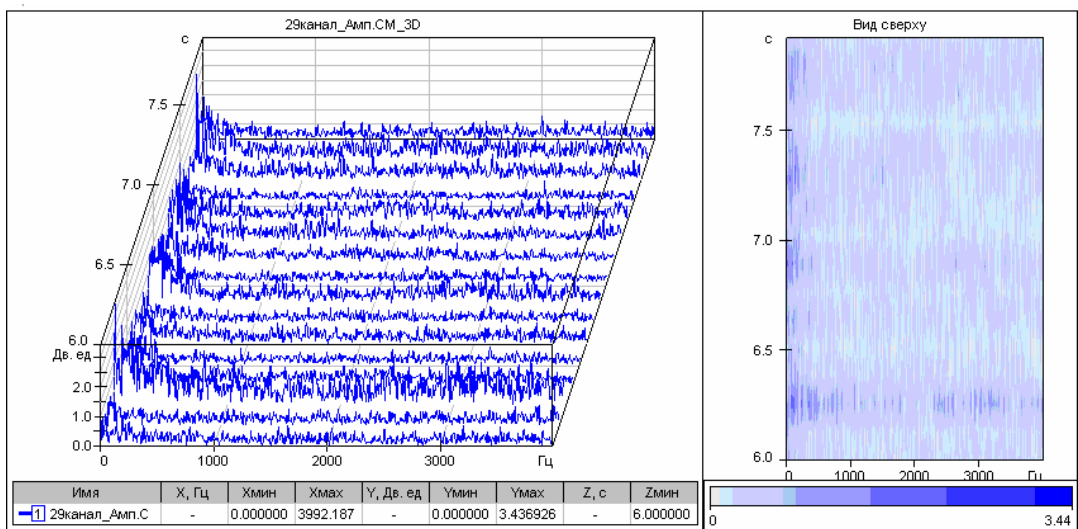


Рисунок Б.34 – Спектральные характеристики помех (29-й канал ОК, ПРС МК-326)

## Результаты практического применения алгоритма получения обобщённых данных $A_4$



Рисунок Б.35 – Результаты применения алгоритма  $A_4$   
(ТМИ первой ступени РН «Протон-М» от 05.11.2008,  $f_{044, 090}$ ,  
ПРС МК-11А, 15А, 26А, 28А, 32А). Графики на рисунке (сверху вниз):  
МК-11А, 15А, 26А, 28А, 32А, 28А, 32А обобщённый массив

**Оптимальные весовые характеристики достоверности  
для осуществления алгоритмов получения обобщённых данных**

**В.1 ВХД для алгоритма А<sub>4</sub>**

Таблица В.1.1 – ВХД для алгоритма А<sub>4</sub> ( $n = 5$ )

$k$	$k''$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$k$	$k''$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
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
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
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 В.1.2 – ВХД для алгоритма  $A_4$  ( $n = 4$ )

$k''$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
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 В.1.3 – ВХД для алгоритма  $A_4$  ( $n = 3$ )

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

Примечание: значение  $k''$  является номером очереди применения комбинации ВХД.



**В.2 ВХД для алгоритма  $A_{42}$** Таблица В.2.1 – ВХД для алгоритма  $A_{42}$  ( $n = 5$ )

$k$	$k''$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
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 В.2.2 – ВХД для алгоритма  $A_{42}$  ( $n = 4$ )

$k$	$k''$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
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 В.2.3 – ВХД для алгоритма  $A_{42}$  ( $n = 3$ )

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

Примечание: значение  $k''$  является номером очереди применения комбинации ВХД.