

Д. Н. Пакман, М. В. Некрасов, А. Н. Антамошкин

ПРОБЛЕМЫ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В КОНТУРЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

Рассматривается общая структура автоматизированной системы управления космическим аппаратом и проблемы обработки телеметрической информации в контуре автоматизированной системы управления. Предлагаются пути развития и модернизации системы обработки телеметрической информации для центра управления полетом космических аппаратов.

Ключевые слова: система управления, космический аппарат, центр управления, телеметрия.

Структура автоматизированной системы управления космическим аппаратом. Автоматизированная система управления космического аппарата (АСУ КА), рассматриваемая в [1; 2], предназначена для обеспечения работы бортовых систем космического аппарата в течение всего времени его активного существования, представляет собой совокупность бортовых и наземных средств управления с необходимым математическим обеспечением, и состоит:

- из бортового комплекса управления (БКУ);
- наземного комплекса управления (НКУ).

Вышеприведенные составляющие АСУ КА представляют собой самостоятельные функциональные звенья с решением определенных задач управления в контуре АСУ. В задачи бортового комплекса управления, описываемого в [1; 5], входит следующее:

- обеспечение приведения элементов конструкции и бортовых систем КА в рабочее состояние;
- управление работой бортовой аппаратуры КА в автономном и оперативном режимах;
- контроль и диагностика технического состояния бортовых систем;
- организация работы бортового программного обеспечения.

Необходимо отметить, что одной из важнейших задач БКУ является сбор, обработка, сжатие, хранение и выдача по требованию наземного комплекса управления телеметрической информации (ТМИ) о текущем состоянии бортовых систем.

Наземный комплекс управления рассматривается в [2; 4; 5] и предназначен для непрерывного выполнения задач управления, контроля и поддержания заданных технических и баллистических характеристик КА и орбитальной группировки (ОГ) в целом. Обеспечение решения этих задач диктует состав НКУ. Как правило, в состав НКУ включены следующие элементы:

- центр управления полетом;
- наземные командно-измерительные станции (КИС);
- станции приема телеметрической информации;
- корреляционно-фазовые пеленгаторы (КФП);
- система связи и передачи данных (ССПД).

Телеметрическая информация в контуре автоматизированной системы управления космическим аппаратом. Обеспечение задач планирования и управления КА осуществляется аппаратно-программными средствами

НКУ КА, являющимся составной частью НКУ единой системы спутниковой связи. В [5] рассматриваются различные виды информации, циркулирующие в структуре НКУ, основными из которых являются: разовые команды, программные команды, командно-программная информация, информация функционального контроля, баллистическая и телеметрическая информация. В сложной автоматизированной системе управления, какой является АСУ КА, особую роль играет реакция управляемого КА на управляющие воздействия, а именно телеметрическая информация. Телеметрическая информация, поступающая с передающих устройств КА по радиолинии, содержит сведения о работе и состоянии бортовой аппаратуры КА, выполнении программ работы и управляющих воздействий [1–5].

Процесс сбора телеметрической информации о состоянии КА, передачи и представления ее конечному пользователю (оператору управления, системному специалисту) представляет собой многоступенчатую процедуру, включающую в себя следующие этапы.

Этап сбора и передачи телеметрической информации, рассматриваемый в [3], выполняется бортовой аппаратурой телесигнализации (БАТС) на средствах БКУ и обеспечивает решение следующих задач:

- сбор, обработка информации от датчиков аппаратными средствами БАТС (контроллерами датчиков);
- аналогово-цифровое преобразование данных с датчиков;
- размещение данных в оперативной памяти БАТС;
- взаимодействие с бортовым цифровым вычислительным комплексом;
- формирование и выдача в бортовую командно-измерительную систему (бортовую КИС) телеметрического сообщения в виде псевдокадров.

Этап предварительной обработки телеметрической информации, рассматриваемый в [4; 5], осуществляется средствами наземной КИС в составе НКУ и обеспечивает решение следующих задач:

- прием телеметрической информации наземной КИС и осуществление идентификации, нормализации, усиления ТМ-сигнала;
- аналогово-цифровое преобразования информации средствами КИС;
- выделение синхропосылки, анализ служебной части кадра, нарезка потока ТМИ на псевдокадры;

- привязка псевдокадров к московскому декретному времени;
- формирование блоков информации для передачи в каналы связи;
- передача сформированных блоков телеметрической информации в комплекс обработки информации (КОИ) Рымник или систему автоматизированной обработки пункта (САО-П), в зависимости от этапа проведения работ.

Этап первичной обработки телеметрической информации, рассматриваемый в [4; 5], осуществляется распределенной системой обработки Рымник или системой САО-П и обеспечивает решение следующих задач:

- 1) в случае проведения работ через Рымник:
 - обработка ТМИ средствами КОИ, выделение существенных значений, проверка на достоверность, учет калибровочных уровней, тарирование для представления параметров в физических величинах, редактирование состояния сигнальных параметров и нахождения аналоговых параметров в заданном диапазоне, обработка определяющих «ключевых» параметров, обработка различных типов параметров (сигнальных, функциональных, управляющих, разовых команд, цифровых, кодовых, временных);
 - передача ТМИ по каналам связи в сектор сбора данных (ССД), осуществляющий коммутацию информационных потоков между наземными измерительными пунктами и центрами управления полетами различных ОГ КА;
 - передача ТМИ в сектор обработки телеметрической информации (СОТИ);

2) в случае проведения работ через САО-П производится передача телеметрической информации по соответствующему протоколу информационного взаимодействия в систему автоматизированной обработки центра (САО-Ц).

Окончательный этап – *этап вторичной обработки, анализа и представления информации*, рассматриваемый в [4], проводится по результатам первичной обработки и позволяет путем заданных расчетов определить необходимые характеристики работы бортовых систем. Этап осуществляется аппаратно-программными средствами ЦУП, входящими в состав НКУ и обеспечивает решение следующих задач:

- прием информационных потоков от СОТИ или САО-Ц;
- распределение потоков телеметрии по рабочим станциям ЦУП;
- расчет первичных, вторичных параметров и параметров алгоритма обобщенного контроля;
- анализ результатов обработки телеметрической информации;
- представление результатов операторам управления и системным специалистам.

Общая схема приема-передачи ТМИ представлена на рис. 1.

Структурно-функциональная схема центра управления полетом космического аппарата и циркуляция телеметрической информации в контуре ЦУП КА. В настоящее время ЦУПы КА организуются на базе аппаратно-программного комплекса [4; 5], включающего следующие функциональные сектора (рис. 2).

Сектор управления, основными задачами которого являются:

- проведение оперативного сеанса управления с КА, включая отработку как заранее подготовленных программ управления, так и программ управления или команд, вводимых оператором в реальном масштабе времени;
- регистрация и обработка квитанций, поступающих от средств НКУ и бортовой аппаратуры КА, автоматизированный контроль выполнения программы управления по поступающей ТМИ и квитанциям;
- прием, обработка, отображение и анализ информации о результатах работы и состоянии наземных средств НКУ;
- выдача рекомендаций по управлению КА, в том числе в нештатных (аварийных) режимах с выдачей алгоритмов по их устранению;
- дистанционное управление и контроль станциями приема КИС, КФП;
- сбор и накопление статистической информации по проведенным сеансам управления, по выданным управляющим воздействиям (с учетом их классификации по видам), о состоянии орбитальной группировки по результатам обработки ТМИ и отчетов БЦВМ.

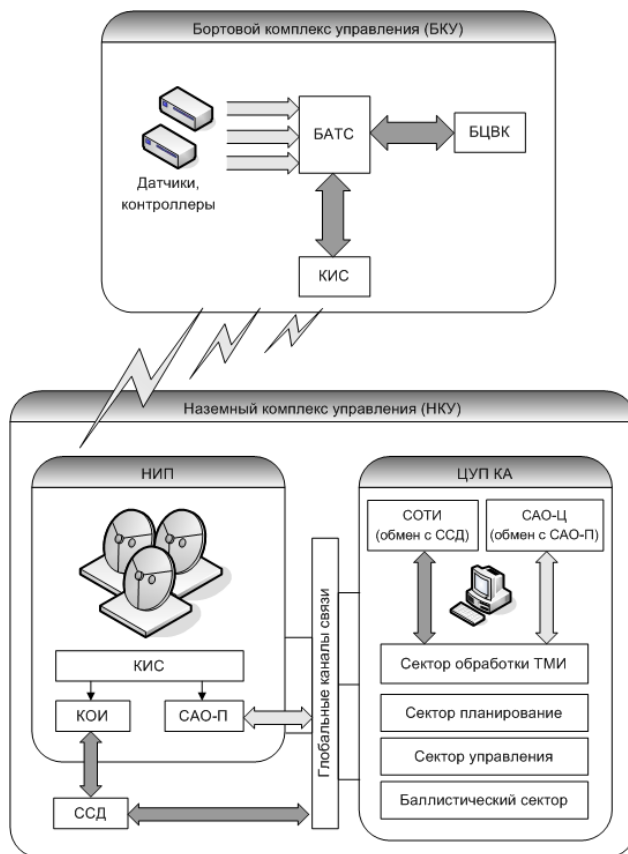


Рис. 1. Потоки телеметрической информации в контуре АСУ КА

Сектор планирования, основными задачами которого являются:

- автоматизированные работы по реализации планов развертывания, восполнения и поддержания орбитальной группировки КА;
- формирование, отображение и корректировка долгосрочных и оперативных планов работы КА и НКУ для обеспечения реализации штатного технологического цик-

ла управления на разных этапах функционирования всех КА ОГ, в том числе и при возникновении нештатных ситуаций;

- формирование технологических данных для проведения сеансов связи с КА (ТДСС) и перекачка их на средства управления;

- расчет программ управления и массивов командно-программной информации для КА.

Баллистический сектор, основными задачами которого являются:

- прием и обработка измерений текущих навигационных параметров с КИС и КФП;

- расчет баллистических характеристик КА из состава ОГ, определение орбитальных параметров КА, разработка планов коррекции орбит КА, расчет интерференции (влияния солнечного излучения на работу антенных систем наземных станций) и обеспечение операторов управления необходимой баллистической информацией (тени Луны и Земли, зоны радиовидимости, целеуказания для наведения антенн наземных станций, зоны обслуживания);

- подготовка массивов командно-программной информации для их закладки на борт КА в сеансах управления (в части обеспечения работы бортового баллистического программного обеспечения);

- подготовка исходных технологических данных на запуск ракетносителя с КА и обеспечение ими подразделений и служб НКУ.

Сектор обработки телеметрической информации, основными задачами которого являются:

- получение и обработка телеметрической информации в режиме непосредственного приема;

- прием и обработка отчетов БЦВМ;

- автоматизированный обобщенный контроль и диагностика состояния КА по ТМИ в течение всего срока активного существования;

- дистанционное управление и контроль станциями приема ТМИ;

- обмен различными видами информации с элементами НКУ, внешними организациями и комплексами;

- представление результатов обработки телеметрической информации системным специалистам и операторам управления.

Для решения общей целевой задачи управления КА и поддержания его активного существования между секторами ЦУП осуществляется информационно-логическое взаимодействие. Частью этого взаимодействия является и обмен телеметрической информацией (рис. 2). Информационное взаимодействие между секторами осу-

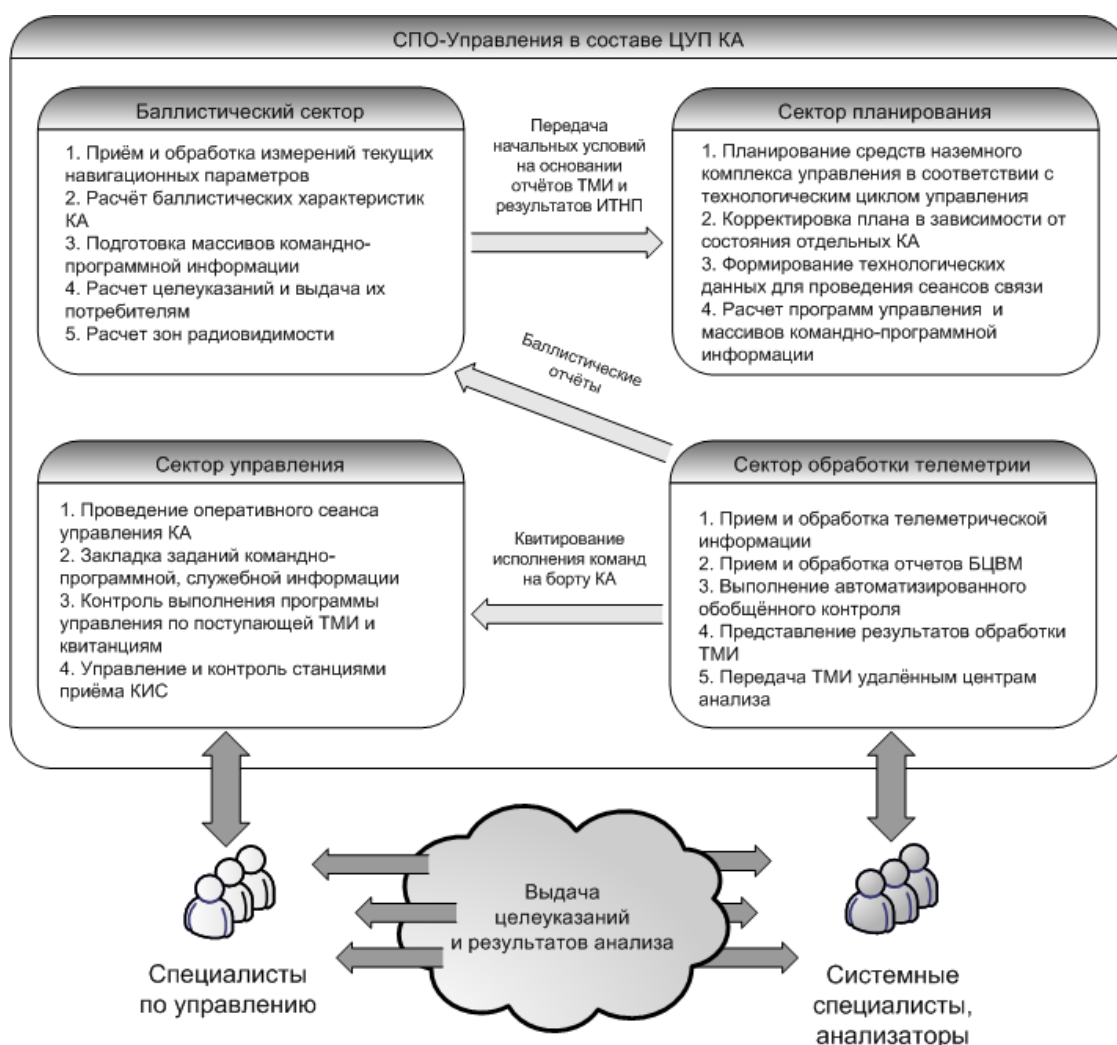


Рис. 2. Циркуляция ТМИ внутри СПО ЦУП КА

ществляется на программном уровне с использованием локально-вычислительной сети ЦУП.

Основными потребителями ТМИ в ЦУП КА являются операторы управления (анализаторы) и системные специалисты. В их задачи, в частности, входит анализ состояния всех КА ОГ и выбор на его основе стратегии по управлению космическими аппаратами.

Специальное программное обеспечение обработки телеметрической информации. Специальное программное обеспечение обработки телеметрической информации (СПО ОТИ) является частью специального программного обеспечения управления ЦУП КА и представляет собой комплекс программ, обеспечивающий решение перечня задач телеметрического сектора программно-аппаратного комплекса ЦУП [4]. Для удобства функционирования и эксплуатации СПО ОТИ разбито на несколько программных комплексов:

- проведения сеанса обработки (КП ПСО);
- рабочего места телеметриста (КП РМТМ);
- проведения внесеансных работ (КП ПВРТМ).

Для более эффективного решения локальных задач телеметрического сектора используется клиент-серверная архитектура распределенных вычислений.

Комплекс программ проведения сеанса обработки (КП ПСО), представляющий собой серверную часть в терминах архитектуры клиент-сервер, обеспечивает:

- взаимодействие с внешними программными комплексами (СОТИ, САО-Ц), обеспечивающими взаимодействие с наземными измерительными пунктами в части управления проведением телеметрических сеансов;
- настройку на работу по конкретному изделию, в зависимости от плана работ;
- получение по локальной вычислительной сети и обработку полных (сокращенных) потоков всех видов телеметрической информации;
- оперативное отображение значений ТМ-параметров на экран оператора сектора управления;
- организацию файлов-архивов телеметрической информации на локальном диске.

Комплекс программ рабочего места телеметриста (КП РМТМ). Данный комплекс представляет собой клиентскую часть в структуре клиент-сервер. КП РМТМ обеспечивает:

- получение ТМИ с сервера КП ПСО;
- обработку, анализ полученной информации и представление результатов обработки системным специалистам и операторам управления.

Комплекс программ проведения внесеансных работ с телеметрической информацией (КП ПВРТМ) предназначен для проведения работ, связанных с просмотром и документированием результатов обработки ТМИ, находящихся в архиве ЦУПа; а также для просмотра и печати файлов с результатами документирования всех видов телеметрической информации.

Существующая схема взаимодействия СПО ОТИ представлена на рис. 3.

Предложения по усовершенствованию специального программного обеспечения обработки телеметрической информации. В настоящее время программные средства обработки, анализа и представления телеметрической

информации в центрах управления космическими аппаратами морально устарели и не соответствуют современным требованиям и возможностям. В то же время с развитием самой платформы космического аппарата растет потребность в обработке все большего потока информации с максимально удобным представлением ее результатов оператору управления или системному специалисту. Данная потребность может быть удовлетворена за счет разработки новых особых алгоритмов, позволяющих осуществлять наиболее эффективную обработку и анализ телеметрических данных и представление их результатов.

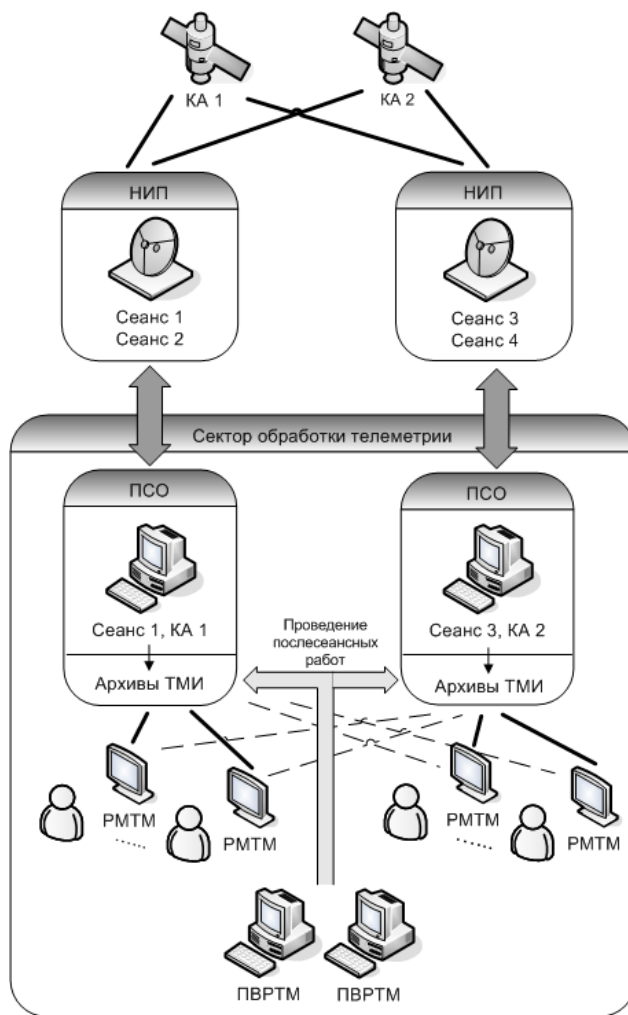


Рис. 3. Существующая схема взаимодействия СПО ОТИ

В существующей схеме обработки ТМИ сервер проведения сеанса обработки (КП ПСО) обеспечивает однопоточный режим работы. То есть проведение сеанса возможно только с одним аппаратом. В режиме проведения параллельных сеансов связи с КА для обеспечения нескольких потоков телеметрии необходима организация соответствующего количества телеметрических серверов на различных ПЭВМ. Данная ситуация ухудшает оперативность работы телеметрического сектора, поскольку увеличивается время настройки клиентов на телеметрический сеанс и возникает проблема размещения телеметрических архивов, создаваемых серверами для послесеансного анализа.

Система приема ТМИ требует модернизации. Основная суть модернизации в части приема телеметрической информации в ЦУП КА изложена в [6] и заключается в переходе от однопоточной системы приема ТМИ к многопоточной. Этот переход предполагает проведение тщательного исследования существующей телеметрической системы, а также ряда серьезных мероприятий по доработке существующих и, возможно, разработке новых программных комплексов обработки ТМИ. По результатам предварительного исследования недостатков системы приема телеметрии предлагаются следующие направления деятельности:

1) свести к минимуму функции представления результатов обработки информации на сервере обработки ТМИ и максимально сосредоточиться на возможностях одновременной организации сеансов приема ТМИ по нескольким направлениям, т. е. по нескольким КА, нескольким НИП, от различных источников СОТИ или САО-Ц;

2) пересмотреть концепцию организации сеансов в связи с внедрением многопоточной системы обработки телеметрии. Это неизбежно приведет к доработке протокола сетевого взаимодействия между КП ПСО и абонентами КП РМТМ, а также необходимости разработки отдельного протокола, поддерживающего многопоточную передачу информации между КП ПСО и удаленными центрами анализа и обработки информации, территориально расположенными вне ЦУП;

3) спроектировать и организовать централизованное хранение телеметрических архивов во избежание избыточности, дублирования данных, что также позволит решить вопросы обеспечения безопасности засекреченной информации;

4) в связи с чрезмерным ростом объемов телеметрической информации предложить «приемлемый» алгоритм сжатия, адаптируемый для использования в реальном масштабе времени.

В работе [7] рассматриваются предложения по усовершенствованию способов представления результатов обработки телеметрической информации.

На данном этапе в СПО ОТИ реализована упрощенная логика обработки телеметрической информации с точки зрения обобщенного контроля, однако не реализована необходимая для полноценной оценки многоуровневая логика расчета параметров обобщенного контроля. В связи с этим предлагается следующее:

1) разработать и внедрить алгоритмы, позволяющие проводить многоуровневый обобщенный контроль телеметрической информации, получаемой с КА;

2) разработать и внедрить алгоритмы, позволяющие работать со структурами исходных данных на обработку ТМИ с целью дальнейшего проведения обобщенного контроля информации.

В существующей системе обработки телеметрической информации реализовано только текстово-табличное представление результатов обработки ТМИ. Это, безусловно, снижает оперативность и качество оценки параметров в момент проведения сеанса связи с КА, когда принятие правильного решения по сложившейся ситуации должно происходить максимально быстро и быть эффективным. В связи с этим предлагается провести следующую работу:

1) разработать программное обеспечение мнемонического представления телеметрической модели космического аппарата, решающее следующие задачи:

- обеспечение обработки первичных телеметрических параметров;
- реализацию алгоритмов обобщенного контроля телеметрических параметров;
- оценку результатов полученных в результате обработки ТМИ;
- формирование и представление оператору мнемонической схемы для заданной системы КА с учетом полученных результатов оценки ТМИ;
- реализацию редактора мнемонических схем с возможностью создания оптимального схематичного представления систем КА и задания параметров оценки их состояния;
- реализацию графического представления динамики изменения телеметрических параметров.

2) разработать и реализовать протокол сопряжения СПО мнемонического представления и СПО приема-передачи ТМИ.

Кроме того, предлагаемые решения должны обеспечивать максимальную независимость от платформы КА.

Модернизированная схема обработки телеметрической информации средствами СПО ОТИ с учетом выработанных предложений представлена на рис. 4.

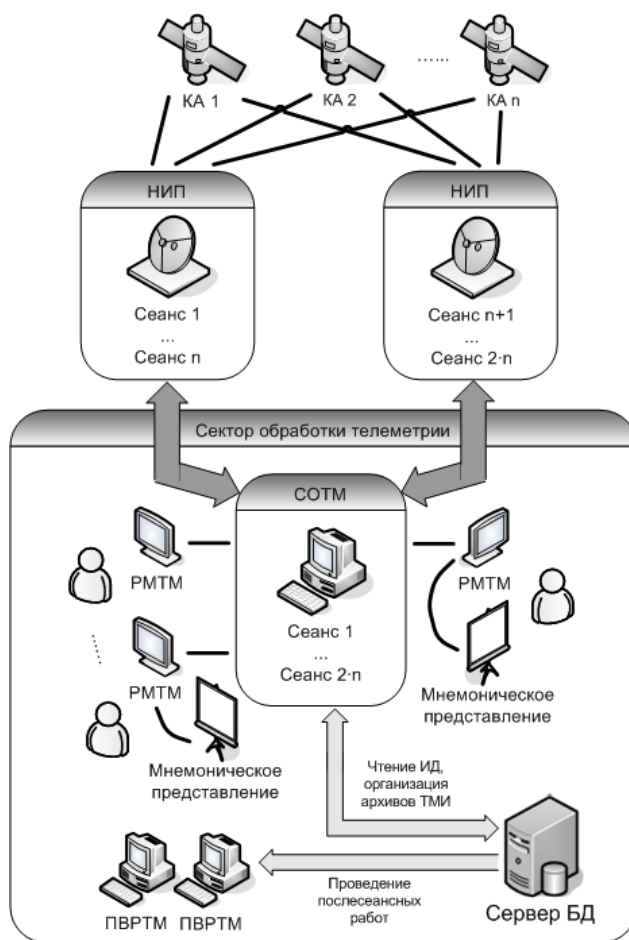


Рис. 4. Модернизированная схема взаимодействия СПО ОТИ

Таким образом, предложенные решения по усовершенствованию программного обеспечения СПО ЦУП КА в области обработки телеметрии нашли первое частное применение в центре управления полетами орбитальной группировкой космических аппаратов «Экспресс-АМ». На практике было доказано повышение качества и оперативности управления КА. На данный момент программное обеспечение разрабатывается в области универсальности и независимости общей структуры СПО ОТИ от платформы КА, создаваемых ОАО «ИСС», и средств, предоставляемых наземным комплексом управления.

Библиографический список

1. Спутниковые системы связи и вещания. 2007. Вып. 2. С прил. на CD-диске : науч. техн. справочно-аналит. изд. М. : Радиотехника, 2008.
2. Соловьев, Ю. А. Системы спутниковой навигации / Ю. А. Соловьев. М. : Эко-Трендз, 2000.
3. Бортовая телеметрическая аппаратура космических летательных аппаратов / С. М. Переверткин, А. В. Кантов, Н. Ф. Бородин, Т. С. Щербакова. М., 1977.

4. 14Ф136.ИЭ19. Ч.1. Изделие 14Ф136. Инструкция по обработке информации. Общие сведения по обработке информации. Железногорск, 2003.

5. Построение основного и резервного центров управления полетом орбитальной группировкой космических аппаратов гражданских спутниковых систем связи и вещания государственного назначения : эскиз. проект. Кн. 1. Организационно-техническое построение ЦУП и РЦУП. Железногорск, 2000.

6. Некрасов, М. В. Разработка концепций создания многопоточной системы обработки телеметрической информации в центрах управления полетом военного назначения / М. В. Некрасов, Д. Н. Пакман, А. Б. Вершин // Материалы науч.-техн. конф. молодых специалистов. Секция проектирования и управления космических аппаратов и систем. Железногорск, 2008. С. 103–108.

7. Пакман, Д. Н. Предложения по развитию информационно-телеметрического обеспечения в центре управления полетом космического аппарата в части мнемонического представления / Д. Н. Пакман, М. В. Некрасов, А. Б. Вершин // Материалы науч.-техн. конф. молодых специалистов. Секция проектирования и управления космических аппаратов и систем. Железногорск, 2008. С. 109–115.

D. N. Pakman, M. V. Nekrasov, A. N. Antamoshkin

THE PROBLEMS OF TELEMETRIC DATA PROCESSING IN THE LOOP OF SPACECRAFTS COMPUTER-AIDED CONTROL SYSTEM

The general structure of the spacecraft computer-aided control system and the problems of telemetric data processing in the loop of the computer-aided control system are considered. The ways of development and modernization of the telemetric data processing system for the spacecraft flight control center are suggested.

Keywords: control system, spacecraft, control center, telemetry.

УДК 519.21

Т. А. Ширяева

К ВОПРОСУ О ВРЕМЕНИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

Представлено решение вопроса о замене нормы пространства непрерывных функций $C(K)$ некоторым ее приближением и об оценке погрешности этого приближения.

Ключевые слова: банаховы пространства, случайные поля.

Известно, что под сложной системой понимают совокупность функционально связанных разнородных устройств, предназначенных для выполнения определенных функций и решения стоящих перед системой задач [1]. Одной из важных характеристик работы системы является время ее безотказной работы. Часто эту характеристику считают случайной величиной [1; 2]. Но можно рассмотреть и другой подход: определить время безотказной работы системы как случайную функцию многих переменных $\xi(t_1, \dots, t_d) = \xi(t)$, где $d = 1, 2, \dots$, т. е. случайным полем [3]. Если использовать такую математическую

модель, то для ее описания и исследования методов математического анализа оказывается недостаточно, приходится обращаться к методам функционального анализа. В частности, если предполагать, что случайное поле $\xi(x_1, \dots, x_d)$ принадлежит пространству непрерывных функций $C(K)$, где $K = [0, 1]^d$ – d -мерный куб со стороной единичной длины из евклидова пространства K_d , то норма этого пространства

$$|\xi|_C = \max_{(t_1, \dots, t_d)} |\xi(t_1, \dots, t_d)|$$

не является дифференцируемой функцией ни по Фреше,