

УДК. 681.2

А.Н. Пылькин, С.В. Филаткин

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПУНКТА КАК СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ СБОРА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Задача обеспечения измерениями испытаний сложных технических комплексов предусматривает проведение измерений на всех участках эксперимента. В случаях когда средства измерений находятся на удалённом расстоянии от промышленных и промышленных объектов, может ощущаться нехватка квалифицированного персонала, обслуживающего эти средства измерения, или выявиться ситуация, при которой присутствие персонала небезопасно в районе проведения измерений.

Решением задачи получения измерений в таких условиях может быть использование малообслуживаемых (автоматических, безлюдных) технологий. Создание автоматического измерительного пункта является реализацией таких малообслуживаемых (автоматических, безлюдных) технологий подготовки и целевого применения измерительных средств, сокращение на этой основе затрат на информационно-измерительное обеспечение испытаний сложных технических комплексов.

Ключевые слова: *распределённые системы, информационно-измерительные системы, системы сбора измерительной информации, автоматические измерительные и управляющие средства.*

Введение. С целью обеспечения максимальной безопасности в случае нештатных и аварийных ситуаций при испытаниях сложных технических комплексов, к которым относятся и ракетно-космическая техника (РКТ), техническую и стартовую позиции (ТП, СП), районы падения ступеней ракеты-носителя размещают в малонаселенной местности вдали от промышленных и промышленных объектов [1]. При этом сохраняется задача получения измерительной информации при проведении испытаний, которая на практике распадается на большое количество мероприятий, в том числе:

- определение необходимого количества измерительных средств;
- мониторинг состояния измерительных средств;
- расчёт программы работы для каждого измерительного средства;
- проведение собственно самого сеанса измерений;
- обеспечение передачи измерительной информации или её части в пункт управления испытаниями для оперативного управления в реальном времени;

- сбор измерительной информации с измерительных пунктов для обработки и анализа.

Удалённость объектов и, как следствие, нехватка квалифицированного персонала приводят к необходимости максимального повышения уровня автоматизации функций информационно-измерительного обеспечения испытаний РКТ, вплоть до создания автоматических средств и комплексов, способных по «безлюдной» технологии обеспечить работу на измерительных пунктах посредством централизованного удалённого управления.

Цель работы. На сегодняшний день для информационно-измерительного обеспечения испытаний актуально кардинальное сокращение обслуживающего персонала в комплексе задействованных измерительных пунктов. Создание автоматических средств, централизованно управляемых из удалённого центра (пункта управления, информационно-вычислительного пункта), позволит обеспечить проведение сеанса измерений минимальным составом персонала, в обязанности которого будет входить поддержание энергоснабжения измерительного пункта и проведение технического обслуживания в минимальном

объёме.

Целью выполнения работы является создание средств автоматического измерительного пункта (далее – АИП), которые реализуют мало-обслуживаемые (автоматические, безлюдные) технологии подготовки и целевого применения измерительных средств как отдельно, так и в составе комплекса, обеспечивающие сокращение затрат на информационно – измерительное обеспечение испытаний сложных технических комплексов.

Теоретические исследования. Комплекс АИП предназначен для обеспечения дистанционно реализуемых процессов подготовки и проведения сеансов измерений существующим составом средств измерений, сбора и передачи данных измерительных пунктов без участия персонала и должен обеспечивать выполнение следующих основных функций:

1) приём и регистрацию первичной информации от измерительных средств для её последующей передачи в центр сбора (вычислительный центр) на обработку в формате сокращённых (репортажных) потоков и в формате полных потоков;

2) формирование управляющих команд на пункте управления АИП и их приём и исполнение, в том числе на запуск и остановку приёма измерений, на синхронизацию по плановому времени работы, на поворот по заданному азимуту и углу места и др.;

3) оперативную коррекцию программы сеанса измерений с участием пункта управления и использованием информации от сторонних измерительных пунктов, а также автономную оперативную коррекцию программы сеанса измерений;

4) централизованное автоматическое диагностирование – самодиагностика АИП, проверка работоспособности измерительных средств и оценка готовности АИП к информационно – измерительному обеспечению по итогам выполнения контрольного теста. Протоколирование результатов проверки работоспособности и оценки готовности;

5) оперативный мониторинг технического состояния АИП и формирование протоколов по фактическому состоянию и режиму функционирования измерительных средств.

В общем случае АИП не является безлюдным – участие человека на том или ином технологическом участке обусловлено определёнными ограничениями и свойствами измерительных средств. Однако степень автоматизации АИП достаточно высока, чтобы не предъявлять требований по сложной подготовке персонала и глу-

бокого знания предметной области для работ на периферийном объекте. Все наукоёмкие задачи, требующие участия квалифицированных инженеров-испытателей, сосредоточены в вычислительном центре и относятся преимущественно к подготовительной стадии. После корректно проведённой подготовки АИП отработает с минимально возможным составом пользователей, в определённых ситуациях – без участия человека.

Автоматизация измерительного пункта предусматривает повышение надёжности функционирования за счёт использования результатов обработки измерений в управлении измерительными средствами. Там, где имеется риск сбоев в связи с человеческим фактором либо с существенными отклонениями от трассы, АИП способен отработать по регламентированному алгоритму, не прерывая передачу измерений в центр с большим качеством информации, чем при ручном сопровождении по командам. Например, в соответствии с предложенными далее решениями устойчивое функционирование АИП возможно в следующих ситуациях:

1) в условиях отсутствия программы сеанса измерений – АИП имеет ПО, необходимое для восстановления азимута и угла места измерительного средства по принятым параметрам независимо от успеха выполняемых в центре сбора вычислений;

2) в условиях незнания точного времени измерений и в отсутствие фиксации факта начала эксперимента – таблицы программы сеанса измерений будут оперативно скорректированы при приёме первых измерений;

3) в условиях неустойчивого канала связи между АИП и вычислительным центром – в АИП предусмотрены переходы от централизованных вариантов управления к автономным для парирования нештатных ситуаций в канале связи и вычислительном центре.

Структурно, по функциональному назначению, составные части АИП можно классифицировать на следующие группы:

1) программно-технические средства управления и выдачи программы сеанса измерений – компьютеры и СПО пункта управления, обеспечивающие пользовательский интерфейс при подготовке и обеспечении работ и формирование управляющего воздействия по результатам обработки;

2) комплексы средств автоматизации, обеспечивающие сопряжение с первичными измерительными средствами, находятся на периферийном объекте, реализуют протоколы взаимодействия с различными видами измерительной и регистрирующей аппаратуры (приёмно –

регистрирующая аппаратура, оптико – электронные средства измерений, радиолокационные средства и др.);

3) комплексы, обеспечивающие обработку измерительной информации в рамках управления АИП. Их конечная цель – коррекция программы сеанса измерений в реальном времени, что требует выполнения оценки достоверности угловых измерений и триангуляции.

По режимам работы применительно ко времени проведения вводятся режимы, традиционные для других систем измерительного комплекса:

1) подготовка: расчёты программы сеанса измерений, формирование исходных данных, проверка работоспособности, оценка готовности;

2) репортаж: режим реального времени с высокими требованиями по эффективности – передача избранных сокращённых потоков в центр и оперативная коррекция программы сеанса измерений;

3) сбор: обеспечение полного гарантированного сбора полных потоков накопленных измерений после сеанса. Данный режим по времени соответствует этапу экспресс-анализа и оперативной обработке в системах-потребителях в вычислительном центре;

4) формирование отчётных документов по качеству работы АИП: выборка данных из протоколов мониторинга технического состояния в процессе предшествующих этапов.

В режиме подготовки АИП обеспечивает приём следующих исходных технологических данных:

1) расчётной (априорной) программы сеанса измерений – неполный вектор, необходимый для поворота измерительного средства на определённое направление и интервалы запуска и останова средств в относительной шкале;

2) конфигурация автоматического управления – состав управляемых средств, пути и способы формирования управляющего воздействия;

3) конфигурация оперативной коррекции программы сеанса измерений – источники информации, топология её приёма и потребители результатов коррекции;

4) заданий на выполнение триангуляции, в том числе геодезические координаты измерительных средств.

В режиме репортажа (приёма измерений) АИП обеспечивает выполнение следующих функций в реальном времени:

1) формирование репортажных потоков траекторной информации и передача их в центр (объём сокращённых потоков обусловлен ре-

зультирующей информативностью, потребностью для анализа ЛТХ и требованиями оперативной коррекции программы сеанса измерений);

2) передача полных потоков телеметрической информации в центр сбора;

3) оценка качества – достоверности приёма ТМИ – по опорной синхронинформации и маркерам телеметрической системы (востребовано для протоколирования фактических интервалов уверенного приёма при анализе работы АИП);

4) передача потокового видео от оптико-электронных средств (ОЭС) в центр сбора при условии наличия средств видеосжатия в составе ОЭС (воспроизведение в центре – стандартными средствами общесистемного программного обеспечения);

5) коррекция программы сеанса измерений в центре обработки и на измерительном пункте;

6) дистанционное управление (директивное и автоматическое) измерительными средствами.

Выдача управляющего воздействия измерительным средствам и приём измерительной информации от них в средства АИП осуществляется:

1) по локальной вычислительной сети;

2) по последовательным интерфейсам RS-232/RS-485 и при необходимости через специализированные устройства приёма на основе шины USB.

В режиме сбора АИП обеспечивает выполнение следующих функций:

1) предоставление доступа к полным потокам измерений (телеметрическая информация, видео, траекторные параметры) для их гарантированной передачи в вычислительный центр по запросу;

2) выдача протоколов мониторинга технического состояния средств АИП, в том числе фактическое время исполнения команд, отработанные углы измерений и др.

Оценка технического состояния средств АИП выполняется на всех технологических стадиях и включает следующие виды контроля:

1) мониторинг антенных систем;

2) мониторинг средств регистрации ТМИ;

3) мониторинг оптико – электронных средств;

4) мониторинг радиолокационных средств;

5) мониторинг средств сбора и обработки измерительной информации;

6) мониторинг средств передачи данных и

каналов связи;

- 7) мониторинг системы энергоснабжения;
- 8) мониторинг температурно-влажностного режима, состояния охраны и пожарной безопасности измерительного пункта.

Количество и информативность потоков, а также количество одновременно сопровождаемых измерительных средств может быть различным. В зависимости от конфигурации конкретного объекта и сети связи с ним будут предложены различные вычислительные и сетевые мощности средств АИП при едином масштабируемом подходе к вопросам автоматизированного управления и передаче измерительной информации.

Известные методы гарантированной передачи данных и передачи данных в реальном времени дополняются новыми, для которых разработаны соответствующие математические модели для оценки эффективной пропускной способности (S_ϕ) каналов связи.

К примеру, протоколы гарантированной передачи данных (ТСР/IP) используют передачу подтверждений передачи фрагментов данных. При определенных условиях выдача данных в канал связи приостанавливается, соответственно S_ϕ зависит от времени распространения сигнала в канале связи. При передаче данных по спутниковым каналам связи S_ϕ снижается на один, два порядка. Разработан протокол с непрерывной выдачей данных в канал связи и с запросами по обратной связи дополнительных передач только искаженных блоков данных [3-7]. Для предлагаемого протокола S_ϕ не зависит от времени распространения сигнала в канале связи и определяется формулой:

$$S_\phi = R_{\text{бл}} S_\phi / \left[(R_{\text{бл}} + r_{zb}) \overline{k_{\text{пвт}}} \right],$$

где $R_{\text{бл}}$ – размер блока данных, бит;

S_ϕ – пропускная способность канала связи;

r_{zb} – размер заголовка (размер служебных данных блока), бит;

$\overline{k_{\text{пвт}}}$ – среднее значение числа дополнительных передач блоков данных (для компенсации их искажений).

$\overline{k_{\text{пвт}}}$ определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \overline{k_{\text{пвт}}} &= P_{\text{прд бд}} + 2P_{\text{нпр бд}}P_{\text{прд бд}} + 3P_{\text{нпр бд}}^2P_{\text{прд бд}} + \\ &4P_{\text{нпр бд}}^3P_{\text{прд бд}} + \dots = (1 - P_{\text{нпр бд}}) + \\ &2P_{\text{нпр бд}}(1 - P_{\text{нпр бд}}) + 3P_{\text{нпр бд}}^2(1 - P_{\text{нпр бд}}) + \\ &4P_{\text{нпр бд}}^3(1 - P_{\text{нпр бд}}) + \dots = 1 + P_{\text{нпр бд}} + \\ &P_{\text{нпр бд}}^2 + P_{\text{нпр бд}}^3 + P_{\text{нпр бд}}^4 + \dots = 1 / (1 - P_{\text{нпр бд}}), \end{aligned}$$

где $P_{\text{прд бд}}$ – вероятность правильной передачи блока данных, определяемой соответственно:

$$P_{\text{прд бд}} = (1 - P_o)^{R_{\text{бл}} + r_{zb}}.$$

где $R_{\text{бл}}$ – размер блока данных, бит;

r_{zb} – размер заголовка (размер служебных данных блока), бит.

Соответственно вероятность потери блока данных:

$$P_{\text{нпр бд}} = (1 - P_{\text{прд бд}}).$$

Зависимости пропускной способности протоколов представлены на рисунках 1 и 2, где $L_{\text{осс}}$ – вероятность искажения символа в канале связи; RTT – время распространения сигнала в канале связи.

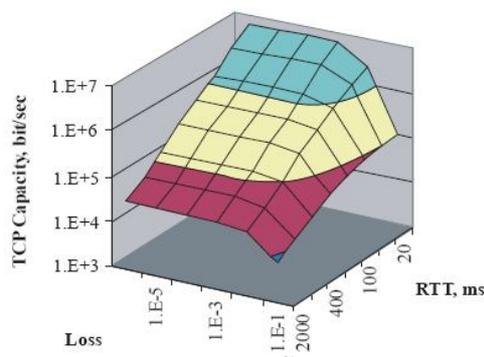


Рисунок 1 – Зависимость S_ϕ по протоколу ТСР (по данным из [2]) при $S_\phi = 10 \text{ Мб/с}$

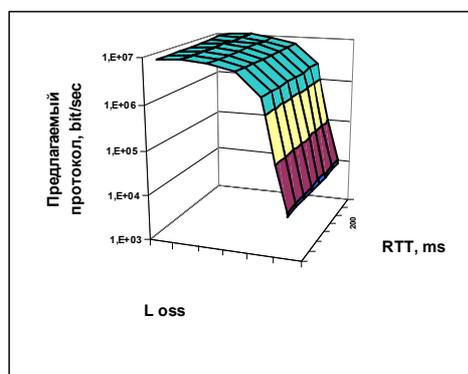


Рисунок 2 – Зависимость S_ϕ в предлагаемом протоколе [3-7] при $S_\phi = 10 \text{ Мб/с}$

Во всех режимах на любой стадии работ должен осуществляться приём и выполнение ручных пользовательских команд по приведению техники в то или иное состояние. Предусмотрены специализированные средства защиты, пресекающие попытки выдать команду несанкционированно – защита достигается настройкой маршрутизации и разграничением прав доступа к управляющим ПЭВМ.

Одна из наиболее трудоёмких специфических задач АИП – оперативная коррекция программы сеанса измерений. Данная функция должна рассматриваться не в качестве тривиальных геометрических расчётов по известным углам, а в качестве составной задачи сравнительной оценки достоверности измерений, поступающих с различной и нестабильной частотой, с различной методической погрешностью обработки и с различной временной задержкой. Также при разработке АИП учтено, что особенности организации связи могут накладывать ограничения по технической реализуемости автоматического управления.

Другая особенность настоящей работы – это одновременное использование различных по принципу действия средств – радиолокационных, оптических, радиотелеметрических. Наличие разнородных источников первичных измерений обязывает предусмотреть унифицированные форматы для передачи угломерных и дальномерных измерений.

Экспериментальные исследования. Анализ предъявляемых требований предполагает создание комплекса АИП как многоуровневой иерархической автоматизированной системы.

Первый, верхний, уровень должен представлять собой информационно – управляющий комплекс (комплексы). В состав данного уровня должен входить пункт дистанционного управления АИП (ПДУ АИП).

Второй уровень комплекса АИП должен включать средства автоматизации измерительного пункта.

АИП должен строиться как объектно-ориентированная система, адаптируемая к существующим и перспективным средствам измерений.

Комплекс АИП должен состоять из комплексов средств автоматизации (КСА), объединённых между собой телекоммуникационной сетью, и включать в следующие составные части:

- 1) КСА пункта дистанционного управления;
- 2) КСА измерительного пункта (КСА ИП).

Состав КСА ИП должен меняться в соответствии с набором средств измерений автоматизи-

руемого ИП.

Также в состав комплекса АИП должен входить комплекс средств обучения.

Комплекс АИП предлагается реализовать на основе следующих базовых принципов:

1) интегрированная информационная среда, обеспечивающая эффективное информационное взаимодействие всех элементов АИП, участвующих в процессах подготовки и проведения сеансов измерений, сбора и передачи данных;

2) высокий уровень автоматизации всех элементов АИП с возможностью как удаленного, так и местного управления;

3) использование программных и технических средств, поддерживающих работу в реальном времени и обеспечивающих максимально быстрое решение функциональных задач проведения сеансов измерений, сбора и передачи данных;

4) модульная структура аппаратного обеспечения, реализуемая на основе унифицированных вычислительных и телекоммуникационных средств, стандартных интерфейсов и позволяющая упростить процессы адаптации к применяемым на объектах средствам измерений и регистрации;

5) модульная структура специального программного обеспечения, реализуемая на основе согласованных интерфейсов и позволяющая упростить процессы программирования, обеспечить параллельную разработку, доработку и дополнение программных комплексов без изменения установленного на объекте программного обеспечения;

6) интегрированное отображение и представление результатов измерений как на экранах рабочих станций, так и на экране коллективного пользования ПДУ АИП;

7) развитые аппаратно-программные средства диагностирования средств АИП с локализацией неисправного элемента.

Для реализации системы дистанционного управления предлагается использовать протокол SNMP. В системах управления, построенных на основе протокола SNMP, стандартизируются следующие элементы:

1) протокол взаимодействия агента и менеджера;

2) язык описания моделей MIB и сообщений SNMP – язык абстрактной синтаксической нотации ASN.1 (стандарт ISO 8824:1987, рекомендации ITU-T X.208);

3) несколько конкретных моделей MIB (MIB-I, MIB-II, RMON, RMON 2), имена объектов которых регистрируются в дереве стандар-

тов ISO.

Выводы. В результате внедрения автоматических измерительных пунктов достигается централизация управления – все наукоёмкие и технически сложные операции, требующие участия руководителей работ и инженеров-испытателей, переносятся с периферийных площадок в вычислительный центр, а действия пользователей на измерительном пункте сводятся к подаче электропитания, простейшему обслуживанию и т.п. Экономический эффект имеет две стороны:

1) уменьшение общего количества пользователей, необходимых для проведения испытательных работ;

2) отсутствие необходимости направлять инженеров на дальние объекты – их работа осуществляется на ВЦ.

Создание КСА ИП как базового набора управляющих элементов предполагает, что изначально закладывается возможность адаптации изделия под различные объекты и задачи – выбор состава, выбор программной документации, стационарное и мобильное исполнение. Подходы по организации вычислительного процесса и архитектуре комплекса позволяют осуществлять функциональное наращивание под будущие измерительные средства (объекты дистанционного управления и мониторинга).

Принцип интеграции со смежными комплексами и системами означает, что учитываются смежные направления и структуры, принятые в более ранних системах. Результаты расчётов, производимых КСА ИП, могут использоваться во внешних системах, и наоборот – результаты сторонних информационно-измерительных систем используются в КСА ИП.

Несколько режимов управления и оперативной коррекции программы сеанса измерений – централизованные и автономные, программные и директивные, с вмешательством пользователя и автоматические – в целом повышают устойчивость и надёжность целевого применения КСА

ИП. Предусмотрены переходы между режимами в тех или иных нестандартных ситуациях, предлагаются специализированные инструменты по диагностированию управляющих трактов.

Библиографический список

1. *Меньшиков В.А.* Полигонные испытания. Книга I. М.: «КОСМО», 1997.

2. Telecommunication standardization sector of International Telecommunication Union. Y/1541, 12.2011. Series Y: Global information infrastructure, Internet protocol aspects and next-generation networks. Internet protocol aspects – Quality of service and network performance. Net-work performance objectives for-based services.

3. *Светников О.Г., Тимашев А.В., Филаткин С.В., Панкратов О.Ю., Молоканов В.И.* Принципы и подходы к созданию распределённой информационно-управляющей системы проведения испытаний РКТ // 4-я Международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика»: Тез. докл./ Ряз. гос. радиотехн. акад. Рязань, 2003.

4. *Фомов О.П., Филаткин С.В.* Модели систем сбора, передачи обработки измерительной информации в реальном времени для оценки их эффективности // Наука и технологии. Том 2. – Краткие сообщения XXX Российской школы, посвященной 65-летию Победы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010.

5. *Новиков Ю.А., Тимашев А.В., Филаткин С.В.* Оценка эффективности систем сбора, передачи и обработки измерительной информации реального времени // Цифровая обработка сигналов 3/10 – Москва: Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им А.С. Попова, 2010.

6. *Пылькин А.Н., Филаткин С.В.* Моделирование и оценка характеристик протокола передачи данных при использовании каналов связи с большим временем распространения сигнала // Радиотехника 2/15 – Москва, 2015.

7. *Пылькин А.Н., Филаткин С.В.* Моделирование и оценка характеристик протокола для передачи данных в реальном времени при использовании каналов связи с большим временем при распространения сигнала // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 52. С. 69-74.