

Предисловие

Монография В.Л. Воронцова является результатом обобщения его 35-летнего опыта работы на космодроме Байконур (с 1975 по 2010 год), а также активного сотрудничества с международным комитетом CCSDS с 2012 года по настоящее время (CCSDS — Consultative Committee for Space Data Systems — Консультативный комитет по космическим системам передачи данных). Автор систематизировал и развил знания, представленные в монографии «Методы разнесённого приёма телеметрической информации и условия их применения в процессе развития телеметрического комплекса космодрома», изданной в 2008 году и переизданной в 2009 году, в опубликованных своих научных статьях, а также в Оранжевой Книге CCSDS 551.1-O-1 «Correlated Data Generation».

Монография посвящена проблеме улучшения информационно-телеметрического обеспечения (ИТО) отработки средств выведения, которыми являются прежде всего ступени ракет-носителей и разгонные блоки ракет космического назначения, а также маршевые ступени и ступени разведения боевых блоков межконтинентальных баллистических ракет.

Задачи ИТО отработки средств выведения выполняют в условиях влияния неопределённых факторов разной природы, привносящего специфику в их решение. Чтобы учесть эту специфику и выработать адекватные меры противодействия вышеупомянутым неопределённым факторам, необходимы научные исследования и базирующееся на их результатах описание сущностей стратегий развития ИТО. Именно такая работа выполнена автором.

Выявлены имеющие место негативные тенденции развития существующего ИТО. В частности, увеличение пропускной способности каналов «борт–Земля», значительно обостряющее проблемы сбора принятой телеметрической информации (ТМИ), особенно с использованием спутников-ретрансляторов. При этом потери информации вследствие влияния помех сопоставимы с потерями времён 60–70-х годов XX века. Из-за них существенно ухудшается качество отработки средств выведения. Альтернативные пути — интеллектуализация бортовой радиотелеметрической системы (БРТС), управляемый обмен данными между БРТС и наземными средствами телеметрического комплекса (ТК) космодрома. Другая негативная тенденция — рост издержек, связанных с необходимостью постоянной доработки существующего программного обеспечения (ПО) ТК из-за отсутствия механизма унификации структур ТМИ, формируемой БРТС и наземными программно-техническими средствами (ПТС) ТК. Альтернатива — в повышении эффективности управления процессами разработки структур ТМИ, методов действий над ТМИ. Для этого необходимы соответствующие стандарты телеметрии.

Для устранения вышеупомянутых (и других) негативных тенденций и недостатков существующего ИТО автором предложен и реализован системный подход, при осуществлении которого БРТС, ПТС ТК, методы и алгоритмы действий над ТМИ, структуры ТМИ и т.д. являются элементами системы ИТО (СИТО) с улучшенными технико-экономическими характеристиками. Сформулированные ограничения (требования), касающиеся комплексирования отдельных ПТС, существенно сужают границы поиска рациональных стратегий осуществления СИТО, позволяют реализовать их интенсивное развитие, альтернативное сложившемуся в отечественной практике устойчивому вынужденному фрагментарному подходу, порождающему экстенсивное развитие средств ИТО (т.е. действия по принципу «не качеством, а количеством»), проявление которого в настоящее время менее заметно (по сравнению с 60–70-ми годами XX века) на фоне широких возможностей современных ПТС и информационных технологий.

Разработанный комплекс показателей ИТО инвариантен к сущностям стратегий усовершенствования и применения СИТО, что делает его универсальным — позволяет получать сравнительные оценки принципиально разных стратегий.

Предложенные автором методы и алгоритмы уменьшения потерь ТМИ на основе рационального управления избыточностью данных телеизмерений существенно повышают достоверность данных результатов отработки средств выведения. Традиционный путь сокращения потерь ТМИ связан с увеличением избыточности телеизмерений, которая в настоящее время чрезмерна, и в условиях имеющего место влияния неопределённых факторов разной природы он бесперспективен. Реализацией в СИТО вышеупомянутых методов и алгоритмов значительно уменьшается объём данных телеизмерений, создаются благоприятные возможности эффективного комплексирования отдельных ПТС.

Особое внимание уделено повышению достоверности данных, передаваемых по радиолиниям, методами разнесённого приёма, причём в условиях влияния произвольных помех (их характеристики априори неизвестны), обычных при пусках ракет.

Соответственно, разработаны новые модели, критерии, методики для сравнительной оценки достоверности, обеспечиваемой разными методами и алгоритмами, ориентированные на произвольные помехи.

Полученные автором научные результаты являются существенным вкладом в теорию системного анализа, управления и обработки информации, относящуюся к ракетно-космической технике. Их практическая реализация внесет достойный вклад в повышение эффективности ИТО, в улучшение качества отработки средств выведения на полигонах и космодромах.

Монография В.Л. Воронцова «Система информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения. Стратегии усовершенствования и применения» выполнена на высоком научно-методическом уровне и соответствует предъявляемым требованиям к подобным работам, имеет научную и практическую значимость. Мне как начальнику кафедры (1989–1994 гг.) кафедры

телеметрического и метрологического обеспечения ВА РВСН имени Петра Великого приятно отметить последовательную преемственность и связь научных и технических решений с накопленным багажом телеметристов всех поколений.

Книга рекомендуется специалистам в области информационно-телеметрического обеспечения испытаний ракетно-космической техники, радиотелеметрии, информационных и измерительных систем, систем связи.

С уважением и наилучшими пожеланиями к автору монографии и читателям,

Доктор технических наук, профессор,
лауреат Государственной премии имени
Маршала Советского Союза Г.К. Жукова

В.В. Васильев

Введение

Требуемый уровень развития информационно-телеметрического обеспечения (ИТО) отработки ракетно-космической техники (РКТ) на полигонах и космодромах во многом определяется изменяющимися во времени задачами ее летных испытаний (ЛИ) и штатной эксплуатации (ШЭ). Степень удовлетворения требований к ИТО в значительной мере зависит от исходов отработки. При успешных исходах нереализованные возможности системы ИТО (СИТО) воспринимаются как излишние. Относительно длительные серии безаварийных пусков способствуют заблуждению лиц, принимающих решения (ЛПР), по поводу соответствия качества ИТО решаемым задачам отработки. При полетных авариях от возможностей СИТО зависит достоверность сведений о причинах аварии, оперативность их получения, поэтому более зримо проявляются недостатки ИТО. В условиях возрастающих технологических возможностей разработки новых образцов РКТ, минимизации из-за финансовых ограничений числа пусков на этапе летных испытаний роль ИТО в повышении качества отработки возрастает.

К середине 90-х годов XX века отечественные программно-технические средства (ПТС) телеметрического комплекса (ТК) космодрома устарели морально и физически. Сроки эксплуатации многих средств составили 20 и более лет. Возникла большая потребность в их обновлении. К этому времени заметно активизировались работы по созданию ПТС ТК на базе персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ), современных информационных технологий (ИТ). Как оказалось, открывшиеся возможности остались в значительной мере нереализованными.

При решении задач ИТО не удастся устранить следующие, наиболее зримо проявляющиеся недостатки:

- имеют место значительные потери телеметрической информации (ТМИ), особенно из-за неопределенного поведения телеметрируемых параметров (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, причем 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, целена-

правленно и своевременно принимать меры по устранению вышеупомянутых недостатков; из-за этого ПТС ТК избыточны, но не инвариантны.

Сущности связей экспериментальных оценок качества ТМИ, полученной с использованием ПТС ИТО при обработке ракет космического назначения (РКН) и межконтинентальных баллистических ракет (МБР), и свойств ПТС ИТО, опосредованных через эти оценки, отражают сущности вышеупомянутых недостатков.

Эти недостатки связаны прежде всего с чрезмерной избыточностью телеизмерений, создаваемой с целью уменьшения потерь ТМИ. Существующая избыточность телеизмерений, формируемых отечественными бортовыми информационно-телеметрическими системами (ВИТС), достигает 95 % от их общего числа [130]. Она (избыточность) значительно увеличивается после приемо-регистрации вместе с ростом объема ТМИ, принятой ПТС ТК, из-за необходимости разнесенного приема. Обычно на один комплект бортовой радиотелеметрической системы (БРТС) приходится 4–6 наземных приемно-регистрирующих станций (ПРС) [62].

Однако потери ТМИ существенны, особенно при аварийном исходе пуска. Приходится констатировать, что существующая отечественная телеметрия является телеметрией нормального пуска, в то время как наиболее острая потребность в ТМИ появляется в случае нештатных и аварийных ситуаций. Из-за потерь ТМИ ухудшается качество обработки РКН и МБР.

Для отечественных ВИТС с традиционным временным разделением каналов (ВРК) [73, 104] характерно увеличение объема телеизмерений при увеличении количества ТМП. При этом пропорционально увеличивается количество комплектов БРТС и лавинообразно (из-за необходимости разнесенного приема ТМИ) — количество ПТС ТК (прежде всего, ПРС). Существующие условия значительной неопределенности (разброса) количества ТМП в зависимости от РКН (МБР) являются основной причиной неинвариантности СИТО к изменяющимся задачам ИТО. Они (условия) существенно осложняются неопределенными факторами, касающимися траекторий полета (соответственно, необходимостью обеспечения зон радиовидимости ПТС ТК), периодичности пусков РКН (МБР). Так, при подготовке ТК к летным испытаниям комплекса «Энергия-Буран» стоимость дооснащаемых средств ТК составила более 500 млн рублей в ценах 70-х годов XX века [143]. Только для приемо-регистрации ТМИ понадобилось более 100, причем разнотипных, ПРС [при пуске РКН с ракетой-носителем (РН) «Союз» обычно задействуют 12–15 ПРС]. Имеет место значительная избыточность ПТС ТК для чаще всего выполняемых задач ИТО (они обычно или простаивают, или используются для нерационального резервирования).

Из-за недостаточного качества управления развитием СИТО в течение ряда лет задачи развития практической отечественной телеметрии (типа построения однопунктного или малопунктного ИКК, интегрирования ИКК и НАКУ КА, создания единого для всех космодромов ЦСИАИ, оптимизации численности ИПов в составе ИКК) решаются контрпродуктивно. Например, в сложившихся условиях существенных финансовых ограничений значительно сократилось

количество ИПов. Декларируемая при этом «оптимизация» на деле означает вывод ПТС из состава ТК и никакого отношения не имеет к принятому в науке и технике (вполне конкретному) одноименному термину. На основе умозрительных оценок сделано заключение о том, что достоверность принятой ТМИ практически не ухудшилась.

Сложившись и доминируют субъективные подходы к развитию СИТО. Недостаточно полно учитываются технические и технологические возможности предприятий ракетно-космической отрасли и не всегда предпринимаются необходимые организационно-технические меры по созданию благоприятных условий для расширения этих возможностей. Результаты ретроспективного анализа показали [62], что процесс развития отечественных СИТО несовершенен. Доминирует принцип «не качеством, а количеством». Однако признаки экстенсивного развития — отсутствие решений актуальных проблемно-ориентированных задач — скрыты за явными преимуществами новых современных средств на базе ПЭВМ, ИТ.

Например, одна из таких задач — телеметрирование вибропараметров (обычно они составляют до 3/4 от общего количества осуществляемых телеизмерений даже по окончании ЛИ). В условиях перехода на использование цифровых сигналов (отказа от использования аналоговых) из-за отсутствия компактного представления ТМИ в БИТС наблюдается негативная тенденция увеличения скорости ее передачи по каналам «борт–Земля» [62]. При этом значительно повышается (и без того высокая) избыточность данных телеизмерений. Возникают трудности сбора принятой ТМИ (особенно с использованием космических радиолиний [166]), ресурсы отвлекаются на избыточные данные телеизмерений (т. е. используются нерационально).

Другая негативная тенденция — рост издержек, связанных с необходимостью постоянной доработки существующего программного обеспечения (ПО) ТК из-за отсутствия механизма унификации структур ТМИ (систем телеметрических сигналов [18]), формируемых ВРТС и наземными ПТС ТК. Для осуществления унификации необходимы соответствующие стандарты. Из-за их отсутствия качество управления процессом развития СИТО не может быть удовлетворительным. Поэтому 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 при их применении, что представляет собой серьезное препятствие на пути дальнейшего развития. 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, 48, 155]. Последствия фрагментарного подхода проявляются и при подготовке ПО ТК к решению новых задач ИТО [48]. 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 ХХ века, не уменьшились.

Для сокращения потерь ТМИ и обеспечения компактного представления данных телеизмерений целесообразен индивидуальный подход к множеству возможных состояний телеметрируемого объекта [104], что влечет многообразие структур ТМИ, формируемых адаптивными [1] ВИТС. Многообразие структур ТМИ недопустимо без их унификации, причем унификации, обеспечивающей инвариантность ПО ТК к изменяющимся задачам ИТО. Однако формы таких унифицированных структур ТМИ для отечественных СИТО пока не определены.

Наше отставание значительно и наиболее зримо проявляется при сравнении уровней развития отечественной и зарубежной телеметрии, передовых информационных технологий в смежных областях. Имеет место устойчивая тенденция ускоренного расхождения вышеупомянутых уровней.

Необходимо существенно улучшить качество управления процессом развития отечественных СИТО.

Имеется международный и зарубежный опыт. Он весьма емко представлен официальными документами [211, 216, 217 и др.], составляющими научно-методическую основу организационно-технических аспектов стандартизации. Однако полноценное использование без адаптации к отечественным условиям, например, положений технических стандартов (типа CCSDS [201, 207, 209, 214 и др.] и IRIG [218]) не представляется возможным. Необходим всесторонний учет специфики отработки отечественной РКТ, технические и технологические возможности отечественных предприятий ракетно-космической отрасли [50]. В частности, при отработке новых образцов РКТ в отечественной практике большее предпочтение отдают летным испытаниям (по сравнению с наземными испытаниями и моделированием, проводимыми, например, в США). Поэтому на этапе ЛИ имеет место большая неопределенность поведения телеметрируемых параметров и связанные с ней потери ТМИ и избыточность данных телеизмерений. Значительная доля ТМП является быстроменяющимися параметрами (ВМП), прежде всего вибропараметрами. Методы формирования ТМИ вибропараметров в ВИТС и обработки ее с применением ПТС ТК существенно отличаются от относящихся, например, к ТМИ медленноменяющихся параметров (ММП).

Развитие СИТО затруднено наличием связей между отдельными технологическими процессами (сущности этих связей неочевидны) и возможностей использования различных методов для достижения одной и той же цели (например, уменьшение потерь ТМИ может обеспечиваться применением методов модуляции, помехоустойчивого кодирования или методов сглаживания и фильтрации принятых данных телеизмерений). Отсюда — неочевидность сущностей стратегий развития СИТО. Она 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 их развития разными специалистами, для за-

блуждений и для действий с позиции «группового эгоизма» [187] при выборе стратегий развития СИТО.

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 неопределенностью [125], что создает благоприятные условия для «проталкивания» плохих новых ПТС СИТО.

Развитие СИТО стимулируют следующие факторы [8]:

- 1) новые задачи ИТО;
- 2) физическое старение ПТС ИТО;
- 3) естественный ход развития современных ПТС и ИТ, их очевидные достоинства; успешное решение аналогичных задач в смежных областях;
- 4) производственные отношения, требующие постоянного повышения технического и технологического уровней предприятий ракетно-космической отрасли, чтобы быть конкурентоспособными.

В зависимости от того, какие факторы доминируют, процесс развития может быть эффективным или неэффективным. Признаки эффективного процесса развития — четвертый из перечисленных выше факторов, а признаки неэффективного — остальные три фактора.

Существующий процесс развития отечественных СИТО — неэффективный.

Основная причина такого положения дел связана с несовершенством существующих производственных отношений отечественных предприятий ракетно-космической отрасли [8]. Для улучшения ситуации нужна их регламентация. Для ее осуществления необходимы прежде всего официально принятая концепция развития СИТО и соответствующие ей стандарты телеметрии. В существующих условиях отсутствия такого регламентирования созданы предпосылки, при которых одни отечественные предприятия ракетно-космической отрасли стремятся инициировать работы и/или участвовать в работах (в частности, в НИОКР), исходя из своих возможностей и предпочтений (исходя из своих интересов). Причем 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 определенные организационно-технические меры по гармонизации производственных отношений путем построения и внедрения вышеупомянутых концепции и стандартов, обеспечивающих благоприятные условия перманентного повышения эффективности СИТО [42].

Чтобы улучшить качество ИТО, прежде всего необходим системный (комплексный) подход к развитию СИТО, направленный на создание избыточности данных телеизмерений, адекватной существующим условиям, и ее рациональное использование.

Некоторые пояснения сущностей примененных терминов

Средства выведения орбитальных средств [134] (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 (РВ) ракет космического назначения (РКН). Обычная для космодромов (полигонов) практика — осуществление, кроме РКН, пусков МБР. Их соответствующие составляющие (маршевые ступени, ступени разведения боевых блоков и боевые блоки) также отнесем к средствам выведения.

Телеметрируемые средства выведения являются *телеметрируемыми объектами* [73]. Типичными для космодрома телеметрируемыми объектами являются РКН и МБР и их составляющие. Кроме них, — стартовые комплексы (СК) и шахтно-пусковые установки (ШПУ). 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 ее анализа используют для усовершенствования средств выведения (телеметрируемых объектов), т. е. осуществляется их *отработка*.

Осуществляют информационно-телеметрическое обеспечение (ИТО) *отработки средств выведения*, 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 [123, гл. 4]).

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 функционировании систем средств выведения и контроля их движения на участке выведения (см. «Измерительный комплекс космодрома» [134]).

Телеметрический комплекс (ТК) является частью ИКК и предназначен для решения задач ИТО отработки прежде всего РКН и МБР. ПТС, являющиеся элементами СИТО, входящие в его состав, размещены на измерительных пунктах (ИПах) и в вычислительном центре (ВЦ) космодрома, причем наиболее сложные задачи обработки ТМИ решаются в ВЦ.

При проведении пуска РКН (МБР) определяют *комплекс средств измерений, сбора и обработки информации ракетно-космического комплекса*

(КСИСО) [134], являющихся частью ИКК (и соответственно ТК). Определяют также элементы СИТО для решения отдельных задач ИТО — КСИСО ТМИ.

Управление избыточностью телеизмерений обеспечивается осуществлением стратегий совершенствования и применения СИТО. Исходя из сущностей решаемой проблемы и существующей [123] терминологии, *стратегия операции совершенствования (применения)* СИТО — это правила, предписывающие целенаправленные действия над множеством определенных объектов (над множеством телеметрируемых объектов, задач ИТО, ПТС — и т. д.) для совершенствования (для применения по целевому назначению) системы ИТО.

Операция — совокупность действий, мероприятий, направленных на достижение некоторой цели, т. е. совокупность целенаправленных действий [123]. Применительно к технике — взаимодействие технических средств и людей.

Эффективность операции — степень соответствия реального результата операции желаемому [123].

Целью работы является обеспечение требуемой достоверности данных результатов отработки средств выведения путем сокращения потерь телеметрической информации на основе рационального управления избыточностью данных телеизмерений.

Книга содержит введение, шесть глав, заключение, список литературы и приложение.

Во **введении** обоснована актуальность проблемы, сформулирована цель работы, заключающаяся в обеспечении требуемой достоверности данных результатов отработки средств выведения путем сокращения потерь телеметрической информации на основе рационального управления избыточностью данных телеизмерений.

В **первой главе** выполнен системный анализ проблемы (из него следует, что результативность существующих СИТО недостаточна), определены пути ее 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 ее зарождения (т. е. на телеметрируемом объекте), а также уменьшение избыточности данных телеизмерений при осуществлении разнесенного приема 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. Для его реализации осуществлена необходимая формализация, основа которой — стратифицированное описание объектов, касающиеся различных аспектов СИТО.

Во **второй главе** представлен общий научно-методический аппарат для оценивания результативности СИТО, применяемой в условиях действия неопределенных факторов разной природы, являющихся причиной неопределенности

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 неопределенности (в том числе целевой и поведенческой неопределенности). 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, 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. Развита методика 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, причем множество этих наборов требований (ограничений) и множество связанных с ними объектов — конечное.

В четвертой главе с использованием предложенного комплекса показателей ИТО и развитого подхода к интеграции ПТС разработаны способы рационального управления избыточностью данных телеизмерений. К ним относятся:

- алгоритм преобразования первичных сигналов, уменьшающий потери ТМИ вследствие ошибок в выборе ожидаемого диапазона измерений, и обеспечивающий компактное представление данных в условиях жестких ограничений пропускной способности каналов «борт–Земля»;
- процедуры управляемого разносенного приема ТМИ, обеспечивающие уменьшение потерь ТМИ вследствие действия помех в каналах «борт–Земля» улучшением достоверности обобщенных данных, а также создающие

благоприятные условия для сокращения количества взаимодублируемых ПРС;

- метод построения алгоритмов получения обобщенных 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 мажорирования);
- метод улучшения качества синхронизации принятых блоков данных, обеспечивающий благоприятные условия применения алгоритмов получения обобщенных данных.

Разработке метода построения алгоритмов получения обобщенных данных и построению самих алгоритмов предшествует анализ факторов, усложняющих условия помеховой обстановки, создающих предпосылки ухудшения достоверности, обеспечиваемой разнесенным приемом ТМИ. Исследованы возможности управления функциональной зависимостью между данными, поступившими из каналов разнесения, и обобщенными данными с целью создания алгоритмов получения обобщенных данных, адаптирующихся к помеховой обстановке. Применение разработанного метода построения алгоритмов получения обобщенных данных связано с постановкой комбинаторной задачи и ее решением. В результате решения этой задачи разработаны алгоритмы A_4 и A_{42} . Рассмотрены особенности и возможности совмещения разнесенного приема с другими методами улучшения достоверности данных (с методами помехоустойчивого кодирования/декодирования и модуляции).

В пятой главе представлены рекомендации, обеспечивающие условия для реализации сформулированных способов рационального управления избыточностью данных телеизмерений. К ним относятся:

- 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 полетной 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, которые относительно автономны, что позволяет разрабатывать научно-методический аппарат и формулировать рекомендации отдельно по каждой из них с целью улучшения процесса ФОМДТ в целом;

- рекомендации по практическому применению алгоритмов получения обобщенных данных (алгоритмов A_4 и A_{42});
- 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 (МБР) однотипные ПТС ИТО, одинаковая технология действий над ТМИ делают целесообразной разработку общих подходов к обнаружению дефектов в полученной ТМИ и их устранению.

Представлены ожидаемые практические результаты осуществления рациональных стратегий применения усовершенствованных СИТО, в которых реализованы разработанные способы рационального управления избыточностью данных телеизмерений (см. гл. 4) и рекомендации, обеспечивающие условия для реализации этих способов (см. гл. 5).

В шестой главе представлены критерии, модели и методики для оценивания достоверности, обеспечиваемой алгоритмами получения обобщенных данных, и результаты их применения. Показана связь между полученными оценками достоверности и разработанным комплексом универсальных показателей, характеризующих существенные аспекты ИТО. Предложена методика оценивания достоверности данных с использованием вышеупомянутых критериев и разработанной модели источника ошибок в каналах разнесения, показаны порядок ее использования при исследовании алгоритмов получения обобщенных данных и возможности выбора с ее 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 приема ТМИ, предназначенная для идентификации избыточности (недостаточности) задействованных каналов разнесения и определения ценности отдельных вариантов их задействования, а также представлены результаты ее применения. Разработаны математические модели для определения «реакции» исследуемых алгоритмов получения обобщенных 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 обобщенных данных). Представлены экспериментальные доказательства правомерности использования разработанного научно-методического аппарата, относящегося к алгоритмам получения обобщенных данных.

В **заключении** подведены итоги проведенных исследований, показаны направления дальнейшего использования результатов работы.

В **Приложение** вынесены описания практических примеров для пояснения сущностей решаемой проблемы.

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

Настоящая работа является итогом исследований, проведенных самостоятельно автором за период с 1996 по 2020 годы, по улучшению ИТО путем развития ПТС и информационных технологий, касающихся прежде всего разнесенного приема ТМИ.