

Методы управляемого разнесенного приема данных телеизмерений

В. Л. Воронцов, к. т. н., a762642@yandex.ru

Филиал АО «ОРКК»–«НИИ КП», Москва, Российская Федерация

Аннотация. Представлены методы управляемого разнесенного приема телеметрической информации, обеспечивающие улучшение достоверности данных по сравнению с обычными методами разнесенного приема путем более полного использования возможностей адаптации к изменяющимся условиям помеховой обстановки. Их суть заключается в автоматическом изменении времени задержки бортового запоминающего устройства (БЗУ) в зависимости от необходимости повторной передачи данных телеизмерений для формирования обобщенных данных. Модификации методов отличаются в зависимости от наземных программно-технических средств, инициирующих команды на изменение времени задержки БЗУ. Осуществление методов создает условия для уменьшения количества взаимодублируемых приемно-регистрирующих станций. Как и в случае обычных методов разнесенного приема, имеются большие возможности для их комплексирования с другими методами повышения помехоустойчивости радиоканалов.

Ключевые слова: алгоритм получения обобщенных данных, бортовое запоминающее устройство, канал разнесения, команда, методы помехоустойчивого кодирования/декодирования, методы разнесенного приема, методы управляемого разнесенного приема, приемно-регистрирующая станция, программно-технические средства, телеметрическая информация, формирование обобщенного массива данных телеизмерений

Methods of Controlled Diversity Reception of Telemetered Data

V. L. Vorontsov, *Cand. Sci. (Engineering)*, a762642@yandex.ru

*A branch of Joint Stock Company "United Rocket and Space Corporation"–
"Institute of Space Device Engineering", Moscow, Russian Federation*

Abstract. Presented are the methods of controlled diversity reception of telemetric information (TMI), which ensure the improvement of data reliability (as compared to standard methods of diversity reception) by means of more fully utilizing the capabilities of adapting to the changing interference environment. Their essence lies in the automatic change of the delay time of the on-board memory device (OMD) depending on the need to retransmit telemetered data for generation of correlated data. Modifications of the methods differ depending on the ground-based software and hardware that initiate commands to change the OMD delay time. The application of the methods creates the conditions for reducing the quantity of mutually duplicate receiving and recording stations (RRS). As in the case of conventional methods of diversity reception, there are great possibilities for combining them with other methods of improving the noise immunity of radio channels.

Keywords: algorithm of correlated data acquisition, on-board memory device, channel of diversity, command, noiseless coding (decoding) methods, diversity reception methods, methods of controlled diversity reception, receiving and recording station, software and hardware, telemetric information, formation of a generalized array of telemetry data

В настоящее время для обеспечения наилучшего уровня достоверности данных телеизмерений, передаваемых по радиоканалам «борт–Земля» при обработке ракет космического назначения (РКН) и межконтинентальных баллистических ракет (МБР), широко применяют методы разнесенного приема телеметрической информации (ТМИ) [1]. Они оказываются наиболее результативными в существующих условиях произвольных помех, следствием влияния которых являются временные интервалы (зачастую повторяющиеся) с частичной и с полной потерей информации (ЧПИ и ППИ) длительностью от десятых долей секунды до единиц секунд [1].

В отечественной практике весьма распространено разнесение ТМИ во времени с использованием бортовых запоминающих устройств (БЗУ). Их режимы работы — разные. В частности, в БЗУ накапливают (запоминают) ТМИ наиболее важных интервалов циклограммы полета (отделение ступеней, сброс обтекателя) и через установленное время однократно или многократно воспроизводят запомненную ТМИ.

Возможна работа БЗУ в режиме «линии задержки» с постоянным устанавливаемым априори временем задержки, причем БЗУ имеет один или несколько выходов с разной задержкой ТМИ (например, с задержками на 8, 16, 32 и 64 секунды). При этом, кроме непосредственной передачи, ТМИ с каждого выхода БЗУ передается по отдельным каналам основного коммутатора (ОК) бортовой радиотелеметрической системы (БРТС), требуются дополнительные телеметрические каналы. Поэтому лишь часть ТМИ, формируемой БРТС, передают через БЗУ таким образом (например, в объеме одного локального коммутатора).

Также в отечественной практике часто применяют распараллеливание полного потока ТМИ (ТМИ всех каналов ОК) на два потока для последующей непосредственной передачи (ТМИ_{НП}) и для передачи с установленной постоянной задержкой через БЗУ (ТМИ_{ВП}). Такое распараллеливание реализовано, например, в БРТС «Кварц» и «Скут-40» [2].

Для решения задач экспресс-обработки и экспресс-анализа, осуществляемых в темпе реального времени [3], необходима ТМИ_{НП}, а использование

ТМИ_{ВП} при осуществлении (обычно в послеполетное время) формирования обобщенного массива данных телеизмерений (ФОМДТ) [1] позволяет улучшить достоверность принятой ТМИ_{НП}. Время задержки ТМИ в БЗУ устанавливают на основании практического опыта. При этом риск потерь ТМИ вследствие длительных повторяющихся помех, действующих в каналах «борт–Земля» в полетное время, достаточно велик.

В этой связи актуальны методы обнаружения и управляемой повторной передачи искаженных данных.

Известны [4, 5] системы связи с обратным каналом, в которых реализованы различные методы повышения достоверности данных. При их осуществлении повторно передают блоки данных, содержащие искаженные данные; возможна передача лишь искаженно принятых подблоков (подблок является частью блока данных), что позволяет наиболее результативно использовать возможности радиолинии.

Предложена [1] технология дополнения возможностей обычной радиолинии с обратным каналом возможностями разнесенного приема, что позволяет сократить количество циклов повторной передачи блоков данных, значительно улучшить достоверность данных. Суть предложенной технологии заключается в формировании блока обобщенных данных с использованием принятых блоков, в которых данные в разной степени искажены помехами, причем осуществляется повторная передача блоков данных до тех пор, пока не удастся добиться требуемой достоверности обобщенных данных, но в пределах допустимого количества повторов (рис. 1).

Из принятых блоков данных в блок обобщенных выбирают данные, выделенные из аналоговых реализаций цифрового сигнала (это — элементарные данные). Их размер может составлять 1 бит или 2 бита (например, при применении соответственно двух- или четырехпозиционного сигнала). Если в каждом исходном m -битовом слове ($m \gg 1$) некоторые элементарные данные недостоверны, есть основание ожидать, что в сформированном по предложенной технологии слове недостоверных обобщенных элементарных данных не окажется.

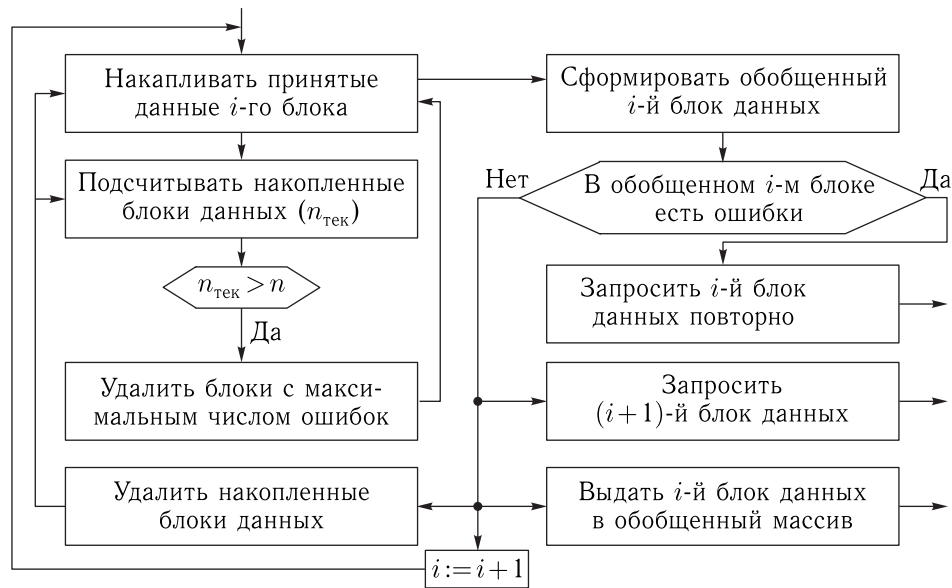


Рис. 1. Фрагмент протокола обмена данными между источником данных и средствами ФОМДТ

Используемые при осуществлении предложенной технологии алгоритмы получения обобщенных данных A_4 и A_{42} [1, 6] по обеспечиваемой достоверности превосходят известные автовыбор и мажорирование.

Однако возможности вышеупомянутой предложенной технологии оказываются нереализованными 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 и МБР в полетное время). Возникает необходимость многочисленных циклов повторной передачи блоков данных на интервалах с ЧПИ и ППИ. Также необходимо принятие определенных мер в условиях больших временных задержек ТМИ, связанных с распространением телеметрического радиосигнала (особенно при применении спутников-ретрансляторов, находящихся на геостационарной орбите, когда время задержки значительно больше времени передачи формируемого в БРТС блока данных с ТМИ).

В практике построения радиолиний известны методы, обеспечивающие передачу не отдельного блока данных, а значительного количества блоков без какого-либо подтверждения от приемной станции [4, 5].

В частности, существуют два метода обнаружения и повторной передачи искаженных данных [5]. Первый метод — *Выборочное повторение* (Selective Repeat), осуществляется повторная передача только тех блоков данных, в которых были обнаружены ошибки. Второй метод — *Возвращение-на-N кадров* (Go-Back-N), повторно передают не только искаженные блоки данных, но также и все блоки, которые были переданы после них. Их особенности пояснены [5] следующим примером: пусть $N = 40$, а блок 6 — ошибочный. Тогда в случае первого метода повторно передают блоки данных с шестого по сороковой, а в случае второго метода — лишь блок 6.

Такая технология не может быть результативной в условиях длительных (до единиц секунд) интервалов с ЧПИ и ППИ.

С целью улучшения достоверности обобщенных данных, а также уменьшения количества задействуемых для осуществления разнесенного приема взаимодублируемых приемно-регистрирующих станций (ПРС) разработаны два метода управляемого разнесенного приема ТМИ.

Их особенность заключается в изменении времени задержки для повторной передачи ТМИ, накопленной в бортовом БЗУ, по командам, формируемым на телеметрируемом объекте и наземными программно-техническими средствами (ПТС), причем:

а) в случае первого метода команда на повтор инициируется ПТС формирования обобщенного массива данных телеизмерений (ПТС ФОМДТ) на основании вычисленных оценок достоверности сформированных обобщенных данных телеизмерений по тестовым данным, содержащимся в ТМИ;

б) в случае второго метода команда на повтор инициируется приемно-регистрирующими станциями из состава взаимодублируемых ПРС по результатам сопоставления вычисленных оценок уровня достоверности принятых ими данных телеизмерений с их допустимыми значениями.

Суть разработанных методов пояснена примерами функционирования бортовых и наземных ПТС управляемого разнесенного приема (УРП) ТМИ. Упрощенные схемы вышеупомянутых ПТС представлены ниже лишь для наглядности описания сущностей методов и не являются обязательными с точки зрения их практической реализации.

Бортовое ПТС УРП ТМИ (рис. 2) включает $N_{\text{БЗУ}}$ последовательно соединенных 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 соединенных БЗУ₁, БЗУ₂, ..., БЗУ_{N_БЗУ}, $\text{ТМИ}_{\text{ВП}} = \{\text{ТМИ}_{\text{БЗУ}_1}, \text{ТМИ}_{\text{БЗУ}_2}, \dots, \text{ТМИ}_{\text{БЗУ}_N_{\text{БЗУ}}}\}$.

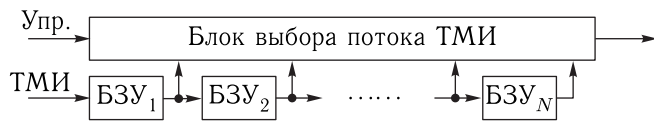


Рис. 2. Упрощенная схема бортового ПТС управляемого разнесенного приема ТМИ

Если все $N_{\text{БЗУ}}$ (см. рис. 2) обеспечивают одинаковую задержку $T_{\text{зад}}$, то задержка ТМИ на выходе БЗУ₁ равна $T_{\text{зад}_1} = T_{\text{зад}}$, БЗУ₂ — $T_{\text{зад}_2} = 2T_{\text{зад}}$, ..., БЗУ_{N_БЗУ} — $T_{\text{зад}_N_{\text{БЗУ}}} = N_{\text{БЗУ}}T_{\text{зад}}$. В дальнейшем значение $T_{\text{зад}}$ для наглядности выражено через время. При этом оно должно совпадать с границами блоков данных с ТМИ, поступающих на вход ПТС (см. рис. 2). То есть при конкрет-

тизации ПТС управляемого разнесенного приема ТМИ $T_{\text{зад}}$ нужно представлять количеством блоков данных установленной неизменной длительности.

Возможно использование БРТС, аналогичных вышеупомянутым «Кварц» и «Скут-40», для последующих действий над сформированной ТМИ_{НП} и ТМИ_{ВП}.

Наземное ПТС УРП ТМИ (рис. 3) включает в себя наземные запоминающие устройства (НЗУ), блоки обработки и оценивания (БОО), блок сортировки ТМИ_{ВП} и блок вывода обобщенных данных.

НЗУ обеспечивают необходимую задержку ТМИ. В блоке сортировки ТМИ_{ВП} идентифицируют номер БЗУ, к которому относится принятая ТМИ_{ВП} (идентифицированная ТМИ_{БЗУ_1}, ТМИ_{БЗУ_2}, ... или ТМИ_{БЗУ_N_БЗУ} поступает на соответствующий выход этого блока), а также формируют необходимые команды (выход ϱ), включающие в процесс обработки и оценивания ТМИ определенные блоки БОО. В БОО формируют обобщенные данные с использованием поступающей на его входы ТМИ и оценивают их уровень достоверности. В зависимости от вычисленного уровня достоверности блоком БОО выдается команда (на выходы a_0, a_1, \dots или a_N , см. рис. 3) о достаточности принятой ТМИ или о необходимости ТМИ_{ВП} с новой задержкой во времени. Сформированные в блоках БОО обобщенные данные и команды (соответственно выходы $\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_N$ и a_0, a_1, \dots, a_N , см. рис. 3) поступают на входы блока вывода обобщенных данных, с выхода которого поступают обобщенные данные ТМИ_{ВП_ОД}, сформированные наземным ПТС УРП ТМИ.

Одновременно с приемно-регистрацией ТМИ на временном интервале длительностью $\Delta T_{\text{нак}}$ непрерывно осуществляется накопление поступающей ТМИ, а на интервале длительностью $\Delta T_{\text{обр}}$ — обработка накопленной ТМИ (рис. 4). По результатам обработки принимается решение о необходимости повторной передачи (т.е. о ценности ТМИ_{БЗУ_i}), и в течение времени $\Delta T_{\text{ком}}$, обозначенном (см. рис. 4) «ком.», инициируется соответствующая команда. Суммарное время $\Delta T_{\text{нак}}$ и $\Delta T_{\text{обр}}$ не должно превышать время 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 $\Delta T_{\text{нак}} = \Delta T_{\text{обр}} + \Delta T_{\text{ком}}$.

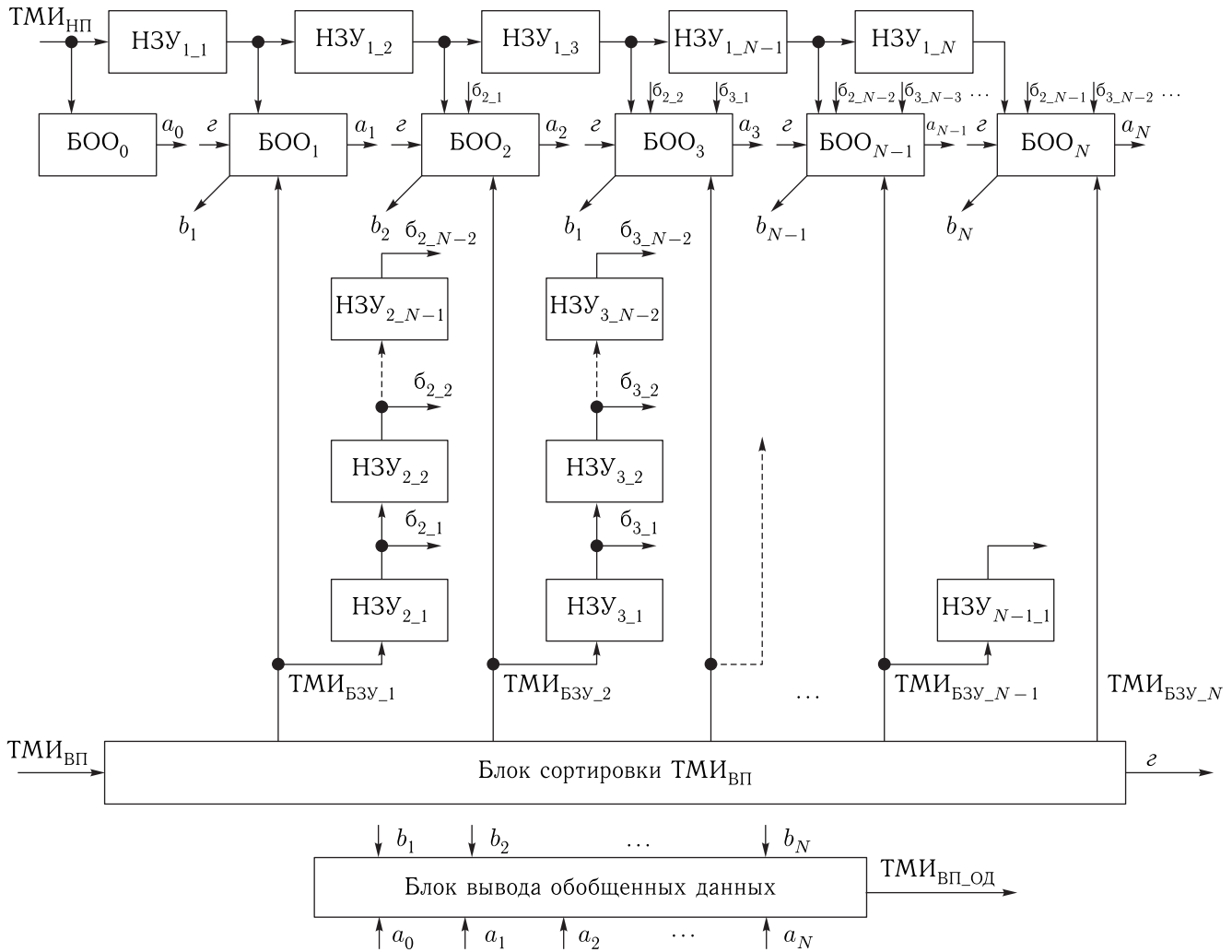


Рис. 3. Упрощенная схема наземного ПТС управляемого разнесенного приема ТМИ

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.

Рис. 4. Циклограмма накопления и обработки поступающей ТМИ

Время передачи блока данных ТМИ равно $T_{БД}$, причем за время $\Delta T_{нак}$ передается и накапливается пакет блоков данных из $N_{БД_пак}$ блоков, его длительность равна $T_{БД_пак}$ ($N_{БД_пак}$ — целое число, $T_{БД_пак} = \Delta T_{нак} = N_{БД_пак} T_{БД}$). Пусть в дальнейшем (для определенности) $N_{пак_нак_1} = 2$ ($N_{пак_нак_1} = T_{зад} : T_{БД_пак}$, $N_{пак_нак_1}$ — максимальное количество пакетов, накопленных в од-

ном БЗУ; $N_{пак_нак_1}$ — целое число). Максимальное количество пакетов, накопленных во вместе взятых БЗУ₁, БЗУ₂, ..., БЗУ _{$N_{БЗУ}$} (см. рис. 2), равно $N_{пак_нак_N}$ ($N_{пак_нак_N} = N_{пак_нак_1} N_{БЗУ} = T_{зад_N_БЗУ} : T_{БД_пак}$).

Необходимо обеспечить идентификацию каждого пакета с ТМИ_{НП} и соответствующих ему пакетов с ТМИ_{БЗУ_1}, ТМИ_{БЗУ_2}, ..., ТМИ_{БЗУ $N_{БЗУ}$} .

Возможный способ идентификации связан с рандомизацией данных [7], формируемых бортовыми ПТС УРП ТМИ. Тогда для идентификации каждого из $N_{\text{пак_нак_}N}$ накопленных в БЗУ₁, БЗУ₂, ..., БЗУ _{$N_{\text{БЗУ}}$} пакетов потребуется своя псевдослучайная последовательность (ПСП), всего — $N_{\text{ПСП_ВП}}$ ПСП ($N_{\text{ПСП_ВП}} = N_{\text{пак_нак_}N}$). Если аналогичную рандомизацию применить и к $N_{\text{пак_нак_}N}$ пакетам ТМИ_{НП}, используя для этого $N_{\text{ПСП_НП}}$ других ПСП ($N_{\text{ПСП_НП}} = N_{\text{ПСП_ВП}}$), то при определенной (известной) очередности применения каждой ПСП к ТМИ_{НП} и к ТМИ_{ВП} обеспечится не только возможность идентификации каждого из накопленных в БЗУ₁, БЗУ₂, ..., БЗУ _{$N_{\text{БЗУ}}$} пакетов (ТМИ_{ВП}), но и возможность установления его временного положения относительно каждого из $N_{\text{пак_нак_}N}$ текущих пакетов ТМИ_{НП}. Таким образом создаются условия для обеспечения синхронизации действий над пакетами с ТМИ_{НП} и с ТМИ_{ВП} в процессе функционирования бортового и всех наземных 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. рис. 4), причем «ком. 0» в случае, когда достаточно ТМИ_{НП}, а «ком. 1», «ком. 2», ..., «ком. $N_{\text{БЗУ}}$ » — когда для улучшения достоверности принятой ТМИ_{НП} необходима соответственно ТМИ_{БЗУ_1}, ТМИ_{БЗУ_2}, ..., ТМИ_{БЗУ_ N} этого пакета.

Если не обеспечивается необходимый уровень достоверности данных i -го пакета с принятой ТМИ_{НП}, то используют дополнительно ТМИ_{БЗУ_1}. Если и ТМИ_{БЗУ_1} этого пакета недостаточно, то передают повторно ТМИ_{БЗУ_2}. В процессе продвижения данных i -го пакета в БЗУ₁, БЗУ₂ и т. д. (см. рис. 2) они имеют приоритет перед данными последующих пакетов (т. е. обеспечивается сначала требуемый уровень достоверности данных i -го пакета управлением временем задержки ТМИ в бортовом ПТС УРП, а затем время задержки устанавливают для последующих пакетов — для $(i + 1)$ -го, $(i + 2)$ -го и т. д.).

Команды, формируемые наземными ПТС УРП ТМИ, должны содержать сведения (инструкцию) о времени их срабатывания в бортовом ПТС УРП ТМИ. Время срабатывания команды может быть

выражено, например, через текущие номера пакетов блоков данных, причем номер пакета определяется по соответствующей ему ПСП. Существует возможность многократной повторной передачи команды «ком.» (см. рис. 4) в течение времени $\Delta T_{\text{ком}}$. Поэтому с точки зрения повышения помехоустойчивости командной радиолинии целесообразно увеличивать время $\Delta T_{\text{ком}}$ за счет сокращения времени $\Delta T_{\text{обр}}$ на обработку ТМИ пакета.

Наземные ПТС УРП ТМИ в условиях отсутствия потерь ТМИ выдают команды «ком. 0», а при наличии потерь — «ком. 1», «ком. 2», ..., «ком. $N_{\text{БЗУ}}$ ». Если в ожидаемый момент времени на вход «упр.» очередная команда от наземных ПТС не поступила, то блок выбора потока ТМИ (см. рис. 2) самостоятельно выдает по ее месту соответствующую команду, причем исходя из утверждения, что ТМИ от момента предшествующей ей команды из-за помех, действующих в каналах «борт–Земля», была потеряна.

Следует заметить, что рассмотренная ранее стратегия применения лишь одного наземного ПТС УРП ТМИ, на входы которого поступает ТМИ лишь от одной ПРС, является очень упрощенной.

Если задействовано несколько взаимодублируемых ПРС, к которым подключены отдельные ПТС УРП ТМИ, то в случае осуществления **второго метода** управляемого разнесенного приема при формировании команд «ком. 0», «ком. 1», «ком. 2», ..., «ком. $N_{\text{БЗУ}}$ » для их последующей передачи на вход «упр.» бортового ПТС УРП ТМИ (см. рис. 2) нужно предварительно среди команд, инициируемых отдельными наземными ПТС УРП ТМИ, выбрать приоритетные команды. Например, если имеются две взаимодублируемые ПРС и первой из них инициирована «ком. 0», а второй — «ком. 1», то приоритет имеет «ком. 0». Действительно, ТМИ_{НП} первой ПРС достаточно для получения достоверных обобщенных данных телеизмерений, в ТМИ второй ПРС нет потребности. При этом ФОМДТ может осуществляться в слеполетное время.

В случае осуществления **первого метода** управляемого разнесенного приема несколькими взаимодублируемыми ПРС команды «ком. 0», «ком. 1», «ком. 2», ..., «ком. $N_{\text{БЗУ}}$ » инициирует ПТС ФОМДТ. Если осуществление связано с использованием ПТС, аналогичного представленному

на схеме (см. рис. 3), то на входы каждого из его блоков $БОО_0, БОО_1, \dots, БОО_N$ поступает соответствующая $ТМИ_{НП}$ и $ТМИ_{ВП}$ не от одной (как это было рассмотрено ранее), а от каждой из взаимодублируемых ПРС. Тогда для необходимых действий над $ТМИ_{НП}$ блок $БОО_0$ должен иметь выход, а блок вывода обобщенных данных — вход v_0 , аналогичный входам и выходам v_1, v_2, \dots, v_N (см. рис. 3). При этом ФОМДТ осуществляется в темпе поступления $ТМИ$ (с поправкой на ее задержку в $БЗУ_1, БЗУ_2, \dots, БЗУ_{N_БЗУ}$, см. рис. 2).

Особенности практической реализации вышеупомянутых методов зависят от сущностей сформулированных [8] ограничений (требований), касающихся комплексирования средств формирования $ТМИ$ в БРТС, сбора $ТМИ$ в интересах ФОМДТ и, собственно, формирования обобщенного массива данных телеизмерений.

В частности, в случае осуществления **первого метода** в условиях очень жестких ограничений пропускной способности каналов средств сбора $ТМИ$ возможна [8] передача в темпе приемо-регистрации не всей $ТМИ$, принятой ПРС, а лишь выделенных из нее тестовых данных для последующего формирования обобщенных тестовых данных (их объем значительно меньше всех принятых и зарегистрированных данных телеизмерений) и на основании оценок уровня их достоверности инициирования команд «ком. 0», «ком. 1», «ком. 2», ..., «ком. $N_{БЗУ}$ ». Тогда использование $ТМИ$, принятой и зарегистрированной взаимодублируемыми ПРС, позволяет обеспечить требуемый уровень достоверности обобщенных данных телеизмерений. При этом сбор $ТМИ$ и ФОМДТ осуществляют в послеполетное время.

На примере реальной $ТМИ$ и моделируемого управляемого разнесенного приема показаны возможности уменьшения интервалов потерь принимаемой $ТМИ$ — от единиц секунд до отдельных сбоев.

Пусть в составе бортового ПТС (см. рис. 2) имеется восемь $БЗУ$ ($БЗУ_1, БЗУ_2, \dots, БЗУ_8$), каждое из которых обеспечивает одинаковую задержку $ТМИ$ $T_{зад} = 4$ с. Тогда задержка $ТМИ$ на выходе $БЗУ_1$ составит $T_{зад_1} = 4$ с, $БЗУ_2$ — $T_{зад_2} = 8$ с, $БЗУ_3$ — $T_{зад_3} = 12$ с, ..., $БЗУ_8$ — $T_{зад_8} = 32$ с.

Пусть $T_{БД} = 80$ мс, а $N_{БД_пак} = 25$ блоков (т. е. $T_{БД_пак} = \Delta T_{нак} = 25 \times 0,08 = 2$ с). Так как

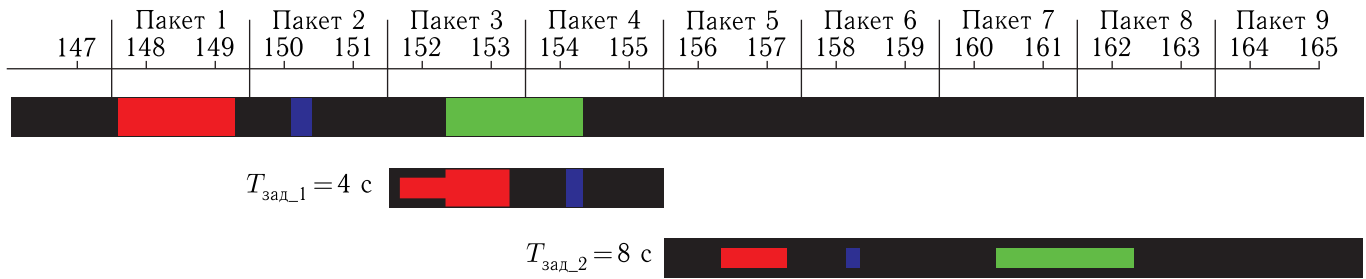
$\Delta T_{нак} = \Delta T_{обр} + \Delta T_{ком}$, то пусть $\Delta T_{обр} = 1,5$ с, а $\Delta T_{ком} = 0,5$ с.

Рассмотрены возможности управляемого разнесенного приема $ТМИ$ 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 полетного времени) на следующих временных интервалах: 147,6–149,3; 150,1–150,3; 152,3–154,3.

Полагаем, что требуемая достоверность обеспечивается формированием обобщенных данных телеизмерений путем 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 обобщенных данных [1, 6]. Смоделированные результаты ФОМДТ показаны на рис. 5. В таблице представлены сведения о сущностях примененных при этом команд «ком. 0», «ком. 1» и «ком. 2».

Возможности рассмотренного управляемого разнесенного приема $ТМИ$ зависят от времени задержки отдельного $БЗУ$ ($T_{зад}$) и от количества таких $БЗУ$ ($N_{БЗУ}$, см. рис. 2). Если длительность временного интервала с потерями $ТМИ$ превышает максимальное время задержки ($T_{зад_N_БЗУ}$), то потери $ТМИ$ по окончании ФОМДТ неизбежны, а хранение накопленных данных телеизмерений, искаженных 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 разнесенного приема $ТМИ$ могут быть существенно расширены использованием разнесения данных (сигналов) не только во времени (с применением $БЗУ$) и в пространстве (на разные антенны, размещенные на удалении друг от друга), но и по частоте (разные несущие частоты; например метрового и дециметрового диапазонов) и по поляризации (например,



Условные обозначения:

- — достоверные телеизмерения
- ■ ■ — потери ТМИ на 1-м, 2-м и 3-м временном интервале
- ■ ■ — повторно принятые достоверные телеизмерения 1-го, 2-го и 3-го интервала

Рис. 5. Результаты моделирования управляемого разнесенного приема реальной ТМИ

Таблица. Команды, сформированные при осуществлении управляемого разнесенного приема ТМИ (для пояснения приведенного примера)

Номер пакета	Наземные ПТС			Принята/не принята	Бортовое ПТС			Сведения о ТМИ рассматриваемого пакета
	Ком.	Время			Ком.	Время		
		выдачи	срабатывания			выдачи	срабатывания	
1	1	151,0–151,5	151,5	Принята	–	–	–	Необходима ТМИ _{БЗУ_1}
	2	155,0–155,5	155,5	Принята	–	–	–	Необходима ТМИ _{БЗУ_2}
	0	159,0–159,5	159,5	Принята	–	–	–	ТМИ _{ВП} 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 _{БЗУ_2}
	0	161,0–161,5	161,5	Принята	–	–	–	ТМИ _{ВП} не требуется
3	2	155,0–155,5	155,5	Принята	–	–	–	Требуется ТМИ _{БЗУ_1} , но приоритет имеет «ком. 2» для ТМИ _{ВП} пакета 1
	0	163,0–163,5	163,5	Принята	–	–	–	ТМИ _{ВП} не требуется
4	2	157,0–157,5	157,5	Принята	–	–	–	Требуется ТМИ _{БЗУ_1} , но выполняются действия над ТМИ _{БЗУ_1} пакета 1, поэтому выдают «ком. 2»
	0	165,0–165,5	165,5	Принята	–	–	–	ТМИ _{ВП} не требуется, причем 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 _{НП}

сигналы вертикальной и горизонтальной поляризации) [1].

Как для обычных методов разнесенного приема, так и для предложенных методов УРП ТМИ актуально их комплексирование с другими методами улучшения достоверности данных радиолиний (например, с методами модуляции и помехоустойчивого кодирования/декодирования [1,6]; в частности, с методами помехоустойчивого кодирования, рекомендуемыми CCSDS [9]). Также для них актуальны рассмотренные [10] аспекты комплексирования, связанные с декодированием, ориентированным на мягкое решение при демодуляции (в частности, на декодирование по алгоритму Витерби).

Таким образом, предложенные методы управляемого разнесенного приема ТМИ обеспечивают существенное улучшение достоверности данных радиолиний путем более полного использования возможностей адаптации к изменяющимся условиям помеховой обстановки. Их осуществление создает предпосылки для уменьшения количества взаимодублируемых ПРС, однако связано с построением дополнительных ПТС (бортовых и наземных) с применением командной радиолинии. Их отличия от обычных методов разнесенного приема не являются препятствием для комплексирования с другими методами повышения помехоустойчивости (сущности комплексирования аналогичны).

Список литературы

1. *Воронцов В.Л.* Методы разнесенного приема телеметрической информации и условия их применения в процессе развития телеметрического комплекса космодрома. 2-е изд., перераб. и доп. Набережные Челны: Изд-во Камской государственной инженерно-экономической академии, 2009. 284 с.
2. *Грибков Н.В., Бобылев А.В., Юрков Ю.А., Жуковский С.Ю., Грибков В.Н.* Радиопередающее 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.
3. *Богомолов О.С., Стёпкин В.С.* Автоматизированная обработка телеметрической информации: Учеб. пособие. МО СССР, 1977. 166 с.
4. *Васильев В.И., Буркин А.П., Свириденко В.А.* Системы связи: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1987. 280 с.
5. *Блэк Ю.* Сети ЭВМ: Протоколы, стандарты, интерфейсы / Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 506 с.
6. Correlated Data Generation, Research and Development for Space Data System Standards CCSDS 551.1-O-1, Issue 1, CityplaceOrange Book, Consultative Committee for Space Data Systems, July 2015.
7. TM Synchronization and Channel Coding, Recommended Standard CCSDS 131.0-B-2, Issue 2, Blue Book, Consultative Committee for Space Data Systems, August 2011.
8. *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.
9. *Воронцов В.Л.* Улучшение достоверности данных путем использования возможностей разнесенного приема // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2017, т. 4, вып. 1. С. 61–70.
10. *Воронцов В.Л.* Модернизация алгоритмов получения обобщенных данных при комплексировании методов разнесенного приема и декодирования данных // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2018, т. 5, вып. 1. С. 86–92.